



ΔΙΟΡΓΑΝΩΣΗ

**Ελληνικό Ινστιτούτο Ακουστικής
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο**

ΣΥΝΔΙΟΡΓΑΝΩΣΗ

ΒΙΒΛΙΟ ΠΕΡΙΛΗΨΕΩΝ

12ο



**Πανελλήνιο Συνέδριο
ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ**

17-19 ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2024

Σπίτι του Πολιτισμού, ΡΕΘΥΜΝΟ

Εισαγωγικό σημείωμα

Το Ελληνικό Ινστιτούτο Ακουστικής (ΕΛ.ΙΝ.Α.) με αφετηρία το έτος 2002, διοργανώνει ανά διετία το Πανελλήνιο Συνέδριο Ακουστικής.

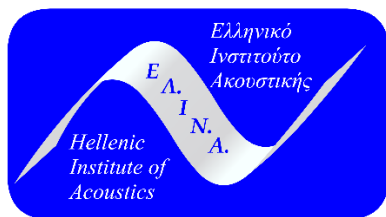
Σκοπός του συνεδρίου είναι η ανάδειξη της εργασίας των σύγχρονων Ελλήνων επιστημόνων στον τομέα της Ακουστικής, η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της πρόσφατης έρευνας στο πεδίο αυτό, καθώς και η γνωριμία και προώθηση της συνεργασίας όσων ασχολούνται με την Ακουστική και τις εφαρμογές της. Το 2024, το 12ο κατά σειρά συνέδριο «ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ 2024», διοργανώθηκε από το Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου.

Συνδιοργανωτές του συνεδρίου ήταν ο Δήμος Ρεθύμνης και η Περιφέρεια Κρήτης (Περιφερειακή Ενότητα Ρεθύμνου).

Οι συνεδρίες έλαβαν χώρα στο Σπίτι του Πολιτισμού, στην πόλη του Ρεθύμνου, 17 έως 19 Οκτωβρίου 2024.

Κατά την τελετή έναρξης του Συνεδρίου παρουσιάστηκε η κεντρική ομιλία του καθηγητή Μιχάλη Ταρουδάκη «“ Βλέποντας” στη θάλασσα με ήχους. Η Υποβρύχια Ακουστική ξανά στο προσκήνιο», την οποία ακολούθησε η βράβευση του Καθηγητή από το Ελληνικό Ινστιτούτο Ακουστικής και την Οργανωτική Επιτροπή του Συνεδρίου.

Τα άρθρα που παρουσιάστηκαν στο συνέδριο κάλυψαν όλες τις περιοχές της Ακουστικής και ταξινομήθηκαν σε έξι διπλές Συνεδρίες.



ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Πρόεδρος

Παπαδογιάννης Νεκτάριος, Καθηγητής Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου (ΕΛΜΕΠΑ)

Αντιπρόεδροι

Μπακαρέζος Ευθύμιος, Καθηγητής ΕΛΜΕΠΑ

Δημητρίου Βασίλης, Καθηγητής ΕΛΜΕΠΑ

Γ. Γραμματέας

Καλιακάτσος-Παπακώστας Μάξιμος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΛΜΕΠΑ

Υπεύθυνος Επικοινωνίας

Κασελούρης Ευάγγελος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΛΜΕΠΑ

Μέλη

Ταταράκης Μιχαήλ, Καθηγητής ΕΛΜΕΠΑ

Τζεδάκη Αικατερίνη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΛΜΕΠΑ

Αλεξανδράκη Χρυσούλα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΛΜΕΠΑ

Κουζούπης Σπύρος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΛΜΕΠΑ

Στεφανάκης Νικόλαος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΛΜΕΠΑ

Πολυχρονόπουλος Σπύρος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΛΜΕΠΑ

Πασχαλίδου Παναγιώτα Στυλιανή, Λέκτορας ΕΛΜΕΠΑ

Ορφανός Ιωάννης, Δρ. Μηχ., ΕΔΙΠ ΕΛΜΕΠΑ

Μποτονάκης Αντώνιος, Δρ. ΕΔΙΠ ΕΛΜΕΠΑ

Πιστογιαννάκης Στέλιος, ΕΤΕΠ ΕΛΜΕΠΑ

Κεφαλογιάννης Νικόλαος, ΕΤΕΠ ΕΛΜΕΠΑ

Παπαλεξάκης Αντώνιος, ΕΤΕΠ ΕΛΜΕΠΑ

Καλέρης Κωνσταντίνος, Δρ./Μεταδιδακτορικός ερευνητής ΕΛΜΕΠΑ

Μπρέζας Σπύρος, Δρ./Μεταδιδακτορικός ερευνητής ΕΛΜΕΠΑ

Τσιούτας Κωνσταντίνος, Δρ./Μεταδιδακτορικός ερευνητής ΕΛΜΕΠΑ

Κανιολάκης-Καλούδης Εμμανουήλ, Υποψήφιος Δρ. ΕΛΜΕΠΑ

Παπαδάκη Ελένη, Υποψήφια Δρ. ΕΛΜΕΠΑ

Φιτσανάκης Μίνως, Υποψήφιος Δρ. ΕΛΜΕΠΑ

Κεχράκος Κωνσταντίνος, Υποψήφιος Δρ. ΕΛΜΕΠΑ

Γιαχακοπούλου Αικατερίνη, Γραμματειακή υποστήριξη

Πατραμάνη Ελένη, Γραμματειακή υποστήριξη

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Αλεξανδράκη Χρυσούλα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΛΜΕΠΑ
Ανδρεοπούλου Αρετή, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΚΠΑ
Αντωνόπουλος Χρήστος, Καθηγητής Α.Π.Θ
Βασιλειάδης Βασίλειος, Δρ. Μηχ., Ε.ΔΙ.Π Α.Π.Θ.
Βρύσης Λάζαρος, Δρ. Μηχ., Ε.ΔΙ.Π Α.Π.Θ.
Βρύζας Νικόλαος, Δρ./Μεταδιδακτορικός ερευνητής Α.Π.Θ.
Γούσιος Χρήστος, Αναπληρωτής Καθηγητής Α.Π.Θ.
Δημητρίου Βασίλης, Καθηγητής ΕΛΜΕΠΑ
Δημούλας Χαράλαμπος, Καθηγητής Α.Π.Θ.
Ζέρβας Παναγιώτης, Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστημίου Πελοποννήσου
Καλέρης Κωνσταντίνος, Δρ./Μεταδιδακτορικός ερευνητής ΕΛΜΕΠΑ
Καλλίρης Γιώργος, Καθηγητής Α.Π.Θ.
Καλιακάτσος-Παπακώστας Μάξιμος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΛΜΕΠΑ
Καραποστόλη Αιμιλία, Δρ./Μεταδιδακτορική ερευνήτρια Α.Π.Θ.
Κασελούρης Ευάγγελος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΛΜΕΠΑ
Κατερέλος Διονύσιος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Ιόνιο Πανεπιστήμιο
Κλωνάρη Δέσποινα, Δρ., Ε.ΔΙ.Π., Α.Π.Θ.
Κουζούπης Σπύρος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΛΜΕΠΑ
Κούτρας Αθανάσιος, Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστημίου Πελοποννήσου
Ματσιώλα Μαρία, Επίκουρη Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας
Μενούνου Πηνελόπη, Επίκουρη Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Πατρών
Μουρτζόπουλος Ν. Ιωάννης, Ομότιμος Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών
Μπακαρέζος Ευθύμιος, Καθηγητής ΕΛΜΕΠΑ
Μπάμνιος Γεώργιος, Καθηγητής ΔΙ.ΠΑ.Ε.
Μπάρκας Νικόλαος, Καθηγητής ΔΠΘ
Μπρέζας Σπύρος, Δρ./Μεταδιδακτορικός ερευνητής ΕΛΜΕΠΑ
Ορφανός Ιωάννης, Δρ. Μηχ., ΕΔΙΠ ΕΛΜΕΠΑ
Παπαδάκης Παναγιώτης, Ερευνητής ΙΤΕ
Παπαδέλης Γιώργος, Καθηγητής Α.Π.Θ.
Παπαδογιάννης Νεκτάριος, Καθηγητής ΕΛΜΕΠΑ
Παπανικολάου Γιώργος, Ομότιμος Καθηγητής Α.Π.Θ.
Παστιάδης Κωνσταντίνος, Καθηγητής Α.Π.Θ.
Πασχαλίδου Παναγιώτα Στυλιανή, Λέκτορας ΕΛΜΕΠΑ
Πολυχρονόπουλος Σπύρος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΛΜΕΠΑ
Ποτηράκης Στέλιος, Καθηγητής Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής
Ραγκούση Μαρία, Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής
Σεβαστιάδης Χρήστος, Δρ. Μηχ., Ε.ΔΙ.Π., Α.Π.Θ.
Σκαρλάτος Δημήτριος, τ. Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών
Σούμπερτ Γκότφριντ, Δρ. Σύμβουλος Ακουστικής

Σπυρίδης Χαράλαμπος, τ. Καθηγητής, Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Στεφανάκης Νικόλαος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΛΜΕΠΑ
Συμεωνίδης Ανδρέας, Καθηγητής Α.Π.Θ.
Ταρουδάκης Μιχάλης, Καθηγητής Πανεπιστημίου Κρήτης
Ταταράκης Μιχάλης, Καθηγητής ΕΛΜΕΠΑ
Τάτλας Νικόλαος-Αλέξανδρος, Καθηγητής ΠΑΔΑ
Τζεδάκη Αικατερίνη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΛΜΕΠΑ
Τσινίκας Νικόλαος, Ομότιμος Καθηγητής Α.Π.Θ.
Φλώρος Ανδρέας, Καθηγητής, Ιόνιο Πανεπιστήμιο
Χαδέλλης Λουκάς, Καθηγητής Πανεπιστημίου Πελοποννήσου
Χατζηαντωνίου Παναγιώτης, Δρ. Μηχ. Ε.Δι.Π Πανεπιστημίου Πατρών
Χουρμουζιάδου Καλλιόπη, Δρ. Αρχιτέκτων Μηχανικός, ΣΕΠ ΕΑΠ

ΚΕΝΤΡΙΚΟΙ ΟΜΙΛΗΤΕΣ

1. Μιχάλης Ταρουδάκης, Καθηγητής Πανεπιστημίου Κρήτης - Συνεργαζόμενο μέλος ΔΕΠ με το Ινστιτούτο Υπολογιστικών Μαθηματικών του ΙΤΕ
Τίτλος Ομιλίας: «“Βλέποντας ” στη θάλασσα με ήχους. Η Υποβρύχια Ακουστική ξανά στο προσκήνιο»
2. Κεντρικός Ομιλητής: Rolf Bader, Professor University of Hamburg
Τίτλος Ομιλίας: “Current Challenges and Directions in Musical Acoustics”

ΧΟΡΗΓΟΙ

Πλατινένιος χορηγός: **GroupScience**



Χρυσό χορηγοί: **Sealed Air, Saint-Gobain, Alpha Acoustiki, MoT Panels**



ΕΚΘΕΤΕΣ

eaGROUP

ΣΥΝΕΔΡΙΕΣ

Συνεδρία 1: Ήχος και τεχνητή νοημοσύνη

Συνεδρία 1A: Περιβαλλοντική Ακουστική – ηχοτοπία

Συνεδρία 2: Ψηφιακή επεξεργασία ήχου

Συνεδρία 2A: Περιβαλλοντική Ακουστική – ηχοτοπία

Συνεδρία 3: Θόρυβος – Δονήσεις

Συνεδρία 3A: Υποβρύχια Ακουστική

Συνεδρία 3B: Ελληνική εκπροσώπηση στην Audio Engineering Society (AES Greek Chapter)

Συνεδρία 4: Μουσική Ακουστική

Συνεδρία 4A: Κτηριακή – Αρχιτεκτονική Ακουστική

Συνεδρία 5: Φυσική Ακουστική

Συνεδρία 5A: Κτηριακή – Αρχιτεκτονική Ακουστική

Συνεδρία 6: Γενική Ακουστική – Ακουστικές μετρήσεις και όργανα

Συνεδρία 6A: Εκπαίδευση και Ακουστική – Ομιλία, λόγος

Πίνακας περιεχομένων Πρακτικών - «Ακουστική 2024»

ΣΥΝΕΔΡΙΑ 1: Ήχος και Τεχνητή Νοημοσύνη

Τεχνικές βαθιάς μάθησης για την εξαγωγή ομιλητή σε περιβάλλοντα με πολλαπλούς ομιλητές	24
Μελέτη δικτύων Kolmogorov-Arnold για την αξιόπιστη πολυετικετική κατηγοριοποίηση μουσικών οργάνων	26
Exploring Non-Autoregressive transformers for efficient adaptive music composition	29
Εφαρμογές αλγορίθμων γενετικής τεχνητής νοημοσύνης για την παραγωγή ηχητικού περιεχομένου στα νέα μέσα και την επικοινωνία	31
Περιβάλλον ακουστικής προσομοίωσης χώρων για την αναζήτηση τοποθεσίας κινηματογράφησης	33
Κατασκευή δεδομένων για την εκπαίδευση και αξιολόγηση συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης στον εντοπισμό ηχητικών συμβάντων	35
Soundsketcher: Γραφική απεικόνιση ηχητικών παραμέτρων βάσει διατροφικών οπτικο-ακουστικών συσχετίσεων	37
Διαδικτυακή εφαρμογή για την ανάλυση συναισθηματικής πληροφορίας	40

ΣΥΝΕΔΡΙΑ 1Α: Περιβαλλοντική Ακουστική – Ηχοτοπία

Επιστροφή στην Αχαράβη: Καταγραφή και ανάλυση του ηχητικού περιβάλλοντος και ηχοτοπίου μιας προστατευόμενης περιοχής	42
Investigating the urban soundscape of Athens through soundwalks and acoustic measurements	44
Η εισβολή του ιδιωτικού στον δημόσιο χώρο: Προβλήματα προσπέλασης και ηχοπροστασίας από την επέκταση των τραπεζοκαθισμάτων	45
Ηχοτοπία προστατευόμενων οικοτόπων στα Λευκά Όρη Χανίων	47
Τα ηχοτοπία της θαλάσσιας προστατευόμενης περιοχής της Γυάρου ως μέσο ερμηνείας περιβάλλοντος και ευαισθητοποίησης	49
Το μουσειακό ηχοτοπίο: Μια μουσική προσέγγιση στον σχεδιασμό μουσειακών εκθέσεων	51
Ηχητικά Χαϊκού: Ποιητικές απόπειρες στο ηχητικό σύμπαν του Χαϊκού	52
Ανάλυση μεικτού ηχοτοπίου: Καστελλάκια, Ρέθυμνο	54

Συνεδρία 2: Ψηφιακή επεξεργασία ήχου

Διερεύνηση περιφερειακών συστημάτων αναπαραγωγής και αξιολόγηση πιστότητας αναπαραγωγής εικονικού περιφερειακού ήχου	56
CAVEMOVE: Συλλογή ακουστικών δεδομένων για τη μελέτη τεχνολογιών φωνής μέσα σε κινούμενα οχήματα	58
Ζητήματα και προβληματισμοί στη χωρική μείξη έργων δημοφιλούς μουσικής	60
Στοχευμένη ενεργή ακύρωση θορύβου βασισμένη με μετρικές ενόχλησης	62
Περιορισμός της επίδρασης της διαδικασίας ηχογράφησης των αμφιωτικών χωρικών φίλτρων (HRTF) με χρήση μεθόδων μεταεπεξεργασίας και μείωσης διαστάσεων	64
Αξιολόγηση υποκειμενικής προτίμησης σε ισοσταθμισμένα ακουστικά κεφαλής	66
Ανάπτυξη ηχητικού συστήματος ακυρωτικής παρεμβολής μεταξύ καναλιών σε ανακλαστικό χώρο	68
Ανάκτηση ψηφιακών ηχητικών αρχείων στην ψηφιακή δικανική επιστήμη του ήχου "Digital audio file recovery in digital audio forensics"	70

ΣΥΝΕΔΡΙΑ 2Α: Περιβαλλοντική Ακουστική – Ηχοτοπία

Το ηχητικό περιβάλλον της φοιτητικής καθημερινότητας την περίοδο της πανδημίας	72
Σφαιρική νομική πείρα από δικαστική και εξωδικαστική μεταχείριση περιπτωσιολογίας υποθέσεων ηχορύπανσης	74
Διακρίβωση μικροφώνων αναφοράς με τη μέθοδο της αντιστροφής και η εφαρμογή τους στην διακρίβωση μικροφώνων ελεύθερου πεδίου	76
Ηχητικός σχεδιασμός ακουστικού χάρτη σε χώρους πολιτιστικής κληρονομιάς	78
AudioScout: Συλλογή ηχητικών δεδομένων στο πεδίο	80
Η εξέλιξη του ήχου στο θέατρο: από την Ακουστική του θεάτρου και το ραδιόφωνο στις ψηφιακές καινοτομίες και το Headphone Theater	82
Ηχητική αποτύπωση μαγνητικών καταγίδων με στοχαστικές τεχνικές σύνθεσης	84
Πρώιμες ενδείξεις ηχητικής χωρικότητας στην αρχαιοελληνική τραγωδία και κωμωδία	86

ΣΥΝΕΔΡΙΑ 3: Θόρυβος – Δονήσεις

Πειραματική αξιολόγηση συστήματος ενεργητικής ακύρωσης θορύβου για χαμηλόσυχνες ακουστικές διαταραχές	88
---	----

Εφαρμογή συστήματος ενεργού ελέγχου θορύβου σε βιομηχανικό χειριστήριο ελέγχου	90
Περιπτωσιολογική μελέτη (case study) εντοπισμού ηχοδιαφυγών με ακουστική απεικόνιση	91
Διερεύνηση δονητικής συμπεριφοράς παραδοσιακού ξύλινου και εκτυπωμένου τζουρά	94
Πειραματική έρευνα για την εφαρμογή του συστήματος τύπου ακουστικών περσίδων για τη μείωση του θορύβου στην πρόσοψη γραφειακού κτιρίου	96
ΣΥΝΕΔΡΙΑ 3Α: Υποβρύχια Ακουστική	
Αξιοποίηση ακουστικών μεταδόσεων στον Αρκτικό Ωκεανό για ανάκτηση μεταβολών του μέσου	98
Εφαρμογή των συνελκτικών νευρωνικών δικτύων σε αντίστροφα προβλήματα θαλάσσιος Ακουστικής	99
Υποβρύχιες ακουστικές παρατηρήσεις στο στενό των Κυθήρων	101
Παραγωγή ήχων από το λεοντόψαρο (<i>Pterois miles</i>), επίδραση του μεγέθους και του φύλου	102
ΣΥΝΕΔΡΙΑ 3B	
Ελληνική εκπροσώπηση στην Audio Engineering Society (AES Greek Chapter)	
ΣΥΝΕΔΡΙΑ 4: Μουσική Ακουστική	
Ξύλο ή μέταλλο; Επίδραση του υλικού στο ηχώχρωμα των Φλάουτων	103
Automatic guitar string detection based on the inharmonicity coefficient	105
Δονητική ανάλυση κυμβάλων και καπακιών τζουρά	107
Μελέτες για την ηχητική κάλυψη των μεγάλων παρελάσεων του καρναβαλιού για την Πάτρα και την Ξάνθη	108
Exploratory analysis of sound datasets in musical acoustics: the case of drumheads	109
Beam auralization in the time domain using the finite element method	111
Συστηματική μελέτη των σφαιρικών κατευθυντικών ιδιοτήτων του λαούτου, της λάφτας και του ουτιού	112
Αναγνώριση κατασκευαστικών χαρακτηριστικών και εξαγωγή μουσικής πληροφορίας από ηχογραφήσεις μπεντίρ	114

ΣΥΝΕΔΡΙΑ 4Α: Κτηριακή – Αρχιτεκτονική Ακουστική

Μορφές και λειτουργίες στους αθηναϊκούς θεατρικούς χώρους της σύγχρονης εποχής	116
Διερεύνηση των ακουστικών χαρακτηριστικών του Ιερού Ναού Παναγίας Καπνικαρέας	117
Ακουστική & ηλεκτροακουστική αναβάθμιση αμφιθέατρου Α, Ιατρικής σχολής Α.Π.Θ	119
Διερεύνηση των ακουστικών συνθηκών στον χώρο της εκκλησίας του δήμου, στην Αρχαία Πνύκα στην Αθήνα, ανάλογα με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες	121
Ακουστική μελέτη και βελτίωση studio ηχογραφήσεων και μουσικής εξάσκησης	122
Ακουστική άνεση σε χώρους ευεξίας: Η συμβολή της στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και ανάπλαση των Λουτρών Λαγκαδά	125
The role of the Acoustic Consultant in the correct integration of sustainability systems during the Architectural Design process	127
Ακουστικός σχεδιασμός, ακουστική προσομοίωση, πρότυπες μετρήσεις και ανάλυση της ακουστικής της νέας Συνεδριακής Αίθουσας Περιφέρειας Θεσσαλονίκης	128

ΣΥΝΕΔΡΙΑ 5: Φυσική Ακουστική

Χαρακτηρισμός ακουστικών μεταλλικών με χρήση πηγών ήχου πλάσματος λέιζερ	129
Πυρηνική φυσική με ακουστικά κύματα: Καινοτόμοι κρυσταλλικοί ακουστικοί κυματιστές για παραγωγή ακτίνων-γ στενού φάσματος	132
Υπολογιστική μελέτη απόκρισης συντονιστών σωλήνα σε διέγερση Ν-παλμού από πηγή ήχου πλάσματος λέιζερ	135
Υπολογιστική μελέτη της παραγωγής και διάδοσης υπερήχων σε στερεούς στόχους πυριτίου υπό την επίδραση παλμών laser	137
Προσεγγιστική λύση για τον υπολογισμό του ακουστικού πεδίου περίθλασης γύρω από απορροφητική σφήνα	139
Νέα αναλυτική λύση για τον υπολογισμό του ακουστικού πεδίου περίθλασης γύρω από ακουστικά σκληρή σφήνα στο πεδίο του χρόνου και στο πεδίο των συχνοτήτων	142
Εισαγωγή κινησιολογικών δεδομένων αλληλεπίδρασης μουσικού – μπαγκέτας – κυβάλου σε FEM-BEM μοντέλα δονητικής και ακουστικής απόκρισης	144
Ημι-εμπειρικές σχέσεις για τον υπολογισμό του ακουστικού πεδίου περίθλασης γύρω από σφήνες	146

ΣΥΝΕΔΡΙΑ 5Α: Κτηριακή – Αρχιτεκτονική Ακουστική

Προβλήματα αποκατάστασης & ηχοπροστασίας στα αρχαία θέατρα της Δ. Ελλάδας & της Ηπείρου	148
Μελέτη ακουστικής αναβάθμισης στο νεοκλασικό κτίριο του Δημοτικού Ωδείου Βόλου	149
Μια υπολογιστική πλατφόρμα για τη μελέτη και βελτιστοποίηση των παραμέτρων της ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης σε μεγάλους κλειστούς χώρους	152
Μη τυποποιημένες ακουστικές μετρήσεις για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και την δημιουργία ατμόσφαιρας	154
Ακουστική μελέτη και προσομοίωση του ωδείου του Ηρώδη του Αττικού	156
Κυκλική διεργαστηριακή μέτρηση δείκτη ηχομείωσης R_w	158
Εφαρμογές προσαρμοζόμενης ακουστικής σε αίθουσα πολλαπλών χρήσεων σχολικού συγκροτήματος στον Βόλο	159
Ανάλυση και μοντελοποίηση παν-κατευθυντικής πηγής ήχου	161

ΣΥΝΕΔΡΙΑ 6: Γενική Ακουστική – Ακουστικές μετρήσεις και όργανα

Χαρακτηρισμός και έλεγχος υπερ-υψίσυχνων τρεχόντων ακουστικών κυμάτων σε κρυσταλλικά στερεά με την χρήση ταχείας φασικής απεικόνισης με ns λέιζερ	163
Προσομοίωση ακουστικής απόκρισης χώρου για αυθαίρετη επιλογή θέσης δέκτη-πηγής	166
Inversre characterization of sound absorbing media using one dimensional analytical Biot's poroelasticity theory solutions	168
Ανάπτυξη μοντέλου πρόλεξης της κυματομορφής κρότου υπερηχητικού αεροσκάφους στο έδαφος με είσοδο τις συνθήκες πτήσης	169
Ταυτοποίηση πλαστικής παραμόρφωσης, σχηματισμού ρωγμών και εξέλιξης αστοχίας σε χάλυβα με τη μέθοδο της Ακουστικής εκπομπής	171
Μελέτη ηχηρότητας υπερηχητικού κρότου (sonic boom) στο έδαφος και σε αστικό περιβάλλον	173
Ανίχνευση συμβάντων Ακουστικής εκπομπής σε μεταλλικές πύλες δεξαμενών ανύψωσης σε ποτάμια	175
Remote microphone virtual sensing with multi-microphone configurations	177

ΣΥΝΕΔΡΙΑ 6Α: Εκπαίδευση και Ακουστική – ομιλία, λόγος

Η χρήση οπτικοακουστικών διαδραστικών αφηγήσεων και δραστηριοτήτων ως μέσο ηχητικής ευαισθητοποίησης παιδιών 9-12 ετών	179
A framework for organizing audio-visual cross-modal correspondences for the Soundsketcher project	181
Ακουστο-οπτική διέγερση και αισθησιοκινητικός συγχρονισμός: μια μουσική διδακτική παρέμβαση	184
Κατευθυντικότητα των ελληνικών φωνηέντων στο τραγούδι βάσει συχνότητας φωνοσυντονισμού: Μελέτη περίπτωσης κλασικού τραγουδιού και Βυζαντινής ψαλτικής	186
Χαρτογράφηση του εύρους ζώνης των φωνοσυντονισμών στο σύγχρονο φωνητικό ιδίωμα του ριζίτικου τραγουδιού	188
Εφαρμογές σοβαρών παιχνιδιών στη συλλογή και συναισθηματική επισημείωση δειγμάτων ομιλίας	190
Ο ρόλος της οπτικής επικοινωνίας στη δικτυακή μουσική εκτέλεση	191

Πέμπτη 17-10-2024

17:30-19:00	ΕΓΓΡΑΦΗ ΣΥΝΕΔΡΩΝ
	ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΙΘΟΥΣΑ
19:00-19:45	ΤΕΛΕΤΗ ΕΝΑΡΞΗΣ - ΧΑΙΡΕΤΙΣΜΟΙ
19:45-20:30	ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΟΜΙΛΙΑ "Βλέποντας" στη θάλασσα με ήχους Η Υποβρύχια Ακουστική ξανά στο προσκήνιο Μιχάλης Ταρουδάκης
20:30-21:00	ΒΡΑΒΕΥΣΗ Καθηγητή Μιχάλη Ταρουδάκη από το ΕΛΙΝΑ και την Οργανωτική Επιτροπή του συνεδρίου

Παρασκευή 18-10-2024

	ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΙΘΟΥΣΑ	
09:15-10:00	ΕΓΓΡΑΦΗ ΣΥΝΕΔΡΩΝ	
10:00-10:15	Παρουσίαση του τμήματος Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής της Σχολής Μουσικής και Οπτοακουστικών Τεχνολογιών του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου Κοσμήτορας Σχολής: Βασίλειος Δημητρίου Πρόεδρος Τμήματος: Μάξιμος Καλιακάτσος-Παπακώστας	
10:15-11:00	ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΟΜΙΛΙΑ Current challenges and directions in musical acoustics Professor Rolf Bader	
11:00-11:30	ΔΙΑΛΕΙΜΜΑ	
	ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΙΘΟΥΣΑ	ΑΙΘΟΥΣΑ Α ΟΡΟΦΟΥ
11:30-13:30	ΣΥΝΕΔΡΙΑ 1 Χ. ΔΗΜΟΥΛΑΣ, Μ. ΚΑΛΙΑΚΑΤΣΟΣ-ΠΑΠΑΚΩΣΤΑΣ Ήχος και Τεχνητή Νοημοσύνη	ΣΥΝΕΔΡΙΑ 1Α Α. ΑΝΔΡΕΟΠΟΥΛΟΥ, Α. ΤΖΕΔΑΚΗ Περιβαλλοντική Ακουστική - Ηχοτοπία
11:30-11:45	Τεχνικές βαθιάς μάθησης για την εξαγωγή ομιλητή σε περιβάλλοντα με πολλαπλούς ομιλητές Ιορδάνης Θωίδης, Γεώργιος Παπανικολάου	Επιστροφή στην Αχαράβη: Καταγραφή και ανάλυση του ηχητικού περιβάλλοντος και ηχοτοπίου μιας προστατευόμενης περιοχής Θεοφάνης Μαραγκός, Άγγελος Τσαλιγόπουλος, Νικόλαος Στεφανάκης, Ανδρέας Μνιέστρης, Αθανάσιος Επιτήδειος, Γιάννης Ματσίνος, Διονύσιος Θ. Γ. Κατερέλος
11:45-12:00	Μελέτη δικτύων Kolmogorov-Arnold για την αξιόπιστη πολυετικετική κατηγοριοποίηση μουσικών οργάνων Άγγελος Γερούλανος, Παναγιώτης Ζέρβας, Γιάννης Τζήμας	Investigating the urban soundscape of Athens through soundwalks and acoustic measurements Βίκτωρ Μαστέλα, Αρετή Ανδρεοπούλου

12:00-12:15	Exploring non-autoregressive transformers for efficient adaptive music composition Αλέξης Σπηλιωτόπουλος, Σπύρος Πολυχρονόπουλος, Ιωάννης Παναγάκης	Η εισβολή του ιδιωτικού στον δημόσιο χώρο: προβλήματα προσπέλασης και ηχοπροστασίας από την επέκταση των τραπεζοκαθισμάτων Ρίκα Δεληγιαννίδου, Μαρία Ζαρίφογλου, Βασίλης Μητσόπουλος, Βερονίκη Ηλιάδου, Νίκος Μπάρκας
12:15-12:30	Εφαρμογές αλγορίθμων γενετικής τεχνητής νοημοσύνης για την παραγωγή ηχητικού περιεχομένου στα νέα μέσα και την επικοινωνία Αλέξανδρος Εμβολιάδης, Πάρις Ξυλογιάννης, Νικόλαος Βρύζας, Λάζαρος Βρύσης, Χαράλαμπος Δημούλας	Ηχοτοπία προστατευόμενων οικοτόπων στα Λευκά όρη Χανίων Χριστίνα Γεωργάτου, Κατερίνα Τζεδάκη, Χρυσούλα Αλεξανδράκη, Παναγιώτης Νύκτας
12:30-12:45	Περιβάλλον ακουστικής προσομοίωσης χώρων για την αναζήτηση τοποθεσίας κινηματογράφησης Νικόλαος Βρύζας, Λάζαρος Βρύσης, Μαρίνα Σταματιάδου, Χαράλαμπος Δημούλας, Γεώργιος Καλλίρης, Ιωάννης Μουρτζόπουλος	Τα ηχοτοπία της Θαλάσσιας Προστατευόμενης Περιοχής της Γυάρου ως μέσο ερμηνείας περιβάλλοντος και ευαισθητοποίησης Χαρίκλεια Μινώτου, Θεοφάνης Μαραγκός, Αριστοτέλης Μαρτίνης, Αριστοτέλης Φίλιππος Σκιαδαρέσης, Σπύρος Κοτομάτας
12:45-13:00	Κατασκευή Δεδομένων για την Εκπαίδευση και Αξιολόγηση Συστημάτων Τεχνητής Νοημοσύνης στον Εντοπισμό Ηχητικών Συμβάντων Κωνσταντίνος Θεόδωρος Τσάμης, Αιμίλιος Καμπουρόπουλος, Μάξιμος Καλιακάτσος-Παπακώστας	Το Μουσικακό Ηχοτοπίο: Μια μουσική προσέγγιση στον σχεδιασμό μουσικακών εκθέσεων Τρύφωνας Γέσιος-Κρασιώτης
13:00-13:15	Soundsketcher: Γραφική απεικόνιση ηχητικών παραμέτρων βάσει διατροφικών οπτικο-ακουστικών συσχετίσεων Κωνσταντίνος Βελένης, Αστέρης Ζαχαράκης, Γεώργιος Βορδώνης, Μάξιμος Καλιακάτσος-Παπακώστας, Αιμίλιος Καμπουρόπουλος	Ηχητικά Χαϊκού: Ποιητικές απόπειρες στο ηχητικό σύμπαν του Χαϊκού Χρυσή Πανταζή
13:15-13:30	Διαδικτυακή εφαρμογή για την ανάλυση συναισθηματικής πληροφορίας Νικόλαος Βρύζας, Λάζαρος Βρύσης, Μαρίνα Σταματιάδου, Χαράλαμπος Δημούλας	Ανάλυση μεικτού ηχοτοπίου: Καστελλάκια, Ρέθυμνο Ιουλία Παναγιώτου
13:30-14:30	ΔΙΑΛΕΙΜΜΑ	
14:30-16:30	ΣΥΝΕΔΡΙΑ 2 Ι. ΜΟΥΡΤΖΟΠΟΥΛΟΣ, Γ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Ψηφιακή επεξεργασία ήχου	ΣΥΝΕΔΡΙΑ 2Α Κ. ΧΟΥΡΜΟΥΖΙΑΔΟΥ, Ρ. ΔΕΛΗΓΙΑΝΝΙΔΟΥ Περιβαλλοντική Ακουστική - Ηχοτοπία
14:30-14:45	Διερεύνηση περιφερειακών συστημάτων αναπαραγωγής και αξιολόγηση πιστότητας αναπαραγωγής εικονικού περιφερειακού ήχου Ενές Αχμέτ Κεχαγιά, Γεώργιος Καλλίρης, Χρήστος Γούσιος	Το ηχητικό περιβάλλον της φοιτητικής καθημερινότητας την περίοδο της πανδημίας Ρίκα Δεληγιαννίδου, Δωροθέα Παρίντα, Βενετίνα Τσουκαλά, Ευάγγελος Φυντάνης, Νίκος Μπάρκας
14:45-15:00	CAVEMOVE: Συλλογή ακουστικών δεδομένων για τη μελέτη τεχνολογιών φωνής μέσα σε κινούμενα οχήματα Νικόλαος Στεφανάκης, Μαρίνος Καλαϊτζάκης, Δέσποινα Παυλίδη, Αντρέας Συμιακάκης	Σφαιρική νομική πείρα από δικαστική και εξωδικαστική μεταχείριση περιπτώσιολογίας υποθέσεων ηχορρύπανσης Νίκη Τσαφούρου

15:00-15:15	Ζητήματα και προβληματισμοί στη χωρική μείξη έργων δημοφιλούς μουσικής Ιωάννης Μπαξεβάνης, Μηνάς Εμμανουήλ	Διακρίβωση μικροφώνων αναφοράς με την μέθοδο της αντιστροφής και η εφαρμογή τους στην διακρίβωση μικροφώνων ελεύθερου πεδίου Κωνσταντίνος Ζαχαρίας, Χρήστος Μπαντής
15:15-15:30	Στοχευμένη ενεργή ακύρωση θορύβου βασισμένη με μετρικές ενόχλησης Παναγιώτης Ζάχος, Γιώργος Μοιράγιας, Ιωάννης Μουρτζόπουλος	Ηχητικός σχεδιασμός ακουστικού χάρτη σε χώρους πολιτιστικής κληρονομιάς Ηλίας Σταμπουλής, Καλλιόπη Χουρμουζιάδου
15:30-15:45	Περιορισμός της επίδρασης της διαδικασίας ηχογράφησης των αμφιωτικών χωρικών φίλτρων (HRTF) με χρήση μεθόδων μεταεπεξεργασίας και μείωσης διαστάσεων Κωνσταντίνος Μπακογιάννης, Αρετή Ανδρεοπούλου	AudioScout: Συλλογή ηχητικών δεδομένων στο πεδίο Ενές Αχμέτ Κεχαγιά, Λάζαρος Βρύσης, Χρήστος Γούσιος
15:45-16:00	Αξιολόγηση υποκειμενικής προτίμησης σε ισοσταθμισμένα ακουστικά κεφαλής Παναγιώτης Ζάχος, Γιώργος Μοιράγιας, Αναστάσιος Μπέλεσης, Ιωάννης Μουρτζόπουλος	Η εξέλιξη του ήχου στο θέατρο: Από την ακουστική του θεάτρου και το ραδιόφωνο στις ψηφιακές καινοτομίες και το headphone theater Έλενα Ιγνατιάδου, Χρήστος Γούσιος
16:00-16:15	Ανάπτυξη ηχητικού συστήματος ακυρωτικής παρεμβολής μεταξύ καναλιών σε ανακλαστικό χώρο Αλμπέρτο Ερσπάμερ, Χρήστος Γιακόπουλος, Ιωάννης Αντωνιάδης	Ηχητική αποτύπωση μαγνητικών καταιγίδων με στοχαστικές τεχνικές σύνθεσης Χριστίνα Γεωργίου, Αρετή Ανδρεοπούλου, Φιόρη-Αναστασία Μεταλληνού, Τηλέμαχος Μούσσας, Αναστασία Γεωργάκη
16:15-16:30	Ανάκτηση Ψηφιακών Ηχητικών Αρχείων “.wav” στην Ψηφιακή Δικανική Επιστήμη του Ήχου Χρήστος Καντούτσης	Πρώιμες ενδείξεις ηχητικής χωρικότητας στην αρχαιοελληνική τραγωδία και κωμωδία Στέφανος Ζάγκος, Αρετή Ανδρεοπούλου
16:30-17:00	ΔΙΑΛΕΙΜΜΑ	
17:00-18:30	ΣΥΝΕΔΡΙΑ 3 Β. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ, Ε. ΚΑΣΕΛΟΥΡΗΣ Θόρυβος-Δονήσεις	ΣΥΝΕΔΡΙΑ 3Α Μ. ΤΑΡΟΥΔΑΚΗΣ, Σ. ΚΟΥΖΟΥΠΗΣ Υποβρύχια ακουστική
17:00-17:30	ΠΡΟΣΚΕΚΛΗΜΕΝΗ ΟΜΙΛΙΑ Πειραματική αξιολόγηση συστήματος ενεργητικής ακύρωσης θορύβου για χαμηλόσυχνες ακουστικές διαταραχές Δημήτριος Μυλωνάς, Χρήστος Γιακόπουλος, Ιωάννης Αντωνιάδης	ΠΡΟΣΚΕΚΛΗΜΕΝΗ ΟΜΙΛΙΑ Αξιοποίηση ακουστικών μεταδόσεων στον Αρκτικό Ωκεανό για ανάκτηση μεταβολών του μέσου Εμμανουήλ Σκαρσουλής, Γεώργιος Πιπεράκης
17:30-17:45	Εφαρμογή συστήματος ενεργού ελέγχου θορύβου σε βιομηχανικό χειριστήριο ελέγχου Σπυρίδων Μουζακίτης, Γεώργιος Χαραλαμπίδης	Εφαρμογή των συνελκτικών νευρωνικών δικτύων σε αντίστροφα προβλήματα θαλάσσιας ακουστικής Βασίλειος Τζιράκης, Κωνσταντίνος Σμαραγδάκης, Μιχαήλ Ταρουδάκης
17:45-18:00	Περιπτωσιολογική μελέτη (case study) εντοπισμού ηχοδιαφυγών με ακουστική απεικόνιση Θεόδωρος Αργουδέλης, Αντώνιος Αργουδέλης, Νικόλαος Αργουδέλης	Υποβρύχια ακουστικές παρατηρήσεις στο Στενό των Κυθήρων Εμμανουήλ Σκαρσουλής, Γεώργιος Πιπεράκης, Παναγιώτης Παπαδάκης, Εμμανουήλ Ορφανάκης

18:00-18:15	Διερεύνηση δονητικής συμπεριφοράς παραδοσιακού ξύλινου και εκτυπωμένου τζουρά Μάρκος Κατσίπης, Ορέστης Μιχαηλίδης, Αθανάσιος Σκουτέλης, Γεώργιος Σκουτέλης, Σπύρος Μπρέζας, Ιωάννης Ορφανός, Νεκτάριος Παπαδογιάννης, Μάκης Μπακαρέζος, Βασίλειος Δημητρίου, Ευάγγελος Κασελούρης	Παραγωγή ήχων από το λεοντόψαρο (Pterois miles), επίδραση του μεγέθους και του φύλου Χρύσα Δόξα, Σπυρίδων Κουζούπης, Παναγιώτης Παπαδάκης, Νίκος Μιτριζάκης, Μαρουδιώ Κεντούρη, Μιχαήλ Παυλίδης
18:15-18:30	Πειραματική έρευνα για την εφαρμογή του συστήματος σκίασης τύπου ακουστικών περσίδων για την μείωση του θορύβου στην πρόσοψη γραφειακού κτιρίου Παναγιώτα Καβάζη	ΣΥΝΕΔΡΙΑ 3B Ελληνική εκπροσώπηση στην Audio Engineering Society (AES Greek Chapter)
18:30-19:00	ΔΙΑΛΕΙΜΜΑ	
19:00-20:30	ΜΟΥΣΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΜΕΛΗ ΚΑΙ ΦΙΛΟΥΣ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ	
21:00	ΔΕΙΠΝΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ	

Σάββατο 19-10-2024

	ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΙΘΟΥΣΑ	ΑΙΘΟΥΣΑ Α ΟΡΟΦΟΥ
09:00-11:00	ΣΥΝΕΔΡΙΑ 4 Δ. ΚΑΤΕΡΕΛΟΣ, Σ. ΠΟΛΥΧΡΟΝΟΠΟΥΛΟΣ Μουσική Ακουστική	ΣΥΝΕΔΡΙΑ 4A Γ. ΚΑΛΛΙΡΗΣ, Π. ΚΑΡΑΜΠΑΤΖΑΚΗΣ Κτηριακή-Αρχιτεκτονική Ακουστική
09:00-09:15	Ξύλο ή μέταλλο; Επίδραση του υλικού στο ηχόχρωμα των φλάουτων Διονύσιος Θ. Γ. Κατερέλος	Μορφές και λειτουργίες στους αθηναϊκούς θεατρικούς χώρους της σύγχρονης εποχής Νίκος Μπάρκας
09:15-09:30	Automatic guitar string detection based on the inharmonicity coefficient Αλέξανδρος Ηλιάδης, Χρυσούλα Αλεξανδράκη	Διερεύνηση των ακουστικών χαρακτηριστικών του Ιερού Ναού Παναγίας Καπνικαρέας Γεώργιος Γουβιανάκης, Ασπασία Κόκκαλη, Πηνελόπη-Μαρία Πιερρουτσάκου, Αρετή Ανδρεοπούλου
09:30-09:45	Δονητική ανάλυση κυμβάλων και καπακιών τζουρά Σπύρος Μπρέζας, Δέσποινα Γρηγορίου, Ευάγγελος Κασελούρης, Ελένη Παπαδάκη, Ιωάννης Ορφανός, Μάκης Μπακαρέζος, Νεκτάριος Παπαδογιάννης, Βασίλειος Δημητρίου	Ακουστική & ηλεκτροακουστική αναβάθμιση αμφιθεάτρου Α, Ιατρικής σχολής Α.Π.Θ. Κωνσταντίνος Μπαξεβάνης, Μιχάλης Καλλίρης, Γεώργιος Καλλίρης
09:45-10:00	Μελέτες για την ηχητική κάλυψη των μεγάλων παρελάσεων του καρναβαλιού για την Πάτρα και την Ξάνθη Κωνσταντίνος Μπαξεβάνης, Γαβριήλ Καμάρης	Διερεύνηση των ακουστικών συνθηκών στον χώρο της Εκκλησίας του Δήμου, στην αρχαία Πνύκα στην Αθήνα, ανάλογα με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες Παναγιώτης Καραμπατζάκης
10:00-10:15	Exploratory analysis of sound datasets in musical acoustics: the case of drumheads Μιχάλης Σταράκης, Χρυσούλα Αλεξανδράκη, Rolf Bader, Μάξιμος Καλιακάτσος-Παπακώστας	Ακουστική μελέτη και βελτίωση studio ηχογραφήσεων και μουσικής εξάσκησης Ιωάννης Αράγκουλες, Γεώργιος Καλλίρης

10:15-10:30	Beam auralization in the time domain using the finite element method Σπυρίδων Κουζούπης, Χρήστος Παναγιωτόπουλος, Άγγελος Κόντος-Πανταζής	Ακουστική άνεση σε χώρους ευεξίας: Η συμβολή της στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και ανάπλαση των Λουτρών Λαγκαδά Αθηνά Μιγδάνη, Μελίνα Μαρκοπούλου, Καλλιόπη Χουρμουζιάδου
10:30-10:45	Συστηματική μελέτη των σφαιρικών κατευθυντικών ιδιοτήτων του λαούτου, της λάφτας και του ουτιού Ιωάννης Μαλαφής, Κωνσταντίνος Μπακογιάννης, Αρετή Ανδρεοπούλου	The role of the acoustic consultant in the correct integration of sustainability systems during the architectural design process Ιωάννης Τιμαγένης, Θεόδωρος Τιμαγένης, Αλεξάνδρα Τιμαγένη, Δημήτρης Τιμαγένης
10:45-11:00	Αναγνώριση κατασκευαστικών χαρακτηριστικών και εξαγωγή μουσικής πληροφορίας από ηχογραφήσεις μπεντίρ Νικόλαος Βρύζας, Βασίλειος Μπουντουράκης, Αντώνιος Παγώνης	Ακουστικός σχεδιασμός, ακουστική προσομοίωση, πρότυπες μετρήσεις και ανάλυση της ακουστικής της νέας συνεδριακής αίθουσας Περιφέρειας Θεσσαλονίκης Γεώργιος Α. Χατζηγεωργίου
11:00-11:30	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΛΑΤΙΝΙΝΙΟΥ ΧΟΡΗΓΟΥ ΤΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ 2024	
11:30-12:00	ΔΙΑΛΕΙΜΜΑ	

12:00-14:15	ΣΥΝΕΔΡΙΑ 5 Ν. ΠΑΠΑΔΟΓΙΑΝΝΗΣ, Ι. ΟΡΦΑΝΟΣ Φυσική Ακουστική	ΣΥΝΕΔΡΙΑ 5Α Ν. ΜΠΑΡΚΑΣ, Ν. ΣΤΕΦΑΝΑΚΗΣ Κτηριακή-αρχιτεκτονική ακουστική
12:00-12:30	ΠΡΟΣΚΕΚΛΗΜΕΝΗ ΟΜΙΛΙΑ Χαρακτηρισμός ακουστικών μεταυλικών με χρήση πηγών ήχου πλάσματος λέιζερ Κωνσταντίνος Καλέρης, Εμμανουήλ Κανιολάκης Καλούδης, Νικόλαος Αραβαντινός – Ζαφείρης, Διονύσιος Θ. Γ. Κατερέλος, Βασίλειος Δημητρίου, Μάκης Μπακαρέζος, Μιχαήλ Ταταράκης, Ιωάννης Μουρτζόπουλος, Μιχάλης Σιγάλας, Νεκτάριος Παπαδογιάννης	ΠΡΟΣΚΕΚΛΗΜΕΝΗ ΟΜΙΛΙΑ Προβλήματα αποκατάστασης & ηχοπροστασίας στα αρχαία θέατρα της Δ. Ελλάδας & της Ηπείρου Νίκος Μπάρκας
12:30-12:45	Πυρηνική φυσική με ακουστικά κύματα: Καινοτόμοι κρυσταλλικοί ακουστικοί κυματιστές για παραγωγή ακτίνων-γ στενού φάσματος Κωνσταντίνος Καλέρης, Ευάγγελος Κασελούρης, Εμμανουήλ Κανιολάκης Καλούδης, Ελένη Παπαδάκη, Μάκης Μπακαρέζος, Βασίλειος Δημητρίου, Μιχαήλ Ταταράκης, Νεκτάριος Παπαδογιάννης	Μελέτη ακουστικής αναβάθμισης στο νεοκλασικό κτήριο του Δημοτικού Ωδείου Βόλου Αναστάσιος Κουκούλης, Γεώργιος Καλλίρης, Ιωάννης Μουρτζόπουλος
12:45-13:00	Υπολογιστική μελέτη απόκρισης συντονιστών σωλήνα σε διέγερση N-παλμού από πηγή ήχου πλάσματος λέιζερ Δημήτρης Κούγιας, Κωνσταντίνος Καλέρης, Νεκτάριος Παπαδογιάννης, Ιωάννης Μουρτζόπουλος	Μια υπολογιστική πλατφόρμα για τη μελέτη και βελτιστοποίηση των παραμέτρων της ηλεκτρακουστικής εγκατάστασης σε μεγάλους κλειστούς χώρους Νικόλαος Στεφανάκης, Λουκάς Λαμπούδης

13:00-13:15	Υπολογιστική μελέτη της παραγωγής και διάδοσης υπερήχων σε στερεούς στόχους πυριτίου υπό την επίδραση παλμών laser Ελένη Παπαδάκη, Εμμανουήλ Κανιολάκης Καλούδης, Κωνσταντίνος Καλέρης, Βασίλειος Σαμολαδάς, Μάκης Μπακαρέζος, Μιχαήλ Ταταράκης, Νεκτάριος Παπαδογιάννης, Ευάγγελος Κασελούρης, Βασίλειος Δημητρίου	Μη τυποποιημένες ακουστικές μετρήσεις για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και την δημιουργία ατμόσφαιρας Πέτρος Φλαμπούρης, Nicola Remy
13:15-13:30	Προσεγγιστική λύση για τον υπολογισμό του ακουστικού πεδίου περίθλασης γύρω από απορροφητική σφήνα Πηνελόπη Μενούνου, Ελευθέριος Παναγόπουλος, Πέτρος Νικολάου	Ακουστική μελέτη και προσομοίωση του Ωδείου του Ηρώδη του Αττικού Ελένη Ταβελίδου, Christopher Barlow
13:30-13:45	Νέα αναλυτική λύση για τον υπολογισμό του ακουστικού πεδίου περίθλασης γύρω από ακουστικά σκληρή σφήνα στο πεδίο του χρόνου και στο πεδίο των συχνοτήτων Πέτρος Νικολάου, Αναστασία Μαρκέτου, Σωτήρης Σαλάγας, Πηνελόπη Μενούνου	Κυκλική διεργαστηριακή μέτρηση δείκτη ηχομείωσης R_w Βασίλειος Βασιλειάδης. Παναγιώτης Καραμπατζάκης
13:45-14:00	Εισαγωγή κινησιολογικών δεδομένων αλληλεπίδρασης μουσικού – μπαγκέτας – κυμβάλου σε FEM-BEM μοντέλα δονητικής και ακουστικής απόκρισης Στέλλα Πασχαλίδου, Κωνσταντίνος Θεόδωρος Τσάμης, Χρυσούλα Αλεξανδράκη, Ευάγγελος Κασελούρης, Βασίλειος Δημητρίου	Εφαρμογές προσαρμοζόμενης ακουστικής σε αίθουσα πολλαπλών χρήσεων σχολικού συγκροτήματος στον Βόλο Κωνσταντίνος Αμυγδαλίτης, Γεώργιος Καλλίρης
14:00-14:15	Ημι-εμπειρικές σχέσεις για τον υπολογισμό του ακουστικού πεδίου περίθλασης γύρω από σφήνες Πηνελόπη Μενούνου, Σωτήρης Σαλάγας, Πέτρος Νικολάου	Ανάλυση και μοντελοποίηση παν-κατευθυντικής πηγής ήχου Δημήτριος Καπράλος, Χρήστος Σεβαστιάδης, Γεώργιος Παπανικολάου
14:15-15:30	ΔΙΑΛΕΙΜΜΑ	
15:30-17:30	ΣΥΝΕΔΡΙΑ 6 Π. ΜΕΝΟΥΝΟΥ, Σ. ΠΑΣΧΑΛΙΔΟΥ Γενική Ακουστική - Ακουστικές μετρήσεις και όργανα	ΣΥΝΕΔΡΙΑ 6Α Α. ΚΑΜΠΟΥΡΟΠΟΥΛΟΣ, Χ. ΑΛΕΞΑΝΔΡΑΚΗ Εκπαίδευση και Ακουστική - Ομιλία, λόγος
15:30-15:45	Χαρακτηρισμός και έλεγχος υπερ-υψίσυχων τρεχόντων ακουστικών κυμάτων σε κρυσταλλικά στερεά με την χρήση ταχείας φασικής απεικόνισης με ns λέιζερ Εμμανουήλ Κανιολάκης Καλούδης, Κωνσταντίνος Καλέρης, Ευάγγελος Κασελούρης, Ιωάννης Ορφανός, Μάκης Μπακαρέζος, Βασίλειος Δημητρίου, Μιχαήλ Ταταράκης, Νεκτάριος Παπαδογιάννης	Η χρήση οπτικοακουστικών διαδραστικών αφηγήσεων και δραστηριοτήτων ως μέσο ηχητικής ευαισθητοποίησης παιδιών 9-12 ετών Κωνσταντίνα Σταυροπούλου, Μηνάς Εμμανουήλ
15:45-16:00	Προσομοίωση ακουστικής απόκρισης χώρου για αυθαίρετη επιλογή θέσης δέκτη-πηγής Ρήγας Κωτσάκης, Χρήστος Σεβαστιάδης, Νικόλαος Βρύζας, Λάζαρος Βρύσης, Χαράλαμπος Δημούλας, Γεώργιος Καλλίρης	A framework for organising audio-visual cross-modal correspondences for the Soundsketcher project Κωνσταντίνος Γιαννός, Αστέριος Ζαχαράκης, Γεώργιος Αθανασόπουλος, Αιμίλιος Καμπουρόπουλος

16:00-16:15	Inverse characterization of sound absorbing media using one dimensional analytical Biot's poroelasticity theory solutions Χρήστος Παναγιωτόπουλος, Luis Sanchez-Ricart	Ακουστο-απτική διέγερση και αισθησιοκινητικός συγχρονισμός: μία μουσική διδακτική παρέμβαση Μάρθα Παπαδογιάννη Κουράντη, Κωνσταντίνος Μπακογιάννης, Χριστίνα Αναγνωστοπούλου, Αρετή Ανδρεοπούλου
16:15-16:30	Ανάπτυξη μοντέλου πρόλεξης της κυματομορφής κρότου υπερηχητικού αεροσκάφους στο έδαφος με είσοδο τις συνθήκες πτήσης Πέτρος Νικολάου, Πηνελόπη Μενούνου	Κατευθυντικότητα των ελληνικών φωνηέντων στο τραγούδι βάσει συχνοτήτων φωνοσυντονισμού: Μελέτη περίπτωσης κλασικού τραγουδιού και Βυζαντινής ψαλτικής Γιώργος Δεδούσης, Κωνσταντίνος Μπακογιάννης, Αναστασία Γεωργάκη, Αρετή Ανδρεοπούλου
16:30-16:45	Ταυτοποίηση πλαστικής παραμόρφωσης, σχηματισμού ρωγμών και εξέλιξης αστοχίας σε χάλυβα με την μέθοδο της Ακουστικής Εκπομπής Νικόλαος Αγγελόπουλος, Θεοχάρης Τσένης, Βασίλης Καππάτος	Χαρτογράφηση του εύρους ζώνης των φωνοσυντονισμών στο σύγχρονο φωνητικό ιδίωμα του ριζιτικού τραγουδιού Σπύρος Καλοζάκης, Αρετή Ανδρεοπούλου, Αναστασία Γεωργάκη
16:45-17:00	Μελέτη ηχηρότητας υπερηχητικού κρότου (sonic boom) στο έδαφος και σε αστικό περιβάλλον Πέτρος Νικολάου, Πηνελόπη Μενούνου	Εφαρμογές σοβαρών παιχνιδιών στη συλλογή και συναισθηματική επισημείωση δειγμάτων ομιλίας Λάζαρος Ματσουλιάδης, Λουκάς Χαδέλλης, Χαράλαμπος Δημούλας
17:00-17:15	Ανίχνευση συμβάντων ακουστικής εκπομπής σε μεταλλικές πύλες δεξαμενών ανύψωσης σε ποτάμια Θεοχάρης Τσένης, Νικόλαος Αγγελόπουλος, Βασίλης Καππάτος	Ο ρόλος της οπτικής επικοινωνίας στη δικτυακή μουσική εκτέλεση Κωνσταντίνος Τσιούτας, Κωνσταντίνος Θεόδωρος Τσάμης, Χρυσούλα Αλεξανδράκη
17:15-17:30	Remote microphone virtual sensing with multi-microphone configurations Αχιλλέας Κάππης, Jordan Cheer, Jihui (Aimee) Zhang	
17:30-17:45	ΛΗΞΗ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ	
17:45-20:15	ΓΕΝΙΚΗ ΣΥΝΕΛΕΥΣΗ-ΕΚΛΟΓΕΣ ΕΛΙΝΑ	

Στο Συνέδριο θα συμμετέχουν οι ακόλουθοι χορηγοί

**ΠΛΑΤΙΝΕΝΙΟΣ
GROUPSCIENCE
ΧΡΥΣΟΙ
ALPHA ACOUSTIKI
MoT Panels
SAINT-GOBAIN
SEALED AIR**

και ο ακόλουθος εκθέτης
eaGROUP

"Βλέποντας" στη θάλασσα με ήχους. Η υποβρύχια ακουστική ξανά στο προσκήνιο

Μιχάλης Ταρουδάκης
Καθηγητής Πανεπιστημίου Κρήτης - Συνεργαζόμενο μέλος ΔΕΠ με το
Ινστιτούτο Υπολογιστικών Μαθηματικών του ΙΤΕ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το θαλάσσιο περιβάλλον αποτελεί ένα τεράστιο τμήμα της γήινης σφαίρας και αποτελεί σημαντικό παράγοντα καθορισμού της ποιότητας του οικοσυστήματός μας. Είναι αδιαπέραστο πρακτικά σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα τα οποία εξασθενούν πολύ γρήγορα στο νερό και δεν μπορούν να αποτελέσουν μέσο μετάδοσης οποιασδήποτε υποθαλάσσιας πληροφορίας. Για το λόγο αυτό, πολλά θαλάσσια έμβια ήδη, με κύριο εκπρόσωπό τους τα θαλάσσια θηλαστικά, έχουν ουσιαστικά αντικαταστήσει την τοπική όραση με την ακοή. Έτσι «βλέπουν» το θαλάσσιο περιβάλλον με ήχους. Με ήχους βρίσκουν την τροφή τους, τους συντρόφους τους, επικοινωνούν μεταξύ τους και αποφεύγουν κινδύνους. Πήρε πολλά χρόνια στους ανθρώπους να αντιληφθούν τη σημασία του ήχου για την αναγνώριση του θαλάσσιου περιβάλλοντος και όταν το συνειδητοποιήσαν άρχισαν πρακτικά να μιμούνται τα θαλάσσια θηλαστικά χρησιμοποιώντας τους ήχους σε μια σειρά εφαρμογών. Έτσι ξεκίνησε η περιοχή της Υποβρύχιας Ακουστικής ως ξεχωριστή αλλά ιδιαίτερα ελκυστική επιστημονική περιοχή της ακουστικής και οι ερευνητές συνειδητοποίησαν ότι αποτελεί μια πολύ σημαντική περιοχή εφαρμογών σύζευξης της μαθηματικής μοντελοποίησης με τη σύγχρονη τεχνολογία, προκειμένου και ο άνθρωπος να αποκτήσει «μάτια» στη θάλασσα. Στην παρουσίαση θα γίνει μια συνοπτική ιστορική αναδρομή της επιστημονικής περιοχής της Υποβρύχιας Ακουστικής, θα αναφερθούν σύγχρονες εφαρμογές με τα απαραίτητα εργαλεία (θεωρητικά και τεχνολογικά) για την αντιμετώπισή της καθώς και στοιχεία από τις περιβαλλοντικές προκλήσεις του σήμερα που φέρνουν την υποβρύχια ακουστική ξανά στην πρώτη γραμμή ενδιαφέροντος.

Current Challenges and Directions in Musical Acoustics

Rolf Bader
Professor University of Hamburg

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

In recent years, Musical Acoustics has made dramatic advances in physical modeling techniques using Ultrascale Computing methods, such as Graphic Processing Units (GPU) or Field Programmable Gate Arrays (FPGA). These methods allow solving differential equations, including highly nonlinear frequency-dependent viscoelastic damping, pointing to internal damping as maybe even more important than eigenmodes for the sound character of musical instruments. Very recent suggestions for adding Acoustic Metamaterials to musical instruments not only enlarge sonic possibilities but also create sounds that are impossible to produce with conventional musical instruments. Furthermore, contemporary machine learning methodologies, using psychoacoustic features of timbre perception, addressing the inverse acoustic problem is within reach. Such methodologies will allow estimating how to build a musical instrument starting from sound idle. These advances are accompanied by new nonlinear dynamical models of musical instruments able to predict dynamical processes with much higher precision than linear models. All these recent developments are about to elevate musical instrument crafting to another the level of customer sound-designed instruments with precise spectral and transient properties and sounds, which are impossible to realize with conventional mechanical musical instruments.

**Το Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής της
Σχολής Μουσικής και Οπτοακουστικών Τεχνολογιών του
Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου**

Μάξιμος Καλιακάτσος-Παπακώστας¹, Βασίλης Δημητρίου^{1,*}
Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής, Ελληνικό Μεσογειακό
Πανεπιστήμιο, Ε. Δασκαλάκη Περιβόλια, 74133, Ρέθυμνο
*dimvasi@hmu.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής της Σχολής Μουσικής και Οπτοακουστικών Τεχνολογιών του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου παρέχει ένα μοναδικό πρόγραμμα τριτοβάθμιας εκπαίδευσης στην Ελλάδα, αντιμετωπίζοντας την αυξανόμενη ζήτηση για ειδικούς στη μουσική τεχνολογία, την τεχνολογία του ήχου και την ακουστική. Αποσκοπεί στην άρτια εκπαίδευση εξειδικευμένων επαγγελματιών, σε ακμάζοντα επιστημονικά πεδία της μουσικής τεχνολογίας και της ακουστικής, παράλληλα με τη ραγδαία πρόοδο των ηλεκτρονικών τεχνολογιών, εισάγοντας καινοτόμες προσεγγίσεις και επιστημονικές μεθόδους.

Το Τμήμα συνδυάζει την τέχνη, την επιστήμη και την τεχνολογία, εστιάζοντας στην ηχογράφηση, την ανάλυση, τη σύνθεση και την παραγωγή μουσικής. Η μουσική τεχνολογία περιλαμβάνει πεδία αιχμής όπως τεχνητή νοημοσύνη στη μουσική, ήχος και δίκτυα υπολογιστών και ηχοτοπία. Η ακουστική αναφέρεται στις θεμελιώδεις πτυχές του ήχου, στη δημιουργία του και τη διάδοσή του. Περιλαμβάνει ερευνητικά πεδία όπως η φυσική ακουστική, η οπτοακουστική, η υπολογιστική και η δονητική ακουστική.

Παρουσιάζονται οι εκπαιδευτικές και ερευνητικές υποδομές της Σχολής και του Τμήματος καθώς και οι κύριες ερευνητικές δραστηριότητες των μελών του, καινοτόμες μεθοδολογίες και αντιπροσωπευτικά επιστημονικά αποτελέσματα.

Τεχνικές βαθιάς μάθησης για την εξαγωγή ομιλητή σε περιβάλλοντα με πολλαπλούς ομιλητές

Ιορδάνης Θωΐδης^{1,*}, Γεώργιος Παπανικολάου¹

¹Εργαστήριο Ηλεκτροακουστικής και Τηλεοπτικών Συστημάτων, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 54124, Ελλάδα.

*ithoidis@auth.gr (υπεύθυνου)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κατανόηση της ομιλίας σε περιβάλλοντα με θόρυβο, ειδικά σε περιβάλλοντα με πολλαπλούς ομιλητές αποτελεί μια απαιτητική διαδικασία, τόσο για τα άτομα με απώλεια ακοής, όσο και για άτομα με φυσιολογική ακοή. Παρά τη συνεχή βελτίωσή τους, οι ακουστικές συσκευές και οι μέθοδοι επεξεργασίας ομιλίας δεν είναι ακόμη αρκετά αποτελεσματικές σε τέτοιες συνθήκες, καθώς αποτυγχάνουν να αποκαταστήσουν την καταληπτότητα του επιθυμητού ομιλητή μέσα από ανταγωνιστικούς ήχους.

Στην παρούσα εργασία, προτείνουμε έναν αλγόριθμο που μπορεί να ενισχύσει την ομιλία από έναν ομιλητή-στόχο σε ενθόρυβα περιβάλλοντα με πολλούς ομιλητές, δεδομένης μιας σύντομης φωνητικής εγγραφής από τον ομιλητή-στόχο. Η προτεινόμενη μέθοδος βασίζεται σε μια αρχιτεκτονική βαθιάς μάθησης διπλής διαδρομής για την ενίσχυση και τον διαχωρισμό της ομιλίας. Το πρώτο ερευνητικό ερώτημα που εξετάζεται στην παρούσα μελέτη είναι το αν ένας ενιαίος αλγόριθμος που βασίζεται σε τεχνικές βαθιάς μάθησης για την εξαγωγή ομιλητή γενικεύει αποτελεσματικά σε διάφορες συνθήκες ακρόασης, συμπεριλαμβανομένων των περιπτώσεων με θόρυβο υποβάθρου και πολλαπλούς ομιλητές. Για να εξεταστεί αυτό, πραγματοποιήθηκε μια εκτενής αξιολόγηση χρησιμοποιώντας αντικειμενικές μετρικές, συγκρίνοντας την επίδοση του προτεινόμενου αλγορίθμου έναντι ενός μοντέλου αντίστοιχης αρχιτεκτονικής που όμως δεν αξιοποιεί την πληροφορία του ομιλητή-στόχου. Η αξιολόγηση κάλυψε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών, συμπεριλαμβανομένων των διαφορετικών ομιλητών, των μεταβολών στον αριθμό των ομιλητών, των συλλογών δεδομένων ομιλίας, των επιπέδων ομιλητή και θορύβου, και μια νέα γλώσσα (ελληνική) που δεν περιλαμβάνονταν στο σύνολο εκπαίδευσης, παρέχοντας μια λεπτομερή ανάλυση της αποτελεσματικότητας και της ευρωστίας του μοντέλου.

Το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα αφορά στο κατά πόσο ο αλγόριθμος εξαγωγής ομιλητή μπορεί να βελτιώσει την αντίληψη της ομιλίας σε ενθόρυβα περιβάλλοντα με πολλαπλούς ομιλητές και αν παρέχει πλεονεκτήματα σε σχέση με προσεγγίσεις ενίσχυσης ομιλίας που δεν διαθέτουν την πληροφορία του ομιλητή-στόχου. Διεξήγαμε μια δοκιμασία αναγνώρισης προτάσεων με φυσιολογικούς ακροατές και ακροατές με απώλεια ακοής που περιελάμβανε δείγματα ομιλίας σε ρεαλιστικό θόρυβο περιβάλλοντος εστιατορίου, τόσο χωρίς όσο και με την παρουσία ενός και δύο ανταγωνιστικών ομιλητών.

Ο αλγόριθμος εξαγωγής ομιλητή απέδειξε την αποτελεσματικότητα του χειριζόμενος με επιτυχία ποικίλες διαφορές επιπέδων μεταξύ του ομιλητή-στόχου και των ανταγωνιστικών ομιλητών, ακόμη και όταν το επίπεδο του ομιλητή-στόχου ήταν έως και 6 dB χαμηλότερο. Στην υποκειμενική αξιολόγηση σημειώθηκαν βελτιώσεις στην καταληπτότητα της ομιλίας σε θόρυβο εστιατορίου κατά 17% για τους ακροατές με φυσιολογική ακοή και 31% για τους ακροατές με απώλεια ακοής. Η προτεινόμενη μέθοδος ξεπέρασε την προσέγγιση που δεν έχει την πληροφορία του ομιλητή σε καταστάσεις πολλαπλών ομιλητών και παρείχε σημαντικές βελτιώσεις στην καταληπτότητα της ομιλίας. Ο αλγόριθμος δεν περιόρισε σημαντικά την επίδοση σε περιπτώσεις ενός ομιλητή. Τα αποτελέσματα παρουσίασαν ισχυρές δυνατότητες γενίκευσης και ισχυρή επίδοση σε ποικίλες συνθήκες που συναντώνται συνήθως στον πραγματικό κόσμο.

Τα ευρήματά μας έδειξαν ότι με τη χρήση ένθετων διανυσμάτων ομιλητή, είναι εφικτή η βελτίωση της καταληπτότητας της ομιλίας σε ενθόρυβα περιβάλλοντα με πολλαπλούς ομιλητές, στα οποία τυπικές μέθοδοι ενίσχυσης της ομιλίας με τη χρήση βαθιάς μάθησης αποβαίνουν αναποτελεσματικές. Μέσα από τη διεξαγωγή περαιτέρω έρευνας και ανάπτυξής τους, οι αλγόριθμοι εξαγωγής ομιλητή υπόσχονται τη βελτίωση της καταληπτότητας της ομιλίας σε σύνθετα και απαιτητικά ηχητικά περιβάλλοντα.

Μελέτη δικτύων Kolmogorov-Arnold για την αξιόπιστη πολυετικετική κατηγοριοποίηση μουσικών οργάνων

Άγγελος Γερούλανος*, Παναγιώτης Ζέρβας, Γιάννης Τζήμας
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών,
Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου
*aggelosger@gmail.com (υπεύθυνου)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός

Με την αυξανόμενη διαθεσιμότητα ψηφιακών αρχείων ήχου, η ανάγκη για προηγμένες μεθόδους αυτόματης κατηγοριοποίησης μουσικών οργάνων γίνεται πιο επιτακτική. Η ακριβής αναγνώριση των οργάνων σε πολυφωνικές ηχογραφήσεις αποτελεί δύσκολο εγχείρημα, καθώς τα μουσικά όργανα έχουν επικαλυπτόμενα φασματικά και χρονικά χαρακτηριστικά. Κάθε ηχητικό δείγμα μπορεί να αντιστοιχεί σε πολλές ετικέτες οργάνων, γεγονός που προσθέτει πολυπλοκότητα στην ταξινόμηση, η οποία είναι υπερβολική για τους συμβατικούς ταξινομητές, κάνοντας αναγκαία την ανάπτυξη πιο προηγμένων τεχνικών. Η ικανότητα των CNNs να εξάγουν χαρακτηριστικά υψηλού επιπέδου από ανεπεξέργαστα ηχητικά δεδομένα και να τα μετατρέπουν σε αναπαραστάσεις κατάλληλες για ταξινόμηση έχει οδηγήσει στην ευρεία υιοθέτησή τους. Ωστόσο, για την τελική ταξινόμηση, τα μοντέλα αυτά βασίζονται συνήθως σε πλήρως συνδεδεμένα επίπεδα, που μπορεί να μην αντικατοπτρίζουν επαρκώς τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών. Μια αξιοποιήσιμη εναλλακτική λύση είναι τα δίκτυα Kolmogorov-Arnold (KAN), που προσεγγίζουν πολυμεταβλητές συνεχείς συναρτήσεις. Η παρούσα μελέτη παρουσιάζει ένα πλαίσιο ταξινόμησης πολλαπλών οργάνων που χρησιμοποιεί KAN για την ταξινόμηση και συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (CNN) για την εξαγωγή χαρακτηριστικών.

Μεθοδολογία

Το CNN εξάγει διακριτά χαρακτηριστικά από φασματογραφήματα κλίμακας Μελ, που αναπαριστούν τα ηχοχρωματικά γνωρίσματα των οργάνων. Χρησιμοποιούμε τον σκελετό του CNN14 από τη συλλογή PANNs (Pretrained Audio Neural Networks), χωρίς προ-εκπαίδευση. Η αρχιτεκτονική του περιλαμβάνει 6 convolutional blocks, καθένα με κανονικοποίηση ομάδας (batch normalization), η συνάρτηση ενεργοποίησης διορθωμένης γραμμικής μονάδας ReLU, η μέθοδος μέσης συγκέντρωσης (average pooling), και απόσυρση (dropout) για αποφυγή υπερπροσαρμογής. Μέσω επιπέδου μέγιστης συγκέντρωσης (global pooling) οι έξοδοι συνενώνονται για να τροφοδοτήσουν το KAN, που αντικαθιστά το κλασικό MLP.

Το KAN είναι ένας νέος, αποτελεσματικός ταξινομητής που βασίζεται στο θεώρημα αναπαράστασης Kolmogorov-Arnold και προσεγγίζει πολυμεταβλητές συνεχείς συναρτήσεις. Για την καλύτερη αντιστοιχία μεταξύ των εξαγόμενων χαρακτηριστικών

και των πολλαπλών ετικετών οργάνων, προσαρμόζουμε την αρχιτεκτονική και τις υπερ-παραμέτρους του (π.χ. *grid size*, *spline order*, *noise scale*, *base and spline scaling*, *activation function (SiLU)*, *grid epsilon*, και *grid range*) ώστε το KAN να ενσωματώνεται στο CNN14.

Δημιουργήσαμε το σετ δεδομένων χρησιμοποιώντας δημόσια διαθέσιμα δείγματα (700 /όργανο) σόλο πιάνου, ηλεκτρικής κιθάρας, βιολιού και ντραμς. Η επιλογή έγινε λόγω πληθώρας δειγμάτων και της έλλειψης ανάλογων ισορροπημένων πολυοργανικών σετ. Η μίξη τους με τεχνικές όπως κανονικοποίηση και αφαίρεση σιωπών μας έδωσε πλήρη έλεγχο των πολυοργανικών δειγμάτων και εξασφάλισε ένα ισορροπημένο σετ 11 κλάσεων από τους συνδυασμούς των οργάνων, με κάθε κλάση να περιέχει 1200 δείγματα διάρκειας 3 δευτερολέπτων και 300 τεχνητά δείγματα για την επαύξηση του σετ. Τα δείγματα περιέχουν τονικές και χρονικές μετατοπίσεις ή (και) προσθήκη θορύβου και μετατράπηκαν σε 16.500 φασματογραφήματα κλίμακας Mel, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδος στο CNN14.

Παρά το ότι τα δείγματα στερούνται μουσικότητας χωρίς αρμονική και ρυθμική συνέχεια, αυτή η τυχαιότητα μπορεί να ωφελήσει την εκπαίδευση του μοντέλου καθώς μαθαίνει να διαχωρίζει τα όργανα βάσει των μοναδικών ηχητικών χαρακτηριστικών τους, ανεξαρτήτως αρμονικού πλαισίου. Οι μετρικές αξιολόγησης της απόδοσης του μοντέλου περιλαμβάνουν: ορθότητα (*accuracy*), ακρίβεια (*precision*), ανάκληση (*recall*), πίνακα σύγχυσης (*confusion matrix*) και *macro avg F1-score* (αρμονικός μέσος ακρίβειας και ευαισθησίας). Τα οφέλη της στρατηγικής φαίνονται από τη σύγκριση με ένα βασικό μοντέλο που χρησιμοποιεί συμβατικό ταξινόμητή (MLP) μετά την αρχιτεκτονική CNN14.

Αποτελέσματα

Τα πειράματα δείχνουν ότι το CNN14-KAN αποδίδει παρόμοια με το CNN14-MLP όσον αφορά τη μέση βαθμολογία F1 και την ακρίβεια, όπως προκύπτει από τις αναφορές ταξινόμησης. Παρά τις παρόμοιες επιδόσεις, το KAN προσφέρει πλεονεκτήματα στην ερμηνευσιμότητα και την αποτελεσματικότητα χρησιμοποιώντας συναρτήσεις ενεργοποίησης με δυνατότητα εκμάθησης που παραμετροποιούνται ως *splines*, οι οποίες, σύμφωνα με το θεώρημα Kolmogorov-Arnold, βελτιώνουν την ικανότητα του μοντέλου να αναγνωρίζει και να κατανοεί τα πρότυπα που χρησιμοποιεί στη λήψη αποφάσεων. Αυτό φαίνεται από τους πίνακες σύγχυσης, που δείχνουν ποια όργανα αναγνωρίζονται σωστά και ποια συγχέονται. Αυτή η ερμηνευσιμότητα είναι σημαντική για πρακτικές εφαρμογές, όπως στη μουσικολογία, για τη διάκριση λεπτών ηχοχρωματικών διαφορών μεταξύ παρόμοιων οργάνων ή την κατανόηση πολύπλοκων πολυφωνικών δομών. Επιπλέον, ωφελεί άλλους τομείς της ανάκτησης μουσικής πληροφορίας (MIR), όπως την αυτόματη μεταγραφή μουσικής, την ταξινόμηση ειδών και τα συστήματα μουσικών συστάσεων, παρέχοντας σαφέστερες γνώσεις για την επεξεργασία και κατηγοριοποίηση μουσικού περιεχομένου. Τέλος, τα KANs είναι αποδοτικότερα των MLPs, επιτυγχάνοντας συγκρίσιμη ακρίβεια αλλά με μικρότερο μέγεθος μοντέλου, γεγονός που υπογραμμίζει την πρακτική χρησιμότητά τους.

Συμπεράσματα

Το προτεινόμενο σύστημα ταξινόμησης αναγνωρίζει αποτελεσματικά τους συνδυασμούς μουσικών οργάνων σε ηχογραφήσεις, συνδυάζοντας το CNN14 για εξαγωγή χαρακτηριστικών και το KAN για ταξινόμηση. Αυτή η υβριδική προσέγγιση προσφέρει ενθαρρυντικά αποτελέσματα, με το KAN να παρουσιάζει συγκρίσιμη

ακρίβεια και *F1-score* με παραδοσιακές μεθόδους, ενώ παρέχει καλύτερη ερμηνευσιμότητα και αποδοτικότητα. Ωστόσο, αυτά τα αποτελέσματα είναι προκαταρκτικά και απαιτούν περαιτέρω επιβεβαίωση. Η μελλοντική έρευνα θα επεκτείνει αυτό το σύστημα σε άλλους τομείς ανάλυσης ήχου και θα ενσωματώσει πρόσθετα χαρακτηριστικά, όπως αρμονικό περιεχόμενο και χρονική δυναμική. Η βελτίωση των υπερπαραμέτρων του KAN μπορεί να ενισχύσει την απόδοσή του, καθιστώντας το πιο ισχυρό εργαλείο για ταξινόμηση πολυοργανικών δειγμάτων.

Exploring Non-Autoregressive Transformers for Efficient Adaptive Music Composition

Alexis Spiliotopoulos^{1,*}, Spyros Polychronopoulos², Yannis Panagakis³

¹Department of Informatics and Telecommunications, NKUA

²Department of Music Technology & Acoustics Engineering, HMU

³Department of Informatics and Telecommunications, NKUA

*alexis.spiliot@gmail.com

ABSTRACT

The adoption of artificial intelligence (AI) in music composition is revolutionizing the process of music creation, providing groundbreaking tools and concepts for composition. Since the mid-20th century, and increasingly in recent years due to the advances in deep learning and the availability of large amounts of data, AI has enabled the automatic composition of music, assisting in the creation of new musical ideas and improving processes including arranging and mixing. However, achieving low-latency music generation remains a major challenge even with today's computational power. This is a rather fundamental requirement for applications requiring real-time interaction, such as live performances and dynamic soundtracks for video games and virtual reality. Furthermore, another significant and active challenge is the coherency and expressiveness of AI-generated music, as these qualities are essential for maintaining the emotional impact and artistic integrity that audiences expect from high-quality musical experiences. Overcoming these barriers, will allow AI to propose compositional ideas that will transform how humans perceive and interact with music.

Automated music composition has evolved significantly since the primitive rule-based systems (ex. Illiac Suite, 1957) that use predefined algorithms to probabilistic models like Markov chains which provide much more diversity. The emergence of neural networks, particularly Recurrent Neural Networks (RNNs), and Long Short-Term Memory (LSTM) networks, proved to be a game-changer as it opened the space for longer-term dependencies and generated more coherent pieces. Recently, deep learning and generative models have further transformed the field. Generative Adversarial Networks (GANs) introduced a new approach by using two competing neural networks to produce realistic outputs. The most groundbreaking developments have been through Transformer models, originally designed for natural language processing (NLP), are known to excel at capturing long-range dependencies and have also shown great potential in the context of music generation. These complex models can be trained with massive musical datasets to generate intricate compositions. Recent research efforts are targeted at generating music with higher quality, longer-range coherence, and expressive content. The

field is rapidly evolving, driven by AI advancements, the computational power, and the increasing availability of high-quality data.

Despite significant advancements, several technical challenges still remain. Among these are the necessity for vast amounts of high-quality data to train models effectively, especially Transformers, which require extensive datasets to learn intricate musical patterns and structures. Further, computational resources and time needed to train these models are substantial, often limiting accessibility. Ensuring AI-generated music is coherent and expressive remains a complex task, as models must capture nuanced elements of human composition. Achieving real-time and adaptive generation performance poses another significant hurdle, requiring systems to respond instantaneously to user inputs or environmental changes without sacrificing quality. These challenges are particularly relevant in live performances (where for example musicians perform along with a real-time AI-generated accompaniment) and in interactive media like video games and virtual reality (where music must adapt dynamically to user's actions).

This paper explores the application of a non-autoregressive transformer encoder-based model for adaptive musical accompaniment. By utilizing a pretrained model, the study aims to dynamically generate coherent musical continuations. Rather than generating music in an autoregressive manner, various sampling techniques are employed to ensure that the generated music remains stylistically appropriate and expressive. Achieving low-latency music generation is a key objective, essential for applications requiring real-time interaction. This work focuses on the difficulties of guaranteeing coherence, expressiveness, and adaptability potential of the model, and aims to contribute on the development of more responsive and adaptive AI-driven music generation systems, paving the way for innovative applications in the field.

Εφαρμογές αλγορίθμων γενετικής τεχνητής νοημοσύνης για την παραγωγή ηχητικού περιεχομένου στα νέα μέσα και την επικοινωνία

Αλέξανδρος Εμβολιάδης^{1*}, Πάρις Ξυλογιάννης¹, Νικόλαος Βρύζας¹, Λάζαρος Βρύσης¹, Χαράλαμπος Δημούλας¹

¹ Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

*alemvoliadis@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι τελευταίες εξελίξεις στο πεδίο της γενετικής τεχνητής νοημοσύνης (Generative AI) έχουν τραβήξει έντονα το ενδιαφέρον τόσο της ακαδημαϊκής κοινότητας, όσο και του επιχειρηματικού κόσμου, αλλά και του κοινού. Βασική αιτία είναι η υλοποίηση μοντέλων (Large Language Models) με επαρκή ευρωστία για την αντιμετώπιση εφαρμογών πραγματικού κόσμου, και η διάθεσή τους ως ολοκληρωμένα εργαλεία σε ένα ευρύ κοινό, χωρίς απαιτήσεις για προηγούμενη εκπαίδευση, ή διαθέσιμο εξοπλισμό. Παρότι αρχικά εμφανίστηκαν ως εφαρμογές μετατροπής κειμένου σε κείμενο, φαίνεται όλο και εντονότερα η τάση σύγκλισης και πολυτροπικής αντιμετώπισης του προβλήματος. Σε αυτή τη λογική, και η εξέλιξη των τεχνολογιών παραγωγής ηχητικού περιεχομένου εξελίσσεται ραγδαία.

Τα βασικά πεδία στα οποία μπορούν να συνεισφέρουν τα γενετικά μοντέλα παραγωγής ηχητικού περιεχομένου εντοπίζονται ως εξής:

1 Παραγωγή ομιλίας.

Τα μοντέλα μετατροπής κειμένου σε ομιλία (text-to-speech, TTS) έχουν εξελιχθεί σημαντικά μέσω των αρχιτεκτονικών βαθιάς μάθησης. Η σύνθεση κυματομορφής και ο μηχανισμός προσοχής έχουν βελτιώσει τη φυσικότητα και την ποιότητα της συνθετικής ομιλίας. Η εκπαίδευση απαιτεί μεγάλα και ποικίλα σύνολα δεδομένων, ενώ η συνεχής ανατροφοδότηση και προσαρμογή είναι κρίσιμες για τη διατήρηση της ποιότητας. Οι τεχνολογίες αυτές έχουν πολλές εφαρμογές, από προσβασιμότητα έως ψυχαγωγία.

2 Συναίσθημα ομιλίας.

Η παραγωγή συναισθηματικού λόγου είναι μία εξέλιξη των τεχνολογιών παραγωγής ομιλίας που επιτρέπει τον σχεδιασμό πιο ανθρωποκεντρικών συστημάτων επικοινωνίας ανθρώπου-υπολογιστή.

3 Παραγωγή περιβαλλοντικών ήχων.

Πρόκειται για ένα πεδίο με μεγάλη χρησιμότητα στην παραγωγή περιεχομένου. Η αναζήτηση δειγμάτων περιβαλλοντικού ήχου από σχετικές βιβλιοθήκες είναι η συνηθέστερη πρακτική αυτή τη στιγμή. Η δυνατότητα παραγωγής και παραμετροποίησης ήχων μέσω εντολών κειμένου αλλάζει δραστικά το τοπίο (Duarte, 2023).

4 Προσομοίωση ακουστικής χώρων.

Οι τεχνολογίες που στοχεύουν στην προσομοίωση ακουστικής χώρων χρησιμοποιούν προηγμένα μοντέλα βαθιάς μάθησης. Αυτές οι τεχνικές επιτρέπουν τη δημιουργία ρεαλιστικών ηχητικών περιβαλλόντων μέσω σύνθεσης και επεξεργασίας ακουστικών σημάτων. Εφαρμογές περιλαμβάνουν την προσομοίωση ηχητικών χώρων, την αναπαραγωγή περιβαλλοντικών ήχων και εφέ, και την ενίσχυση της εμπειρίας χρήστη σε εικονικές πραγματικότητες. Η ακριβής προσομοίωση απαιτεί μεγάλα και ποικίλα σύνολα δεδομένων για την εκπαίδευση και συνεχή βελτίωση των μοντέλων.

5 Μουσική.

Οι αλγόριθμοι παραγωγής μουσικής βασίζονται σε πολυτροπικά μοντέλα τα οποία μπορούν αφενός να παράξουν στίχους σε συγκεκριμένο ύφος, βασισμένα σε εντολές κειμένου, αφετέρου μουσική, με βάση αισθητικά χαρακτηριστικά (είδος μουσικής, συναίσθημα κλπ.).

Οι εξελίξεις στο συγκεκριμένο πεδίο δεν έρχονται ωστόσο χωρίς ταυτόχρονους προβληματισμούς και ανησυχίες για ζητήματα ηθικά, αλλά και νομικά, διασφάλισης πνευματικής ιδιοκτησίας κλπ (Barnett, 2023). Ταυτόχρονα, ανοίγει ο δρόμος για νέες προκλήσεις στην παραγωγή ψευδούς περιεχομένου (deep fake) με στόχο την παραπληροφόρηση, ή την κακόβουλη εξαπάτηση.

Σ' αυτή την κατεύθυνση, στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται μία διερεύνηση της αποτελεσματικότερης αξιοποίησης των νέων εξελίξεων στο πεδίο, αλλά και των διαθέσιμων εργαλείων, βιβλιοθηκών, και ολοκληρωμένων λύσεων για την υλοποίηση και τον σχεδιασμό υπηρεσιών που μπορούν να ανταποκριθούν στις ανάγκες των σύγχρονων ροών εργασιών στα νέα μέσα και στην επικοινωνία. Προτείνεται ένα πλαίσιο (framework) αποτελεσματικής υλοποίησης, προσαρμογής και ενσωμάτωσης σχετικών εργαλείων, το οποίο λαμβάνει υπόψη τις νέες δυνατότητες, τις ανάγκες που μπορούν να καλυφτούν, την ανάγκη εξέλιξης και επεκτασιμότητας σε ένα ραγδαία εξελισσόμενο πεδίο, και την αντιμετώπιση των κινδύνων, περιορισμών, και προβληματισμών γύρω από τη χρήση αυτών των τεχνολογιών. Duarte, M. C. S. (2023). *Synthesizing Soundscapes from Textual Input: Development and Comparison of Generative AI Models*.

Barnett, J. (2023, August). *The ethical implications of generative audio models: A systematic literature review*. In *Proceedings of the 2023 AAAI/ACM Conference on AI, Ethics, and Society* (pp. 146-161).

Duarte, M. C. S. (2023). *Synthesizing Soundscapes from Textual Input: Development and Comparison of Generative AI Models*.

Kamath, P., Morreale, F., Bagaskara, P. L., Wei, Y., & Nanayakkara, S. (2024, May). *Sound Designer-Generative AI Interactions: Towards Designing Creative Support Tools for Professional Sound Designers*. In *Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-17).

Zhang, C., Zhang, C., Zheng, S., Zhang, M., Qamar, M., Bae, S. H., & Kweon, I. S. (2023). *A survey on audio diffusion models: Text to speech synthesis and enhancement in generative ai*. *arXiv preprint arXiv:2303.13336*, 2, 2.

Περιβάλλον ακουστικής προσομοίωσης χώρων για την αναζήτηση τοποθεσίας κινηματογράφησης

Νικόλαος Βρύζας^{1,*}, Λάζαρος Βρύσης¹, Μαρίνα Σταματιάδου¹, Χαράλαμπος Δημούλας¹, Γεώργιος Καλλίρης¹, Ιωάννης Μουρτζόπουλος²

¹Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

² Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών

*nvryzas@auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το έργο SCENE (Searchable multi-dimensional Data Lakes supporting Cognitive Film Production & Distribution for the Promotion of the European Cultural Heritage) στοχεύει στην υλοποίηση μιας πλατφόρμας βασισμένης σε αρχιτεκτονική λιμνών δεδομένων για την αποτελεσματική συνεργασία και ανταλλαγή γνώσης των ενδιαφερομένων μερών της κινηματογραφικής παραγωγής. Σε αυτό το πλαίσιο, θα είναι προσβάσιμα για εξερεύνηση τρισδιάστατα μοντέλα τοποθεσιών που σχετίζονται με την ευρωπαϊκή πολιτιστική κληρονομιά, παρέχοντας επίσης μια προσομοίωση αλλαγής φωτισμού και ένα εργαλείο προσομοίωσης ακουστικής απόκρισης χώρων. Ο βασικός στόχος του εργαλείου προσομοίωσης ήχου είναι ότι να παρέχει σε παραγωγούς και οι σχεδιαστές ήχου πρόσβαση σε ένα εικονικό περιβάλλον όπου μπορούν να ακούσουν μία εκτίμηση του ηχητικού αποτελέσματος σε συγκεκριμένο χώρο χωρίς τη φυσική μετάβαση εκεί. Αυτή η λειτουργικότητα, σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα εργαλεία που αναπτύσσονται στο έργο, διευκολύνει τη διαδικασία εντοπισμού και επιλογής τοποθεσίας κινηματογράφησης, προσφέροντας ταυτόχρονα μια πιο οικονομική και οικολογική εναλλακτική από την επιτόπια έρευνα.

Ορίζονται δύο τύποι χρηστών που θα πρέπει να αλληλεπιδρούν με τη μονάδα προσομοίωσης ήχου. Ο πρώτος είναι ο χρήστης που συνεισφέρει περιεχόμενο. Η αρχιτεκτονική της λίμνης δεδομένων επιτρέπει την αποθήκευση ετερογενών και μη δομημένων δεδομένων. Οι λίμνες δεδομένων θα οριστούν και θα υλοποιηθούν στο πλαίσιο του έργου SCENE. Κατά τη διάρκεια του έργου, θα ενταχθούν σε αυτές ορισμένα μοντέλα τοποθεσιών που αντιστοιχούν στις πιλοτικές εφαρμογές που θα γίνουν. Ωστόσο, ο στόχος είναι να παρέχεται η δυνατότητα επέκτασής τους δίνοντας σε χρήστες τη δυνατότητα αλλά και το κίνητρο να συνεισφέρουν, μοντελοποιώντας νέες τοποθεσίες. Οι χρήστες που επισκέπτονται μια συγκεκριμένη τοποθεσία, πραγματοποιούν κάποιες εγγραφές ή μετρήσεις, βάσει ενός εγγράφου οδηγιών και ανεβάζουν αυτά τα αρχεία στο αποθετήριο, μαζί με ορισμένα απαραίτητα μεταδεδομένα σε μια δομή σημασιολογικής οντολογίας που θα χρησιμοποιηθούν ως αρχεία πηγής από το μοντέλο προσομοίωσης.

Ο δεύτερος τύπος χρήστη είναι ο επισκέπτης, ο οποίος επιθυμεί να ακούσει την απόκριση προσομοίωσης ήχου μιας τοποθεσίας. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μια από τις διαθέσιμες τοποθεσίες, να ορίσει τις θέσεις των πηγών ήχου και του ακροατή,

να επιλέξει τον τύπο κάθε πηγής (ομιλία, μουσική κλπ) μέσα από ένα σύνολο προηχογραφημένων δειγμάτων. Επιπλέον, επιτρέπεται στον χρήστη να ανεβάσει τα δικά του αρχεία ήχου για να προσομοιώσει πώς θα ακούγονταν στην επιλεγμένη τοποθεσία, μετά την προσομοίωση. Αυτή η αλληλεπίδραση είναι διαθέσιμη μέσω ενός αποκλειστικού GUI που εκτελείται σε πρόγραμμα περιήγησης. Είναι μια διεπαφή βασισμένη σε βιβλιοθήκες της JavaScript που επιτρέπει στο χρήστη να παραμετροποιήσει τις επιλογές του, τις οποίες διοχετεύει στο μοντέλο προσομοίωσης. Η προσομοίωση αξιοποιεί κωδικοποίηση *ambisonic* που επιτρέπει στον χρήστη να περιστρέφει το κεφάλι για μια πιο ρεαλιστική εμπειρία του ηχητικού αποτελέσματος.

Η στόχευση της έρευνας δεν περιορίζεται στην πιστότητα της προσομοίωσης, αλλά και στην πληρότητα του αποθετηρίου μέσα από τις συνεισφορές χρηστών. Για το λόγο αυτό δίνονται αρκετές επιλογές για τη δημιουργία των αρχείων ήχου μέτρησης, κάνοντας τη διαδικασία όσο πιο προσιτή γίνεται. Η πρώτη επιλογή απαιτεί τη χρήση φορητής ψηφιακής συσκευής εγγραφής *B-Format* χαμηλού προϋπολογισμού. Αυτό επιτρέπει τον υπολογισμό κρουστικών αποκρίσεων για κάθε συνιστώσα *X*, *Y* και *Z* για την εξαγωγή Αμφιφωνικών Κατευθυντικών Κρουστικών Αποκρίσεων Χώρου (*Ambisonic Directional Room Impulse Response - ARIR*), αλλά και την απομόνωση της πανκατευθυντικής συνιστώσας *W*. Αυτή η επιλογή επιτρέπει επιπλέον την επέκταση του αποθετηρίου μέσω καταχωρήσεων από εξωτερικά σύνολα δεδομένων όπως το *OpenAir* [1], που ακολουθούν παρόμοια προσέγγιση. Για τον υπολογισμό της κρουστικής απόκρισης δίνονται δύο επιλογές που αντιστοιχούν στον τρόπο που έγινε η ακουστική διέγερση του χώρου, ημιτονοειδείς σαρώσεις και σκάσιμο μπαλονιού. Μια επιπλέον προσέγγιση που υποστηρίζεται βασίζεται στη βαθιά μάθηση [2], [3] και αξιοποιεί την εγγραφή ομιλίας μιας θέσης στόχου ως είσοδο για την προσομοίωση. Είναι μια λιγότερο δοκιμασμένη μέθοδος στη βιβλιογραφία, αλλά διευκολύνει πολύ την παροχή καταγραφών από χρήστες. Σε κάθε περίπτωση, η χρησιμοποιούμενη τεχνική ορίζεται στην οντολογία, εμφανίζεται στο GUI και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο φίλτρου για να περιηγηθεί ο χρήστης στο *data lake*.

Στην τρέχουσα έρευνα παρουσιάζεται η πρωτότυπη έκδοση της εφαρμογής. Για την αρχικοποίηση του συνόλου δεδομένων, έχουν πραγματοποιηθεί μετρήσεις χρησιμοποιώντας διαφορετικές διαμορφώσεις σε διάφορες τοποθεσίες πολιτιστικής σημασίας στην Κύπρο. Τα μελλοντικά σχέδια περιλαμβάνουν την επέκταση με περαιτέρω δεδομένα και την αξιολόγηση των διαφορετικών τεχνικών προσομοίωσης μέσω διαδραστικών δοκιμών ακρόασης χρησιμοποιώντας το διαθέσιμο GUI. Παρουσιάζονται οι δύο εκδοχές (*modes*) του GUI, αυτή που απευθύνεται στους χρήστες που επιθυμούν να περιηγηθούν και αυτή που απευθύνεται στους χρήστες που επιθυμούν να συνεισφέρουν καταγραφές.

[1] Murphy, Damian T., and Simon Shelley. "Openair: An interactive auralization web resource and database." *Audio Engineering Society Convention 129*. Audio Engineering Society, 2010.

[2] Su, Jiaqi, Zeyu Jin, and Adam Finkelstein. "Acoustic matching by embedding impulse responses." *ICASSP 2020-2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*. IEEE, 2020.

[3] Thoidis, Iordanis, et al. "Disentangled estimation of reverberation parameters using temporal convolutional networks." *Audio Engineering Society Convention 152*. Audio Engineering Society, 2022

Κατασκευή Δεδομένων για την Εκπαίδευση και Αξιολόγηση Συστημάτων Τεχνητής Νοημοσύνης στον Εντοπισμό Ηχητικών Συμβάντων

Κωνσταντίνος Θεόδωρος Τσάμης^{1*}, Αιμίλιος Βασίλειος Καμπουρόπουλος², Μάξιμος
Καλιακάτσος Παπακώστας¹

¹Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής, Σχολής Μουσικής και Οπτοακουστικών
Τεχνολογιών, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, Ε. Δασκαλάκη,
Περιβόλια, 74133, Ρέθυμνο

²Τμήμα Μουσικών Σπουδών, Σχολή Καλών Τεχνών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο
Θεσσαλονίκης, Πανεπιστημιούπολη Θέρμης, 54124, Θεσσαλονίκη
*tsamkonstheod@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή παρουσιάζει μια μέθοδο κατασκευής ενός μεγάλου και πολυποίκιλου βάσης δεδομένων (dataset), που έχει ως στόχο την εκπαίδευση και την αξιολόγηση συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης (AI) για τον εντοπισμό του χρόνου έναρξης και λήξης ηχητικών συμβάντων. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στη χρήση ποικιλίας ηχητικών εφέ που εφαρμόζονται σε προ-ηχογραφημένους ήχους, οι οποίοι στη συνέχεια συνθέτουν πολυκάναλα (multichannel) μουσικά αποσπάσματα. Τα σύνθετα αυτά επεξεργασμένα αποσπάσματα αποτελούμενα από αλληλεπικαλυπτόμενους ήχους επισημειώνονται με ακριβή χρονικά στίγματα για την έναρξη και τη λήξη του κάθε ήχου από το πρόγραμμα, προσφέροντας έτσι ένα πλούσιο σύνολο δεδομένων με ακριβείς επισημειώσεις οι οποίες δεν υπόκεινται σε λάθη λόγω του ανθρώπινου παράγοντα.

Μια από τις κύριες πτυχές αυτής της προσέγγισης είναι η δυνατότητα εξέτασης των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν τα προεκπαιδευμένα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης βασισμένα στην αρχιτεκτονική των μετασχηματιστών (transformers) έναντι άλλων τεχνικών. Στο επίκεντρο της ανάλυσης βρίσκονται τα μοντέλα HuBERT^[1] (Hidden-Unit BERT) και MERT^[2] (Multi-Expert Routing Transformer), τα οποία συγκρίνονται με πιο συμβατικές προσεγγίσεις που προκύπτουν από την επεξεργασία σήματος και τα ηχητικά, φασματικά, χρονικά, ρυθμικά και ηχοχρωματικά χαρακτηριστικά ενός μουσικού έργου όπως η φασματική ενέργεια, ο ρυθμός μηδενικών διαβάσεων (zero-crossing rate), και η φασματικό κεντροειδές (spectral centroid), μεταξύ πολλών άλλων.

Η μελέτη επιδιώκει να συγκρίνει την αποτελεσματικότητα αυτών των προεκπαιδευμένων μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης με τις παραδοσιακές μεθόδους ανάλυσης ήχου. Οι φασματικές

αναλύσεις και οι εσωτερικές αναπαραστάσεις που προκύπτουν από τα δεδομένα υποβάλλονται σε Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (PCA), η οποία επαναπροσδιορίζει τις συντεταγμένες των δεδομένων σε ένα νέο σύστημα συντεταγμένων που τονίζει τις διαστάσεις με τη μεγαλύτερη διασπορά. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει τη μελέτη των κύριων χαρακτηριστικών των προσεγγίσεων προς σύγκριση, δηλαδή της φασματικής και της προσέγγισης με AI. Η PCA μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια στατιστική τεχνική που μειώνει τη διάσταση των δεδομένων, διατηρώντας τη μέγιστη δυνατή πληροφορία από το αρχικό σύνολο δεδομένων. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, η PCA αξιοποιείται για να αναπαρασταθούν τα δεδομένα σε ένα μικρότερο σύνολο διαστάσεων οι οποίες συγκεντρώνουν τις μεγαλύτερες διασπορές, επιτρέποντας τον εντοπισμό των περιοχών που συμβαίνουν οι μεγαλύτερες ηχητικές διαφορές, οι οποίες είναι πιο πιθανό να περιλαμβάνουν αρχή, παύση ή αλλαγή ηχητικού γεγονότος.

Η παρούσα μελέτη εξετάζει τις επιδόσεις των συστημάτων AI όχι μόνο σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους, αλλά και σε διάφορα σενάρια και τύπους ηχητικών δεδομένων. Επίσης, τα αποτελέσματα των μεθόδων συγκρίνονται με την “ακρίβεια” στον εντοπισμό έναρξης και λήξης γεγονότων από ανθρώπους με ένα μικρό εμπειρικό πείραμα ακρόασης.

Το σύστημα παραγωγής δεδομένων που παρουσιάζεται, εφαρμόζεται σε μεθόδους που αξιοποιούν φασματικά χαρακτηριστικά και εσωτερικές αναπαραστάσεις από προεκπαιδευμένα μοντέλα, προσφέρει μια βαθύτερη κατανόηση των ηχητικών δεδομένων και βελτιώνει την ακρίβεια στον εντοπισμό ηχητικών συμβάντων. Επιπροσθέτως, το σύστημα παραγωγής δεδομένων μπορεί να αξιοποιηθεί και για άλλες δραστηριότητες, όπως η μελέτη συστημάτων διαχωρισμού πηγών ή η αναγνώριση ηχητικών συμβάντων (αντί απλά για την αναγνώριση του χρονικού στίγματος έναρξης και λήξης συμβάντων).

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] Hsu, W. N., Bolte, B., Tsai, Y. H. H., Lakhotia, K., Salakhutdinov, R., & Mohamed, A. (2021). Hubert: Self-supervised speech representation learning by masked prediction of hidden units. *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 29, 3451-3460.

[2] Li, Y., Yuan, R., Zhang, G., Ma, Y., Chen, X., Yin, H., ... & Fu, J. (2023). Mert: Acoustic music understanding model with large-scale self-supervised training. *arXiv preprint arXiv:2306.00107*.

Soundsketcher: Γραφική Απεικόνιση Ηχητικών Παραμέτρων Βάσει Διατροφικών Οπτικο-Ακουστικών Συσχετίσεων

Κωνσταντίνος Βελένης^{1*}, Αστέριος Ζαχαράκης¹, Βορδώνης Γεώργιος¹,
Μάξιμος Καλιακάτσος-Παπακώστας², Αιμίλιος Καμπουρόπουλος¹

¹Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Καλών Τεχνών, Τμήμα
Μουσικών Σπουδών

²Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο: Τμήμα Μηχανικών Μουσικής Τεχνολογίας
και Ακουστικής

*kvelenis@gmail.com (υπεύθυνος)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η γραφική αναπαράσταση ηχητικών δομών στον 20ό αιώνα, ειδικότερα στο πλαίσιο ηλεκτρονικής ή αυτοσχεδιαζόμενης μουσικής που συχνά δεν έχουν παρτιτούρα, αποτελεί ένα σύνθετο τομέα καλλιτεχνικής και επιστημονικής έρευνας. Αναπαραστάσεις που απεικονίζουν την ηχητική δομή μπορεί να είναι χρήσιμες για την κατανόηση, ανάλυση και ερμηνεία των συνθέσεων. Τα υπάρχοντα εργαλεία παρτιτούρας και οπτικοποίησης προσφέρουν κυρίως αναπαράσταση ήχου σε παραδοσιακή μουσική σημειογραφία και όποια εργαλεία δημιουργίας γραφικών παρτιτούρων έχουν υλοποιηθεί όπως το *Acousmographie*, το *eAnalysis* και το *Partiels* (Couprie, 2016, Favreau et al., 2010, Guillot, 2024), περιορίζονται στη χειροκίνητη δημιουργία οπτικών αντιστοιχίσεων, με τη δυνατότητα για αυτοματοποιημένη δημιουργία γραφικών αναπαραστάσεων ήχου να είναι περιορισμένη.

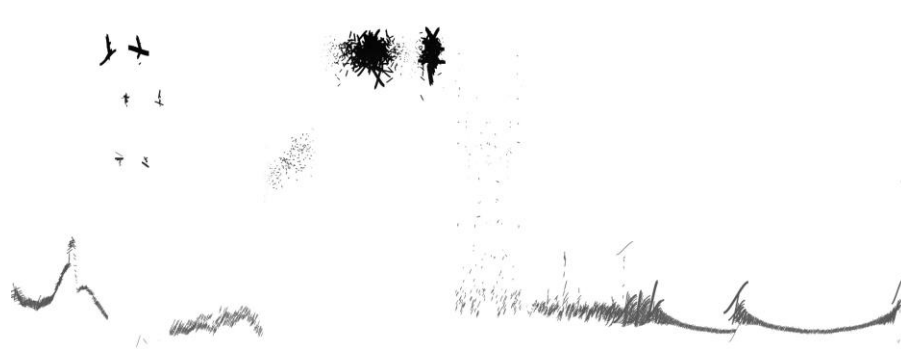
Στο επίκεντρο αυτής της ιδέας βρίσκεται η ανάπτυξη του *SoundSketcher*, ενός καινοτόμου εργαλείου γραφικής παρτιτούρας, το οποίο μετατρέπει αυτόματα, αρχεία ήχου σε οπτική αναπαράσταση ηχητικών συμβάντων (νότες, αφηρημένα ηχητικά συμβάντα). Η ηχητική - οπτική μετάφραση επιτυγχάνεται μέσω οπτικοποίησης ηχητικών χαρακτηριστικών που εξάγονται με χρήση προηγμένων αλγορίθμων ανάλυσης ηχητικών σκηνών, βασισμένη σε γνωστές οπτικές - ακουστικές διαισθητηριακές αντιστοιχίσεις. Για παράδειγμα, το φαινόμενο *bouba-/kiki*, αποτελεί πιθανώς την πιο γνωστή αντιστοίχιση τέτοιου τύπου: έχει αποδειχθεί ότι η συντριπτική πλειοψηφία των συμμετεχόντων αποδίδουν καμπυλωτά σχήματα στη λέξη "bouba" και αιχμηρά ή τραχιά σχήματα στη λέξη "kiki" (Ramachandran & Hubbard, 2001). Πολλές εμπειρικές μελέτες έχουν διερευνήσει τις αντιστοιχίσεις μεταξύ των ακουστικών ιδιοτήτων των ήχων και άλλων αισθητηριακών συσχετίσεων. Εκτεταμένες έρευνες παρατίθενται στους Eitan (2017), Parise και Spence (2013) και Speed et al. (2021). Οι υψηλές συχνότητες, εκτός από την καθιερωμένη αντιστοίχιση με την υψηλότερη χωρική τοποθεσία, έχουν επίσης αποδειχθεί ότι σχετίζονται με μεγαλύτερη φωτεινότητα, πιο ανοιχτά χρώματα, αιχμηρά σχήματα, λεπτότερες δομές και ελαφριά αντικείμενα. Η ένταση του ήχου έχει επίσης αποδειχθεί ότι συσχετίζεται

θετικά με την ένταση του φωτός, την αντίθεση, τον κορεσμό χρώματος, την αιχμηρότητα των σχημάτων και τη σκληρότητα των επιφανειών. Επιπλέον, οι ήχοι με υψηλή ακουστική τραχύτητα έχουν συσχετιστεί με αιχμηρά, τραχιά και οδοντωτά σχήματα, ενώ οι ήχοι με απαλές ηχητικές χροιές έχουν συνδεθεί με καμπυλωτά σχήματα (Adeli et al., 2014).

Εκμεταλλευόμενο τις συνδυαστικές αντιστοιχίσεις μεταξύ οπτικών και ακουστικών χαρακτηριστικών, το SoundSketcher δίνει στους χρήστες τη δυνατότητα να αποδώσουν γραφικά τα εισαγόμενα ακουστικά αποσπάσματα όπως επίσης και να επιλέξουν ποια ηχητικά χαρακτηριστικά θα απεικονίζονται στις γραφικές παρτιτούρες τους. Ο στόχος είναι η παραγόμενη οπτικοποίηση να επιδεικνύει αντιληπτική συνάφεια με το εισαγόμενο αρχείο ήχου, διευκολύνοντας την κατανόηση και ερμηνεία του ήχου, ενώ παράλληλα να επιτρέπει την ερμηνευτική ελευθερία και τη περαιτέρω δημιουργική χρήση του γραφικού αποτελέσματος.

Στο παρόν πρότυπο, η τοποθέτηση κάθε γραμμής στον καμβά στο άξονα y καθορίζεται από το φασματικό κεντροειδές, ενώ το πλάτος, το μήκος, το χρώμα, η καμπυλότητα και η γωνία της γραμμής επηρεάζονται από τα επιλεγμένα από τον χρήστη ηχητικά χαρακτηριστικά. Τέλος, ο χρόνος αντιστοιχείται στον άξονα x , επιτρέποντας την προοδευτική οπτικοποίηση από αριστερά προς τα δεξιά. Η οπτικοποίηση αποδίδεται στον περιηγητή του χρήστη χρησιμοποιώντας vanilla JavaScript. Ένας καμβάς SVG χρησιμοποιείται για τη σχεδίαση γραμμών που αντιπροσωπεύουν τα ηχητικά χαρακτηριστικά με την πάροδο του χρόνου.

Πιο συγκεκριμένα ο χρήστης αρχικά μεταφορτώνει ένα αρχείο ήχου μέσω της διαδικτυακής διεπαφής του SoundSketcher. Στη συνέχεια, μέσω του λογισμικού Sonic Visualiser, των vamp plug-ins και του Sonic Annotator πραγματοποιείται εξαγωγή ηχητικών χαρακτηριστικών ανά συγκεκριμένο παράθυρο ήχου, όπως το φασματικό κεντροειδές, η φασματική κυρτότητα, η φασματική διακύμανση, το πλάτος της κυματομορφής και ο ρυθμός διασταύρωσης μηδενικού σημείου μεταξύ άλλων, δημιουργώντας CSV αρχεία που περιέχουν τα εξαγόμενα ηχητικά χαρακτηριστικά.



Σχημα 1. Ενδεικτική οπτικοποίηση του Soundsketcher

Η παρούσα πρώτη απόπειρα υλοποίησης του SoundSketcher εστιάζει στην οπτικοποίηση μιας μεμονωμένης ηχητικής ροής αποτελούμενης από ανεξάρτητα, μη αλληλεπικαλυπτόμενα ηχητικά συμβάντα. Σε μελλοντικά στάδια το πρόγραμμα θα

ενσωματώνει νέες τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης που επιτρέπουν τον διαχωρισμό ηχητικών ροών (sound source separation) και αναγνώριση ήχων (sound object identification, segmentation) έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η καλύτερη ανάλυση των ηχητικών αρχείων σε επιμέρους συνιστώσα ηχητικά συμβάντα.

Το Soundsketcher στοχεύει να καταστήσει την ανάλυση ηχητικών αρχείων προσιτή και ενδιαφέρουσα σε ένα ευρύ φάσμα χρηστών, από εκπαιδευτικούς και μαθητές έως επαγγελματίες μουσικούς και συνθέτες. Με τη μετατροπή των αρχείων ήχου σε προσαρμοσμένα οπτικά σκίτσα, το Soundsketcher ανοίγει νέες δυνατότητες για την εκπαίδευση, την έρευνα και τη δημιουργική εξερεύνηση στον τομέα της οπτικοποίησης ήχου και μουσικής.

Βιβλιογραφία

Adeli, M., Rouat, J., & Molotchnikoff, S. (2014). Audiovisual correspondence between musical timbre and visual shapes. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00352>

Coupric, P. (2016). EAnalysis: Developing a sound-based music analytical tool. *Expanding the Horizon of Electroacoustic Music Analysis*, 170–194. <https://doi.org/10.1017/cbo9781316339633.009>

Eitan, Z. (2017). Musical connections: Cross-modal correspondences. In *The Routledge companion to music cognition* (pp. 213-224). Routledge.

Favreau, E., Geslin, Y., & Lefevre, A. (2010). L'ACOUSMOGRAPHE 3. In *Journées d'Informatique Musicale*.

Guillot, P. (2024, April 8). *Partiels*. IRCAM Forum. <https://forum.ircam.fr/projects/detail/partiels/>

Parise, C., & Spence, C. (2013). Audiovisual cross-modal correspondences in the general population. In J. Simner, & E. M. Hubbard (Eds.), *The Oxford handbook of synaesthesia* (pp. 790–815). Oxford: Oxford University Press.

Ramachandran, V. S., & Hubbard, E. M. (2001). Synaesthesia--a window into perception, thought and language. *Journal of Consciousness Studies*, 8(12), 3–34.

Speed, L. J., Croijmans, I., Dolscheid, S., & Majid, A. (2021). Crossmodal associations with olfactory, auditory, and tactile stimuli in children and adults. *i-Perception*, 12(6).

Διαδικτυακή εφαρμογή για την ανάλυση συναισθηματικής πληροφορίας

Νικόλαος Βρύζας^{1*}, Λάζαρος Βρύζης¹, Μαρίνα Σταματιάδου¹, Χαράλαμπος Δημούλας¹

¹ Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

*nvryas@auth.gr (υπεύθυνου)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιείται στο πλαίσιο του έργου SHAZAAM (Science Hoaxes to Avoid Alienation in Generation Z - A Media literacy Approach). Το SHAZAAM αποσκοπεί στην υποστήριξη των νέων που ανήκουν στη γενιά Z για την καταπολέμηση της διάδοσης ψευδοεπιστημονικού περιεχομένου. Αυτό γίνεται με δημιουργία ομάδων εστίασης για την αναγνώριση των βασικών χαρακτηριστικών του φαινομένου, με τη δημιουργία εκπαιδευτικού υλικού, αλλά και την παροχή εργαλείων βασισμένων σε τεχνολογίες αιχμής.

Από τη βιβλιογραφία σε σχέση με το φαινόμενο της παραπληροφόρησης, προκύπτει ότι σε μεγάλο βαθμό, το στυλ, και το συναίσθημα γραφής μπορούν να αποτελούν από μόνα τους σημαντική ένδειξη για την αναγνώριση ψευδούς περιεχομένου. Κείμενα με έντονο συναισθηματικό φορτίο είναι πιο πιθανά να έχουν ως στόχο την παραπληροφόρηση. Σχετικά πορίσματα προκύπτουν κυρίως από το πεδίο της αναγνώρισης κειμένου και ανάλυσης φυσικής γλώσσας, αλλά και από μελέτες πάνω σε πολυτροπική πληροφορία (Li et al., 2022; Papadopoulou et al., 2019; Qi et al., 2023).

Το κίνητρο για τη διεξαγωγή της παρούσας έρευνας είναι η διερεύνηση του φαινομένου για την περίπτωση της συναισθηματικής πληροφορίας ηχητικού περιεχομένου. Η ερευνητική υπόθεση είναι ότι αφενός τα πορίσματα της βιβλιογραφίας για το φαινόμενο της παραπληροφόρησης μπορούν να επεκταθούν στην ειδική περίπτωση της ψευδοεπιστήμης και αφετέρου ότι το ζήτημα της συναισθηματικής φόρτισης ως σημαντικού κριτηρίου για την εγκυρότητα περιεχομένου έχει εφαρμογή και στην περίπτωση ηχητικού περιεχομένου. Το είδος περιεχομένου που ενδιαφέρει, ύστερα από την ανάλυση των σχετικών ομάδων εργασίας, είναι βίντεο μικρής διάρκειας που διαχέονται στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης. Αυτό το είδος περιεχομένου είναι από τα πιο δημοφιλή στη συγκεκριμένη ηλικιακή ομάδα.

Για τον λόγο αυτό δημιουργείται διαδικτυακή εφαρμογή η οποία έχει ως στόχο τη χρήση αλγορίθμων βαθιάς μάθησης για την εξαγωγή πληροφορίας γύρω από το συναίσθημα ηχητικού περιεχομένου. Η εφαρμογή παρέχει ένα γραφικό περιβάλλον στο οποίο οι χρήστες μπορούν να εισάγουν αρχείο ήχου, αρχείο βίντεο, ή σύνδεσμο. Η εφαρμογή απομονώνει το κανάλι του ήχου, το επεξεργάζεται και επιστρέφει μια εκτίμηση για το συναισθηματικό περιεχόμενο με τη χρήση προεκπαιδευμένων μοντέλων βαθιάς μάθησης που είναι φορτωμένα στον εξυπηρετητή (backend) της

εφαρμογής. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τη χρήση κινητών τηλεφώνων και δεν απαιτεί υπολογιστική ισχύ από την πλευρά του χρήστη.

Η αναγνώριση συναισθήματος ομιλίας αφορά την εξαγωγή παραγλωσσικής πληροφορίας σχετικά με το συναίσθημα εκφοράς του λόγου χωρίς να λαμβάνει υπόψη το περιεχόμενο της ομιλίας. Έτσι δεν περιέχει κάποια διαδικασία μετατροπής της ομιλίας σε κείμενο. Στην παρούσα έρευνα, χρησιμοποιείται μοντέλο που έχει εκπαιδευτεί στη βάση δειγμάτων συναισθηματικού λόγου στα ελληνικά AESDD, η οποία περιέχει φράσεις, ηχογραφημένες από επαγγελματίες ηθοποιούς, κατηγοριοποιημένες στις συναισθηματικές κλάσεις της χαράς, της λύπης, του θυμού, της οργής, του φόβου και της αηδίας. Για την αναγνώριση συναισθήματος ομιλίας χρησιμοποιείται μοντέλο αρχιτεκτονικής συνελκτικού νευρωνικού δικτύου που έχει εκπαιδευτεί με δεδομένα της βάσης AESDD. Για την περίπτωση της εξαγωγής πληροφορίας γύρω από το συναίσθημα μουσικού περιεχομένου, χρησιμοποιείται η βάση MUSE που περιέχει μουσικά κομμάτια, κατηγοριοποιημένα με βάση το συναισθηματικό περιεχόμενο.

Για τον πειραματισμό πάνω στην υπόθεση της έρευνας και την αποτελεσματικότητα των μοντέλων, λαμβάνεται υπόψη το σετ δεδομένων "It is just a flu". Πρόκειται για μια συλλογή βίντεο από το YouTube που παρουσιάζουν ψευδή επιστημονικά πορίσματα γύρω από το ζήτημα του κορονοϊού, που αποτέλεσε πολύ σημαντική αφορμή για την εξέλιξη του φαινομένου που εξετάζουμε. Για λόγους πνευματικής ιδιοκτησίας η βάση περιέχει τους συνδέσμους των βίντεο, που σημαίνει ότι στην παρούσα στιγμή, πολλά από τα βίντεο της βάσης είναι μη διαθέσιμα. Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιείται δειγματοληπτικά μέρος της βάσης που ανταποκρίνεται στις ανάγκες του πειράματος.

Li, Xiaojun, et al. "A CNN-based misleading video detection model." *Scientific Reports* 12.1 (2022): 6092.

Papadopoulou, Olga, et al. "A corpus of debunked and verified user-generated videos." *Online information review* 43.1 (2019): 72-88.

Papadamou, K., Zannettou, S., Blackburn, J., De Cristofaro, E., Stringhini, G., & Sirivianos, M. (2022, May). "It is just a flu": assessing the effect of watch history on YouTube's pseudoscientific video recommendations. In *Proceedings of the international AAAI conference on web and social media* (Vol. 16, pp. 723-734).

Qi, Peng, et al. "Fakesv: A multimodal benchmark with rich social context for fake news detection on short video platforms." *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. Vol. 37. No. 12. 2023.

Επιστροφή στην Αχαράβη: Καταγραφή και ανάλυση του ηχητικού περιβάλλοντος και ηχοτοπίου μιας προστατευόμενης περιοχής

Θεοφάνης Μαραγκός^{1*}, Άγγελος Τσαλιγόπουλος², Νικόλαος Στεφανάκης³, Ανδρέας Μνιέστρης¹, Αθανάσιος Επιτήδειος⁴, Γιάννης Ματσίνογ², Διονύσιος Θ. Γ.

Κατερέλος⁴

¹Τμήμα Μουσικών Σπουδών, Ιόνιο Πανεπιστήμιο

²Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου

³Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

⁴Τμήμα Τεχνών Ήχου & Εικόνας, Ιόνιο Πανεπιστήμιο

* fmaragkos@ionio.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το ηχητικό περιβάλλον περιέχει πληροφορία που αντανακλά οικολογικές διεργασίες του φυσικού περιβάλλοντος. Λόγω της δυναμικότητάς του, ο ήχος λειτουργεί ως δείκτης βιωσιμότητας, καθώς οι μεταβολές και οι ανθρώπινες επεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον δημιουργούν ηχητικό αποτύπωμα που αντικατοπτρίζει την περιβαλλοντική υγεία μιας περιοχής. Επομένως, ο ήχος αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για την παρακολούθηση και την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής υγείας, ιδιαίτερα σε προστατευόμενες περιοχές.

Η περιοχή της Αχαράβης στη βόρεια Κέρκυρα με τη χαρακτηριστική ρηχή λιμνοθάλασσα Αντινιώτη, αποτελεί ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον οικοσύστημα που φιλοξενεί μια πληθώρα πουλιών και μικρών θηλαστικών. Παρά το γεγονός πως η λιμνοθάλασσα Αντινιώτη στο Ιόνιο προστατεύεται από τη συνθήκη Natura 2000, η ανάγκη προστασίας της εντείνεται καθώς σχεδιάζεται η ανέγερση μεγάλης ξενοδοχειακής μονάδας. Το 2006, η ευρύτερη περιοχή της λιμνοθάλασσας αποτέλεσε τον τόπο διεξαγωγής μιας εκτεταμένης έρευνας με σκοπό τη χωροχρονική καταγραφή του ηχητικού περιβάλλοντος, καθώς και την ανάπτυξη θεματικών χαρτών ήχου. Αυτή η έρευνα πραγματοποιήθηκε από την πρώτη στην Ελλάδα διεπιστημονική ομάδα Ακουστικής Οικολογίας, η οποία ιδρύθηκε με πρωτοβουλία του ΕΡΗΜΕΕ (Εργαστήριο Ηλεκτροακουστικής Έρευνας και Εφαρμογών) του Τμήματος Μουσικών Σπουδών του Ιονίου Πανεπιστημίου στο πλαίσιο μια δράσης του Επιχειρησιακού Προγράμματος Εκπαίδευσης και Αρχικής Επαγγελματικής Κατάρτισης [ΕΠΕΑΕΚ II].

Σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας είναι η επανάληψη της χωροχρονικής καταγραφής του ηχητικού περιβάλλοντος της Αχαράβης, αξιοποιώντας επικαιροποιημένα εργαλεία και μεθόδους του κλάδου της οικολογικής ακουστικής (ecoacoustics). Δώδεκα χρόνια μετά την αρχική προσπάθεια, την περίοδο 2018-2019, πραγματοποιήθηκαν καταγραφές σε 5 σημεία της λιμνοθάλασσας καλύπτοντας το βορειότερο και πιο απομονωμένο τμήμα της. Χρησιμοποιώντας το ίδιο πρωτόκολλο

καταγραφών, συλλέχθηκαν ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα σε δύο χρονικούς κύκλους, έναν ημερήσιο και έναν εποχιακό. Ο ημερήσιος κύκλος περιλάμβανε οκτώ δεκάλεπτες δειγματοληψίες σε ένα εικοσιτετράωρο (μία για κάθε τρεις ώρες), ενώ ο εποχιακός τέσσερις περιόδους για ένα έτος (μία για κάθε ηλιοστάσιο και ισημερία).

Για τους σκοπούς της έρευνας, συλλέχθηκαν ποιοτικά δεδομένα καταγραφής και κατηγοριοποίησης των ηχητικών πηγών μέσω της συμπλήρωσης εντύπων καταγραφής πεδίου. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε κατηγοριοποίηση της ανθρωπογενούς, βιολογικής ή γεωφυσικής προέλευσης των ηχητικών πηγών, ενώ σημειώθηκε η λειτουργική τους σημασία (ήχοι προσκηνίου ή υποβάθρου). Τα ποσοτικά δεδομένα προέκυψαν μέσω ηχογραφήσεων υψηλής ποιότητας και πιστότητας σε όλα τα σημεία, με στερεοφωνική τεχνική (Mid/Side) το 2006, και με τρισδιάστατη τεχνική (μέθοδο ambisonics) το 2018-2019. Τα ασυμπιεστα WAVE αρχεία αναλύθηκαν στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R χρησιμοποιώντας τα πακέτα seewave, tuneR, ineq και soundecology προκειμένου να εξαχθούν οι ακουστικοί δείκτες βιοποικιλότητας. Αναλυτικότερα, εξήχθησαν οι δείκτες ακουστικής πολυπλοκότητας (Acoustic Complexity Index), ακουστικής ποικιλίας (Acoustic Diversity Index), ο δείκτης βιοακουστικής (BIO index), ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς ηχοτοπίου NDSI και ο δείκτης φασματικής εντροπίας (Spectral Entropy). Επίσης, πραγματοποιήθηκαν ταυτόχρονες ηχομετρήσεις με χρήση ηχόμετρου και φασματικού αναλυτή υψηλής ακρίβειας (class 1), Cesva SC-310 το 2006 και Bruel & Kjaer Type 2250. Συγκεκριμένα, στις ηχομετρήσεις καταγράφηκε για κάθε χρονικό διάστημα (15 sec) η ισοδύναμη συνεχής ηχητική στάθμη L_{eq} με σταθμισμένα φίλτρα A και Z καθώς επίσης και σε πραγματικό χρόνο η ηχητική στάθμη ανά οκτάβα από 31.5 Hz - 16 kHz.

Στην παρούσα έρευνα, η στατιστική ανάλυση περιλάμβανε τη σύγκριση των μέσων τιμών των παλαιότερων και σύγχρονων δεδομένων, με σκοπό την ανίχνευση στατιστικά σημαντικών μεταβολών. Επιπλέον, διενεργήθηκαν αναλύσεις συσχέτισης για την εκτίμηση της σχέσης μεταξύ των επιπέδων θορύβου και των δεικτών ακουστικής βιοποικιλότητας, παρέχοντας ενδείξεις για την επίδραση του ανθρώπινου θορύβου στο ηχητικό περιβάλλον. Παράλληλα, εξήχθησαν συμπεράσματα για τη μεταβολή της ηχητικής στάθμης της υπό έρευνας περιοχής ανά εποχή αλλά και συνολικά, ενώ μελετήθηκαν οι τροποποιήσεις όσον αφορά την υποκειμενική διάσταση μέσω της μελέτης ηχοτοπίου που πραγματοποιήθηκε.

Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψαν σημαντικές μεταβολές στους δείκτες ακουστικής βιοποικιλότητας κατά τις διάφορες περιόδους δειγματοληψίας, καθώς και μεταβολή στα επίπεδα θορύβου. Επιπρόσθετα, ήταν εμφανής η επίδραση του ανθρωπογενούς θορύβου στη βιολογική πολυπλοκότητα και ποικιλία. Η έρευνα αυτή υπογραμμίζει την ανάγκη για προστασία του φυσικού περιβάλλοντος από ανθρώπινες επεμβάσεις και πιέσεις ενώ επισημαίνει τη χρησιμότητα του ήχου ως δείκτη για την ταχεία και αξιόπιστη παρακολούθηση της περιβαλλοντικής υγείας σε προστατευόμενες περιοχές.

Investigating the Urban Soundscape of Athens through Soundwalks and Acoustic Measurements

Wiktor Mastela¹, Areti Andreopoulou
Laboratory of Music Acoustic and Technology (LabMAT)
Department of music studies, National and Kapodistrian University of Athens
¹wiktormas@music.uoa.gr

ABSTRACT

The soundscape of Athens has its own unique tonality. Within this sonic palette, sounds from marches, protests, anthropogenic factors, city noises, as well as scattered natural ecosystems (parks, green areas) converge, creating a rather intriguing urban soundscape that varies under specific conditions. This occurs, for example, on days when the city empties due to holidays or during days of major protests. The opportunity presented by the decongestion of the city's auditory "scene" leads to a transformation of the soundscape, highlighted by the decrease in noise levels, delicately revealing hidden sonic elements of the city. The City can speak for itself (Western, 2021) and it is important to take the opportunity to listen to the sound, because the sound circulates through the infrastructures (spaces) which are constantly changing (Harvey, 2021). The sound of the city is connected to the urban structure and society leading to the creation of a separate environment with which the person himself is connected (Saher, 2016; Barclay, 2018).

An exploration of such elements is carried out through soundwalks, which serve as a means to study the sonic environment. The very process of soundwalking shapes and reshapes personal perceptions of the urban acoustic "environment" experienced daily. Through a specific route and an auto-ethnographic approach to the surrounding space, the uniqueness of a "quiet" capital is explored. Additionally, during the exploration process, a measurement of sound levels (dB) is conducted at specific walking points with the aim of comparing sound level on different days, focusing on the contrast between a rather "empty" and a full city of Athens. The goal of this work is twofold. First to study this variation in sound levels, in order to detect and understand the noise pollution of Athens and second, to unveil these interesting auditory nuances that can be perceived through more active listening.

Part of the research will be examined based on the existing bibliography. However, a large part of the study will be based on walks (soundwalks) and field observations. Specifically, the main goal is to complete at least four soundwalks in order to capture sound levels and record the soundscape of the capital with a zoom VR recorder. The on-site observation of the urban environment will be of utmost importance, because in this way the explorer-researcher approaches and understands better their surroundings. One understands sound by extracting information from the sound experiences (events) presented to them and also from the relationship between the listener and the environment that is produced by sound (Thompson, 2022).

Η εισβολή του ιδιωτικού στον δημόσιο χώρο : προβλήματα προσπέλασης και ηχοπροστασίας από την επέκταση των τραπεζοκαθισμάτων

Ρ. Δεληγιαννίδου, Μαρία Ζαρίφογλου, Βασίλης Μητσόπουλος, Βερονίκη Ηλιάδου,
Νίκος Μπάρκας*
Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Δ.Π.Θ.
*nbarkas@arch.duth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η προτεινόμενη ανακοίνωση αποτελεί τμήμα μιας ευρύτερης πανεπιστημιακής έρευνας του Τμήματος Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Δ.Π.Θ. Αφορμή αποτέλεσε ο προβληματισμός για την έλλειψη ελεύθερων δημόσιων χώρων στην Θεσσαλονίκη και αιτία η κατάληψη δημόσιων χώρων από τα τραπεζοκαθίσματα καταστημάτων υγειονομικού ενδιαφέροντος, την περίοδο της πανδημίας

Ο δημόσιος χώρος αποτελεί τον βασικό πυλώνα της κοινωνικής ζωής, ως τόπος συνάντησης και αλληλεπίδρασης. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια διαπιστώνουμε μια ισχυρή τάση εισβολής του ιδιωτικού συμφέροντος στον δημόσιο χώρο, με την επέκταση τραπεζοκαθισμάτων και άλλων βοηθητικών εγκαταστάσεων από καταστήματα υγειονομικού ενδιαφέροντος (καφέ, μπαρ, ταβέρνες κλπ). Η επισφράγιση της εισβολής επισημοποιήθηκε με πρόσχημα τα πραγματικά απαραίτητα μέτρα κοινωνικής αποστασιοποίησης στη διάρκεια της πανδημίας. Το μέτρο δυστυχώς συνεχίζει διατηρείται, καθώς η Κυβέρνηση και οι Δήμοι συνεχίζουν να χαρίζουν τα αγαθά του δημόσιου χώρου στους ιδιώτες, σαν να τους ανήκουν.

Η ανεξέλεγκτη επέκταση αυτών των υπαίθριων, ιδιωτικών εγκαταστάσεων προκαλεί σοβαρά προβλήματα στην κυκλοφορία και τη χρηστικότητα του δημόσιου χώρου, περιορίζει την ελεύθερη κίνηση και ροή των πεζών. Συχνά τα τραπεζοκαθίσματα τοποθετούνται σε πολυσύχναστες περιοχές, όπου η κυκλοφορία είναι ήδη προβληματική, με αποτέλεσμα την ολοσχερή παρεμπόδιση της κίνησης των πολιτών. Αυτονόητα, η εισβολή αυξάνει την ηχορύπανση στο δημόσιο χώρο, είτε με την επέκταση των ηλ/ακ εγκαταστάσεων, είτε και μόνο με την οχλοβοή των συγκεντρωμένων, ηχητική όχληση που μεταφέρεται στις παρακείμενες κατοικίες.

Επιτόπιες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στο πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης (στους Δήμους Θεσσαλονίκης, Καλαμαριάς και Συκεών) την περίοδο 1923 - 24, εντόπισαν και κατέγραψαν σοβαρά προβλήματα πρόσβασης και προσπέλασης στους δημόσιους χώρους, καθώς και έντονα φαινόμενα περιβαλλοντικού θορύβου, εξαιτίας της υπαίθριας εξάπλωσης των επιχειρήσεων υγειονομικού ενδιαφέροντος. Το δείγμα της έρευνας περιλαμβάνει συνολικά 15 περίοπτες περιοχές όπως : η Λεωφόρος Νίκης στην Παλιά Παραλία, η λεωφόρος Όχι στην Άνω Πόλη, η πλατεία Μοριχόβου στα Λαδάδικα, η πλατεία Εμπορίου στην

περιοχή του Αγίου Μηνά, η ιστορική αγορά Καπάνι, το σταυροδρόμι των οδών Μητροπόλεως - Κ. Ντηλ, το πάρκο Τσιρογιάννη στο Α. Πύργο, οι πλατείες Ναυαρίνου και Αριστοτέλους οι οδοί Αγ. Θεοδώρας, Ικτίνου, Κομνηνών στα Λουλουδάδικα, Π. Πατρών, καθώς επίσης ο κεντρικός πεζόδρομος και η πλατεία Σκρα στην Καλαμαριά. Ως παράμετροι της έρευνας καταγράφονται : το πλάτος της ανεμπόδιστης λωρίδας κυκλοφορίας των πεζών, η δυνατότητα κίνησης με αμαξίδιο ή παιδικό καρότσι,, η κατάσταση των επιστρώσεων στα πεζοδρόμια, τα εμπόδια στην κίνηση (διαχωριστικά, ζαρντινιέρες, διαφημιστικά κλπ), ο συνωστισμός όρθιων θαμώνων σε ώρες αιχμής, η ποιότητα του ηλεκτροφωτισμού, το πράσινο και η ηχορύπανση.

Όπως διαπιστώθηκε εντοπίζονται σημαντικές περιφράξεις δημοσίων εκτάσεων (πεζοδρομίων, πλατειών), με αποτέλεσμα την οικειοποίηση του δημόσιου χώρου από ιδιωτικές επιχειρήσεις και την επαναδιαπραγμάτευσή του ως καταναλωτικού προϊόντος, έναντι χρηματικού αντιτίμου για τις παρεχόμενες υπηρεσίες. Πρόκειται για την απόλυτη αναίρεση του δημόσιου, δωρεάν παρεχόμενου, χαρακτήρα του χώρου και παράλληλα την ανεξέλεγκτη επέκταση του ιδιωτικού (αυθαίρετα ή σε συμφωνία με τις δημοτικές υπηρεσίες) σε βάρος των ελεύθερων, κοινωνικών δραστηριοτήτων της περιοχής. Παράλληλα φαίνεται πως συνεχίζεται απρόσκοπτα η αδυναμία διαπίστωσης παραβάσεων, επιβολής ποινών και τελικά είσπραξης των σχετικών προστίμων από τους Δήμους.

Ηχοτοπία προστατευόμενων οικοτόπων στα Λευκά όρη Χανίων

Χριστίνα Γεωργιάτου^{1,*}, Κατερίνα Τζεδάκη¹, Χρυσούλα Αλεξανδράκη¹,
Παναγιώτης Νύκτας²

¹ Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής / Ελληνικό Μεσογειακό
Πανεπιστήμιο (ΕΛ.ΜΕ.ΠΑ)

² Department of Natural Resources, University of Twente (ITC)

* ddk132@edu.hmu.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ηχητική καταγραφή του περιβάλλοντος μπορεί να εμπλουτίσει σημαντικά τις υπάρχουσες μεθόδους περιβαλλοντικής παρακολούθησης σε μέρη τα οποία είναι δύσβατα και δύσκολο να παρατηρηθούν καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Οι ηχογραφήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για έρευνα όσο και για την υποστήριξη της διαμόρφωσης στρατηγικών διατήρησης και περιβαλλοντικής νομοθεσίας. (Happel & Happel, 2020). Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις επιτρέπουν την αυτοματοποιημένη παρακολούθηση και ανάλυση ήχου, συμπεριλαμβανομένου του αναδύομενου πεδίου των ακουστικών δεικτών. (Bradfer-Lawrence et al., 2019). Σε αυτή την έρευνα μελετώνται για πρώτη φορά ηχοτοπία στα Λευκά Όρη των Χανίων. Η προστατευόμενη περιοχή του Εθνικού Πάρκου Σαμαριάς, στο οποίο ανήκει όλος ο ορεινός όγκος των Λευκών Ορέων, περιλαμβάνει μία μεγάλη ποικιλομορφία τοπίων όπως, οροπέδια, φαράγγια, απόκρυμνες πλαγιές, κορυφές, ή δολίνες. Διαφορετικά τοπία στα οποία ανήκουν βασικοί τύποι οικοτόπων της οδηγίας 92/43/ΕΟΚ μελετώνται στα Λευκά Όρη εδώ και δύομιση έτη. Οι ηχογραφήσεις αυτών των ετών καλύπτουν χαρακτηριστικές περιοχές στο Ε.Π. Σαμαριάς όπως ο πυρήνας του Ε.Π., δάση κυπαρισσιού, δάση τραχείας πεύκης, ορο-μεσογειακά χέρσα εδάφη, μεσογειακά εποχικά τέλματα, και δάση Αμπελιτσιάς (*Zelcova Abelicea*). Οι συχνότητες δειγματοληψίας διαφέρουν από 44100Hz σε 96000Hz, ενώ δεν χρησιμοποιήθηκε φίλτρο για τις χαμηλές συχνότητες. Η διάρκεια των ηχητικών αποσπασμάτων που συλλέγονται για κάθε μέρος είναι ενός λεπτού έως δέκα λεπτά και για τους ακουστικούς δείκτες προσαρμόζονται όλα τα ακουστικά δείγματα σε μονόλεπτα.

Έως σήμερα, από αναλύσεις ηχητικών καταγραφών στις διαφορετικές τοποθεσίες, με τους επιλεγμένους ακουστικούς δείκτες (ACI-Δείκτης Ακουστικής Πολυπλοκότητας, ADI-Δείκτης Ακουστικής Ποικιλότητας, AEI-Δείκτης Ακουστικής Ομοιότητας, BI-Βιοακουστικός Δείκτης, NDSI-Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς του Ηχοτοπίου) σε ηχητικά αποσπάσματα ενός λεπτού διαφαίνεται ότι οι επιλεγμένοι δείκτες ανταποκρίνονται καλύτερα στα χαρακτηριστικά βιοφωνίας (επικρατεί ηχητικά στους οικοτόπους με τα δάση κυπαρισσιού, στο δάσος Αμπελιτσιάς και στο εποχιακό τέμα του Ομαλού), και λιγότερο στα χαρακτηριστικά της γεωφωνίας (επικρατεί ηχητικά στους οικοτόπους δασών τραχείας πεύκης εντός του φαραγγιού της Σαμαριάς) των επιλεγμένων περιοχών. Ως προς την ανθρωποφωνία, οι δείκτες ACI και NDSI είναι

χαμηλότεροι στους ορεινούς οικοτόπους πάνω από την Ανώπολη, λόγω αφενώς της φτωχότερης ηχητικής πολυπλοκότητας και αφετέρου του ακούσματος των κουδούνων των αιγοπροβάτων. Από τις αναλύσεις έως τώρα αλλά και από τη βιβλιογραφία, φαίνεται ότι η απόδοση των ακουστικών δεικτών επηρεάζεται από τις τοπικές συνθήκες διάδοσης του ήχου, με αποτέλεσμα να τίθεται ένα όριο συγκρισιμότητάς τους σε διαφορετικά περιβάλλοντα και χρόνους. (Mooney et al., 2020; Schoeman et al., 2022) και να μην αποκλείεται η φυσική παρατήρηση.

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε μία μεικτή προσέγγιση μελέτης του κάθε ηχοτοπίου: Μία ποιοτική βασισμένη στην φυσική παρατήρηση ηχητικών πηγών στο πεδίο ή με δειγματοληπτικές ακροάσεις ηχογραφήσεων, όπως επίσης και οπτικός έλεγχος φασματογραφημάτων · μία ποσοτική με την ανάλυση των ηχητικών καταγραφών σε συχνότητες γεωφωνίας – ανθρωποφωνίας και βιοφωνίας και την εξαγωγή επιλεγμένων ηχητικών δεικτών. Οι ηχογραφήσεις αναλύθηκαν με τη βοήθεια της νέας βιβλιοθήκης ηχητικής επεξεργασίας *scikit-maad*, έναν ανοιχτό κώδικα επεξεργασίας ηχητικών δεδομένων από περιβαλλοντικές ηχογραφήσεις.

Από τη σύνδεση της ποιοτικής και ποσοτικής έρευνας και το συνδυασμό φυσικής παρατήρησης και υπολογιστικών αναλύσεων, διαπιστώθηκε ποιιά είναι τα χαρακτηριστικά φυσικά φαινόμενα που ακούγονται, τα χαρακτηριστικά είδη και οι κύριες ανθρωπογενείς δραστηριότητες που επικρατούν σε κάθε τόπο. Ο συνδυασμός αυτός μπορεί να οδηγήσει σε μία μεθοδολογία καθορισμού των ήχων που χαρακτηρίζουν τους οικοτόπους στις περιοχές μελέτης.

Η ανάλυση δείχνει ότι οι τοποθεσίες είναι αρκετά διαφοροποιημένες και τα ηχητικά χαρακτηριστικά είναι ευδιάκριτα ομαδοποιημένα, λόγω ίσως της χωρικής ετερογένειάς τους και λόγω διαφορετικής παρουσίας βιοφωνίας. Τα αποτελέσματά μας συμφωνούν με την αναγνώριση ηχητικών μοτίβων, που σχετίζονται με τη διαφορετική επικάλυψη βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων. Στόχος είναι η συλλογή ηχογραφήσεων ως ένα νέο εργαλείο περιβαλλοντικής παρακολούθησης το οποίο θα μπορεί να αναγνωρίσει αποτελεσματικά τις μεταβολές ή μη των οικοσυστημάτων σε διάφορου τύπου διαταραχές όπως είναι η αλλαγή θερμοκρασίας, οι ασθένειες, η υπερβόσκηση και η ανθρώπινη δραστηριότητα.

Η μακροπρόθεσμη συλλογή ακουστικών δεδομένων μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ενός αποθετηρίου για την παρακολούθηση της κατάστασης και της εξέλιξης της βιοποικιλότητας μιας περιοχής. Πρόκειται για μια ακουστική προσέγγιση των άμεσων (φυσική παρατήρηση) ή έμμεσων (υπολογιστική επεξεργασία) πληροφοριών που δίνονται από ηχογραφήσεις σε διακριτά περιβάλλοντα σχετικά με τα χαρακτηριστικά του τοπίου και της βιοποικιλότητας. Ειδικά σε προστατευόμενα μέρη με περιορισμένες ανθρώπινες δραστηριότητες και ειδικά σε αυτή των Λευκών Ορέων με περιορισμένο οδικό δίκτυο και ανθρώπινη παρουσία, οι μεταβολές που οφείλονται σε μη ανθρώπινους παράγοντες όπως η αύξηση της θερμοκρασίας, μπορούν να μελετηθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Τα ηχοτοπία της Θαλάσσιας Προστατευόμενης Περιοχής της Γυάρου ως μέσο ερμηνείας περιβάλλοντος και ευαισθητοποίησης

Χαρίκλεια Μινώτου^{1,*}, Θεοφάνης Μαραγκός² Αριστοτέλης Μαρτίνης³,
Αριστοτέλης Φίλιππος Σκιαδαρέσης⁴ Σπύρος Κοτομάτας⁵

¹Ιόνιο Πανεπιστήμιο -Τμήμα Περιβάλλοντος, Εντεταλμένη Διδάσκουσα

²Ιόνιο Πανεπιστήμιο - Τμήμα Μουσικών Σπουδών, Υποψήφιος Διδάκτωρ

³Ιόνιο Πανεπιστήμιο -Τμήμα Περιβάλλοντος, Αναπληρωτής Καθηγητής

⁴Ιόνιο Πανεπιστήμιο -Τμήμα Περιβάλλοντος, Ερευνητής

⁵WWF Ελλάς, Υπεύθυνος δράσεων Γυάρου

*charmini@otenet.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η προστασία και διαχείριση των Προστατευόμενων Περιοχών (ΠΠ) αποτελεί προτεραιότητα στο πλαίσιο των στόχων της Βιώσιμης Ανάπτυξης. Στην Ελλάδα οι ΠΠ καταλαμβάνουν περίπου το 30% της έκτασης της και μπορεί να είναι χερσαίες ή θαλάσσιες. Η ενημέρωση και ευαισθητοποίηση μπορεί ν' αποτελέσουν σημείο αναφοράς για τη δημιουργία περιβαλλοντικής συνείδησης και δυναμικά να συμβάλλουν στην προστασία και διαχείριση.

Η ερμηνεία περιβάλλοντος των ΠΠ με τη χρήση καινοτόμων διεπιστημονικών πεδίων, όπως αυτό της Ακουστικής Οικολογίας, προσδίδει δυνατότητες και προκλήσεις στο πλαίσιο διάχυσης της περιβαλλοντικής πληροφορίας για γενικές και ειδικές ομάδες.

*Η Θαλάσσια Προστατευόμενη Περιοχή (ΘΠΠ) της Γυάρου αποτελεί την περίπτωση μελέτης στην παρούσα έρευνα/έργο και η οπτικοακουστική καταγραφή και αποτύπωση των τοπίων και ηχοτοπίων της περιοχής αποτελούν τα κύρια μέσα για τη δυνατότητα εικονικής επίσκεψης στο νησί για όλους. Η Γυάρος έχει χαρακτηριστεί ως ιστορικός τόπος και αποτέλεσε και τόπο φυλακής και εξορίας ενώ παράλληλα φιλοξενεί μία από τις σημαντικότερες αποικίες της μεσογειακής φώκιας (*Monachus monachus*) καθώς και το 1/3 του παγκόσμιου πληθυσμού των μύχων (*Puffinus yelkouan*), που φωλιάζει και γεννά στη βραχύδη ακτογραμμή της. Ιδιαίτερα σημαντική είναι και η χερσαία και θαλάσσια βιοποικιλότητα της. Για τους παραπάνω λόγους, το 2015 χαρακτηρίστηκε ως Θαλάσσιο Καταφύγιο Άγριας Ζωής και το 2019 με Υπουργική Απόφαση του Υπουργείου Περιβάλλοντος οριοθετήθηκαν και θεσμοθετήθηκαν ζώνες και μέτρα προστασίας.*

Σκοπός της έρευνας ήταν η ρεαλιστική αποτύπωση και χαρτογράφηση της ΘΠΠ μέσω διαδρομών, και η δημιουργία υλικού επικοινωνίας, προβολής και ξενάγησης με ηχοτοπία και αφηγήματα στο πλαίσιο «Φύση για όλους», σε τρεις γλώσσες.

Για την καταγραφή και αποτύπωση οι επιτόπιες επισκέψεις συνετέλεσαν ώστε να δημιουργηθούν αρχεία οπτικοακουστικού υλικού, ηχοτοπίων καθώς και ηχητική βιβλιοθήκη. Η χαρτογράφηση της περιοχής με κριτήρια που συνδύαζαν την ιστορική/πολιτιστική ταυτότητα και την περιβαλλοντική αξία (βιοποικιλότητα, τοπίο, οικότοποι, είδη και ενδιαίτημα τους) επαναπροσδιόρισαν τα τοπία του νησιού και με ηχητική ταυτότητα.

Τα ηχοτοπία καταγράφηκαν με ειδικό εξοπλισμό για την εξασφάλιση της ηχητικής ποιότητας και πιστότητας και οι καταγραφές πραγματοποιήθηκαν σε δύο διαφορετικές εποχές, χειμώνα και άνοιξη. Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκαν δυο συστήματα ηχητικής καταγραφής, το ένα στερεοφωνικό με τη σχεδόν συμπτωτική τεχνική ORTF και ένα τρισδιάστατης ηχητικής αποτύπωσης με τη τεχνική ambisonics. Επίσης, για τις ανάγκες πιο στοχευμένων ηχογραφήσεων χρησιμοποιήθηκαν εξειδικευμένα μικροφωνα όπως γεόφωνο και υδρόφωνο.

Οι ηχητικές καταγραφές στο πλαίσιο της έρευνας αποτυπώνουν τόσο το εξωτερικό περιβάλλον (φυσικό) όσο και το εσωτερικό εντός των υφιστάμενων κτιρίων (φυλακές, ερείπια, παλαιοί καταυλισμοί, φυλάκια). Στις καταγραφές συμπεριλαμβάνονται και αρχεία που συνδέονται με τη βιοποικιλότητα της Γυάρου. Το οπτικοακουστικό υλικό, φωτογραφίες και βίντεο, συνδυάστηκε με τα ηχητικά αρχεία και δημιούργησαν, ως σύνολο, ένα δίκτυο 31 σημείων που μπορούν αυτόνομα ή συνδυαστικά κατ' επιλογή του επισκέπτη, να τον μεταφέρουν «εικονικά» και βιωματικά στην περιοχή.

Ακολουθώντας τις αρχές της ερμηνείας περιβάλλοντος για γενικές και ειδικές ομάδες τα αφηγήματα που δημιουργήθηκαν για κάθε σημείο διευκολύνουν τον επισκέπτη να μεταφερθεί χωροχρονικά στη Γυάρο και ν' αντιληφθεί τη μοναδική ταυτότητα κάθε σημείου.

Παράλληλα, στο υλικό ευαισθητοποίησης που δημιουργήθηκε τα ηχοτοπία χρησιμοποιούνται ως σημείο αναφοράς για τη Γυάρο και συμβάλλουν στην επίτευξη μίας ρεαλιστικής, προσβάσιμης σε όλους εικονική μεταφορά στην ΠΠ. Το υλικό αναρτήθηκε σε ιστοσελίδα που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο του έργου, το "Gyaros-Story" και αποτέλεσε δύο διακριτές ενότητες της, το «Εικονικά» και το «Βιβλιοθήκη».

Το Μουσειακό Ηχοτοπίο: Μια μουσική προσέγγιση στον σχεδιασμό μουσειακών εκθέσεων

Τρύφωνας Γέσιος-Κρασιώτης
Μάρκου Μπότσαρη 10, Έδεσσα
trifonas.kraniotis@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το κύριο εγχείρημα της συγκεκριμένης εργασίας είναι η έρευνα των διάφορων συνιστώσεων του ήχου, του θορύβου και της μουσικής, οι οποίες μπορούν να μας οδηγήσουν στον Μουσειολογικό Προγραμματισμό και Σχεδιασμό, μέσω της νοηματοδότησης, της μεταγραφής από τη μουσική και τον ήχο στον χώρο. Το κεντρικό αυτό ερώτημα, του περάσματος από τον ήχο και τη μουσική στον Μουσειολογικό Σχεδιασμό, προκύπτει ουσιαστικά από την προσπάθεια εύρεσης θεωρίας, τρόπων και τεχνικών επέκτασης των σύγχρονων μεθοδολογιών της μουσειολογίας. Μέσω της ανάπτυξης στοιχείων της θεωρίας του Ήχου, του Θορύβου και της Μουσικής προσπαθούμε να βρούμε τα σημεία στα οποία οι παραπάνω έννοιες συναντώνται με το Μουσείο, ουσιαστικά γεφυρώνοντας δύο διαφορετικούς κόσμους, τη Μουσική και την Αρχιτεκτονική, με πεδίο εφαρμογής τη Μουσειακή Έκθεση.

Ηχητικά Χαϊκού: Ποιητικές απόπειρες στο ηχητικό σύμπαν του Χαϊκού

Χρυσή Πανταζή
Δαρδανελλίων 5 – 55131 Καλαμαριά
chrys.pantazi@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο μελετούμενο αντικείμενο και το τελικό δημιουργικό αποτέλεσμα εξετάζεται η δυνατότητα σύνθεσης ηχητικών έργων (έργων που αξιοποιούν αποκλειστικά ηχητικό υλικό και όχι μουσική), βασισμένων στις αρχές, τα πρότυπα και τις αξίες της ποίησης χαϊκού. Επίσης μελετάται η δημιουργική διαδικασία από τεχνικής και αισθητικής σκοπιάς και γίνονται παρατηρήσεις σε σχέση με ένα ολοκληρωμένο έργο αποτελούμενο από ένα σύνολο ηχητικών ποιημάτων.

Το ιαπωνικό ποιητικό είδος χαϊκού εξελίχθηκε ως τέκνο παλαιότερων ειδών και συστηματοποιήθηκε από τον ποιητή Matsuo Basho τον 17ο αιώνα. Χαρακτηριστικά του είδους είναι κυρίως η σύντομη δομή των τριών στίχων, που αποτελούνται από μετρούμενες χρονικά συλλαβές με τάξη 5-7-5 και η αυστηρή θεματολογική απαίτηση για παρουσίαση μίας στιγμής στη φύση, όταν ένα συμβάν ανατρέπει ή ανακινεί την επικρατούσα ατμόσφαιρα.

Για την προσέγγιση και διαμόρφωση των χαϊκού, χρησιμοποιήθηκαν δύο κυρίως ομάδες εργαλείων. Η συστηματική μελέτη των πηγών για την αναγνώριση και καταγραφή των βασικών τυπικών και τεχνικών προδιαγραφών της φόρμας και η τεχνική κατασκευής ηχητικών αφηγήσεων που έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο έρευνας του Εργαστηρίου Ήχου και Μουσικής του Τμήματος Κινηματογράφου του Α.Π.Θ. Μέρος αυτών είναι και η προσπάθεια για συστηματοποίηση των μεθόδων παραγωγής, προκειμένου να διευκολύνονται οι μελλοντικές προσπάθειες των δημιουργών και να εμπλουτίζονται τα εργαλεία τους. Παρότι εκ πρώτης όψεως η πρόταση για μια τυπική μεθοδολογία φαίνεται να έρχεται σε αντίθεση με την ελευθερία που απαιτεί η δημιουργική διαδικασία, η ίδια η φύση του χαϊκού αλλά και άλλων ειδών μας δείχνει ότι ένας καμβάς αρχών και τεχνικών όχι μόνο δεν περιορίζει την/ον καλλιτέχνη αλλά ενισχύει την εστίασή του και προσφέρει ένα σταθερό υπόβαθρο για να στηρίξει τις επόμενες κινήσεις του. Συνοπτικά, ο καμβάς αυτός που προέκυψε από τις ειδικές ανάγκες για την κατασκευή των αυτόνομων (όχι διασκευών) ηχητικών χαϊκού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τις κατάλληλες προσαρμογές και σε άλλα είδη δομημένης ποίησης που ενσωματώνουν τον ήχο στο περιεχόμενό τους, όπως για παράδειγμα το σονέτο κ.λπ., και περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- Μελέτη των αρχών και κανόνων του είδους (θεματολογία, ρυθμολογία, αριθμός στίχων κ.λπ.).
- Μελέτη χρήσης του είδους για διασκευές ή πρωτότυπα έργα από άλλους καλλιτέχνες και καταγραφή των επιλογών τους.

- Επιλογή των κανόνων και των εργαλείων που θα ακολουθήσει ο δημιουργός για το δικό του έργο.
- Λήψη τελικών αποφάσεων για τη δομή, τη διάρκεια, το ρυθμό, το είδος και την προέλευση των ήχων και το περιεχόμενο.
- Συλλογή ήχων στο πεδίο με βάση τις αρχικές προθέσεις του δημιουργού όσον αφορά το περιεχόμενο. Πρώτη διαλογή και ταξινόμηση.
- Σχεδιασμός του αρχικού σεναρίου/ντεκουπάζ με βάση την απόκτηση ηχογραφημάτων κατάλληλων να υπηρετήσουν τις ιδέες του δημιουργού.
- Επί πλέον ηχογραφήσεις, κατασκευή foley ή αναζήτηση των κατάλληλων ήχων σε βιβλιοθήκες για την εξυπηρέτηση του σεναρίου.
- Τελική διαλογή και ταξινόμηση.
- Διορθώσεις στο σενάριο.
- Συγκέντρωση των κατάλληλων ήχων για το υπό κατασκευή ποίημα σε ένα συγκεκριμένο φάκελο.
- Κατασκευή της πρότυπης δομής στο DAW, δηλαδή ενός αρχείου στο οποίο ορίζονται η διάρκεια, τα μέρη κ.λπ.
- Σύνθεση σύμφωνα με το σενάριο, προσαρμογές, τεχνική επεξεργασία.
- Παραγωγή τελικού έργου.

Η διαδικασία παραγωγής υφίσταται τις δυσκολίες της συγκέντρωσης του υλικού, λόγω της ανάγκης να αποτυπωθεί αυτό στο φυσικό περιβάλλον, της αποτελεσματικής διαλογής και ταξινόμησης, αλλά και από τους προβληματισμούς σχετικά με το αν η προβλεπόμενη μορφή μπορεί να εξυπηρετηθεί πλήρως ή αν θα επιτραπεί στο ποιητικό προϊόν να επιβάλλει κάποιες από τις ανάγκες του σε αυτήν. Η φυσικότητα και η υλικότητα του ποιήματος, χαρακτηρίζει τα μέσα και τη ροή του έργου αλλά μπορεί επίσης να επιβάλει αλλαγές στη μορφή. Αυτά ωστόσο δεν δημιουργούν απόσταση από την αρχική πρόθεση, δηλαδή τη διατήρηση του πνεύματος και του σχήματος αυτού του μοναδικού καλλιτεχνικού ιδιώματος.

Η αναζήτηση νέων αφετηριών έμπνευσης και εργαλείων για την υλοποίηση καλλιτεχνικών έργων είναι βασική μέριμνα της/ου δημιουργού. Και αν το αξίωμα πως δεν υπάρχει παρθενόγεννηση στην τέχνη είναι μια κοινοτοπία, δεν παύει να ισχύει. Το χαϊκού, όντας ποίημα, φέρει και ένα συμβολικό περιεχόμενο, αποτελώντας μία μεταφορά και δίνοντας έτσι στην/ο δημιουργό που θα επιχειρήσει να συνθέσει κάτι ανάλογο, μεγάλη ελευθερία στην επιλογή του υλικού και τα συναισθήματα που θα προσπαθήσει να καμουφλάρει μέσα σε αυτό.

Ανάλυση Μεικτού Ηχοτοπίου: Καστελλάκια, Ρέθυμνο

Ιουλία Παναγιώτου
Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο,
74100 Ρέθυμνο
iouliamaria14@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάλυση Ηχοτοπίου αποτελεί έναν καινοτόμο και πολυδιάστατο τομέα μελέτης, της Ακουστικής. Οικολογίας για την καταγραφή και την ερμηνεία των ακουστικών τοπίων ενός συγκεκριμένου χώρου προσφέροντας πολύτιμες πληροφορίες για τη δυναμική των οικοσυστημάτων και την ανθρώπινη αλληλεπίδραση με το περιβάλλον. Η παρούσα προσέγγιση εστιάζει στην δημιουργία και χρήση Ηχητικών Χαρτών, Ηχητικών Ημερολογίων και Ηχογραφήσεων, με στόχο την καλύτερη κατανόηση και αντίληψη των Ηχοτοπίων.

Οι Ηχητικοί Χάρτες αποτελούν γραφικές αναπαραστάσεις των Ηχητικών Περιβαλλόντων, οι οποίες απεικονίζουν την κατανομή και των ήχων στον χρόνο και τον χώρο μιας ορισμένης περιοχής. Αυτοί οι χάρτες δημιουργούνται μέσω της συστηματικής καταγραφής Ηχητικών Δεδομένων με τη χρήση προηγμένων τεχνολογιών καταγραφής ήχου, όπως μικρόφωνα υψηλής ευαισθησίας και συσκευές καταγραφής. Η ανάλυση των δεδομένων αυτών επιτρέπει τον εντοπισμό προτύπων ηχητικής δραστηριότητας και την αναγνώριση κρίσιμων σημείων περιβαλλοντικής σημασίας.

Παράλληλα, τα Ηχητικά Ημερολόγια αποτελούν μια χρονοσειρά Ηχητικών Δεδομένων που καταγράφονται σε τακτά χρονικά διαστήματα, παρέχοντας μια δυναμική εικόνα των μεταβολών στα Ηχοτοπία, με την πάροδο του χρόνου. Οι ηχογραφήσεις, που αποτελούν τη βάση για τη δημιουργία της έρευνας, διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ανάλυση Ηχοτοπίου. Ένα σημαντικό μέρος της ανάλυσης Ηχοτοπίου περιλαμβάνει την επεξεργασία και την ερμηνεία των δεδομένων μέσω υπολογιστικών μεθόδων και αλγορίθμων. Η ανάλυση αυτών των στοιχείων πραγματοποιείται με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού που επιτρέπει την ανάλυση φασματογραφημάτων, την αναγνώριση και ταξινόμηση Ηχητικών Σημάτων, καθώς και την εξαγωγή σημαντικών Ακουστικών Χαρακτηριστικών.

Το Ηχοτοπίο της συγκεκριμένης έρευνας είναι ένα μεικτό Ηχοτοπίο στην τοποθεσία Καστελλάκια, η οποία βρίσκεται στο Ρέθυμνο της Κρήτης. Αυτή η περιοχή χαρακτηρίζεται από την παρουσία τόσο αστικών όσο και φυσικών στοιχείων, προσφέροντας μια μοναδική ακουστική εμπειρία που συνδυάζει τον θόρυβο της πόλης με τους ήχους της φύσης. Στα Καστελλάκια, μπορεί κανείς να ακούσει τους ήχους της αστικής ζωής, όπως την κίνηση των οχημάτων, τις φωνές των ανθρώπων και τις

δραστηριότητες τους, παράλληλα με τους φυσικούς ήχους από τα δέντρα, τα πουλιά, τον άνεμο και την θάλασσα. Αυτή η συνύπαρξη αστικών και φυσικών ήχων καθιστά το Ηχοτοπίο της περιοχής ιδιαίτερα ενδιαφέρον για ανάλυση.

Οι ήχοι που ακούει ένας οποιοσδήποτε οργανισμός, σε ένα μέρος, μπορεί να προσεγγίσει την έννοια του Ηχοτοπίου. Ως Ηχώσημο της περιοχής που μελετάται αποτελεί η καμπάνα από το μικρό εκκλησάκι των Καστελλακίων, ενώ ως Ήχος Υποβάθρου χαρακτηρίζεται η κίνηση του ΒΟΑΚ (Βόρειος Οδικός Άξονας Κρήτης), ο οποίος είναι συνεχόμενος και παρατηρείται κυρίως στην αρχή και μετά «ξεχνιέται». Ομοίως, ο αέρας – όταν υπάρχει – χαρακτηρίζεται ως Βασικός Ήχος του Ηχοτοπίου, καθώς δεν παρατηρείται συνέχεια, λόγω της μεγάλης διάρκειας του και λόγω του ότι είναι μακρόσυρτος ήχος. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν οι Ήχοι Προσκήνιου που αποτελούν προτεραιότητα στην ακρόαση, σε συνδυασμό με τις Ηχητικές Πηγές και τα Ηχητικά Γεγονότα.

Συνοψίζοντας, η παρούσα μελέτη αποσκοπεί στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι άνθρωποι αλληλεπιδρούν με τα Ηχοτοπία και σε τι βαθμό. Ταυτόχρονα, μέσω της ανάλυσης συγκεκριμένων ηχητικών παραδειγμάτων, η μελέτη επιδιώκει να διευκρινίσει κρίσιμους όρους και έννοιες της ακουστικής οικολογίας. Έτσι, η έρευνα συμβάλει στη διαμόρφωση της αντίληψης των Ηχοτοπίων και στην κατανόηση ορολογίας, αλλά και για την παρατήρηση ανθρωπογενών και φυσικών ήχων στα Καστελλάκια.

Διερεύνηση περιφερειακών συστημάτων αναπαραγωγής και αξιολόγηση πιστότητας αναπαραγωγής εικονικού περιφερειακού ήχου

Ενές Αχμέτ Κεχαγιά*, Γεώργιος Καλλίρης Χρήστος Γούσιος
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
*enesachm@film.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία διερευνά και αξιολογεί την πιστότητα και την ακουστική απόδοση του εικονικού περιφερειακού ήχου. Μέσω πειραμάτων ακρόασης, εκτιμάται η ικανότητα της τεχνολογίας αυτής να αποδώσει την ακουστική του χώρου καθώς και την ακριβή τοποθέτηση των ηχητικών πηγών σε ένα τεχνητό ηχητικό πεδίο. Η διαδικασία αυτή διενεργείται με τη συμμετοχή εξωτερικών συμμετεχόντων, σε μια προσπάθεια να εξασφαλιστεί μια ευρεία και αντικειμενική αξιολόγηση.

Με τον όρο “εικονικός περιφερειακός ήχος” (virtual surround sound) εννοούμε την τεχνολογία η οποία στοχεύει να προσομοιώσει την εμπειρία του περιφερειακού ήχου, χρησιμοποιώντας ακουστικά που διαθέτουν μόνο δύο μετατροπείς. Σε αντίθεση με την παραδοσιακή εγκατάσταση περιφερειακού ήχου, όπου τοποθετούνται πολλαπλά ηχεία σε φυσικό χώρο δημιουργώντας έτσι ένα περιβάλλον εμπύθισης, στην περίπτωση του εικονικού περιφερειακού ήχου χρησιμοποιούνται προηγμένες τεχνικές επεξεργασίας σήματος για να προσομοιωθεί η περιφερειακή κατευθυντικότητα του αναπαραγόμενου ήχου.

Στο virtual surround για να δημιουργηθεί η αίσθηση ήχου που προέρχεται από διάφορες κατευθύνσεις γύρω από τον ακροατή, μέσω της επεξεργασίας αναλύονται τα ηχητικά σήματα και εφαρμόζονται τεχνικές όπως η μετατόπιση φάσης (phase shifting), η χρονική καθυστέρηση (time delays), και η μεταβολή συχνότητας (frequency manipulation). Με αυτόν τον τρόπο, τα συστήματα του εικονικού περιφερειακού ήχου μπορούν να παρέχουν μια αίσθηση βάθους και κατευθυντικότητας στον χώρο, ενισχύοντας τη συνολική εμπύθιση. Ο εικονικός περιφερειακός ήχος εφαρμόζεται σε πλήθος οπτικοακουστικών παραγωγών, όπως κινηματογραφικές ταινίες, παιχνίδια, εφαρμογές AR & VR και άλλα πολυμέσα.

Ο κύριος στόχος της εργασίας αυτής είναι να διερευνήσει την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας του εικονικού περιφερειακού ήχου, όταν αυτή εφαρμόζεται για την προσομοίωση του συστήματος 5.1. Ειδικότερα, επιδιώκεται η εξέταση της δυνατότητας να αναδημιουργηθεί το πραγματικό σύστημα περιφερειακού

ήχου (5.1) σε εικονικό περιφερειακό σύστημα, παρέχοντας μια πιο πλούσια εμπειρία ακρόασης για τον χρήστη όταν χρησιμοποιεί συμβατικά ακουστικά.

Για την παρούσα έρευνα υιοθετήθηκε η παρακάτω μεθοδολογία:

1. Δημιουργία τριών πρωτότυπων πολυκαναλών ηχητικών συνθέσεων όπου η κάθε μία έχει διαφορετικό περιεχόμενο, το οποίο αφορά τον χώρο αλλά και την κίνηση που υπάρχει στον χώρο αυτό.

2. Οι πρωτότυπες πολυκάναλες συνθέσεις μετατράπηκαν από πολυκάναλες σε εικονικές περιφερειακές, δηλαδή δικάναλες πλέον συνθέσεις σήματος, όπου πλέον αναπαράγονται από στερεοφωνικό σύστημα.

3. Οργανώθηκαν ερωτηματολόγια τα οποία περιέχουν δύο κύρια σκέλη: το ένα αφορά την ακρόαση και συμπλήρωση ερωτήσεων σχετικών με τις συνθέσεις και τα σχετικά ερευνητικά ερωτήματά μας και το δεύτερο σκέλος που αφορά τη συγκέντρωση δημογραφικών στοιχείων.

4. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε διαδικτυακά, λόγω των δυσκολιών της τότε εποχής, (Covid 19) όπου δεν ήταν δυνατόν να διεξαχθεί συγχρονα σε εργαστηριακό περιβάλλον. Τα ηχητικά αποσπάσματα και το ερωτηματολόγιο αποστάλθηκαν στους συμμετέχοντες μέσω e-mail ή άλλους τρόπους διαδικτυακής επικοινωνίας.

5. Μετά την ολοκλήρωση του πειράματος συλλέχθηκαν τα αποτελέσματα, τα οποία και παρουσιάζονται, αλλά και η ανάλυση των αποτελεσμάτων με γραφήματα.

Με την διεξαγωγή του πειράματος αντλήθηκαν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την πιστότητα του εικονικού περιφερειακού ήχου. Ακόμη και με την έλλειψη οπτικού ερεθίσματος, σε έναν βαθμό είναι εφικτό να αναγνωριστεί το μέγεθος ενός αναπαριστάμενου χώρου μόνο μέσω του ήχου, αλλά και η ταυτότητα του, όταν παρέχονται ακουστικές πληροφορίες οι οποίες αποτελούν ήχους-ταυτότητα για κάποιον χώρο. Με την έλλειψη χαρακτηριστικού ήχου, η αναγνώριση ταυτότητας καθίσταται δυσκολότερη. Επιπλέον η ύπαρξη κίνησης είναι αντιληπτή ανεξάρτητα με το μέγεθος ή το είδος της κίνησης που πραγματοποιείται. Στην περίπτωση όμως του εντοπισμού της προέλευσης κίνησης πηγής, με την προσομοίωση περιφερειακού συστήματος 5.1, παρατηρήθηκε ότι για τα περισσότερα είδη κινήσεων, ο εντοπισμός καθίσταται δύσκολος. Η δυσκολία εντοπισμού ίσως σε κάποιο βαθμό να οφείλεται στην έλλειψη οπτικού ερεθίσματος ή στην ποιότητα των ακουστικών που χρησιμοποιήθηκαν.

Ως περαιτέρω μελέτη ή αντικείμενο μελλοντικής έρευνας θα μπορούσε να αποτελέσει, η αξιολόγηση της προσομοίωσης ενός συστήματος περιφερειακού ήχου 5.1 μέσω του virtual surround συγκριτικά με το surround 5.1 όπου τα ηχεία είναι τοποθετημένα σε φυσικό χώρο. Σαφέστατα η έρευνα σχετικά με τον εικονικό περιφερειακό ήχο θα μπορούσε μελλοντικά να επεκταθεί από σχετική επιπλέον μελέτη αναφορικά με άλλα συστήματα αναπαραγωγής (π.χ. Atmos). Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσε να εξεταστεί και η περίπτωση που η προέλευση πηγής ενός ήχου βρίσκεται πάνω από το κεφάλι ενός ακροατή. Ως μελλοντική επέκταση αυτής της εργασίας θα μπορούσε επίσης να συνδυαστεί και η εισαγωγή του οπτικού ερεθίσματος, με σκοπό την διαπίστωση του ποσοστού επιτυχούς αναγνώρισης κατά τον συνδυασμό ήχου και εικόνας. Επιπλέον, για την πιο λεπτομερή ακρόαση της απόδοσης αναπαραστάσης κινήσεων και χώρου, θα μπορούσε να συμπεριληφθεί και εξατομικευμένο σύστημα ακρόασης με σκοπό την εισαγωγή των Head Related Transfer Functions του εκάστοτε συμμετέχοντα ακροατή.

CAVEMOVE: Συλλογή ακουστικών δεδομένων για τη μελέτη τεχνολογιών φωνής μέσα σε κινούμενα οχήματα

Νικόλαος Στεφανάκης^{1,2,*}, Μαρίνος Καλαϊτζάκης²,
Δέσποινα Παυλίδη² και Αντρέας Συμακάκης²

¹Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής,
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

² Ινστιτούτο Πληροφορικής, Ίδρυμα Τεχνολογίας
και Έρευνας

*nstefana@hmu.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Εκτιμάται ότι μέχρι το 2028, το 90% των οχημάτων που κατασκευάζονται παγκοσμίως θα ενσωματώνει τεχνολογίες φωνής. Οι τεχνολογίες αυτές θα επιτρέπουν στον οδηγό και τους επιβάτες να ελέγχουν λειτουργίες του οχήματος, αλλά θα βοηθούν επιπλέον σε εφαρμογές τηλεπικοινωνίας, ψυχαγωγίας και ασφάλειας. Οι τεχνολογίες φωνής έχουν μελετηθεί και εξελιχτεί σε σημαντικό βαθμό σήμερα, ωστόσο η απευθείας ενσωμάτωσή τους στα κινούμενα οχήματα χρήζει επιπρόσθετης έρευνας, λόγω των ιδιαίτερα δυσμενών συνθηκών θορύβου που επικρατούν στο συγκεκριμένο ηχητικό περιβάλλον.

Το CAVEMOVE είναι ένα ερευνητικό έργο που αποσκοπεί στην καταγραφή ηχητικών δεδομένων πολλών καναλιών για τη μελέτη και ανάπτυξη τεχνολογιών φωνής μέσα σε κινούμενα οχήματα. Το έργο επικεντρώνεται τόσο στην καταγραφή του θορύβου σε πραγματικές συνθήκες εν κινήσει, όσο και στη συλλογή κρουστικών αποκρίσεων που θα επιτρέπουν τη σύνθεση των συστατικών φωνής. Στο έργο υιοθετούνται δύο διαφορετικές προσεγγίσεις ως προς την τοποθέτηση των ακουστικών αισθητήρων εντός του οχήματος, αυτό των κατανεμημένων μικροφώνων και αυτό της συστοιχίας μικροφώνων. Στην παρούσα εργασία γίνεται μια σύντομη αναφορά στα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί έως τώρα, στις αποφάσεις που ελήφθησαν για τις συνθήκες ηχογράφησής τους αλλά και στον τρόπο που τα εν λόγω ακουστικά δεδομένα μπορούν να αξιοποιηθούν για τη μελέτη και ανάπτυξη διαφορετικών εφαρμογών πάνω στις τεχνολογίες φωνής.

Η καταγραφή του θορύβου γίνεται σε πραγματικές συνθήκες εν κινήσει και ανάλογα με το αυτοκίνητο, λαμβάνονται υπόψιν διαφορετικές καταστάσεις ως προς την ταχύτητα του οχήματος καθώς και ως προς τη θέση των παραθύρων. Παράλληλα, ηχογραφούνται θόρυβοι από τη λειτουργία του κλιματισμού και εξαερισμού (εν στάσει). Τα κάθε κανάλι εισόδου υποβάλλεται σε μία διαδικασία βαθμονόμησης, έτσι ώστε από τη στάθμη του σήματος να είναι δυνατόν να υπολογιστεί η στάθμη του ήχου σε dBA. Από τις ηχογραφήσεις που συλλέχθηκαν από τέσσερα διαφορετικά επιβατικά

αυτοκίνητα, στην εργασία γίνεται μια σύντομη αναφορά στις στάθμες θορύβου που μετρήθηκαν εντός της καμπίνας καθώς και της διαφοροποίησης που παρατηρήθηκε στη μετρούμενη στάθμη ανάλογα με τη θέση του μικροφώνου.

Η μέτρηση των κρουστικών αποκρίσεων από την άλλη αποσκοπεί στο να εκτιμηθούν τα χαρακτηριστικά του ακουστικού συστήματος όπως αυτό διαμορφώνεται από διαφορετικές θέσεις ομιλίας εντός της καμπίνας, θεωρώντας ότι το σύστημα είναι γραμμικό και χρονικά αμετάβλητο. Σε κάθε αυτοκίνητο, λαμβάνονται υπόψιν τουλάχιστον τέσσερις θέσεις διέγερσης, καλύπτοντας τις θέσεις του οδηγού, του συνοδηγού και των επιβατών πίσω αριστερά και πίσω δεξιά. Για τη διέγερση χρησιμοποιείται ειδικό βαθμονομημένο ηχείο που προσεγγίζει τα κατευθυντικά χαρακτηριστικά φωνής και συγκεκριμένα το Talkbox της NTi. Αξιοποιώντας ενσωματωμένα σήματα διέγερσης ροζ θορύβου το συγκεκριμένο ηχείο επιτρέπει την εκτίμηση της στάθμης του σήματος που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη φωνητική προσπάθεια.

Αξιοποιώντας τόσο τις ηχογραφήσεις θορύβου όσο και μέρος των μετρούμενων ακουστικών αποκρίσεων, διερευνάται πως λόγος σήματος-θορύβου διαφοροποιείται ανάλογα με τη θέση του ομιλητή και τις συνθήκες οδήγησης, ενώ ταυτόχρονα διερευνάται αν κάποιες θέσεις μικροφώνων είναι πιο ευνοϊκές έναντι άλλων από πλευράς λόγου σήματος προς θόρυβο. Γίνεται αναφορά στο πως τα ηχητικά δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μελέτη και ανάπτυξη τεχνολογιών φωνής, εστιάζοντας σε προβλήματα όπως την ανίχνευση ομιλίας, το σχηματισμού λοβού, την αναγνώριση ομιλητή και ομιλίας, τον διαχωρισμό ηχητικών πηγών κ.α. Τέλος, γίνεται αναφορά στο Application Programming Interface (API) που είναι υπό ανάπτυξη και θα επιτρέπει στο χρήστη την εύκολη ανάκληση και σύνθεση ηχητικών δεδομένων μέσω των γλωσσών προγραμματισμού Matlab και Python.

Ζητήματα και προβληματισμοί στη χωρική μείζη έργων δημοφιλούς μουσικής

Ιωάννης Μπαξεβάνης, MA Τέχνες και Τεχνολογίες του Ήχου, Ξάνθου 33 – Γαλάτσι, Αθήνα, baxejohn@gmail.com

Μηνάς Εμμανουήλ, Επικ. Καθηγητής, Τμήμα Μουσικών Σπουδών, Ιόνιο Παν/μιο, Κέρκυρα, eminas@ionio.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα συστήματα εγγραφής και αναπαραγωγής του ήχου έπαιζαν πολύ σπουδαίο και ιστορικό ρόλο στην εξέλιξη της μουσικής δημιουργίας, αφού οι τεχνολογίες τους ήταν αυτές που προσέφεραν νέες δυνατότητες και εργαλεία στους καλλιτέχνες της μουσικής και του ήχου γενικότερα. Παράλληλα επέτρεψαν τη διάδοση της μουσικής στο ευρύ κοινό που παλαιότερα μπορεί να μην είχε πρόσβαση στους χώρους επιτέλεσης της. Ακολουθώντας την πορεία αυτής της εξέλιξης, αρχικά συναντάμε τα συστήματα μονοφωνικής αναπαραγωγής, ενώ περίπου στα μέσα του 20^{ου} αιώνα και έπειτα εμφανίζονται τα πρώτα σύγχρονα στερεοφωνικά συστήματα στη μορφή που τα γνωρίζουμε έως σήμερα (πρώτες σχετικές εφαρμογές υπάρχουν ήδη από τα τέλη του 19^{ου} αι.). Η εξέλιξη των στερεοφωνικών συστημάτων και η ανάγκη προσφοράς μια πιο βιωματικής συνθήκης ακρόασης οδήγησαν στα πρώτα μοντέρνα συστήματα περιφερεικού ήχου (surround) και σε τεχνολογίες χωρικής μείζης, που όμως για αρκετές δεκαετίες έβρισκαν περισσότερο εφαρμογή στον κινηματογράφο και στις ηχητικές εγκαταστάσεις και όχι τόσο στη μουσική. Συστήματα διάχυσης ήχου (πχ. Acoustmonium), αλλά και τετραφωνικής (ή και μεγαλύτερης φόρμας) μείζης και αναπαραγωγής βρήκαν εφαρμογή είτε σε συγκεκριμένα πειραματικά είδη ηλεκτρονικής μουσικής είτε σε παραγωγές μουσικής που αποτέλεσαν εξαίρεση στον κανόνα. Κάτι που ήθελε τη μουσική βιομηχανία να αρκείται στις δυνατότητες της καθιερωμένης δικαναλικής στερεοφωνίας.

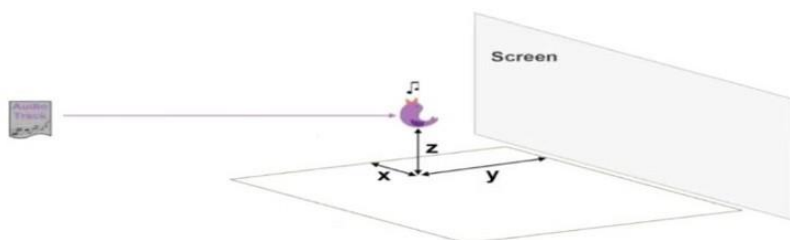
Σήμερα πλέον, ως αποτέλεσμα των εξελίξεων στις τεχνολογίες τρισδιάστατης ηχητικής προβολής (ambisonics, binaural, Dolby Atmos, κλπ.), συναντάμε εφαρμογές χωρικής μείζης σε πολλά είδη εφαρμογών ήχου και μουσικής, ενώ οι δυνατότητες αξιοποίησης τους ποικίλουν ανάλογα με την τεχνολογία που επιλέγει ο κάθε παραγωγός και ο τρόπος που την μεθοδεύει στην εργασία του. Πλέον, η μουσική βιομηχανία στοχεύει δυναμικά στην αξιοποίηση των δυνατοτήτων που προσφέρουν οι τεχνολογίες αυτές, με απώτερο σκοπό την εμπύθιση του ακροατή σε ένα παντοφωνικό τρισδιάστατο ηχητικό πεδίο. Ως εκ τούτου, η ανάγκη ανάλυσης των τεχνολογιών και των μεθόδων μείζης σε χωρικό περιβάλλον προήλθε από τη δημοφιλία που έχουν τα τελευταία χρόνια οι εφαρμογές 3D ήχου, σε παραγωγές VR και AR, gaming, μουσικής (δισκογραφία, πλατφόρμες διάδοσης, συναυλίες), πολυμεσικού θεάτρου, εγκαταστάσεων, κ.α.

Βασική διαφορά των συστημάτων τρισδιάστατης χωρικής μείζης και αναπαραγωγής είναι η διάσταση του ύψους, μια πολύ χρήσιμη παράμετρος η οποία

δίνει την δυνατότητα στον συνθέτη της μουσικής αλλά και στον παραγωγό της μείξης να δημιουργήσουν διευρυμένα ηχητικά πεδία, αξιοποιώντας σε όλα τα στάδια μιας μουσικής παραγωγής το κάθετο ηχητικό πεδίο. Η εργασία που παρουσιάζεται στο άρθρο αυτό, εστιάζοντας στο έργο του μουσικού παραγωγού, είχε στόχο να διερευνήσει τις τεχνολογίες χωρικής μείξης (*channel based*, *object based*, *scene based/ambisonics*, *binaural*), εφαρμόζοντας κάποιες από αυτές στην παραγωγή έργωνδημοφιλών ειδών μουσικής. Πιο συγκεκριμένα, ως μέσα για την υλοποίηση της συγκεκριμένης έρευνας επιλέχθηκαν το σύστημα *Dolby Atmos* (διάταξη 7.1.4), η τεχνολογία αμφιωτικής μείξης (*binaural 3D*) καθώς και η απλή στερεοφωνία ως σημείο αναφοράς. Στο πλαίσιο του άρθρου, θα γίνει ειδική αναφορά στα εργαλεία που παρέχει το σύστημα *Dolby Atmos* και στο κατά πόσο αυτά είναι αποτελεσματικά στην ευκρινή αποτύπωση της θέσης των ήχων στον εικονικό χώρο ακρόασης. Επιπλέον, θα αναλυθούν οι ιδιότητες, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της υβριδικής τεχνολογίας *Dolby Atmos* (συνδυασμός *channel-based* και *object-based*) και θα διερευνηθεί ο ρόλος που έχει ο πυρήνας του συστήματος που ευθύνεται για την τελική ηχητική απόδοση της μείξης (*renderer*). Παράλληλα, θα γίνει αναφορά στο πώς η χωρική διάσταση των ήχων συνδέεται με την πρόκληση συναισθημάτων και ταυτόχρονα με τη διαμόρφωση της αισθητικής της μείξης. Αντικείμενα πολύ σημαντικά για αποφάσεις που θα κληθεί να πάρει ο παραγωγός όπως και ο τρόπος που θα προσεγγίσει το τελικό αποτέλεσμα.

Spatial audio

Object-based audio



Για τις ανάγκες της έρευνας σχεδιάστηκε και πραγματοποιήθηκε πειραματική διαδικασία με ακρόασεις από μουσικόφιλο κοινό, αποτελούμενο από φοιτητές και διδάσκοντες του Τμήματος Μουσικών Σπουδών του Ιονίου Πανεπιστημίου. Κατά τη διαδικασία έγινε ακρόαση τριών διαφορετικών μείξεων (*stereo – binaural – Dolby Atmos 3D*). Για κάθε μια από τις τρεις διαφορετικές συνθέσεις που παρουσιάστηκαν, μια εκ των οποίων κατατάσσεται στο γενικότερο είδος της ηλεκτρονικής μουσικής, ενώ οι υπόλοιπες δυο σε αυτό της *world music*. Τα αποτελέσματα της έρευνας έχουν εξαιρετικό ενδιαφέρον και εγείρουν συζήτηση που αφορά σε όλα τα επίπεδα υλοποίησης των συγκεκριμένων παραγωγών, όπως σε ζητήματα και προβληματισμούς που σχετίζονται με τη δουλειά του παραγωγού, την επιλογή τεχνολογίας μείξης, αλλά και το πώς τελικά το μουσικό αποτέλεσμα εκλαμβάνεται και αξιολογείται από τους ακροατές.

Στοχευμένη Ενεργή Ακύρωση Θορύβου με Μετρικές Ενόχλησης

Παναγιώτης Ζάχος^{1,*}, Γιώργος Μοιράγιας¹, Ιωάννης Μουρτζόπουλος¹,
¹Audio & Acoustic Technology Group, Wire Communications Laboratory Electrical
& Computer Engineering Dep. University of Patras, 26500, Patras, Greece
*p_zachos@ac.upatras.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΣΤΟΧΟΣ

Οι περισσότερες μέθοδοι Ενεργής Ακύρωσης Θορύβου (ANC), βασίζονται στην ακύρωση ανεπιθύμητου θορύβου δημιουργώντας ένα σήμα ίδιου πλάτους αλλά με αντίστροφη φάση, εξασθενώντας θεωρητικά βέλτιστα τον θόρυβο μέσω της αρχής της υπέρθεσης στο ακουστικό πεδίο. Τέτοιου είδους προσεγγίσεις επί το πλείστον δεν επιτρέπουν την χωρική επιλογή ανεπιθύμητων πηγών θορύβου

Σε αυτή την εργασία προτείνεται μια Στοχευμένη μέθοδος ANC (TBANC-D) που βασίζεται σε έναν διαμορφωτή ζώνης (beamformer) στο πεδίο του χρόνου, ο οποίος κατευθύνεται και εστιάζει στη διεύθυνση της πιο ενοχλητικής πηγής στο χώρο, με τη βοήθεια ενός μοντέλου μηχανικής μάθησης που εντοπίζει και ταξινομεί τις πηγές στο πεδίο, αξιοποιώντας ένα έξυπνο σύστημα εκτίμησης της ενόχλησης της εκάστοτε πηγής. Το σύστημα αυτό έχει εκπαιδευτεί από τα αποτελέσματα υποκειμενικών εκτιμήσεων ακροατών σε τυπικά σενάρια (σκηνές) χωρικής διάταξης πηγών θορύβου.

ΜΕΘΟΔΟΣ

Το μοντέλο μηχανικής μάθησης αξιοποιεί τις καταγραφές των μικροφώνων που βρίσκονται εξωτερικά του περιβλήματος των ακουστικών ώστε από αυτά να εξάγει 2 φασματογραφήματα, και τη διαφορά φάσης μεταξύ των 2 σημάτων. Οι παράμετροι αυτοί οδηγούν ένα νευρωνικό δίκτυο με αρχιτεκτονική τύπου Encoder-Decoder για να εντοπίσει και να χαρακτηρίσει τις πηγές που βρίσκονται στον ίδιο χώρο με τον ακροατή. Οι διάφορες πηγές μέσω των αποτελεσμάτων ενός υποκειμενικού τεστ ακρόασης συσχετίζονται με ένα σκορ ενόχλησης το οποίο σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα του μοντέλου οδηγούν τη δέσμη του beamformer σε αυτή την πηγή που κρίνεται η πιο ενοχλητική στη συγκεκριμένη σκηνή.

Το σύστημα ANC δημιουργεί 2 σήματα αντιθορύβου τα οποία υπολογίζονται ανεξάρτητα: ένα σήμα βασισμένο στην έξοδο του beamformer, και ένα σήμα βασισμένο στην έξοδο ενός από τα 2 μικρόφωνα που βρίσκονται εξωτερικά του περιβλήματος των ακουστικών, ώστε να ακυρωθεί βέλτιστα τόσο η ενοχλητική/κυρίαρχη πηγή όσο και ο διάχυτος θόρυβος της σκηνής.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων που συλλέχθηκαν κατά το υποκειμενικό τεστ ακρόασης σε προκαθορισμένες αμφιωτικές καταγραφές τυπικών σκηνών (π.χ. κυκλοφοριακού θορύβου, καφέ, κλπ.), προέκυψε πως ο θόρυβος που προέρχεται από κυκλοφοριακή κίνηση συσχετίζεται συχνότερα με υψηλή ενόχληση, ακολουθούμενος από διεγέρσεις που προέρχονται από θορύβους που καταγράφηκαν σε καφέ ή σταθμούς μετρό.

Το τμήμα του μοντέλου που μετά από αρχική εκμάθηση είναι υπεύθυνο για την αναγνώριση των θορύβων αυτών, επιτυγχάνει υψηλά ποσοστά επιτυχών ανιχνεύσεων, με μέσο Precision 82% και μέσο Recall 89%. Ο εντοπισμός γωνίας άφιξης των θορύβων επίσης λειτουργεί με μεγάλη ακρίβεια που κυμαίνεται σε μέσο απόλυτο σφάλμα (Mean Absolute Error) 0.34°.

Το σύστημα ANC επιτυγχάνει επιπλέον ακύρωση της τάξης των 20dB σε σύγκριση με αντίστοιχα συστήματα State-of-the-art, ειδικά στις κρίσιμες συχνотικές ζώνες των 3-5kHz όπου οι ακροατές είναι περισσότερο ευαίσθητοι σε ενοχλητικές διεγέρσεις.

Συνολικά, τα αποτελέσματα δείχνουν την αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης μεθόδου (TBANC-D) στην ακύρωση ενοχλητικών πηγών θορύβου αλλά και στην εξασθένηση του διάχυτου θορύβου περιβάλλοντος σε αποδεκτά επίπεδα.

Περιορισμός της Επίδρασης της Διαδικασίας Ηχογράφησης των Αμφιωτικών Χωρικών Φίλτρων (HRTF) με Χρήση Μεθόδων Μεταεπεξεργασίας και Μείωσης Διαστάσεων

Κωνσταντίνος Μπακογιάννης*, Αρετή Ανδρεοπούλου
Εργαστήριο Μουσικής Ακουστικής Τεχνολογίας (LabMAT)
Τμήμα Μουσικών Σπουδών, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Πανεπιστημιούπολη - Ζωγράφου, 157 84, Αθήνα.
*k.bakogiannis@music.uoa.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

The influence of measurement setups on Head-Related Transfer Function (HRTF) datasets significantly affects their clustering and, consequently, the accuracy of their comparisons. Datasets originating from the same database tend to cluster together due to the coloration imparted by their recording processes, complicating the personalization of spatial audio experiences. This presentation outlines our approach to mitigating these effects through advanced post-processing and data analysis.

HRTFs are crucial for binaural listening and spatial perception, making their personalization highly important. HRTF database matching is one way to obtain personalized HRTFs. The aim of this technique is to find the user's best match from a repository of HRTFs, which we build by collecting publicly available HRTF databases. We utilize the SOFA repository since all HRTF datasets there share a common file format. We have compiled 13 reliable databases comprising a total of about 1,000 HRTF datasets.

The technique is tailored to the application type, meaning it considers the importance of spatial perception for specific applications. We choose relevant metrics to quantify acoustic characteristics, such as spectral smoothness and localization accuracy. These metrics are either applied to common measurement positions between a pair of datasets or to the entire dataset.

The next step is to focus on the region of the dataset universe where we believe the best match is located. To achieve this, we cluster the universe and derive representative datasets, which we assume are closest to each cluster's centroid. We then create tailored tasks based on application type and needs to find the optimal user selection, either through a rating process or by evaluating the user's performance. Upon selection, we zoom in to the winning cluster and repeat the same procedure: further grouping it into clusters, performing tasks with the representative HRTFs, and identifying the winning cluster. The final step of this iterative process is selecting the best couple of HRTF datasets.

However, we have observed that datasets tend to cluster according to their database origin, which is supported by relevant literature. The reason is that the measurement setup imposes specific coloration. To mitigate this, we have designed a specific methodology presented in this study. For consistency, we put the datasets through a post-processing process. This includes converting HRTFs to DTFs, resampling to a uniform frequency, truncating impulse responses, adjusting the frequency range, removing DC content, and normalizing gain levels. This standardization process aims to minimize the influence of measurement artifacts, thereby improving dataset consistency.

Although this post-processing improves the consistency of the datasets, and clusters are less related to their database origin than clustering without this post-processing, the problem remains. To further mitigate it, we apply a next step. So far, when a metric was run for every common position between two datasets to build the HRTFs universe, we utilized averaging methods to derive a single value describing the pairwise comparison result. This led to the creation of a two-dimensional distance matrix, which we then used with multidimensional scaling (MDS) techniques to build the HRTFs universe.

We modified this methodology slightly: instead of averaging the metric outcome to obtain a 2D matrix for clustering, we now aim to cluster the multidimensional matrix before averaging to resolve discrepancies introduced by averaging processes. For this, we utilize advanced dimensionality reduction techniques, specifically principal component analysis (PCA).

The application of PCA in this step enables us to simplify the dataset while still retaining the most important characteristics for clustering. By focusing on the variance captured in the principal components, we can distinguish the essential features that affect HRTF dataset clustering. This approach allows us to reveal latent structures that were previously obscured by the averaging process.

The initial results of this additional step reveal a more comprehensive and reliable dataset comparison, which shows promise in our ultimate goal of mitigating the recording setup coloration issue. By analyzing the impact of each principal component on the clustering, we gain insights into which dimensions contribute most significantly to the clustering process. For instance, the data may show that certain frequency ranges or spatial positions play a larger role in clustering than others. This deeper understanding allows us to better identify the inherent characteristics influenced by the recording setup and ultimately improve the personalization of spatial audio experiences.

Our future work involves refining our approach with PCA and MDS, aiming to eliminate coloration biases further and enhance applications in gaming, auralization, and virtual reality.

Αξιολόγηση υποκειμενικής προτίμησης σε ισοσταθμισμένα ακουστικά κεφαλής

Παναγιώτης Ζάχος^{1,*}, Γιώργος Μοιράγιας¹, Αναστάσιος Μπέλεσης¹, Ιωάννης Μουρτζόπουλος¹,

¹Audio & Acoustic Technology Group, Wire Communications Laboratory Electrical & Computer Engineering Dep. University of Patras, 26500, Patras, Greece

*p_zachos@ac.upatras.gr (υπεύθυνου)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΣΤΟΧΟΣ

Στην παρούσα εργασία αξιολογούνται 443 ακουστικά κεφαλής (*over-ear headphones*) με βάση αντικειμενικά κριτήρια που αφορούν την απόκριση συχνότητάς και εξάγονται τα αντίστοιχα στατιστικά μέτρα. Επιπλέον, υλοποιείται ένα τεστ ακρόασης χρησιμοποιώντας 4 ζευγάρια ακουστικών με επιλεγμένες διαφορετικές μορφές απόκρισης συχνότητας, ώστε να διερευνηθεί το ενδεχόμενο να διαφέρουν οι προτιμήσεις των ακροατών όσον αφορά τις επιθυμητές αποκρίσεις των ακουστικών κεφαλής. Εισάγοντας την αξιολόγηση για την ιδανική «flat» απόκριση στο πείραμα αυτό, επεκτείνεται η ήδη υπάρχουσα βιβλιογραφία στο θέμα της προτίμησης των ακροατών.

ΜΕΘΟΔΟΣ

Στο πρώτο σκέλος της εργασίας ορίζονται οι αντικειμενικές μετρικές και εφαρμόζονται μεταξύ των πραγματικών καμπυλών αποκρίσεων συχνότητας των ακουστικών που μελετήθηκαν και καθορισμένων αποκρίσεων-στόχων. Οι αποκρίσεις-στόχοι είναι η καμπύλη *Harman* και η επίπεδη απόκριση (0dB στη συχνοτική ζώνη [20Hz-20KHz]). Υπολογίζονται οι σχετικές συχνότητες των τιμών των μετρικών στο πλήθος των ακουστικών της βάσης δεδομένων και παρατίθενται γραφικά.

Στο δεύτερο σκέλος υλοποιείται ένα υποκειμενικό τεστ ακρόασης, στο οποίο οι ακροατές καλούνται να βαθμολογήσουν 5 αποσπάσματα μουσικής χρησιμοποιώντας 4 διαφορετικά ακουστικά κεφαλής όπου για κάθε ζευγάρι ακουστικών κεφαλής, τα αποσπάσματα είναι επεξεργασμένα με 3 τρόπους: i) Το αρχικό απόσπασμα χωρίς ισοστάθμιση, ii) ισοστάθμιση με στόχο τη *Harman* απόκριση, iii) ισοστάθμιση με στόχο επίπεδη (*flat*) απόκριση. Οι ισοσταθμίσεις εκτελέστηκαν προφιλτράροντας τα σήματα.

Εφόσον κατά το τεστ ακρόασης ο χρήστης αξιολογήσει αποσπάσματα μεταξύ διαφορετικών ακουστικών, υλοποιήθηκε μια διαδικασία μετρήσεων, ώστε να εξασφαλιστεί πως το ίδιο απόσπασμα μεταξύ διαφορετικών ακουστικών, θα έχει την ίδια υποκειμενική ακουστότητα (*loudness*) παρά τα διαφορετικά χαρακτηριστικά

μεταξύ των ακουστικών (π.χ. *impedance*, *leakage*). Αρχικά μετρήθηκαν οι πραγματικές κρουστικές αποκρίσεις των ακουστικών χρησιμοποιώντας ένα μετρητικό ανδρείκελο (HATS). Έπειτα από συνέλιξη με τα φίλτρα ισοστάθμισης και τα αποσπάσματα υπολογίστηκε η ένταση ακουστότητας σε LUFs για κάθε συνδυασμό και τελικά υπολογίστηκαν συντελεστές που φέρνουν όλους τους συνδυασμούς στην ίδια αντιληπτή ένταση στα -23 LUFs.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Κατά την αντικειμενική αξιολόγηση των ακουστικών κεφαλής από τη βάση δεδομένων βρέθηκε ότι η πλειονότητα παρουσιάζει σφάλμα (Ρίζα Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος) περίπου 4dB σε σχέση με τη Harman απόκριση, ενώ για την Flat απόκριση το αντίστοιχο σφάλμα είναι περίπου 6dB. Από τις τιμές αυτές φαίνεται πως ένα μεγάλο ποσοστό των ακουστικών που εξετάστηκαν σχεδιάστηκαν με βάση την Harman ή την Flat απόκριση, με την τάση στην βιομηχανία να τείνει περισσότερο στην Harman απόκριση. Στο κυρίως κείμενο παρατίθενται αναλυτικά όλες οι αντικειμενικές μετρικές των ακουστικών σε μορφή ιστογραμμάτων, καθώς και το αποτέλεσμα της διερεύνησης της συσχέτισης των μετρικών αυτών με την τιμή αγοράς των ακουστικών.

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του πειράματος ακρόασεων έδειξε ότι η επίδραση της ισοστάθμισης των ακουστικών είναι στατιστικά σημαντική. Συγκεκριμένα, από τις αξιολογήσεις των ακροατών προέκυψε η προτίμηση κατά φθίνουσα σειρά: Flat, Unequalized, Harman. Η Flat απόκριση αξιολογήθηκε κατά μέσο όρο 9% υψηλότερα από την Harman και 7% υψηλότερα από την Unequalized, ενώ δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των Unequalized και Harman αποκρίσεων. Όσον αφορά την επίδραση των ακουστικών στην προτίμηση των χρηστών, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των 4 ακουστικών. Επίσης βρέθηκε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των ακουστικών και των ισοσταθμίσεων, επομένως φαίνεται ότι ο συνδυασμός ακουστικού και ισοστάθμισης επιδρά στην προτίμηση του ακροατή.

Τα παραπάνω αποτελέσματα για τα συγκεκριμένα 4 ακουστικά που αξιολογήθηκαν δείχνουν πως υπάρχει μεγαλύτερη προτίμηση σε Flat ισοστάθμιση, όταν η ακρόαση γίνεται με ακουστικά υψηλής ποιότητας κατασκευής, παρά την τάση των κατασκευαστών να σχεδιάζουν τα ακουστικά με πρότυπο την γνωστή καμπύλη Harman. Από τα παραπάνω συνάγεται το συμπέρασμα ότι αφενός η προτίμηση των ακροατών απαιτεί περεταίρω διερεύνηση ώστε να βρεθεί η βέλτιστη απόκριση για ακουστικά κεφαλής, μελετώντας σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό ακουστικών και ισοσταθμίσεων.

Ανάπτυξη ηχητικού συστήματος ακυρωτικής παρεμβολής μεταξύ καναλιών σε ανακλαστικό χώρο

Αλμπέρτο Ερσπάμερ*, Χρήστος Γιακόπουλος, Ιωάννης Αντωνιάδης
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου
Ηρώων Πολυτεχνείου 9
15772 Ζωγράφου, Αθήνα
*albertoerspamer@mail.ntua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία περιγράφει την ανάπτυξη ενός στερεοφωνικού συστήματος αναπαραγωγής με χρήση της τεχνικής της ακυρωτικής παρεμβολής μεταξύ καναλιών (crosstalk cancellation). Η εν λόγω τεχνική χρησιμοποιείται ευρέως και έχει ιδιαίτερη χρησιμότητα για την βελτίωση της ποιότητας του ήχου στερεοφωνικών και πολυκαναλικών συστημάτων αναπαραγωγής, για την δημιουργία συστημάτων ακουστικής πραγματικότητας και συχνά για τον έλεγχο της ακουστικής ενέργειας σε ανακλαστικά περιβάλλοντα όπως δωμάτια ή μέσα μεταφοράς. Χρησιμοποιείται επίσης ευρέως σε ιατρικές (ακουστικά βοηθήματα) και εκπαιδευτικές εφαρμογές (εκπαίδευση σε προσομοιωμένα ηχητικά περιβάλλοντα). Σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου σε σχέση με άλλες μεθόδους αναπαραγωγής είναι η μειωμένη απαίτηση για ηχεία σε σχέση με παραδοσιακές αλλά πολυδάπανες τεχνικές όπως η χωρική σύνθεση ακουστικών πεδίων (Wave field synthesis). Ταυτόχρονα, η χρήση λιγότερων ακουστικών πηγών συνεπάγεται και μείωση της απαιτούμενης επεξεργαστικής ισχύος, που είναι επίσης ιδιαίτερα σημαντικό για την ρεαλιστική υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος. Στην συγκεκριμένη εργασία, σκοπός είναι η ακριβής αναπαραγωγή δύο καταγεγραμμένων σημειακών πηγών σε δύο σημεία ενδιαφέροντος (πχ τα αυτιά ενός χρήστη). Σε αυτή την περίπτωση, σημαντικό πλεονέκτημα του συστήματος είναι ότι δεν απαιτείται η χρήση ακουστικών για την ακριβή αναπαραγωγή των σημάτων, καθώς η επίδραση του χώρου, των τοίχων και των προκαλούμενων ανακλάσεων αντισταθμίζεται από το σύστημα ακυρωτικής παρεμβολής. Παρουσιάζονται τόσο πειραματικά όσο και αποτελέσματα προσομοίωσης στην περίπτωση αναπαραγωγής σε δύο σημεία ενδιαφέροντος όπου δεν παρεμβάλλεται κάποιο εμπόδιο ανάμεσα στα δύο σημεία αναπαραγωγής και στην περίπτωση που παρεμβάλλεται. Τα πειραματικά αποτελέσματα και τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν την πολύ καλή απόδοση του συστήματος. Η απόδοση του συστήματος εκτιμάται επίσης τόσο για μονοσυχνοτικά όσο και για σήματα ευρέους φάσματος. Τα δεύτερα συντελούν στην αποτελεσματικότερη αξιολόγηση του συστήματος για εφαρμογές πραγματικού τύπου όπου ζητούμενο είναι η αναπαραγωγή σημάτων ομιλίας ή μουσικής. Οι προσομοιώσεις δείχνουν την εξάρτηση της απόδοσης του συστήματος από τους περιβάλλοντες τοίχους. Λόγω της ύπαρξης ανακλάσεων στο περιβάλλον του εργαστηρίου, ο ελεγκτής που χρησιμοποιείται κάνει χρήση της τεχνικής ελαχίστων τετραγώνων για την εύρεση των βέλτιστων ακουστικών μονοπατιών και την

αποτελεσματική αναστροφή τους. Στο άρθρο γίνεται βιβλιογραφική ανάλυση και άλλων τεχνικών αναστροφής μονοπατιού και εξετάζονται οι περιορισμοί της κάθε μεθόδου ειδικά στην περίπτωση αναπαραγωγής σε πραγματικούς χώρους. Γίνεται αναλυτική διερεύνηση όλων των παραμέτρων του συστήματος όπως το μήκος του φίλτρου και ο συντελεστής σύγκλισης. Η αποδοτικότητα του συστήματος διερευνάται για την περίπτωση αναπαραγωγής στατιστικά ανεξάρτητων σημάτων παρόμοιας συνολικής ενέργειας, αλλά και για την περίπτωση δημιουργίας δύο ακουστικών ζωνών εκ των οποίων η μία είναι η ζώνη ησυχίας και η άλλη η ζώνη αναπαραγωγής. Σε αυτή την περίπτωση το ένα εκ των δύο σημάτων έχει μηδενική ενέργεια και το σύστημα κρίνεται με βάση το εύρος των δημιουργούμενων ζωνών. Η έκταση του δημιουργούμενου εύρους είναι σημαντική για την δυνατότητα του χρήστη του συστήματος να μπορεί να μετακινεί το κεφάλι του. Συμπεραίνεται ότι το εύρος των δημιουργούμενων ζωνών εξαρτάται από την συχνότητα αναπαραγωγής και το μεγαλύτερο εύρος ζώνης επιτυγχάνεται για τις χαμηλότερες συχνότητες. Τέλος παρουσιάζονται αποτελέσματα σχετικά με τον απαιτούμενο χρόνο σύγκλισης και την εξάρτηση του από το μήκος φίλτρου που επιλέγεται. Παράλληλα διερευνάται το απαιτούμενο μήκος φίλτρου για διαφορετικές αποστάσεις ηχείων από τα σημεία αναπαραγωγής. Διαπιστώνεται ότι σε ένα χώρο με ανακλάσεις, η αυξανόμενη απόσταση μεταξύ των ηχείων και των σημείων αναπαραγωγής επηρεάζει την απόδοση του συστήματος. Το σύστημα υλοποιήθηκε σε ένα πραγματικό ανακλαστικό περιβάλλον εργαστηρίου χωρίς την επένδυση των τοίχων με ηχοαπορροφητικά υλικά, προκειμένου να διαπιστωθεί η δυνατότητα χρήσης του σε ένα πραγματικό περιβάλλον. Οι προσομοιώσεις έγιναν στο υπολογιστικό περιβάλλον προσομοίωσης COMSOL. Η ψηφιακή επεξεργασία των σημάτων γίνεται σε έναν τυπικό σταθερό υπολογιστή με σκοπό την εύκολη επέκταση ενός τυπικού συστήματος αναπαραγωγής χωρίς την χρήση εξειδικευμένου υλικού επεξεργασίας σήματος. Ο προγραμματισμός έγινε στην γλώσσα PYTHON, που χρησιμοποιήθηκε τόσο για το προσομοιωμένο όσο και για το πραγματικό σύστημα. Συμπερασματικά, το σύστημα κρίνεται αποτελεσματικό για την αναπαραγωγή στατιστικά ανεξάρτητων σημάτων σε δύο σημεία ενδιαφέροντος και για την δημιουργία ξεχωριστών ακουστικών ζωνών σημαντικού εύρους.

Ανάκτηση Ψηφιακών Ηχητικών Αρχείων “.wav” στην Ψηφιακή Δικανική Επιστήμη του Ήχου

Χρήστος Καντούτσης^{1,*}

¹Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

*xristos.kantoutsis@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάκτηση διαγραμμένων ηχητικών αρχείων της μορφής .WAV από ψηφιακό μέσο αποθήκευσης USB-stick αποτελεί μια σύγχρονη πρόκληση στο χώρο της ψηφιακής επεξεργασίας του ήχου και ιδιαίτερα στον τομέα της δικανικής ψηφιακής επιστήμης (Digital Forensics). Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η εύρεση και παρουσίαση ενός αποτελεσματικού τρόπου αντιμετώπισης της παραπάνω πρόκλησης. Σε πολλές περιπτώσεις, εργαλεία ανοικτού κώδικα είναι επαρκή για την ανάκτηση αρχείων της μορφής WAV, κάτι που αξιοποιήθηκε και για το σκοπό αυτής της εργασίας. Η μέθοδος ανάκτησης που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία βασίστηκε στην αξιοποίηση ενός δεκαεξαδικού προβολέα. Ο δεκαεξαδικός προβολέας αποτελεί ένα εργαλείο λογισμικού που μπορεί να επιτρέψει την ανάλυση των δεδομένων σε ένα ψηφιακό μέσο αποθήκευσης σε μορφή δεκαεξαδικού κώδικα. Ανεξάρτητα από τη μορφή τους, τα ηχητικά αρχεία αποτελούν και αρχεία δεδομένων που αποθηκεύουν σε φυσικά μέσα αποθήκευσης, όπως ένα USB flash drive κ.α. Κατά τη διαγραφή ενός ηχητικού αρχείου, το αρχείο δεν διαγράφεται πραγματικά από το μέσο αποθήκευσης, αλλά ο χώρος που καταλαμβάνει στη μνήμη θεωρείται διαθέσιμος για επαναχρησιμοποίηση. Αυτό σημαίνει ότι, αν καταφέρουμε να εντοπίσουμε το σημείο όπου βρισκόταν το διαγραμμένο αρχείο, μπορούμε να ανακτήσουμε τα εν λόγω ηχητικά δεδομένα. Κάθε αρχείο ήχου περιέχει μια σειρά από δεδομένα που αναπαριστούν τις τιμές της κυματομορφής στο χρόνο. Αυτές οι τιμές είναι αποθηκευμένες σε διάφορες θέσεις του μέσου αποθήκευσης. Τα αποτελέσματα της εργασίας θα αναδείξουν μία γρήγορη ημιαυτόματη τεχνική επαναφοράς διαγραμμένων ηχητικών αρχείων της μορφής “WAV”, μέσω ενός δεκαεξαδικού προβολέα, που δύναται να σαρώσει ένα μέσο αποθήκευσης και να εμφανίσει τις τιμές αυτές σε μια μορφή που είναι ευανάγνωστη για τον αναλυτή. Η διαδικασία ανάκτησης ξεκινά με τη σάρωση του USB flash drive με την βοήθεια του δεκαεξαδικού προβολέα. Αφού εντοπιστεί η αρχή του διαγραμμένου αρχείου WAV, κατόπιν βάση της δεκαεξαδικής υπογραφής στην κεφαλίδα του αρχείου και ανάλυσης της κατασκευαστικής του δομής, οι δεδομένες τιμές μπορούν να αποκατασταθούν. Η επιτυχής ανάκτηση εξαρτάται από το εάν ο χώρος που καταλαμβάνει το διαγραμμένο αρχείο δεν έχει επαναχρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση νέων δεδομένων. Εάν ο χώρος έχει επαναχρησιμοποιηθεί, τότε η πιθανότητα επιτυχίας μειώνεται σημαντικά. Τέλος, είναι

σημαντικό να σημειωθεί ότι η προσπάθεια ανάκτησης δεδομένων μπορεί να μην είναι πάντα επιτυχής. Παράγοντες όπως η διάρκεια από τη διαγραφή των δεδομένων, η επαναχρησιμοποίηση του χώρου αποθήκευσης και η κατάσταση του μέσου αποθήκευσης μπορούν να επηρεάσουν την επιτυχία της διαδικασίας. Με τη χρήση της εν λόγω μεθόδου αυξάνεται σημαντική πιθανότητα ανάκτησης ηχητικών δεδομένων χωρίς την χρήση σύνθετων εργαλείων που προορίζονται για εμπορική χρήση. Συνεισφέροντας κατά αυτόν τον τρόπο στο έργο των ειδικών εξεταστών στον τομέα της ψηφιακής εγκληματολογίας (Digital Forensics), που σχετίζεται με τον κλάδο της δικανικής επιστήμης του ήχου (Audio forensics), κατά την ψηφιακή ηχητική επεξεργασία και οποιονδήποτε σχετικό επιθυμεί να ανακτήσει ηχητικά αρχεία της μορφής “Wav” από κοινό μέσο αποθήκευσης USB - Stick και η ενασχόληση του εμπίπτει στον ευρύτερο τομέα της Ψηφιακής επεξεργασίας του ήχου και της ακουστικής επιστήμης (Digital Acoustic Signal Processing).

Το ηχητικό περιβάλλον της φοιτητικής καθημερινότητας την περίοδο της πανδημίας

Ρίκα Δεληγιαννίδου, Δωροθέα Παρίντα, Βενετίνα Τσουκαλά,
Ευάγγελος Φυντάνης, Νίκος Μπάρκας*
Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Δ.Π.Θ.
*nbarkas@arch.duth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η προτεινόμενη ανακοίνωση είναι τμήμα προπτυχιακής έρευνας στο Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Δ.Π.Θ. η οποία πραγματοποιήθηκε την περίοδο κοινωνικής αποστασιοποίησης, κατά τη διάρκεια της πανδημίας. Σκοπός της έρευνας ήταν η διερεύνηση και αξιολόγηση του ηχητικού περιβάλλοντος όπου διαβιούν καθημερινά οι φοιτητές / φοιτήτριες.

Η έρευνα επιχειρεί να αποτυπώσει την ηχητική καθημερινότητα των φοιτητών / φοιτητριών και τους τρόπους με τους οποίους επηρεάζει την ζωή τους. Παράλληλα, προσπαθεί να αξιολογήσει συγκριτικά την ακουστική άνεση στην πρότερη, οικογενειακή ζωή των ερωτώμενων και την πιθανή διαμόρφωση μιας ανεκτικής στάσης απέναντι στους θορύβους, ανάλογα με τον τόπο διαμονής και το πλήθος των συνοικούντων στην οικογενειακή κατοικία.

Η κακή ηχομόνωση στους περισσότερους χώρους φοιτητικής διαμονής οδηγεί συνήθως στη λανθασμένη πεποίθηση ότι η ηχορύπανση αποτελεί ένα φυσικό – κι επομένως αναπόφευκτο- φαινόμενο, δηλαδή πως η ακουστική άνεση δεν αποτελεί αυτονόητο δικαίωμα του κάθε πολίτη. Ευνόητα, οι οικοδομικές ελλείψεις αυτών των χώρων διαμονής, σε συνδυασμό με τις οικονομικές δυσκολίες της πλειονότητας των οικογενειών, αποθαρρύνει τους φοιτητές / τις φοιτήτριες στην αναζήτηση και επιλογή κατοικιών με την ηχομόνωση ως κριτήριο.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε δείγμα 26 φοιτητών / φοιτητριών, εκ των οποίων οι μισοί / μισές φοιτούσαν στην Πολυτεχνική Σχολή του Δ.Π.Θ. και οι υπόλοιποι / υπόλοιπες σε άλλα Πανεπιστήμια της χώρας. Για το σκοπό της έρευνας συντάχθηκαν, ελέγχθηκαν δοκιμαστικά και διακινήθηκαν ψηφιακά ερωτηματολόγια, όσον αφορά τις πηγές & τα είδη των θορύβων, καθώς και την ακουστική άνεση των χώρων διαμονής. Το ερωτηματολόγιο περιλάμβανε 12 ομάδες ερωτήσεων σχετικά με την προσωπική στάση απέναντι στο θόρυβο, καθώς και τα οικοδομικά ζητήματα, συσχετίζοντας την οικογενειακή με τη φοιτητική διαμονή. Οι απαντήσεις κατηγοριοποιήθηκαν, τα στοιχεία καταγραφής αναλύθηκαν και τα τελικά αποτελέσματα απεικονίστηκαν σε διαγράμματα (πίτες ή ιστογράμματα).

Αξιολογικά, το δείγμα της έρευνας παρουσίασε αντιφάσεις ανάμεσα στις απαντήσεις επιλογής και στις απαντήσεις σύντομης ανάπτυξης, όσον αφορά προέλευση των θορύβων. Επιπλέον παρατηρήθηκε μια συγκριτικά ανεκτική και αδρανής στάση των φοιτητών / φοιτητριών στα ζητήματα του θορύβου, κατάσταση

που μπορεί να ερμηνευτεί από μια αίσθηση προσωρινής διαμονής. Όπως φαίνεται, ο φοιτητής / η φοιτήτρια, στην καθημερινότητα τους δεν αναγνωρίζουν και δεν δίνουν την απαραίτητη προσοχή στα προβλήματα που σχετίζονται με το θόρυβο. Πρόκειται για μια γενικευμένη κοινωνική στάση που προέρχεται (ή και διαμορφώνεται) από την έλλειψη του κατάλληλου νομικού πλαισίου, την προβολή θορυβωδών πολιτιστικών προτύπων και τελικά τη γενικευμένη ηχομονωτική ανεπάρκεια των κτιριακών κατασκευών. Διαπιστώνεται δηλαδή πως κατά την διάρκεια της φοιτητικής ζωής εμπεδώνεται μια τάση υποτίμησης του προβλήματος της ηχορύπανσης και των μακροχρόνιων επιπτώσεων της στην υγεία.

Σφαιρική νομική πείρα από δικαστική και εξωδικαστική μεταχείριση περιπτώσιολογίας υποθέσεων ηχορρύπανσης

Νίκη Τσαφούρου, Δικηγόρος, LL.M, MSc
Φειδιππίδου 12, Αθήνα, Τ.Κ. 11526
nikktaf@gmail.com, ntsafourou@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην νομική πράξη απαντώνται περιπτώσεις ηχορρύπανσης από διαφορετικές πηγές, με συχνότερες την διαβίωση και εν γένει χρήση σε γειτονικές κατοικίες, τη λειτουργία γειτονικών καταστημάτων υγειονομικού ενδιαφέροντος και κέντρων διασκέδασης, τη λειτουργία παρακείμενων μηχανολογικών εγκαταστάσεων και μηχανημάτων, τη λειτουργία γειτονικών χώρων άθλησης, τη χρήση δημόσιων χώρων από το κοινό.

Επιχειρείται ομαδοποίηση υποθέσεων ηχορρύπανσης με κριτήριο την πηγή της και συστηματοποίηση της αντίστοιχα εφαρμοζόμενης νομοθεσίας δημοσίου δικαίου. Έτσι:

Η διαβίωση και χρήση σε γειτονικές κατοικίες σημαίνει μουσική, φωνασκίες, σύρσιμο επίπλων, ποδοβολητά, οικόσιτα ζώα, λειτουργία οικιακών μηχανημάτων και ηλεκτρικών συσκευών, όπως πλυντήρια, ψυγεία, air condition. Σχετικώς εφαρμόζονται: Αστυνομική Διάταξη 3/1995, άρθρο 12 παρ. 6 του Ν. 1481/1984, τροποποιηθέν με το άρθρο 10 του ν. 4637/2019, άρθρο 417 επ. ΚΠΔ.

Η λειτουργία γειτονικών καταστημάτων υγειονομικού ενδιαφέροντος και κέντρων διασκέδασης σημαίνει μουσική (ζωντανή και μη), φωνασκίες θαμώνων. Σχετικώς εφαρμόζονται: Υγειονομική διάταξη Α5/3010/14.8.1985, Αστυνομική Διάταξη 3/1995, άρθρο 12 παρ. 6 ν. 1481/1984, τροποποιηθέν με άρθρο 10 ν. 4637/2019, άρθρο 417 επ. ΚΠΔ, άρθρο 2 παρ. 2 σημείο α' π.δ. 180/1979, άρθρο 15 παρ. 2 ΚΥΑ οικ. 16228/17.5.2017.

Η λειτουργία παρακείμενων ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων και μηχανημάτων αφορά είτε σε γειτονικές κατοικίες, όπως μηχανήματα εξαερισμού και αφύγρανσης εσωτερικής πισίνας, εξωτερικές μονάδες κλιματισμού, είτε σε γειτονικά καταστήματα υγειονομικού ενδιαφέροντος, όπως καμινάδες / ανεμιστήρες εξαερισμού κουζίνας, είτε σε άλλη αιτία, όπως λειτουργία βιομηχανιών και βιοτεχνιών, εργοταξίων, διενέργεια τεχνικών έργων. Σχετικώς εφαρμόζονται: π.δ. 1180/81, άρθρα 28, 29, 30 ν. 1650/1986.

Η λειτουργία γειτονικών χώρων άθλησης σημαίνει κλειστούς χώρους γυμναστηρίων και ανοιχτούς χώρους γηπέδων. Σχετικώς εφαρμόζονται: άρθρο 32 παρ. 1 και 2 ν. 2725/1999, άρθρο 4 ζ' π.δ. 219/2006, Υγειονομική Διάταξη Α5/3010/14.8.1985, ΚΥΑ ΔΙΑΔΠ/Φ.Α.2.1/33565/2013.

Η χρήση δημόσιων χώρων (πάρκων, πλατειών, προαλίων εκκλησιών) από το κοινό σημαίνει φωνασκίες, τραγούδια, μουσική, παιχνίδια. Σχετικώς εφαρμόζονται:

Αστυνομική Διάταξη 3/1995, άρθρο 12 παρ. 6 ν. 1481/1984, τροποποιηθέν με άρθρο 10 ν. 4637/2019, άρθρο 417 επ. ΚΠΔ.

Καταγράφονται εξωδικαστικές προσπάθειες αντιμετώπισης της ηχορρύπανσης: Οι δέκτες της ηχορρύπανσης προτείνουν στους πομπούς την υπογραφή ιδιωτικών συμφωνητικών για ηχομονωτική παρέμβαση στον χώρο των τελευταίων με συμμετοχή των πρώτων στο κόστος, ως δάνειο ή δωρεά, ολικά ή μερικά. Δεν αποκλείονται και μόνες οι ηχομονωτικές παρεμβάσεις στον χώρο του δέκτη, ιδίως εξόδους. Ως προς τις (αστικο)δικαστικές προσπάθειες αντιμετώπισης της ηχορρύπανσης, έχουν περισσότερες νομικές βάσεις ιδιωτικού δικαίου νομοθεσίας, με αποτελεσματικότερη εκείνη του άρθρου 57ΑΚ περί του δικαιώματος προσωπικότητας, διότι 1) Δεν υπόκειται σε κανέναν περιορισμό περί υποχρέωσης ανοχής θορύβου. 2) Η προσβολή προσωπικότητας προϋποθέτει «παρανομία» συνιστάμενη όχι μόνο στην παράβαση ρητής διάταξης νόμου, όπως οι ανωτέρω διατάξεις δημοσίου δικαίου, αλλά και σε οποιαδήποτε κοινωνικά απρόσφορη επέμβαση στη σφαίρα του επίμαχου αγαθού, η οποία λαμβάνει χώρα χωρίς δικαίωμα ή με την άσκηση δικαιώματος μικρότερης σπουδαιότητας από το προσβαλλόμενο ή υπό περιστάσεις που καθιστούν την άσκησή του καταχρηστική. 3) Για την απόδειξη της «παρανομίας» δεν απαιτείται ακριβής καθορισμός της έντασης του θορύβου σε μονάδες μέτρησης του ήχου, καθώς μόνος ο συνήθης θόρυβος θεμελιώνει παράνομη προσβολή προσωπικότητας. 4) Για τη στοιχειοθέτηση του κατεπείγοντος, στο πλαίσιο ασφαλιστικών μέτρων και προσωρινής διαταγής, αυτό υφίσταται διαρκώς στην παρεμπόδιση της χρήσης των δικαιωμάτων που συνθέτουν την προσωπικότητα.

(Αστικο)δικαστικά παρατηρείται πληθώρα αποφάσεων, με τους δικαστές να είναι συνήθως φειδωλοί στις προσωρινές διαταγές, οι οποίες περιορίζονται στην τήρηση των δημοσίου δικαίου διατάξεων κοινής ησυχίας και ανώτατων ορίων ηχοστάθμης, περισσότερο απλόχεροι στα ασφαλιστικά μέτρα, με τα οποία διατάσσουν και λήψη μέτρων ηχομόνωσης, και γενικά θετικοί στις αγωγές, αποφασίζοντας τα παραπάνω και, κατά περίπτωση, επιδικάζοντας και αποζημίωση λόγω αδικοπραξίας ή ηθικής βλάβης. Ως προς την Αστυνομία και Περιφέρεια, παρατηρείται ότι η Αστυνομία παρεμβαίνει αποτελεσματικότερα στην διαπίστωση παραβάσεων διατάξεων δημόσιας τάξεως παρά δημόσιας υγείας, πχ. συχνά δεν διαθέτει ηχομέτρο, ή δεν ξέρει να το χειριστεί, ή να εφαρμόσει σωστά τις προϋποθέσεις ελέγχου με αυτό, καθώς και ότι διενεργεί περισσότερες ηχομετρήσεις στα καταστήματα υγειονομικού ενδιαφέροντος, παρά στις αθλητικές εγκαταστάσεις. Η δε Περιφέρεια παρατηρείται ότι διενεργεί ελέγχους εντός ωραρίου και εκτός καταγγελλόμενου χρόνου, και ότι αναζητά διευκρινίσεις ως προς την εφαρμογή των διατάξεων δημόσιας υγείας, δια υπουργικών εγκυκλίων.

Συμπερασματικά, η νομοθεσία προστασίας από την ηχορρύπανση αναδεικνύεται πλήρης για κάθε πηγή, η δικαστική εφαρμογή και ερμηνεία της θετική, ενώ τα προβλήματα εστιάζονται στην διαπίστωση παραβάσεων από Αστυνομία και Περιφέρεια, η οποία έχει ποσοτικές και ποιοτικές ελλείψεις, με αποτέλεσμα την παρακώλυση της ποινικής και διοικητικής διαδικασίας επιβολής κυρώσεων. Οι καταγγελίες πολιτών προς Αστυνομία και Περιφέρεια, και η άσκηση των αστικο-ιδιωτικών δικαιωμάτων τους, προκαλούν την παραγωγή περαιτέρω διευκρινιστικών εγκυκλίων και νομολογίας. Στη διαπίστωση παραβάσεων εντοπίζεται μία σχετική κινητικότητα της Πολιτείας, με πρόσφατη την 14/2023 Εγκύκλιο της Εισαγγελίας του Αρείου Πάγου περί ενεργοποίησης Εισαγγελέων, αστυνομικών και υγειονομικών υπαλλήλων

Διακρίβωση μικροφώνων αναφοράς με την μέθοδο της αντιστροφής και η εφαρμογή τους στην διακρίβωση μικροφώνων ελεύθερου πεδίου

Κωνσταντίνος Ζαχαρίας*, Χρήστος Μπαντής
Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας - Εθνικό Σύστημα Υποδομών Ποιότητας,
ΒΙ.ΠΕ.Θ Σίνδου, 57022 Θεσσαλονίκη
*zacharias@eim.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ευαισθησία ενός μικροφώνου, δηλαδή η ηλεκτρική τάση που παράγει ένα μικρόφωνο ως προς την ηχητική πίεση, είναι η βασικότερη παράμετρος που προσδιορίζεται κατά την διαδικασία διακρίβωσής του. Η πιο κοινή μέθοδος διακρίβωσης είναι η σύγκριση του υπό διακρίβωση μικροφώνου με ένα εργαστηριακό μικρόφωνο αναφοράς. Τα μικρόφωνα αναφοράς με τη σειρά τους διακρίβωνται εφαρμόζοντας την μέθοδο της αντιστροφής (pressure reciprocity calibration). Η μέθοδος βασίζεται στην αρχή της αντιστροφής του τρόπου λειτουργίας του εργαστηριακού μικροφώνου, δηλαδή ότι μπορεί να λειτουργήσει ως δέκτης αλλά και ως πομπός ηχητικών κυμάτων έχοντας τον ίδιο λόγο απόκρισης προς διέγερση. Η ιδιαιτερότητα της μεθόδου που εφαρμόζεται είναι ότι δεν υπάρχει αναφορά σε κάποια ηχητική ποσότητα όπως η ευαισθησία του μικροφώνου (V/Pa) ή η ηχητική πίεση (Pa), αλλά μόνο σε θεμελιώδεις ηλεκτρικές, μηχανικές και φυσικές παραμέτρους όπως η DC τάση, η συχνότητα, το μήκος, η θερμοκρασία κα. Η προαναφερθείσα μέθοδος διακρίβωσης ονομάζεται απόλυτη ή πρωτεύουσα διακρίβωση και υλοποιείται κυρίως σε Εθνικά Μετρολογικά Ινστιτούτα όπως το Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας – Ε.Σ.Υ.Π. Όλα τα παραπάνω κωδικοποιήθηκαν στο πρότυπο IEC 61094-2 σύμφωνα με το οποίο, για την διακρίβωση απαιτούνται τρία εργαστηριακά μικρόφωνα τα οποία συνδυάζονται ανά δύο (συνολικά τρεις συνδυασμοί) και συνδέονται ακουστικά μεταξύ τους μέσω του αέρα που περιέχεται εντός της κυλινδρικής κοιλότητας που σχηματίζεται από ένα συζεύκτη (coupler). Έτσι σε κάθε ζεύγος το μικρόφωνο που λειτουργεί ως ηχητική πηγή (πομπός) δημιουργεί εντός της κοιλότητας μία ηχητική πίεση η οποία μετράται από το μικρόφωνο που λειτουργεί ως δέκτης. Εφαρμόζοντας τις βασικές εξισώσεις τεσσάρων ακροδεκτών οι οποίες ισχύουν για ένα εργαστηριακό μικρόφωνο αναφοράς, προκύπτει για κάθε ζεύγος μικροφώνων και ένα αντίστοιχο γινόμενο των συντελεστών ευαισθησίας τους για το ηχητικό πεδίο πίεσης. Επιλύοντας το σύστημα των τριών εξισώσεων για τα τρία ζεύγη, προκύπτουν οι ευαισθησίες πίεσης των τριών μικροφώνων.

Η παραπάνω μεθοδολογία διακρίβωσης εργαστηριακών μικροφώνων (τα οποία πληρούν τις προδιαγραφές του προτύπου IEC 61094-1) υλοποιείται με το Reciprocity Calibration System Type 9699 της εταιρίας Brüel & Kjær. Το ζεύγος των μικροφώνων μαζί με τον συζεύκτη τοποθετούνται στον ειδικό θάλαμο και στην

συνέχεια η γεννήτρια σημάτων παράγει το ημιτονοειδές σήμα της επιθυμητής συχνότητας για την οποία θα προσδιοριστεί ο συντελεστής ευαισθησίας πίεσης των μικροφώνων. Έτσι το μικρόφωνο πομπός παράγει ηχητικά κύματα εντός του συζεύκτη επίπεδων κυμάτων τα οποία μετρώνται από το μικρόφωνο δέκτη. Η τάση εξόδου που εμφανίζεται το μικρόφωνο δέκτη οδηγείται μέσω του ζωνοδιαβατού φίλτρου στο ψηφιακό βολτόμετρο. Μετράται διαδοχικά από το βολτόμετρο η τάση εισόδου στο μικρόφωνο πομπός και τάση εξόδου του μικροφώνου δέκτη. Η παραπάνω διαδικασία μέτρησης εφαρμόζεται και στα τρία ζεύγη μικροφώνων και καταγράφονται οι τιμές των μετρήσεων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή ο οποίος επιπλέον ελέγχει τα όργανα μέτρησης του συστήματος 9699 μέσω ειδικού προγράμματος. Μετά το πέρας των μετρήσεων από τις τάσεις πομπού T και δέκτη R υπολογίζεται ο λόγος τάσεων T/R και για τα τρία ζεύγη των μικροφώνων και σε συνδυασμό με τις προαναφερθείσες λοιπές ηλεκτρικές, ακουστικές και φυσικές παραμέτρους υπολογίζονται οι ευαισθησίες πίεσης των μικροφώνων.

Ενδεικτικά αποτελέσματα διακρίβωσης ευαισθησίας πίεσης σε dB re 1 V/Pa τύπου 4180 LS2aP ½" σε συνθήκες αναφοράς.

Συχνότητα (Hz)	4180 no 2412851	4180 no 2208273	4180 no 2412859
251.19	-37.611	-38.032	-37.819

Μετά τον προσδιορισμό της ευαισθησίας πίεσης του μικροφώνου αναφοράς, το μικρόφωνο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διακρίβωση ενός μικροφώνου εργασίας (working standard) ελεύθερου πεδίου, σύμφωνα με την μέθοδο της διαδοχικής σύγκρισης του IEC 61094-8. Η διακρίβωση πραγματοποιείται σε ανηχικό θάλαμο και με την χρήση κατάλληλης ηχητικής πηγής μετράται η τάση εξόδου dBV(r) του μικροφώνου αναφοράς. Στην συνέχεια, διατηρώντας σταθερές συνθήκες μέτρησης, αντικαθίσταται το μικρόφωνο αναφοράς με το μικρόφωνο ελεύθερου πεδίου και μετράται η τάση εξόδου dBV(f). Εφαρμόζοντας την τεχνική οδηγία IEC TS 61094-7, υπολογίζεται η τιμή της ευαισθησίας ελεύθερου πεδίου του μικροφώνου αναφοράς από την ευαισθησία πίεσής του. Η διαφορά των τάσεων $\Delta dB = dBV(f) - dBV(r)$ οφείλεται στην διαφορά των ευαισθησιών ελεύθερου πεδίου των μικροφώνων ελεύθερου πεδίου και αναφοράς αντιστοίχως. Οπότε προσθέτοντας την διαφορά, ΔdB , στην ευαισθησία ελεύθερου πεδίου του μικροφώνου αναφοράς, προσδιορίζεται η ευαισθησία του μικροφώνου εργασίας ελεύθερου πεδίου.

Ενδεικτικά αποτελέσματα διακρίβωσης μικροφώνου ελεύθερου πεδίου σε dB re 1 V/Pa τύπου 4191 WS2F ½" σε συνθήκες αναφοράς.

Συχνότητα (Hz)	Ευαισθησία πίεσης μικρόφωνο αναφοράς	Διόρθωση πεδίου πίεσης σε ελεύθερο (IEC 61094-7)	Ευαισθησία ελεύθερου πεδίου μικρόφωνο αναφοράς	ΔdB	Ευαισθησία Μικροφώνου Ελεύθερου πεδίου
251.19	-38.05	0.00	-38.05	-0.40	-38.45
1000.00	-38.05	0.06	-37.99	-0.46	-38.45

Ηχητικός Σχεδιασμός Ακουστικού Χάρτη σε Χώρους Πολιτιστικής Κληρονομιάς

Ηλίας Σταμπουλής¹, Καλλιόπη Χουρμουζιάδου²

¹ Ηλεκτρονικός Μηχανικός, MSc Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Βιώσιμου Σχεδιασμού ΕΑΠ

² Αρχιτέκτων Μηχ., MArch, PhD, Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Βιώσιμου Σχεδιασμού ΕΑΠ, Σχολή Επιστημών Σχεδιασμού ΔΠΙΑΕ, Σέρρες
stab.ilias@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ευρεία διάδοση των ψηφιακών τεχνολογιών έχει επηρεάσει την αλληλεπίδραση μας με τους χώρους πολιτιστικής κληρονομιάς. Τα τελευταία χρόνια, χώροι όπως μουσεία και μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς έχουν εντάξει διαδραστικές εφαρμογές στην πρακτική τους, με σκοπό να εμπλουτίσουν την εμπειρία που προσφέρουν. Επιπλέον, η πρόοδος των τεχνολογιών των κινητών συσκευών, των δικτύων και του εντοπισμού της θέσης έχουν πολλαπλασιάσει τις δυνατότητες συνδυασμού ήχων και τόπων.

Εντός του πλαισίου διερεύνησης των τεχνολογικών δυνατοτήτων στη μετάδοση πολιτιστικού περιεχομένου, στην παρούσα εργασία εξετάζεται ο σχεδιασμός εφαρμογής για κινητές συσκευές Android για την πραγματοποίηση ακουστικού περιπάτου (audio walk), στη διαδρομή του οποίου ο επισκέπτης θα έχει τη δυνατότητα να περιηγηθεί στους χώρους των μνημείων και να γνωρίσει την ιστορία τους, επικεντρώνοντας τη προσοχή του στην ακρόαση. Η εφαρμογή αξιοποιεί τις δυνατότητες του ήχου δι' εντοπισμού (locative audio) για την αναπαραγωγή του ηχητικού περιεχομένου από την κινητή συσκευή μόνο στην τοποθεσία των μνημείων. Κατά την περιήγηση, τα σχεδιασμένα αμφιωτικά (binaural) αρχεία ήχου αναπαράγονται μέσω ακουστικών κατά την ενεργοποίηση τους όταν ο χρήστης βρίσκεται στα σημεία ενδιαφέροντος.

Περιοχή μελέτης αποτελεί το Γαλεριανό Συγκρότημα της Θεσσαλονίκης, ένα μνημειακό σύνολο στο ιστορικό κέντρο της Θεσσαλονίκης, κτισμένο μεταξύ 298 και 311μ.Χ., στο μεταίχμιο της ρωμαϊκής και της βυζαντινής εποχής. Η περιήγηση στους χώρους του Γαλεριανού Συγκροτήματος, όπως ενσωματώνονται στον ιστό της πόλης, μπορεί να ακολουθήσει μία πληθώρα διαδρομών.

Το κυρίως μέρος της εργασίας πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια: τον ηχητικό σχεδιασμό και την ανάπτυξη της εφαρμογής. Στο ηχητικό περιεχόμενο περιλαμβάνεται η αφήγηση, με βασικές πληροφορίες για τα μνημεία, τη χρήση των χώρων και το ιστορικό πλαίσιο. Παράλληλα με την αφήγηση, γίνεται η αναπαραγωγή σχετικών ηχοτοπιών, στα οποία επιχειρείται μία αναπαράσταση του ηχητικού περιβάλλοντος που θα συναντούσε ο περιηγητής στους χώρους των μνημείων. Για την ηχογράφηση, επεξεργασία και σχεδιασμό των ήχων, χρησιμοποιήθηκε ο σταθμός εργασίας ψηφιακού ήχου (digital audio workstation – DAW) Pyramix της Merging Technologies.

Επιπλέον, για τον ηχητικό σχεδιασμό έγινε χρήση του λογισμικού *Spat Revolution* της *Flux*, ένα γραφικό περιβάλλον για τον έλεγχο της θέσης των ηχητικών πηγών σε τρισδιάστατους εικονικούς και πραγματικούς χώρους.

Στόχος του σχεδιασμού της εφαρμογής του ηχητικού χάρτη είναι να εστιάζει την εμπειρία της ηχο-διαδρομής στο ηχητικό περιεχόμενο, χωρίς να απαιτείται η προσοχή του χρήστη στην οθόνη της κινητής συσκευής, καθώς και η δυνατότητα βασικών ρυθμίσεων της αναπαραγωγής του ήχου. Σε αυτό το πλαίσιο, η διεπαφή χρήστη (UI) της εφαρμογής είναι πολύ απλή. Αποτελείται από τρεις οθόνες, στις οποίες ο χρήστης μπορεί να πλοηγηθεί μέσω της γραμμής πλοήγησης στο κάτω μέρος της οθόνης (*bottom navigation bar*). Στην αρχική οθόνη εμφανίζεται ο χάρτης, όπου έχει γίνει επισήμανση των σημείων ενδιαφέροντος και εισαγωγή της εικόνας της κάτοψης των μνημείων. Η δεύτερη οθόνη περιέχει τα πλήκτρα και τα ρυθμιστικά για τον ήχο και η τρίτη πληροφορίες σχετικά με τα μνημεία. Η ανάπτυξη της εφαρμογής υλοποιήθηκε στο *Android Studio*, ένα ολοκληρωμένο προγραμματιστικό περιβάλλον (*Integrated Development Environment - IDE*) για ανάπτυξη εφαρμογών *Android*.

Οι πρακτικές του τρισδιάστατου ήχου (*spatial audio*) και της αμφιωτικής ακρόασης αποσκοπούν στη δημιουργία μιας εμπυθιστικής εμπειρίας (*immersive audio*). Πράγματι, η αίσθηση του εντοπισμού του ήχου, ειδικά όταν υπάρχει κίνηση της ηχητικής πηγής, και της ακουστικής περικάλυψης (*envelopment*) είναι εντυπωσιακές. Ωστόσο, κάποιες φορές, αυτές οι πρακτικές λειτουργούν σε βάρος του συχνοτικού περιεχομένου του ήχου και του βάθους της μίξης, σε σύγκριση για παράδειγμα με μία στερεοφωνική μίξη.

Σίγουρα έχει σημειωθεί μεγάλη πρόοδος στο πεδίο του χωρικού ήχου και στις συνεχώς αυξανόμενες εφαρμογές ηχητικής επαυξημένης πραγματικότητας (*audio augmented reality*) και είναι βέβαιο ότι στο μέλλον αυτές οι εφαρμογές θα είναι πιο τελειοποιημένες. Επιπλέον, ο έλεγχος των μεταβάσεων (εισόδου/εξόδου) των εικονικών περιμέτρων θα βελτιώνεται συνεχώς με την εξέλιξη των τεχνολογιών εντοπισμού της θέσης των κινητών συσκευών και της πρακτικής των *geofences*. Αυτές οι εξελίξεις βοηθούν στην ανάπτυξη εφαρμογών που αποσκοπούν στην περαιτέρω εμπύθιση του χρήστη στην εμπειρία του ακουστικού περιπάτου, προσφέροντας νέες δυνατότητες στην περιήγηση και στην κατανόηση των χώρων πολιτιστικής κληρονομιάς.

AudioScout: Συλλογή ηχητικών δεδομένων στο πεδίο

Ενές Αχμέτ Κεχαγιά*, Λάζαρος Βρύσης, Χρήστος Γούσιος
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
*enesachm@film.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη σύγχρονη κινηματογραφική παραγωγή και γενικότερα στις οπτικοακουστικές κατασκευές, ο ήχος αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ποιότητα και την αίσθηση της τελικής παραγωγής. Οι *sound designers* είναι υπεύθυνοι για τη δημιουργία και επεξεργασία ηχητικών στοιχείων που ενισχύουν και συνδιαλέγονται με την οπτική αφήγηση και εμπλουτίζουν την εμπειρία του θεατή. Παρά τις προόδους στην τεχνολογία καταγραφής και επεξεργασίας ήχου, οι *sound designers* συχνά αντιμετωπίζουν προκλήσεις στη συλλογή και αναζήτηση φυσικών ηχητικών τοπίων και συγκεκριμένα τοπίων του Ελλαδικού χώρου. Σε αυτό το πλαίσιο, η εφαρμογή AudioScout προτείνεται ως λύση, παρέχοντας ένα εργαλείο τόσο για τους επαγγελματίες του ήχου -αλλά και για επιστήμες που ασχολούνται με την πολιτιστική κληρονομία τόπων ή περιβαλλοντικές επιστήμες- για την άμεση ηχογράφηση, αποθήκευση με συνοδευτικά μεταδεδομένα και εύκολη ανάκτηση ηχητικών αρχείων.

Η εφαρμογή AudioScout αναπτύσσεται ως μια *Progressive Web App (PWA)* για να εξασφαλίσει εύκολη πρόσβαση και ευελιξία στη χρήση, συμβατή τόσο με iOS όσο και με Android. Η εφαρμογή υποστηρίζει τοπική αποθήκευση δεδομένων με δυνατότητα συγχρονισμού σε cloud, προσφέροντας ασφαλή διαχείριση και αντίγραφα ασφαλείας. Τα δεδομένα προστατεύονται μέσω κρυπτογράφησης κατά τη μεταφορά και αποθήκευση, εξασφαλίζοντας την ιδιωτικότητα και την ασφάλεια των χρηστών.

Ο σχεδιασμός της AudioScout επικεντρώνεται στην παροχή εύχρηστων και ισχυρών λειτουργιών ηχογράφησης και επεξεργασίας ήχου, με μια απλή και καθαρή διεπαφή χρήστη. Η διεπαφή σχεδιάζεται με την αρχή της ελάχιστης περιπλοκότητας, επιτρέποντας στους χρήστες να πραγματοποιούν ηχογραφήσεις, επεξεργασία και διαχείριση αρχείων με λίγα μόνο βήματα. Η εφαρμογή επιτρέπει την άμεση ηχογράφηση από τη συσκευή του χρήστη, με τη δυνατότητα επιλογής μεταξύ διαφόρων ποιοτήτων και μορφών ήχου, και προηγμένες ρυθμίσεις μικροφώνου για τη βελτίωση της καταγραφής ανάλογα με το ηχητικό περιβάλλον.

Για την ανάπτυξη της AudioScout χρησιμοποιούνται σύγχρονες τεχνολογίες web ανάπτυξης, όπως HTML5, CSS3 και JavaScript, καθώς και frameworks όπως React ή Vue.js για τη δημιουργία δυναμικών διεπαφών. Η λογική επεξεργασίας της εφαρμογής βασίζεται στη χρήση Node.js για το backend, προσφέροντας έναν πλήρως

ενσωματωμένο διακομιστή ικανό για υψηλές επιδόσεις σε περιβάλλοντα παραγωγής. Για τη διαχείριση δεδομένων, χρησιμοποιούνται βάσεις δεδομένων όπως PostgreSQL ή MongoDB, ανάλογα με τις ανάγκες για δομή και ευκολία ανάκτησης δεδομένων.

Η AudioScout προσφέρει εκτενείς δυνατότητες οργάνωσης και ταξινόμησης ηχητικών αρχείων. Οι χρήστες μπορούν να καταχωρούν ηχητικά αρχεία σε κατηγορίες, να προσθέτουν ετικέτες και να διαχειρίζονται μεταδεδομένα όπως τοποθεσία και χρονοσφραγίδα, διευκολύνοντας την αναζήτηση και ανάκτηση ηχητικών αρχείων. Αυτή η λειτουργία καθιστά τη διαχείριση της βιβλιοθήκης ηχητικών αρχείων γρήγορη και αποτελεσματική, εξοικονομώντας χρόνο και προσπάθεια για τους sound designers και όχι μόνο.

Μελλοντικές εξελίξεις για την AudioScout περιλαμβάνουν την ενσωμάτωση εργαλείων για βασική και προηγμένη επεξεργασία ήχου, όπως ισοστάθμιση, φιλτράρισμα θορύβου και δυναμική επεξεργασία. Αυτά τα εργαλεία θα επιτρέψουν στους χρήστες να βελτιστοποιήσουν το ηχητικό σήμα πριν από την τελική χρήση, ενισχύοντας την ποιότητα των ηχογραφήσεων. Επιπλέον, η χρήση τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης για την αυτόματη αναγνώριση και καταγραφή ηχητικών περιβαλλόντων θα προσφέρει μια πλούσια βιβλιοθήκη από προ-καταγεγραμμένα ηχητικά στιγμιότυπα. Αυτή η λειτουργία θα βοηθήσει τους sound designers να αναγνωρίζουν και να χρησιμοποιούν ηχητικά περιβάλλοντα γρήγορα και εύκολα, εξοικονομώντας πολύτιμο χρόνο κατά τη διάρκεια της παραγωγής.

Τέλος, η AudioScout θα υποστηρίξει δυνατότητες συνεργασίας, επιτρέποντας σε πολλαπλούς χρήστες να συνεργάζονται σε ηχητικά πρότζεκτ, να μοιράζονται αρχεία και να συντονίζουν τις εργασίες τους εντός της πλατφόρμας. Αυτές οι δυνατότητες συνεργασίας θα αυξήσουν την παραγωγικότητα και τη δημιουργικότητα των επαγγελματιών του ήχου, διευκολύνοντας την ανταλλαγή ιδεών και την κοινή εργασία σε πραγματικό χρόνο.

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τη σχεδίαση, την ανάπτυξη και τις δυνατότητες της AudioScout σε συνάρτηση με τις ανάγκες του ηχητικού σχεδιασμού, αναλύοντας πώς ενσωματώνεται στις υπάρχουσες ροές εργασίας των sound designers και αντιμετωπίζει κοινά προβλήματα στην ηχητική σύλληψη και ανάλυση. Επιπλέον, γίνεται ανασκόπηση των τεχνολογικών εξελίξεων στην καταγραφή και επεξεργασία ήχου και εξετάζονται οι υφιστάμενες τεχνολογίες ηχογράφησης και επεξεργασίας, αναδεικνύοντας τις δυνατότητες βελτίωσης που προσφέρει η AudioScout.

Η AudioScout, με τις προηγμένες της δυνατότητες και τη φιλική προς τον χρήστη διεπαφή, αποτελεί μια σημαντική εξέλιξη για τους επαγγελματίες του ήχου, προσφέροντας ένα ολοκληρωμένο εργαλείο που ενισχύει τη δημιουργικότητα και την αποδοτικότητα στη συλλογή, καταγραφή και επεξεργασία ηχητικών τοπίων.

Η Εξέλιξη του Ήχου στο Θέατρο: Από την Ακουστική του Θεάτρου και το Ραδιόφωνο στις Ψηφιακές Καινοτομίες και το Headphone Theater

Έλενα Ιγνατιάδου, Χρήστος Γούσιος
Πλατεία Ιπποδρομίου 6, Θεσσαλονίκη, 54621
Ικονίου 1, Σταυρούπολη, 56430
elenaigntd@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εξέλιξη του ήχου στο θέατρο αποτελεί προϊόν τεχνολογικής ανάπτυξης, καλλιτεχνικής εφευρετικότητας, θεατρικής αναγκαιότητας, κοινωνικών συνθηκών κι εξελίξεων, και ταυτόχρονα γεγονός που άλλαξε σημαντικά τη συνολική εμπειρία μίας θεατρικής παραγωγής. Η εργασία αυτή παρουσιάζει την εξέλιξη του ήχου στον θεατρικό χώρο ξεκινώντας από τη φυσική ακουστική των αρχαίων ελληνικών και ρωμαϊκών αμφιθεάτρων, και φτάνοντας και αναλύοντας τις καινοτόμες μορφές, και τα εξελιγμένα ψηφιακά ηχοτοπία, των σύγχρονων παραγωγών.

Στην αρχαιότητα, ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός του θεάτρου ήταν πρωταρχικής σημασίας, με υπαίθριους χώρους κατασκευασμένους λειτουργικά, ώστε να βελτιώνουν την προβολή φωνής χωρίς κάποια ηλεκτρονική βοήθεια. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα και της Αναγέννησης οι θεατρικές παραστάσεις άρχισαν να λαμβάνουν χώρα σε ποικίλους χώρους. Λόγω αυτού, δημιουργήθηκε η ανάγκη μίας βαθύτερης κατανόησης της ακουστικής, η οποία οδήγησε σε αρχιτεκτονικές τροποποιήσεις που βελτίωσαν τη διάδοση του ήχου. Κατά τον 20ό αιώνα, η εφεύρεση του μικροφώνου και του ενισχυτή έφεραν επανάσταση στον θεατρικό ήχο. Επιπρόσθετα, η ανάπτυξη του ραδιοφώνου και του κινηματογράφου άνοιξε δρόμο για καινοτομίες στην ηχογράφηση και την αναπαραγωγή ήχου, πολλές από τις οποίες προσαρμόστηκαν και εφαρμόστηκαν στο θέατρο. Η ψηφιακή επανάσταση του 20ου και του 21ου αιώνα έφερε πρωτοφανή ακρίβεια και δημιουργικότητα στον ηχητικό σχεδιασμό μίας θεατρικής παράστασης. Την δεκαετία του 1920 έκανε την εμφάνιση του το Radio Drama και γρήγορα κέρδισε δημοτικότητα ως μία μορφή ψυχαγωγίας που συνδυάζε την αφήγηση με ηχητικά εφέ και τη μουσική, δημιουργώντας καθηλωτικές ηχητικές εμπειρίες. Αυτές οι παραγωγές, σε συνδυασμό με τις παραγωγές Radio Theatre, που μεταδόθηκαν μέσω του ραδιοφώνου, γοήτευαν το κοινό με την ικανότητά τους να προκαλούν ζωντανές εικόνες και συναισθήματα καθαρά μέσω του ήχου, καθιστώντας τα ένα αγαπημένο μέσο κατά τη χρυσή εποχή του ραδιοφώνου, στις δεκαετίες του 1930 και του 1940, και μέχρι την έλευση της τηλεόρασης. Αργότερα, την δεκαετία του 1970 ο ηχητικός σχεδιασμός είχε εμφανιστεί ως ένα εξειδικευμένο πεδίο στη θεατρική παραγωγή. Οι σχεδιαστές ήχου άρχισαν να χρησιμοποιούν μαγνητόφωνα πολλαπλών κομματιών, synthesizers και άλλες ηλεκτρονικές συσκευές, για να δημιουργήσουν σύνθετα και πιο πολύπλοκα ηχοτοπία, τα οποία ενίσχυαν την πλοκή και αφήγηση. Την περίοδο αυτή επίσης ενσωματώθηκε στις θεατρικές παραγωγές η χρήση ηχογραφημένων ηχητικών εφέ, μουσικής και ατμοσφαιρικών ήχων, όλα σχολαστικά

χρονομετρημένα και ισορροπημένα για να συμπληρώνουν τις ζωντανές εμφανίσεις. Συνεχίζοντας, τον 21^ο αιώνα, οι σταθμοί εργασίας ψηφιακού ήχου (DAW) και το προηγμένο λογισμικό επεξεργασίας αυτού επέτρεψαν ακόμη πιο καινοτόμες τεχνικές παραγωγής και λεπτομερή επεξεργασία των ηχητικών εφέ. Πολλά από τα σύγχρονα θέατρα είναι πλέον εξοπλισμένα με συστήματα ήχου τελευταίας τεχνολογίας, συμπεριλαμβανομένων digital mixers, ασύρματων μικροφώνων και surround συστημάτων ήχου, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να δημιουργούν καθηλωτικά περιβάλλοντα ήχου. Τέλος, οι εξελίξεις στον χώρο του ήχου σε συνδυασμό με την ανάπτυξη του διαδικτύου οδήγησε και σε μία άλλη μορφή θεάτρου, το «θέατρο των ακουστικών» και τη δημιουργία rodplays. Τα τελευταία αποτελούν ηχητικά δράματα ειδικά δημιουργημένα για ψηφιακές πλατφόρμες. Η πανδημία COVID-19 ήταν αυτή που οδήγησε στην άνθηση των rodplays και του ψηφιακού θεάτρου. Κατά την πανδημία, οι συμβατικές παραστάσεις είχαν σταματήσει, γεγονός που ώθησε τους δημιουργούς, εκμεταλλεόμενοι την ευκολία παραγωγής και εφικτότητα, να καινοτομήσουν και να προσφέρουν περιεχόμενο μέσω διαδικτυακών πλατφορμών, προσεγγίζοντας και αλληλεπιδρώντας με το κοινό με νέους, καινοτόμους τρόπους. Αυτές οι παραγωγές αξιοποιούν την προηγμένη σχεδίαση ήχου (τακτικές 3D και τακτικές αφήγησης εικονικής πραγματικότητας (VR storytelling), για να δημιουργήσουν καθηλωτικές εμπειρίες, που συχνά απολαμβάνονται μέσω ακουστικών, φέρνοντας το θέατρο στον χώρο του ακροατή και καθιστώντας το μία πιο προσωπική εμπειρία. Συμπερασματικά, η εξέλιξη του ήχου στο θέατρο αντανακλά την ισχυρή συνέργεια μεταξύ τεχνολογίας και τέχνης, ενισχύοντας συνεχώς τη θεατρική εμπειρία. Αυτή η συνεχής συνεργασία μεταξύ της τεχνολογικής καινοτομίας και της καλλιτεχνικής δημιουργικότητας όχι μόνο διευρύνει το εύρος της θεατρικής αφήγησης, αλλά διασφαλίζει, επίσης, ότι το θέατρο παραμένει μία δυναμική και εξελισσόμενη μορφή τέχνης, προσβάσιμη σε διαφορετικά κοινά με νέους και συναρπαστικούς τρόπους.

Ηχητική Αποτύπωση Μαγνητικών Καταιγίδων με Στοχαστικές Τεχνικές Σύνθεσης

Χριστίνα Γεωργίου^{1,*}, Αρετή Ανδρεοπούλου¹, Φιόρη-Αναστασία Μεταλληνού²,
Τηλέμαχος Μούσσας¹, Αναστασία Γεωργιάκη¹

¹ Εργαστήριο Μουσικής Ακουστικής Τεχνολογίας (LabMAT),
Τμήμα Μουσικών Σπουδών, Φιλοσοφική Σχολή, Εθνικό και Καποδιστριακό
Πανεπιστήμιο Αθηνών

² Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Λόφος Νυμφών, Αθήνα

*christin@music.uoa.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ηχητική αποτύπωση δεδομένων, η χρήση δηλαδή μη λεκτικού ήχου για τη μεταφορά πληροφορίας, αποτελεί μια επιλογή που γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής ως μέσο επιστημονικής διερεύνησης, μετάδοσης της γνώσης και καλλιτεχνικής έκφρασης. Η ανοδική αυτή τάση σκιαγραφείται ξεκάθαρα στο χώρο των επιστημών του διαστήματος, εξυπηρετώντας εκτός από ερευνητικούς σκοπούς, την ανάγκη για εξωστρέφεια της επιστήμης. Η χρήση της ηχητικής αποτύπωσης στις επιστήμες του διαστήματος επεκτείνεται σε ένα ευρύ φάσμα φαινομένων, περιλαμβάνοντας ανάμεσα σε άλλα φαινόμενα όπως οι μαύρες τρύπες, η κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου, το ηλιακό μας σύστημα, η ηλιακή δραστηριότητα και η επίδρασή της στη Γη. Η τελευταία περιλαμβάνει φαινόμενα όπως οι ηλιακές κηλίδες, ο ηλιακός άνεμος και οι μαγνητικές καταιγίδες.

Αξιοποιώντας στοιχεία από την προγενέστερη ερευνητική εμπειρία όπως πετυχημένες τεχνικές χαρτογράφησης και χρήση μεταφορών, η παρούσα εργασία επεκτείνει την έρευνα στο συγκεκριμένο πεδίο προτείνοντας τη χρήση της μικροπολυφωνίας του Ligeti σε συνδυασμό με στοχαστικές τεχνικές του Ξενάκη για την αποτελεσματικότερη ηχητική αποτύπωση των μαγνητικών καταιγίδων. Οι μαγνητικές καταιγίδες ή μαγνητικές διαταραχές είναι φαινόμενα έντονης γεωμαγνητικής δραστηριότητας κατά τα οποία μεγάλα ποσά ενέργειας απελευθερώνονται στην εσωτερική μαγνητόσφαιρα, προκαλώντας βλάβες σε διαστημικά οχήματα και επηρεάζοντας την επιφάνεια του πλανήτη με άμεσες (π.χ. τηλεπικοινωνίες) και έμμεσες (π.χ. οικονομικές) επιπτώσεις. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το συγκεκριμένο φαινόμενο συνδέεται με έννοιες όπως η διαταραχή και ο κίνδυνος που δεν καλύπτονται από μία ποσοτική περιγραφή των τιμών του δείκτη που συνδέεται με την ένταση του φαινομένου.

Λαμβάνοντας τα παραπάνω υπόψη και με βασικό στόχο την αποτελεσματική περιγραφή του μοτίβου των μαγνητικών καταιγίδων σε διάφορες εντάσεις με τρόπο που να μπορεί να γίνει αντιληπτός από μη εξειδικευμένο κοινό, προχωρήσαμε στη δημιουργία μιας ηχητικής αποτύπωσης που πραγματοποιείται σε δύο επίπεδα. Στο πρώτο ο δείκτης Dst συνδέεται με τη μεταβολή του τονικού ύψους και της έντασης, παρέχοντας μία εύκολα αντιληπτή περιγραφή της κίνησής του. Στο δεύτερο επίπεδο η

χρήση του μικροπολυφωνικού κανόνα δημιουργεί μία ηχητική μάζα που συνδέει την ένταση του φαινομένου με τη συνολική ένταση και πυκνότητα του ηχητικού υλικού. Το δεύτερο αυτό επίπεδο συμπεριλαμβάνει έννοιες όπως η πολυπλοκότητα μέσω της μεγαλύτερης ρυθμικής ποικιλίας και διεύρυνσης των ορίων του τονικού ύψους μέσω της χρήσης κατανομών, ενώ η σύνδεση του ακροατή με το φαινόμενο πραγματοποιείται μέσω της συσχέτισης της αύξησης της διαφωνίας με τη διαταραχή και τον κίνδυνο.

Για τη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης *Dst*, ενώ τα δεδομένα αντλήθηκαν από τις βάσεις δεδομένων *World Data Center for Geomagnetism, Kyoto*, και *STELab, Nagoya University, Toyokawa, Japan*, και αντιστοιχούν σε πέντε χρονικές περιόδους που περιγράφουν διαφορετικές εντάσεις του φαινομένου από την κατάσταση ηρεμίας μέχρι το ισχυρότερο καταγεγραμμένο φαινόμενο.

Η στρατηγική αυτή αποδίδει με ακρίβεια το μοτίβο των μεταβολών των τιμών του *Dst* σε σχέση με την ένταση της μαγνητικής καταιγίδας. Το ηχητικό υπόβαθρο δημιουργεί ένα δυναμικό αποτέλεσμα που αντικατοπτρίζει τον χαρακτήρα του φαινομένου, μεταφέροντας στον ακροατή την εικόνα της καταιγίδας με σαφή διαφοροποίηση στις διάφορες εντάσεις της. Η χρήση της μικροπολυφωνίας και των στοχαστικών τεχνικών αποδεικνύεται αποτελεσματική στη δημιουργία αυτού του ηχητικού υποβάθρου, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα της αποτύπωσης και ανοίγοντας το δρόμο για την εφαρμογή της σε άλλα φαινόμενα. Επιπλέον, η εργασία εξερευνά ένα μέρος των δυνατοτήτων που προσφέρουν αυτές οι τεχνικές, αφήνοντας περιθώριο για περαιτέρω διερεύνηση. Η επιλογή διαφορετικών χαρακτηριστικών και ο συνδυασμός με άλλες τεχνικές ηχητικής σύνθεσης ανοίγουν ένα πολλά υποσχόμενο πεδίο για μελλοντικές εφαρμογές στη δημιουργία εκπαιδευτικών προγραμμάτων και τη δημιουργία μουσικών έργων.

Πρώιμες ενδείξεις ηχητικής χωρικότητας στην αρχαιοελληνική τραγωδία και κωμωδία

Στέφανος Ζάγκος, Αρετή Ανδρεοπούλου*
Εργαστήριο Μουσικής Ακουστικής Τεχνολογίας (LabMAT),
Τμήμα Μουσικών Σπουδών, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
*a.andreopoulou@music.uoa.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μελέτη αναζητά τις απαρχές του δημιουργικού χειρισμού του χωρικού ήχου στους αρχαίους ελληνικούς χρόνους. Παρόλο που ο ήχος είναι από τη φύση του χωρικός και τρισδιάστατος (Bégault, 2000), στόχος είναι να διερευνηθεί η στιγμή που αυτή η φυσική του ιδιότητα μετατράπηκε σε συνειδητή καλλιτεχνική επιλογή και εργαλείο στα χέρια του δημιουργού. Στη σύγχρονη βιβλιογραφία ο πρώτος χωρικός διαχωρισμός ηχητικών πηγών τοποθετείται είτε στα παλαιοχριστιανικά χρόνια με τη χρήση αντιφωνιών στη λατρευτική μουσική, είτε, συχνότερα, στην Αναγέννηση, με την εμφάνιση των πρώτων φωνητικών έργων για διπλή χορωδία (Boren, 2018). Η παρούσα εργασία θα επιχειρήσει να τοποθετήσει τις απαρχές της χωρικής διαχείρισης του ήχου ως καλλιτεχνικό εργαλείο αρκετούς αιώνες νωρίτερα, ξεκινώντας από τον διθύραμβο και λοιπές παραστάσεις πρωτόγονου θεατρικού χαρακτήρα που εκτελούνταν από σατύρους και καταλήγοντας στην αρχαιοελληνική τραγωδία και κωμωδία.

Η διαλεκτική της μουσικής με την παράμετρο του χώρου μαρτυρείται για πρώτη φορά στον διθύραμβο, το παλαιότερο λατρευτικό άσμα του Διονύσου. Τον Χορό στους διθύραμβους πιστεύεται ότι συγκροτούσαν πενήντα άνδρες που ορχούνταν και τραγουδούσαν κυκλικά (Gregory, 2010). Ο Αρχίλοχος ο Πάριος τον χρονολογεί ήδη από το πρώτο μισό του 7ου π.Χ. αιώνα αναφωνώντας: “ὡς Διονύσου ἄνακτος καλὸν ἐξάρξαι μέλος οἶδα διθύραμβον οἴνω συγκεραυνωθείς φρένας”. Κατά τον Richard Schechner τα άσματα προς τιμήν του Διονύσου είναι μια μορφή επιτέλεσης στην οποία τα όρια μεταξύ θεατή και τέλεσης υπάρχουν επειδή ο διθύραμβος συνδυάζει το *processional mode* (πομπική κατάσταση) με το *narrative mode* (αφηγηματική λειτουργία) (Ευαγγελίδου, 2015). Στην αριστοτελική Ποιητική βρίσκει κανείς τη φράση “ ἀπό τῶν ἐξαρχόντων τὸν διθύραμβον”, η οποία αναφερόταν στην δραματική αντιπαράθεση μεταξύ του χορού και του πρώτου τραγουδιστή. Αυτή η αντιπαράθεση εκφραζόταν όμως και μέσω του διαχωρισμού στον χώρο. Δεν είναι απολύτως ξεκάθαρο πότε απομακρύνθηκε και διαχωρίστηκε ο πρώτος τραγουδιστής από την ομάδα του χορού. Η χρονολογία 534 π.Χ. είναι κατά τον Lesky ανακριβής. Πρόκειται στην ουσία για την χρονολογία που συνήθως εμφανίζεται ως ο χρόνος έναρξης της προκλασικής τραγωδίας, στην οποία ο Θέσπης φέροντας στο προσκήνιο ένα μέλος του χορού σε ρόλο υποκριτή θέτει τις βάσεις της τραγωδίας των κλασικών χρόνων (Lesky, 2007).

Στην παρούσα μελέτη, η ανάλυση των σωζόμενων αρχαιοελληνικών τραγωδιών και κωμωδιών με σκοπό την ανάδειξη ενδείξεων χωρικής διαχείρισης του ήχου υλοποιείται με βάση τρεις άξονες, σε μια προσπάθεια να αναδειχθούν “δυναμικά παραδείγματα” χωρικότητας είτε ως “κρυμμένες σκηνοθετικές οδηγίες”, τις οποίες δίνει ο ποιητής, είτε

ως παραθέματα από τον λόγο των ηρώων. Οι άξονες αυτοί, οι οποίοι εκφράζουν διαφορετικές σχέσεις μεταξύ της κίνησης των υποκριτών στο χώρο και της κατεύθυνσης του ήχου σε συγχρονία, είναι οι ακόλουθοι:

1. *Κίνηση του Χορού στη σκηνή - διάλογος με έναν ή δύο υποκριτές: Η εφαρμογή του εντοπίζεται κατά κύριο λόγο στις Παρόδους και τις Εξόδους του Χορού. Κατά την Έξοδο – ειδικά στην κωμωδία – ο Χορός συχνά φεύγει χωρισμένος, από διαφορετικές παρόδους. Ακόμη καταγράφονται παραδείγματα, όπου δύο πρόσωπα διαλέγονται στίχο προς στίχο ή σε ημιστίχια (στιχομυθία ή αντιλαβή αντίστοιχα). Αφορά, ηχητικές πηγές που πλησιάζουν, απομακρύνονται, και αλλάζουν κατεύθυνση, όταν ο ηθοποιός αποκόπτεται από το σύνολο και κινείται στον χώρο.*

2. *Χρήση μηχανών και θεϊκή επιφάνεια: Εξετάζεται εμφάνιση θεϊκών προσώπων με τη χρήση της “μηχανής”, ενός γερανού πρώιμου τύπου. Οι θεοί στέκονται σε σχετική απόσταση από αυτούς στους οποίους απευθύνονται. Έτσι αποκτούν συνολική θέα των γεγονότων και παράλληλα μένουν αποστασιοποιημένοι από τη δράση.*

3. *Χρήση βοηθητικού Χορού-χωρισμός του Χορού σε ημιχόρια: Πολλές φορές, η δραματική λειτουργία ενός έργου ενισχύεται με δεύτερο Χορό που ονομάζεται παραχορήγημα. Ειδική περίπτωση αποτελεί η διάσπαση του κύριου Χορού σε ημιχόρια. Τότε μελετάται η συνύπαρξη δύο αυτοδύναμων ηχητικών πηγών.*

Στον Αριστόφανη, παραδείγματα έργων με ενδείξεις διερεύνησης και χρήσης πρώιμων στοιχείων χωρικότητας αποτελούν οι *Ιπής* και οι *Νεφέλες*, όπου παρατηρούνται προμηνύματα της εισόδου του Χορού στη σκηνή. Πιο συγκεκριμένα, ο Σωκράτης στους στίχους 224-235 κατέρχεται αεροβατώντας προς τον Στρεψιάδη (άξονας 2). Πιο κάτω τον ρωτά αν νιώθει τη φωνή και τη θεϊκή βροντή των Νεφελών (άξονας 1). Επίσης αξίζει να αναφερθούν οι *Όρνιθες*, όπου παρουσιάζονται δυο θεοί, ο Ποσειδώνας και η Ίριδα (άξονας 2), οι *Αχαρνές* με τον Λάμαχο να βγαίνει από τη μια πάροδο και το Χορό να συνοδεύει το Δικαιόπολη από την αντίθετη πάροδο (άξονας 1) (Dover, 2010 p. 122) καθώς επίσης οι *Βάτραχοι* με την εμφάνιση δύο χορών -Χορός μυστών του Τακχου και βοηθητικός Χορός βατράχων (άξονας 3). Αντίστοιχα παραδείγματα των αξόνων συναντά κανείς στον *Αισχύλο* (*Ευμενίδες*, *Προμηθέας Δεσμώτης* κ.α.), στον *Σοφοκλή* (*Αίας*, *Οιδίπους επί Κολωνώ* κ.α.), και στον *Ευριπίδη* (*Άλκηστις*, *Μήδεια*, *Εκάβη*, *Ελένη*, *Τρωάδες* κ.α.).

Συνοψίζοντας, η εν λόγω μελέτη θα προσεγγίσει τις απαρχές της ηχητικής χωρικότητας στην αρχαιοελληνική λατρευτική (διθύραμβος) και δραματική (τραγωδία/κωμωδία) μουσική και προσωδία, εστιάζοντας στα χαρακτηριστικότερα παραδείγματα χωρικής διαχείρισης του ήχου όπως αυτά αποτυπώνονται στις “κρυμμένες σκηνοθετικές οδηγίες” των ποιητών και στον λόγο των ηρώων.

Πειραματική Αξιολόγηση Συστήματος Ενεργητικής Ακύρωσης Θορύβου για Χαμηλόσυχνες Ακουστικές Διαταραχές

Δημήτριος Μυλωνάς^{1,*}, Χρήστος Γιακόπουλος², Ιωάννης Αντωνιάδης³
^{1,2,3} Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15772, Ζωγράφου
*dimimyl579@mail.ntua.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

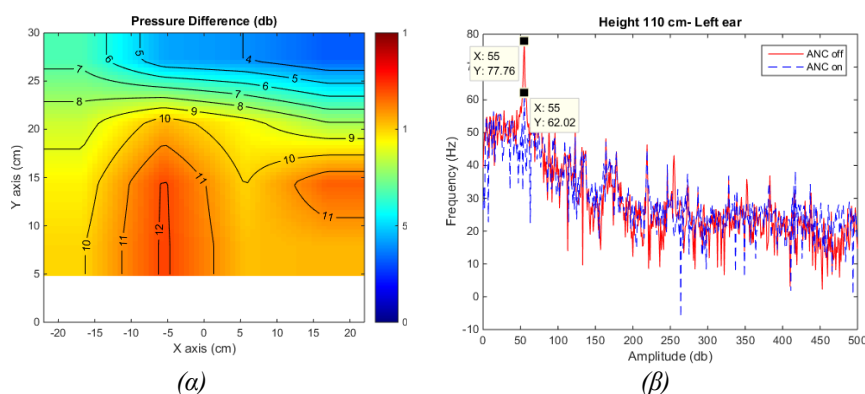
Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η πειραματική αξιολόγηση ενός Συστήματος Ενεργητικής Ακύρωσης Θορύβου (ΣΕΑΘ), το οποίο μπορεί να εγκατασταθεί στο προσκέφαλο της θέσης ενός επιβάτη, σε μέσα μεταφοράς όπως αεροσκάφη [1] και πλοία [2] ώστε να τον απαλλάξει από δυσάρεστες ακουστικές διαταραχές που συνήθως προέρχονται από τους κινητήρες των συγκεκριμένων οχημάτων. Η ανάπτυξη του συστήματος αυτού βασίζεται στον FxLMS αλγόριθμο πολλών εισόδων - πολλών εξόδων [3], ο οποίος είναι γνωστός τόσο για την απόδοση, όσο και την ευστάθειά του. Επιπλέον η διάταξη των ηχείων και των μικροφώνων που χρησιμοποιούνται συμβάλει στη δημιουργία μιας ζώνης ησυχίας με μέγεθος που επαρκεί για την κάλυψη διαφόρων θέσεων του κεφαλιού του επιβάτη. Στην κατεύθυνση αυτή, έχουν χρησιμοποιηθεί subwoofers, τόσο λόγω της ικανότητάς τους να αναπαράγουν χαμηλόσυχνους ήχους, όσο και λόγω της μεγάλης διαμέτρου του διαφράγματος που συμβάλει στην δημιουργία μεγαλύτερης περιοχής, στην οποία η πτώση της ακουστικής πίεσης είναι επαρκής [4]. Επιπλέον, σαν εισόδοι του FxLMS χρησιμοποιήθηκαν τα σήματα σφάλματος δύο μικροφώνων, καθένα από τα οποία αντιστοιχεί σε ένα αντί του επιβάτη.

Η πειραματική αξιολόγηση του συστήματος περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της πτώσης του επιπέδου της ακουστικής πίεσης γύρω από το προσκέφαλο της θέσης του επιβάτη (Σχ. 1β) καθώς και του μεγέθους της ζώνης ησυχίας (Σχ. 1α) τόσο για προσομοιωμένες ακουστικές διαταραχές, όσο και θορύβους που ηχογραφήθηκαν μέσα σε καμπίνες μέσων μεταφοράς, σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Επιπλέον ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην επίδραση του κεφαλιού του επιβάτη στην απόδοση του συστήματος, η οποία δεν έχει μελετηθεί σε παρόμοιες έρευνες που σχετίζονται με ΣΕΑΘ εγκατεστημένα σε προσκέφαλα θέσεων. Η μελέτη της επίδρασης του κεφαλιού του επιβάτη αποτελεί και την βασική καινοτομία της συγκεκριμένης εργασίας.

Μια βασική παράμετρος των ΣΕΑΘ είναι το δευτερογενές ηλεκτρακουστικό μονοπάτι ανάμεσα στα ηχεία και τα μικρόφωνα σφάλματος, το οποίο επηρεάζεται από την ύπαρξη του κεφαλιού [5]. Ένα μοντέλο του μονοπατιού αυτού υπολογίζεται κατά τη διάρκεια μιας φάσης μοντελοποίησης που προηγείται της λειτουργίας του συστήματος. Αν η μοντελοποίηση γίνει χωρίς την ύπαρξη επιβάτη και έπειτα ο επιβάτης κάτσει στη θέση η μείωση της ακουστικής πίεσης είναι λιγότερη κατά 2 dB, ενώ η απόδοση επανέρχεται σε κανονικά επίπεδα όταν η μοντελοποίηση του δευτερογενούς μονοπατιού γίνει με την ύπαρξη του επιβάτη στη θέση. Επιπλέον η επίδραση του ανθρώπινου κεφαλιού είναι μεγαλύτερη καθώς η ακουστική διαταραχή αποτελείται από υψηλές συχνότητες. Στην περίπτωση των χαμηλόσυχνων ακουστικών διαταραχών η επίδραση

του ανθρώπινου κεφαλιού τείνει να ελαχιστοποιηθεί, γεγονός που οφείλεται στο μεγάλο μήκος κύματος συγκριτικά με τις διαστάσεις του κεφαλιού.

Τέλος όσο αφορά στο μέγεθος και το σχήμα της ζώνης ησυχίας, προκύπτει ότι αυτό δεν επηρεάζεται είτε στη θέση υπάρχει επιβάτης, είτε όχι με την προϋπόθεση ότι η ενέργεια της ακουστικής διαταραχής βρίσκεται συγκεντρωμένη χαμηλά στο φάσμα συχνοτήτων. Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ότι ένα ΣΕΑΘ μπορεί να λειτουργήσει σαν τρόπος μείωσης του επιπέδου θορύβου που οφείλεται σε χαμηλόσυχνες ακουστικές διαταραχές, χωρίς να απαιτείται να υπάρχουν καθημένοι επιβάτες κατά τη διάρκεια της μοντελοποίησης του δευτερογενούς μονοπατιού μιας και η πτώση της απόδοσης είναι μικρή. Επιπλέον φαίνεται ότι η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική που χρησιμοποιεί 2 subwoofers και 2 μικρόφωνα σε συνδυασμό με τον πολυκαναλικό FxLMS, είναι επαρκής για το σχηματισμό ζωνών ησυχίας, ικανοποιητικών τόσο σε μέγεθος όσο και σε επίπεδο μείωσης της ακουστικής πίεσης.



Σχήμα 1: (α) Μείωση του επιπέδου ακουστικής πίεσης μπροστά από το προσκέφαλο μετά την ενεργοποίηση του ΣΕΑΘ, (β) Φάσματα συχνοτήτων στο αριστερό αυτί του επιβάτη πριν και μετά την ενεργοποίηση του ΣΕΑΘ.

- [1] C. Y. Chang, C. T. Chuang, S. M. Kuo, and C. H. Lin, "Multi-functional active noise control system on headrest of airplane seat," *Mech Syst Signal Process*, vol. 167, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.ymsp.2021.108552.
- [2] J. Cheer and S. J. Elliott, "Active noise control of a diesel generator in a luxury yacht," *Applied Acoustics*, vol. 105, pp. 209–214, Apr. 2016, doi: 10.1016/J.APACOUST.2015.12.007.
- [3] S. M. Kuo, "Active Noise Control Systems with Adaptive Nonlinear Filters."
- [4] D. Mylonas, A. Erspamer, C. Yiakopoulos, and I. Antoniadis, "A Virtual Sensing Active Noise Control System Based on a Functional Link Neural Network for an Aircraft Seat Headrest," *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, Aug. 2023, doi: 10.1007/s42417-023-01090-5.
- [5] I. T. Ardekani and W. H. Abdulla, "Effects of Imperfect Secondary Path Modeling on Adaptive Active Noise Control Systems," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 20, no. 5, pp. 1252–1262, Sep. 2012, doi: 10.1109/TCST.2011.2161762.

Εφαρμογή συστήματος ενεργού ελέγχου θορύβου σε βιομηχανικό χειριστήριο ελέγχου

Σπυρίδων Μουζακίτης, Γεώργιος
Χαραλαμπίδης
Group Science
smouzak@groupscience.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τη διερεύνηση, την ανάπτυξη και την πειραματική εφαρμογή ενός συστήματος ενεργού ελέγχου θορύβου σε μία κλειστή κοιλότητα βιομηχανικού χειριστηρίου. Στην εξεταζόμενη εφαρμογή ο πρωτεύων θόρυβος προέρχεται από γραμμική επιφανειακής επεξεργασίας αλουμινίου που παράγει ακουστική διέγερση χαμηλών συχνοτήτων υψηλού πλάτους, φαινόμενο που απαντάται πολύ συχνά σε προβλήματα βιομηχανικού θορύβου. Η περιοχή προστασίας βρίσκεται σε ένα κλειστό χειριστήριο ελέγχου που είχε ηχομονωθεί σημαντικά με παθητικές μεθόδους, οι οποίες όμως δεν αντιμετώπισαν το θόρυβο χαμηλών συχνοτήτων που αποτελεί τον κύριο παράγοντα όχλησης των χειριστών. Η εργασία δείχνει τη θεωρητική ανάλυση σχετικά με την πρόβλεψη των ακουστικών συναρτήσεων μεταφοράς και στη συνέχεια εξετάζει τους αλγορίθμους ψηφιακού ενεργού ελέγχου θορύβου που εφαρμόζονται βέλτιστα στη συγκεκριμένη εφαρμογή. Στα πλαίσια της εργασίας, ο ενεργός ελεγκτής υλοποιείται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή πραγματικού χρόνου, σύστημα δύο ακουστικών αισθητήρων και μίας πηγής δευτερεύοντος θορύβου. Η διάταξη εφαρμόζεται πειραματικά, όπου και αποτυπώνεται μέσω ηχομετρήσεων η ηχοστάθμη και η τριτο-οκταβική ανάλυσή της χωρίς- και με- την εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος ενεργού ελέγχου θορύβου. Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν τη σημαντική μείωση της ηχοστάθμης στις χαμηλές συχνότητες ενδιαφέροντος στην περιοχή ενδιαφέροντος του χειριστηρίου ελέγχου.

Περιπτωσιολογική μελέτη (case study) εντοπισμού ηχοδιαφυγών με ακουστική απεικόνιση

Θεόδωρος Αργουδέλης, Νικόλαος Αργουδέλης, Αντώνιος Αργουδέλης
ΑΛΦΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΑΕ. Αποστολοπούλου 73, Χαλάνδρι
support@vibro.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή αφορά περιπτωσιολογική μελέτη (case study) εντοπισμού ηχοδιαφυγής σε σύνθετα διαχωριστικά ξύλου και γυάλινων πλαισίων εντός κτιρίου γραφείων με την μέθοδο της ακουστικής απεικόνισης.

Στον χώρο που εξετάστηκε, υπήρχε ζήτημα ηχο-εμπιστευτικότητας μεταξύ του meeting room και των παρακείμενων γραφειακών χώρων. Λόγω του σύνθετου διαχωριστικού τοίχου (στοιχεία από ξύλο & γυάλινο πλαίσιο), ο εντοπισμός του κύριου σημείου ηχοδιαφυγής δεν ήταν εύκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια. Με την χρήση κατάλληλου οργάνου ακουστικής απεικόνισης, εντοπίστηκαν τα κύρια σημεία ηχοδιαφυγής. Κατά την διαδικασία των μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί αισθητήρες, με σκοπό να ποσοτικοποιηθεί η αποτελεσματικότητά τους κυρίως στο φάσμα των χαμηλότερων συχνοτήτων (<2kHz).

Στόχος της εργασίας είναι η ανάδειξη και αξιοποίηση της ακουστικής απεικόνισης με την χρήση του κατάλληλου αισθητήρα για την απλούστευση της διαδικασίας εντοπισμού ηχοδιαφυγών σε σύνθετες περιπτώσεις, με ταυτόχρονα πλεονεκτήματα την ακρίβεια, την μείωση του χρόνου ηχομετρήσεων και χωρίς τη διενέργεια καταστροφικών μεθόδων (NDT).

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές του πίνακα 2 του ελληνικού Κτιριοδομικού Κανονισμού (ΦΕΚ 3985 Β/2023).

1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Οι ακουστικές μετρήσεις έγιναν με τους αισθητήρες P132 (250Hz – 10,5 kHz) & P50 (700 Hz – 10,5 kHz) της εταιρείας Seven Bel GmbH οι οποίοι διαθέτουν πέντε μικρόφωνα έκαστος. Τόσο η επί τόπου, όσο και η μετέπειτα επεξεργασία τους έγινε με την χρήση του λογισμικού Acoutect της ίδιας εταιρείας.

Οι μετρήσεις έγιναν σε κλειστό χώρο γραφείων -meeting room. Εντός του meeting room τοποθετήθηκε σε κατάλληλη απόσταση $\geq 1.5m$ από ανακλαστικές επιφάνειες, ο εξοπλισμός λήψης και καταγραφής της ηχητικής ενέργειας (δέκτης). Εκτός του χώρου, τοποθετήθηκε σύστημα ενισχυτή-ηχείου με σήμα τυχαίου θορύβου σε ζώνες του 1/3 οκτάβας (σύστημα εκπομπού).

Μετά το πέρας της κάθε μέτρησης πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση των αποτελεσμάτων με χρήση κατάλληλου λογισμικού. Με σκοπό την ποιοτική αξιολόγηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν οι δύο αισθητήρες που αναφέρθηκαν, ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα με την χρήση λογισμικού κυρίως στις χαμηλότερες συχνότητες (<2kHz) σε επόμενο στάδιο.

2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Με βάση την μεθοδολογία που περιγράφηκε πραγματοποιήθηκαν διαφορετικές μετρήσεις στον υπό εξέταση χώρο. Όπως είναι εμφανές στην παρακάτω εικόνα, η ανάλυση με την χρήση των ηχητικών αισθητήρων και της επί τόπου απεικόνισης των δεδομένων καταγραφής έδωσε σαν αποτέλεσμα τα κύρια σημεία ηχοδιαφυγής.

Πιο συγκεκριμένα το κυριότερο σημείο διαφυγής παρουσιάζεται στο αριστερό πάνω μέρος του τοίχου, στο σημείο συναρμογής της εξωτερικής επένδυσης του διαχωριστικού. Το δεύτερο σημείο ενδιαφέροντος ηχητικής διαφυγής είναι στην άνω δεξιά πλευρά του διαχωριστικού και συγκεκριμένα στο σημείο που εφάπτεται με το δομικό στοιχείο (δοκάρι).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει ακόμα, ότι με την μέθοδο της ακουστικής απεικόνισης στην εικόνα καταγράφονται και οι κυριότερες ηχητικές ανακλάσεις. Αυτές παρουσιάζονται στο δοκάρι (αριστερά της εικόνας), αλλά και στην επιφάνεια του τραπέζιού. Από τον χρωματισμό είναι εμφανές ότι η ανάκλαση στο σημείο του δομικού στοιχείου, είναι αρκετά πιο έντονη λόγω της εγγύτητας στο σημείο, αλλά και της έντασης της κύριας ηχοδιαφυγής.



Εικόνα 2.1 Ακουστική απεικόνιση με την πηγή σε παρακείμενο χώρο γραφείων.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αξιοποιώντας την μέθοδο της ακουστικής απεικόνισης, εντοπίστηκαν τα κύρια σημεία ηχοδιαφυγής του σύνθετου χωρίσματος. Οι τιμές της ηχοστάθμης που καταγράφηκαν εντός του *meeting room* οδήγησαν στον υπολογισμό του δείκτη ηχοαπομόνωσης (*D*) μεταξύ των χώρων που εξετάστηκαν. Η σύγκριση των τιμών αυτών ανέδειξε τον βαθμό επίδρασης των κύριων εστιών ηχοδιαφυγής στον γενικό δείκτη ηχοαπομόνωσης (*D*) που υπολογίστηκε.

Η τελική επιτευχθείσα μείωση των ηχοδιαφυγών, μετά τις επεμβάσεις ηχομόνωσης που πραγματοποιήθηκαν, ήταν σημαντική και ανάγεται στο γεγονός ότι αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα της σάρωσης του διαχωριστικού τοίχου με την μέθοδο που περιγράφηκε, ώστε οι επεμβάσεις ηχομόνωσης να είναι εστιασμένες.

Ένα ακόμα συμπέρασμα είναι πως η μέθοδος της ακουστικής απεικόνισης παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως μεγαλύτερη ακρίβεια, εντοπισμό και οπτική αναπαράσταση πηγών θορύβου σε πραγματικό χρόνο, κάλυψη μεγάλων περιοχών και ταυτόχρονη ανίχνευση πολλαπλών πηγών θορύβου, εξοικονομώντας έτσι χρόνο και πόρους. Επίσης, ανιχνεύει ηχομονωτικές κατασκευαστικές ατέλειες.

Διερεύνηση δονητικής συμπεριφοράς παραδοσιακού ξύλινου και εκτυπωμένου τζουρά

Μάρκος Κατσίπης¹, Ορέστης Μιχαηλίδης¹, Αθανάσιος Σκουτέλης¹, Γεώργιος Σκουτέλης¹, Σπύρος Μπρέζας¹, Ιωάννης Ορφανός¹, Νεκτάριος Παπαδογιάννης¹, Μάκης Μπακαρέζος¹, Βασίλης Δημητρίου¹, Ευάγγελος Κασελούρης^{1,*}

¹Εργαστήριο Φυσικής Ακουστικής και Οπτοακουστικής, Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, 74133

Περιβόλια, Ρέθυμνο

*vagfem@hmu.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Πρόσφατες επιστημονικές μελέτες έχουν τεκμηριώσει τα πλεονεκτήματα της χρήσης εναλλακτικών υλικών σε κατασκευές μουσικών οργάνων με επιθυμητές ακουστικές ιδιότητες. Η παρούσα μελέτη πραγματεύεται τη μελέτη της δονητικής συμπεριφοράς παραδοσιακού και 3D-εκτυπωμένου τζουρά μέσω υπολογιστικών προσομοιώσεων και πειραματικών μετρήσεων. Το τρισδιάστατο μοντέλο ενός παραδοσιακά κατασκευασμένου έγχορδου τζουρά δημιουργείται με τη χρήση λογισμικού τρισδιάστατης υπολογιστικής σχεδίασης. Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση και προσομοίωση της δονητικής συμπεριφοράς του οργάνου, που αποτελείται από το καπάκι, τον καβαλάρη, τα καμάρια και το σκάφος με οριακές συνθήκες που ανταποκρίνονται σε πειραματικές μετρήσεις. Επιπρόσθετα, υλοποιούνται προσομοιώσεις στο καπάκι του οργάνου. Αρχικά δύναται να υλοποιηθεί χρονικά μεταβαλλόμενη μηχανική ανάλυση για να προσδιοριστούν τα φαινόμενα προέκτασης που επιβάλλουν οι χορδές στον καβαλάρη του οργάνου, με αποτέλεσμα η γεωμετρική δομή να αποκτήσει αρχικές παραμορφώσεις, και ακολουθεί η ανάλυση ιδιοσυχνοτήτων. Στα μοντέλα των πεπερασμένων στοιχείων λαμβάνονται υπόψη οι ανισοτροπικές ιδιότητες των υλικών, καθώς τα μέρη του μουσικού οργάνου είναι κατασκευασμένα από διαφορετικά είδη ξύλου, ενώ δε λαμβάνεται υπόψη η αλληλεπίδραση ρευστού-στερεού.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ιδιοσυχνοτήτων συγκρίνονται με πειραματικές μετρήσεις εκτελούμενες με τη μέθοδο της κρουστικής απόκρισης, καθώς και με τη μέθοδο της χρονικά ολοκληρωμένης ψηφιακής ολογραφίας κοκκίδων – ESPI, τόσο στο καπάκι αλλά και σε ολόκληρο το συναρμολόγημα του τζουρά. Στα πειράματα της κρουστικής απόκρισης η διέγερση του οργάνου γίνεται από ειδικό πιεζοηλεκτρικό σφυρί ανάδρασης και η απόκριση καταγράφεται από ειδικό αισθητήρα επιτάχυνσης. Τα ψηφιακά σήματα καταγράφονται από πολυαναλυτή πραγματικού χρόνου και καταχωρούνται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η διάταξη της ESPI βασίζεται σε συνεχές laser μήκους κύματος 532 nm. Η κύρια δέσμη του laser διαχωρίζεται σε δύο με τη βοήθεια διαχωριστή και ειδικοί καθρέπτες τις κατευθύνουν. Σύστημα ειδικών φακών τοποθετείται στην εστία της πρώτης δέσμης και φωτίζει τον υπό μελέτη δονούμενο

τζουρά στο πράσινο χρώμα του laser. Η δεύτερη δέσμη, καλούμενη ως δέσμη αναφοράς, κατευθύνεται με καθρέπτες σε κάμερα που καταγράφει το είδωλο του φωτιζόμενου αντικειμένου και ταυτόχρονα τη δέσμη αναφοράς. Η κάμερα είναι συνδεδεμένη με υπολογιστή στον οποίο γίνεται επεξεργασία της λαμβανόμενης εικόνας και απεικονίζεται το αποτέλεσμα της δονητικής συμπεριφοράς του οργάνου. Ηχείο συνδεδεμένο με γεννήτρια ήχου ηχοβολεί στο επιθυμητό εύρος συχνοτήτων, κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, το υπό μελέτη όργανο.

Ακολούθως, πραγματοποιούνται προσομοιώσεις των μοντέλων πεπερασμένων στοιχείων, με αντικατάσταση των ξύλινων τμημάτων από πολυμερή όπως τα PLA και PETG, που ενδείκνυνται για τρισδιάστατη εκτύπωση. Τα αποτελέσματα της υπολογιστικής ανάλυσης ιδιοσυχνοτήτων συγκρίνονται με τα αντίστοιχα της δονητικής ανάλυσης που λήφθηκαν για το παραδοσιακό ξύλινο όργανο. Αυτή η προκαταρκτική μελέτη αποτελεί δομικό λίθο στη θεμελίωση της κατασκευής μουσικών οργάνων από εναλλακτικά υλικά, με υψηλή βιωσιμότητα, ανθεκτικότητα και προδιαγεγραμμένες ακουστικές ιδιότητες, μη επηρεαζόμενες από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία και η υγρασία.

Πειραματική Έρευνα για την Εφαρμογή του Συστήματος Σκίασηςτύπου ακουστικών Περσίδων για την μείωση του Θορύβου στην πρόσοψη Γραφειακού Κτιρίου

Παναγιώτα Καβάτζη
MCI Kavazis Court, Ονησίλου 2 Αμαθούντα, Διαμ. 101, TK 4532, Λεμεσός,
Κύπρος
kavazipanayiotai@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο θόρυβος της κυκλοφορίας οχημάτων μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την απόδοση και την ευημερία των εργαζομένων σε ένα γραφειακό περιβάλλον. Τέτοιο φαινόμενο είναι πιο εμφανές σε πολυσύχναστες πόλεις που δεν διαθέτουν επαρκή υποδομή για αστικό σχεδιασμό που είναι περιβαλλοντικά φιλικό. Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας πόλης είναι η Λεμεσός στην Κύπρο, όπου πραγματοποιείται αυτή η μελέτη. Ο ανεπαρκής ακουστικός σχεδιασμός σε γραφεία επηρεάζει την ευημερία και την παραγωγικότητα των εργαζομένων. Για τον λόγο αυτό, πρέπει να εφαρμοστούν δομές που μπορούν να βελτιώσουν την ακουστική των γραφείων για να βελτιωθεί η υγεία και η παραγωγικότητα των εργαζομένων, σε πόλεις με υψηλά επίπεδα θορύβου.

Αυτή η μελέτη εξετάζει τις προοπτικές μείωσης του θορύβου στον χώρο εργασίας με την εγκατάσταση ενός Συστήματος Σκίασης Ακουστικών Περσίδων στην πρόσοψη ενός γραφειακού κτιρίου, κοντά σε μια κεντρική οδική αρτηρία της Λεμεσού.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την αντιμετώπιση των ερευνητικών ερωτημάτων περιλάμβανε τις μετρήσεις πεδίου της Διαφοράς Επιπέδου Πίεσης Ήχου, χρησιμοποιώντας τον θόρυβο της κυκλοφορίας ως πηγή και χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του στοιχείου ηχείου, η οποία βασίζεται στο ευρωπαϊκό πρότυπο ISO 16283, για τον υπολογισμό του ουσιαστικού δείκτη μείωσης θορύβου του συστήματος.

Το πρώτο μέρος του πειράματος μέτρησε και αξιολόγησε τον ουσιαστικό δείκτη μείωσης θορύβου (apparent sound reduction index) του στοιχείου του παραθύρου. Τα αποτελέσματα του ουσιαστικού δείκτη μείωσης θορύβου έδειξαν ότι η μοναδική τιμή R'_{45} για το στοιχείο του παραθύρου είναι 22dB (-0,2,-0,5). Το παράθυρο λειτουργεί εξαιρετικά καλά στα 5000Hz, με αντίστοιχη τιμή 30dB. Παρατηρήθηκε ότι η θεωρητική πρόβλεψη του δείκτη μείωσης ήχου ήταν 9dB μεγαλύτερη από τον μετρημένο ουσιαστικό δείκτη μείωσης ήχου του συνολικού συστήματος αλουμινίου και γυαλιού.

Το δεύτερο μέρος του πειράματος μέτρησε και αξιολόγησε τον ουσιαστικό δείκτη μείωσης θορύβου του στοιχείου του παραθύρου σε συνδυασμό με το σύστημα των ακουστικών περσίδων. Τα αποτελέσματα του ουσιαστικού δείκτη μείωσης θορύβου έδειξαν ότι για το στοιχείο του παραθύρου και των ακουστικών περσίδων, η τιμή R'_{45}

είναι 30dB (-1,8,-3,9). Το στοιχείο του παραθύρου και των περσίδων λειτουργεί εξαιρετικά καλά στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες, με τιμές μεγαλύτερες από 29dB μεταξύ 400Hz έως 5000Hz. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα πριν και μετά την τοποθέτηση του στοιχείου των ακουστικών περσίδων, παρατηρήθηκε μείωση του ουσιαστικού δείκτη μείωσης θορύβου στα 100Hz και 125Hz. Καταγράφηκε μείωση των 9,5 dB στα 100Hz, ενώ με την αύξηση συχνότητας στα 125Hz, η μείωση μειώθηκε στα 4,6 dB.

Το τρίτο μέρος του πειράματος μέτρησε και αξιολόγησε τον ουσιαστικό δείκτη μείωσης θορύβου των ακουστικών περσίδων χωρίς το στοιχείο του παραθύρου. Τα αποτελέσματα του ουσιαστικού δείκτη μείωσης θορύβου έδειξαν ότι για το στοιχείο των ακουστικών περσίδων η τιμή R'_{45° είναι 14dB (-0,7, -1,7). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το σύστημα λειτουργεί καλά στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες. Στην περιοχή από 315Hz έως 500Hz και στις συχνότητες 1250Hz και 2000Hz, ο ουσιαστικός δείκτης μείωσης θορύβου είναι μεγαλύτερος από 15dB(A). Στα 100Hz, ωστόσο, ο ουσιαστικός δείκτης μείωσης θορύβου είναι μηδενικός. Παρατηρήθηκε ότι η θεωρητική πρόβλεψη της απώλειας εισαγωγής του σχεδιασμού της δομής των περσίδων δεν αντιστοιχεί στις μετρημένες τιμές του ουσιαστικού δείκτη μείωσης θορύβου.

Οι περσίδες σε συνδυασμό με το στοιχείο του παραθύρου προσφέρουν τα καλύτερα αποτελέσματα του ουσιαστικού δείκτη μείωσης θορύβου από τις τρεις περιπτώσεις. Συγκεκριμένα, από 250Hz έως 2000Hz, και από 3150Hz έως 5000Hz. Κατά τη σύγκριση των τριών περιπτώσεων, η πτώση της καμπύλης στα 100Hz και 2500Hz θυμίζει την καμπύλη της ιδανικής μεταβολής του δείκτη μείωσης θορύβου με τη συχνότητα για ένα μόνο διαχωριστικό.

Η κυκλοφορία οχημάτων είναι μια μεταβλητή πηγή θορύβου. Επειδή η μέση περίοδος μέτρησης δεν περιείχε τουλάχιστον το πέρασμα 50 οχημάτων, οι μετρήσεις επιπέδου πίεσης ήχου που πραγματοποιήθηκαν και για τις τρεις περιπτώσεις, χρησιμοποιήθηκαν δύο μικρόφωνα εντός και εκτός γραφείου, χρησιμοποιώντας τον θόρυβο της κυκλοφορίας ως πηγή θορύβου, για να εξεταστεί η διαφορά επιπέδου πίεσης ήχου.

Καθώς παρατηρούμε την περίπτωση των στοιχείων του παραθύρου και των περσίδων, η σημαντική διαφορά πίεσης ήχου παρουσιάζεται στα 100Hz και 630Hz, με προσεγγιστική τιμή τα 10dB(A). Στα 80Hz και από 200Hz έως 250Hz, η συγκεκριμένη διαφορά ήταν μηδέν. Στην περίπτωση των ακουστικών περσίδων χωρίς το στοιχείο του παραθύρου, η μεγαλύτερη διαφορά επιπέδου πίεσης ήχου παρατηρείται στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες, και η υψηλότερη είναι στα 500Hz, με αντίστοιχη τιμή 20dB(A).

Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν την σημαντική αποδοτικότητα του ακουστικού συστήματος στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες, για τις περιπτώσεις με και χωρίς το στοιχείο του παραθύρου.

Συμπεραίνεται ότι η εγκατάσταση των ακουστικών περσίδων στην πρόσοψη ενός γραφειακού κτιρίου μπορεί να μειώσει την εισροή θορύβου σε ένα εργασιακό χώρο.

Αξιοποίηση ακουστικών μεταδόσεων στον Αρκτικό Ωκεανό για ανάκτηση μεταβολών του μέσου

Ε.Κ. Σκαρσουλής*, Γ.Σ. Πιπεράκης
 Ινστιτούτο Υπολογιστικών Μαθηματικών,
 Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας,
 Ηράκλειο, Κρήτη
 *eskars@iacm.forth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια του ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος HiAOOS (High Arctic Ocean Observation Systems), την περίοδο 2024-26 διεξάγεται ένα πείραμα θαλάσσιας ακουστικής τομογραφίας στον Κεντρικό Αρκτικό Ωκεανό, καλύπτοντας τις θαλάσσιες λεκάνες Νάνσεν και Αμούντσεν με χαμηλόσυχνες (35 Hz) ακουστικές μεταδόσεις σε αποστάσεις της τάξης των 1000 km. Η αξιοποίηση των ακουστικών λήψεων, ιδιαίτερα των χαμηλοτάξιων ιδιομορφών, παρουσιάζει ορισμένες δυσκολίες λόγω της σημαντικής διασποράς τους, δηλ. της εξάρτησης της ταχύτητας ομάδας τους από τη συχνότητα, πράγμα που δυσχεραίνει τον ορισμό καθαρών αφίξεων στο πεδίο του χρόνου. Η συμπεριφορά αυτή οφείλεται στο μεγάλο ρυθμό μείωσης της ταχύτητας του ήχου στο επιφανειακό στρώμα (ανώτερα 300-400 m νερού) που έχει ως συνέπεια τον επιλεκτικό εγκλωβισμό σε αυτό των χαμηλοτάξιων ιδιομορφών ανάλογα με τη συχνότητα. Ενώ η αύξηση του εύρους ζώνης μετάδοσης συνήθως οδηγεί στην ενίσχυση της διακριτικής ικανότητας, μέσω της μείωσης της χρονικής διάρκειας του εκπεμπόμενου παλμού, αυτό στην περίπτωση του Αρκτικού ωκεανού δεν λειτουργεί λόγω διασποράς, και μια μείωση (αντί για αύξηση) του εύρους ζώνης οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα. Επιπλέον, η ορθοκανονικότητα των ιδιομορφών μπορεί να αξιοποιηθεί για την περαιτέρω βελτίωση της διακριτικής ικανότητας απομονώνοντας τις αφίξεις συγκεκριμένων ιδιομορφών. Στη συνέχεια μελετάται η συμπεριφορά των αφίξεων σε διαταραχές του μέσου με χρήση πυρήνων ευαισθησίας για να διαπιστωθεί ο βαθμός απόκλισης από τη γραμμικότητα, ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν μέθοδοι αντιστροφής για την ανάκτηση μεταβολών του μέσου.



Η εργασία αυτή χρηματοδοτείται από το Πρόγραμμα Horizon Europe της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), αρ. συμβ. 101094621. Ωστόσο, οι απόψεις που εκφράζονται είναι αυτές των συγγραφέων και δεν αντικατοπτρίζουν απαραίτητα εκείνες της ΕΕ ή του Ευρωπαϊκού Εκτελεστικού Οργανισμού Έρευνας. Ούτε η ΕΕ ούτε η χορηγούσα αρχή μπορούν να θεωρηθούν υπεύθυνες για αυτές.

Εφαρμογή των Συνελικτικών Νευρωνικών Δικτύων σε Αντίστροφα Προβλήματα Θαλάσσιας Ακουστικής

Βασίλειος Τζιράκης^{1,*}, Κωνσταντίνος Σμαραγδάκης^{1,2,3}, Μιχαήλ Ταρουδάκης^{1,2}

¹Τμήμα Μαθηματικών και Εφαρμοσμένων Μαθηματικών, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Πανεπιστημιούπολη Βουτών, 70013 Ηράκλειο

²Ινστιτούτο Υπολογιστικών Μαθηματικών, ΙΤΕ, Ν.Πλαστήρα 100, 70013 Ηράκλειο

³Παρούσα Διεύθυνση: Τμήμα Στατιστικής και Αναλογιστικών – Χρηματοοικονομικών Μαθηματικών, Πανεπιστήμιο του Αιγαίου, Σάμος
*temp73@math.uoc.gr, vtzirakis@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της εργασίας είναι η εκτίμηση των καμπυλών διασποράς (dispersion curves) που χαρακτηρίζουν το φασματογράφημα ενός ευρυζώνιου ακουστικού σήματος που καταγράφεται σε έναν θαλάσσιο κυματοδηγό, με χρήση Συνελικτικών Νευρωνικών Δικτύων (Convolutional Neural Networks). Τα δίκτυα αυτά χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο σε εφαρμογές τεχνικών μηχανικής μάθησης σε ευρείες κλάσεις αντιστρόφων προβλημάτων επεξεργασίας εικόνας και ήχου. Στην περίπτωση μας, οι καμπύλες διασποράς αποτελούν δεδομένα εισόδου για μια κατηγορία αντίστροφων προβλημάτων στην ακουστική ωκεανογραφία, τα οποία αντιμετωπίζονται χρησιμοποιώντας την ανάλυση χρόνου-συχνότητας ενός καταγεγραμμένου ακουστικού σήματος προκειμένου να εκτιμηθούν παράμετροι του θαλασσινού νερού ή και του πυθμένα της θάλασσας.

Για βέλτιστη αξιοποίηση της πληροφορίας που μεταφέρουν οι καμπύλες διασποράς, είναι απαραίτητο να ποσοτικοποιηθεί η απεικόνισή τους μαθηματικά και για το σκοπό αυτό επελέγη η μέθοδος της περιγραφής τους μέσω κυβικών splines. Η εκτίμηση των συντελεστών των splines είναι επομένως το πρώτο βήμα για την χρήση των καμπυλών, ως δεδομένων των αντιστρόφων προβλημάτων που αναφέρθηκαν ανωτέρω και αποτελεί αφ' εαυτής ένα πρωτογενές αντίστροφο πρόβλημα. Για την εκτίμηση αυτή, επελέγη η χρήση Συνελικτικών Νευρωνικών Δικτύων. Η εκμάθηση του νευρωνικού δικτύου γίνεται με φασματογραφήματα (spectrograms) τα οποία έχουν παραχθεί συνθετικά από ένα σύνολο σημάτων στα οποία δεν έχει προστεθεί θόρυβος, με χρήση προγράμματος κανονικών ιδιομορφών (normal-modes). Για την παραγωγή των φασματογραφήματων χρησιμοποιείται συνδυασμός γεωακουστικών παραμέτρων του κυματοδηγού μέσα από ένα πεδίο ελέγχου (search space). Σε κάθε φασματογράφημα γίνεται αναγνώριση των καμπυλών διασποράς για συγκεκριμένες τάξεις ιδιομορφών διάδοσης και περιγραφή μέσω κυβικών splines. Το επιθυμητό αποτέλεσμα, που αποτελεί και την έξοδο του νευρωνικού δικτύου, είναι ο προσδιορισμός των συντελεστών κυβικών splines που έχουν επιλεγεί ως μέσον αναπαράστασης της κάθε καμπύλης διασποράς για τις ως άνω τάξεις ιδιομορφών, για δεδομένο ακουστικό σήμα εισόδου.

Η εργασία παρουσιάζει τη δομή του νευρωνικού δικτύου που έχει χρησιμοποιηθεί στη μελέτη, τη μεθοδολογία εκμάθησης και προκαταρκτικά αποτελέσματα εκτίμησης

των συντελεστών των *splines*, που περιγράφουν μαθηματικά τις καμπύλες διασποράς σε προσομοιωμένα πειράματα ακουστικής διάδοσης σε ρηχούς θαλάσσιους κυματοδηγούς για τις πρώτες τάξεις διαδιδόμενων ιδιομορφών. Τα αποτελέσματα σχολιάζονται ως προς την αξιοπιστία τους συγκρίνοντας τις καμπύλες διασποράς που αναπαράγονται μέσω των συντελεστών των κυβικών *splines*, που είναι οι παράμετροι εξόδου του νευρωνικού δικτύου, με τις καμπύλες που αντιστοιχούν στο σήμα εισόδου όπως αυτό παράγεται από τις γνωστές γεωακουστικές παραμέτρους του κυματοδηγού.

Υποβρύχιες ακουστικές παρατηρήσεις στο Στενό των Κυθήρων

Ε.Κ. Σκαρσουλής*, Γ.Σ. Πιπεράκης, Π. Παπαδάκης, Ε. Ορφανάκης
Ινστιτούτο Υπολογιστικών Μαθηματικών,
Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας,
Ηράκλειο, Κρήτη
*eskars@iacm.forth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε συνέχεια του προγράμματος *SAnEWhales*, στα πλαίσια του οποίου σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε ένα πιλοτικό σύστημα για την ανίχνευση και τον εντοπισμό φουσητήρων σε πραγματικό χρόνο, δρομολογήθηκε πρόσφατα η ανάπτυξη ενός μόνιμου ακουστικού παρατηρητηρίου στο στενό των Κυθήρων, μια περιοχή με έντονη παρουσία φουσητήρων και βαριά ναυσιπλοΐα, πράγμα που αυξάνει κατακόρυφα τον κίνδυνο συγκρούσεων και καθιστά επιτακτική την ανάπτυξη συστημάτων αποφυγής τους. Σημειώνεται ότι οι συγκρούσεις φουσητήρων με πλοία αποτελούν την κυριότερη απειλή για την επιβίωση του πολύ μικρού πληθυσμού φουσητήρων της Ελληνικής Τάφρου (100-150 άτομα) και συνολικά της Ανατολικής Μεσογείου (100-300 άτομα). Για την προετοιμασία της μελέτης και του σχεδιασμού του μόνιμου παρατηρητηρίου υλοποιείται το προκαταρκτικό πρόγραμμα *Whales'24*, με αντικείμενο τη διεξαγωγή και ανάλυση υποβρύχιων ακουστικών μετρήσεων στην περιοχή. Το πρόγραμμα *Whales'24* περιλαμβάνει την πόντιση ενός αυτοκαταγραφικού οργάνου το καλοκαίρι 2024 κοντά στο Ακρωτήριο Ταίναρο (Πελοπόννησος) για την καταγραφή των επιπέδων θορύβου, των ακουστικών εκπομπών των φουσητήρων αλλά και του γενικότερου ηχοτοπίου στην περιοχή. Περιλαμβάνει επίσης την επακόλουθη ανάλυση των μετρήσεων για να εκτιμηθούν οι μέγιστες αποστάσεις για την ανίχνευση και τον εντοπισμό φουσητήρων. Στην εργασία αυτή θα παρουσιαστεί συνοπτικά το καταγραφικό σύστημα, η διαδικασία πόντισης και ανάκτησης καθώς και πρώτα αποτελέσματα από την ανάλυση των μετρημένων ακουστικών καταγραφών. Το πρόγραμμα *Whales'24* χρηματοδοτείται από την *OceanCare* (μη κυβερνητική οργάνωση, με έδρα την Ελβετία).

Παραγωγή ήχων από το λεοντόψαρο (*Pterois miles*), επίδραση του μεγέθους και του φύλου

Χρύσα Δόξα^{1,4*}, Σ. Κουζούπης^{2,3}, Π. Παπαδάκης³,
Ν. Μιτριζάκης⁴, Μ. Κεντούρη⁴, Μ. Παυλίδης⁴
¹ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε., ²ΕΛ.ΜΕ.ΠΑ., ³Ι.Τ.Ε., Παν. Κρήτης⁴
*chrisadoxa@hcmr.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το λεοντόψαρο, *Pterois miles*, είναι ένα είδος τροπικού ψαριού που εισέβαλε στην Μεσόγειο θάλασσα μέσω της διώρυγας του Σουέζ, και εμφανίστηκε πολύ πρόσφατα στις Ελληνικές θάλασσες (2015). Έκτοτε εξαπλώθηκε σε όλη σχεδόν την επικράτεια και ανέπτυξε μεγάλους πληθυσμούς νότια των Δωδεκανήσων και στην Κρήτη. Είναι χωροκατακτητικό είδος και θεωρείται ένα από τα πλέον επικίνδυνα εισβολικά είδη, όσον αφορά τις επιπτώσεις του στην αυτόχθονη ιχθυοπανίδα, καθώς τρέφεται κυρίως με νεαρά άτομα αυτόχθονων ψαριών. Στην παρούσα εργασία μελετάται η παραγωγή ήχων από τα λεοντόψαρα με απώτερο στόχο την διερεύνηση της χρήσης των ως «ακουστικά εργαλεία» για τον πληθυσμιακό έλεγχο των λεοντόψαρων στη φύση. Για το σκοπό αυτό, εννέα άτομα, σε τρεις τάξεις μεγεθών και στα δύο φύλα, τοποθετήθηκαν σε ειδικά σχεδιασμένη δεξαμενή, στην οποία είχαν εγκατασταθεί δύο υδρόφωνα συνδεδεμένα με σύστημα καταγραφής ήχου. Παράλληλα, έγινε και συγχρονισμένη καταγραφή εικόνας με βιντεοκάμερα ώστε να μελετηθεί και να συσχετιστεί η συμπεριφορά των ψαριών με τους παραγόμενους ήχους. Αναλύθηκαν 2656 ηχητικά αποσπάσματα από τα οποία προέκυψε ότι τα λεοντόψαρα και των τριών μεγεθών, αλλά και των δύο φύλων, παράγουν ήχους καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου. Σε κάποιες περιπτώσεις απεικονίστηκε η συμπεριφορά των ψαριών που αντιστοιχούσε στον παραγόμενο ήχο. Για τα τρία μεγέθη των ψαριών θα παρουσιαστούν αποτελέσματα για τον αριθμό των παραγόμενων ήχων ανά ώρα κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου, καθώς και αναλύσεις από την μεγάλη αλληλουχία των διαφορετικών ήχων, ενώ θα ακουστούν και αρκετοί χαρακτηριστικοί ήχοι. Με βάση αυτά θα σχολιαστούν και κάποια συμπεριφορικά πρότυπα.

Εύλο ή Μέταλλο; Επίδραση του Υλικού στο Ηχόχρωμα των Φλάουτων

Διονύσιος Θ. Γ. Κατερέλος
Αναπλ. Καθηγητής / Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Μουσικής Ακουστικής και
Ταλαντώσεων, Τμήμα Τεχνών Ήχου και Εικόνας, Ιόνιο Πανεπιστήμιο, Λεωφ.
Στ. Τυπάλδου, Ληξούρι, 282 00
dkaterelos@ionio.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το ηχόχρωμα ενός μουσικού οργάνου παίζει σημαντικό ρόλο στην επιλογή του πλέον κατάλληλου οργάνου από τον εκτελεστή. Ως ηχόχρωμα εννοείται το σύνολο των ιδιοσυχνοτήτων (αρμονικών) και το ύψος καθεμιά από αυτές, που παράγονται όταν παίζεται μια νότα. Το υλικό που είναι κατασκευασμένο το όργανο μπορεί να επιδρά στο τελικό ηχητικό αποτέλεσμα. Το ζήτημα του υλικού κατασκευής (αλλά και της γεωμετρίας του οργάνου που μπορεί να συνδέεται με εργονομικά ζητήματα) παραβλέπεται συχνά λόγω της συντηρητικής θέσης της μουσικής κοινότητας που βασίζεται συνήθως σε ψυχολογικά υποκειμενικά επιχειρήματα [1]. Κατά συνέπεια, κάθε προσπάθεια μεγάλων αλλαγών των συμβατικών και παραδοσιακών μουσικών οργάνων θεωρείται ως τελευταία παράμετρος.

Η επίδραση του υλικού στην ποιότητα του ήχου έχει ερευνηθεί επί μακρόν. Στις περισσότερες από αυτές τις έρευνες δεν προκύπτει σημαντική διαφορά στην ποιότητα του παραγόμενου ήχου από όργανα διαφορετικού υλικού. Η διαδικασία που ακολουθείται σε αυτές είναι ακρόαση των οργάνων από έμπειρους ή/και αδαείς ακροατές. Επομένως, η υποκειμενικότητα στα αποτελέσματα, που ούτως ή άλλως υφίσταται από την πλευρά των εκτελεστών, εντείνεται λόγω της αξιοποίησης ακροατών. Από την άλλη, η ηχογράφηση οργάνων από διαφορετικά υλικά και επεξεργασία των καταγραφών οδηγεί σε σημειούμενες διαφορές.

Τα σύγχρονα φλάουτα κατασκευάζονται κυρίως από μέταλλο. Αρκετοί φλαουτίστες ισχυρίζονται ότι η χρήση ευγενών μετάλλων όπως ο χρυσός, η πλατίνα ή ο άργυρος αποδίδουν καλύτερη ποιότητα ήχου. Ο ισχυρισμός αυτός έχει αντικρουστεί από άλλους φλαουτίστες και ερευνητές. Μελέτες στις οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί μοντέλα για τη διερεύνηση των ιδιομορφών ταλάντωσης του σώματος του φλάουτου κατέληξαν στο ότι ενώ διαφορετικά μέταλλα δεν επηρεάζουν την ποιότητα του ήχου, εμφανίζεται ένα πολύπλοκο πρότυπο ταλάντωσης των τοιχωμάτων σε συχνότητες που ταιριάζουν πολύ με τις αρμονικές της αέρας στήλης. Το τοίχωμα του σωλήνα εμφανίζει ανομοιόμορφη ή ελλειπτική διαστολή λόγω της ασυμμετρίας των τονικών οπών.

Ένα άλλο πεδίο έρευνας είναι ο αντίκτυπος των κεφαλών των οργάνων στην ποιότητα του ήχου. Έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι για τον ξεχωριστό χαρακτηρισμό των ακουστικών ιδιοτήτων των κεφαλών μέσω της καμπύλης ίχνους συντονισμού με στόχο την παροχή ενός απλού εργαλείου σε κατασκευαστές και αγοραστές για τη σύγκριση διαφορετικών σχεδίων κεφαλών, ώστε να έχουν άποψη αξιολόγησης της ποιότητας των οργάνων.

Στο παρόν διενεργείται διερεύνηση της επίδρασης του υλικού κατασκευής του φλάουτου στις παραγόμενες αρμονικές. Χρησιμοποιήθηκαν δυο όργανα, ένα ξύλινο και ένα μεταλλικό. Καταγράφηκαν και τα δυο σε studio ηχογράφησης και οι καταγραφές αναλύθηκαν κατόπιν για τον υπολογισμό των φασματογραφημάτων. Κάθε όργανο παίχτηκε από δυο εκτελεστές (τέσσερις φορές ανά νότα, συνολικά οκτώ καταγραφές) για τη μείωση των διαφοροποιήσεων στο στυλ παιξίματος. Η σύγκριση μεταξύ των φασματογραφημάτων από το ξύλινο φλάουτο και από το μεταλλικό έδειξε διαφορές στο ηχόχρωμα. Αναλυτικά αποτελέσματα των τόνων κάθε οργάνου παρουσιάζονται μαζί με τα φασματογραφήματα που προέκυψαν κατά την καταγραφή ολόκληρης οκτάβας. Επιπλέον, ερευνήθηκε σε πρώτο στάδιο η επίδραση του υλικού της κεφαλής του οργάνου στο τελικό αποτέλεσμα και πάλι με τη χρήση μιας ξύλινης και μιας μεταλλικής κεφαλής σε μεταλλικό σώμα. Χρησιμοποιήθηκε η ίδια διαδικασία παραγωγής φασματογραφημάτων και στις δύο περιπτώσεις.

Παρατηρώντας τα φασματογραφήματα και από τις δυο περιπτώσεις που μελετήθηκαν, δύσκολα φαίνονται διαφορές με την πρώτη ματιά, Στην περίπτωση, όμως, των φασματογραφημάτων ολόκληρης οκτάβας τα δυο όργανα (ξύλινο και μεταλλικό) εμφανίζουν διαφορετικές ιδιοσυχνότητες. Αυτή η παρατήρηση έδωσε το κίνητρο για τη βαθύτερη ανάλυση του ηχοχρώματος των οργάνων, δηλαδή του αριθμού και του πλάτους των παραγόμενων συχνοτήτων σε κάθε νότα.

Συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα της έντασης του ήχου ανά συχνότητα για κάθε νότα και από τα δύο όργανα. Η νότα F δεν έδειξε διαφορές, αντιθέτως η νότα G έδειξε σημαντική διαφοροποίηση τόσο στις τιμές των συχνοτήτων όσο και στον αριθμό που περιλαμβάνεται στο ηχόχρωμα. Και στις δύο περιπτώσεις, όπως και στη νότα A, το ηχόχρωμα του μεταλλικού οργάνου είναι πλουσιότερο από αυτό του ξύλινου. Στην περίπτωση της C εμφανίζονται διαφορές σε δύο ιδιοσυχνότητες, κοινές και στα δυο όργανα, ενώ το μεταλλικό δίνει πιο πλούσιο ηχόχρωμα. Παρόμοια συμπεριφορά εμφανίζεται και στη νότα D. Για τη νότα E τα ηχοχρώματα είναι ίδια εκτός από κάποιες μη σημαντικές διαφοροποιήσεις στις ανώτερες αρμονικές. Η νότα B εμφανίζει πλουσιότερο ηχόχρωμα στην περίπτωση του μεταλλικού φλάουτου, ενώ το ξύλινο δίνει υψηλότερες ιδιοσυχνότητες. Αντίθετη συμπεριφορά παρατηρείται στη C2. Σε όλες τις περιπτώσεις το σφάλμα στις καταγραφές ήταν κάτω από 7%, που θεωρείται στατιστικά αποδεκτό.

Στη δεύτερη περίπτωση, μεταλλικό φλάουτο με διαφορετικές κεφαλές, παρατηρήθηκαν μικρές διαφορές αναφορικά με τις ανώτερες αρμονικές. Η υποκειμενικότητα του εκτελεστή παραμένει μη υπολογίσιμη παράμετρος, αλλά επηρεάζει περισσότερο την ένταση του ήχου παρά το ηχόχρωμα.

[1] Bijsterveld, K. and Schulp, M. «Breaking into a World of Perfection: Innovation in Today's Classical Musical Instruments» Soc. Stud. Sci, 34, pp. 649- 674 (2004).

Αυτόματη Ανίχνευση Χορδής Κιθάρας Βάσει του Συντελεστή Αναρμονικότητας

Αλέξανδρος Ηλιάδης*, Χρυσούλα Αλεξανδράκη
Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής
Σχολή Μουσικής και Οπτοακουστικών Τεχνολογιών
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο
*mta56@edu.hmu.gr (υπεύθυνου)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία διερευνά την αυτόματη ανίχνευση χορδών κιθάρας, ένα θέμα στενά συνδεδεμένο με το αντικείμενο της αυτόματης μεταγραφής μουσικής που αποτελεί μέρος του γενικότερου ερευνητικού πεδίου της Ανάκτησης Μουσικής Πληροφορίας. Η κιθάρα, όπως και τα περισσότερα έγχορδα μουσικά όργανα, χαρακτηρίζεται από τη δυνατότητα παιζίματος μιας νότας του ίδιου τονικού ύψους σε διαφορετικές χορδές και θέσεις πάνω στην ταστιέρα, προσφέροντας έτσι στον οργανοπαίκτη παραπάνω από μία επιλογές για την τοποθέτηση των δακτύλων του κατά την εκτέλεση ενός μουσικού αποσπάσματος. Το χαρακτηριστικό αυτό έχει καταστήσει εξαιρετικά διαδεδομένη τη χρήση ταμπλατούρας έναντι της κλασικής παρτιτούρας ως μέθοδο σημειογραφίας για πολλά κιθαριστικά έργα. Έτσι, κατά τη διαδικασία της αυτόματης μεταγραφής ενός μουσικού αποσπάσματος κιθάρας σε ταμπλατούρα, πέρα από την πληροφορία του τονικού ύψους και της μουσικής αξίας μιας νότας, είναι απαραίτητη και η ανίχνευση της χορδής στην οποία αυτή παίχτηκε.

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία συμβαδίζει με την κατεύθυνση αρκετών σχετικών ερευνητικών έργων, εστιάζοντας στην αξιοποίηση της αναρμονικότητας των χορδών της κιθάρας. Το χαρακτηριστικό αυτό εξαρτάται από φυσικές παραμέτρους της ταλαντούμενης χορδής, όπως η διάμετρος και το μήκος, και έτσι κάθε χορδή της κιθάρας σε κάθε τάστο παρουσιάζει διαφορετικό συντελεστή αναρμονικότητας. Αποτέλεσμα της αναρμονικότητας είναι η μετατόπιση των μερικών συχνοτήτων μιας νότας από ακέραιες αρμονικές σε μη ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους συχνότητας της. Ο υπολογισμός του συντελεστή αναρμονικότητας που αντιστοιχεί σε κάποιο ζεύγος χορδής-τάστου πραγματοποιείται μέσω φασματικής ανάλυσης του μονοφωνικού ηχητικού σήματος της αντίστοιχης νότας. Συγκεκριμένα, εφαρμόζοντας τον Μετασχηματισμό Φουριέ στο ηχητικό σήμα πραγματοποιείται ο εντοπισμός των μετατοπισμένων μερικών συχνοτήτων και υπολογίζεται ο μη ακέραιος λόγος κάθε μίας από αυτές ως προς τη θεμελιώδη συχνότητα της νότας. Συλλέγοντας αυτά τα δεδομένα για ένα σύνολο μερικών συχνοτήτων εφαρμόζεται μία διαδικασία προσαρμογής καμπύλης από την οποία προκύπτει η τιμή του υπολογισμένου συντελεστή αναρμονικότητας. Υπολογίζοντας τον αντίστοιχο συντελεστή αναρμονικότητας με αυτό τον τρόπο για τουλάχιστον ένα τάστο σε κάθε χορδή, είναι δυνατή η θεωρητική εκτίμηση του κατά μήκος ολόκληρης της ταστιέρας. Έτσι, ύστερα από μια σύντομη διαδικασία προσαρμογής όπου υπολογίζεται ο συντελεστής αναρμονικότητας για ένα σύνολο ηχητικών δειγμάτων νοτών, το σύστημα καθίσταται έτοιμο για την ταξινόμηση οποιασδήποτε νέας νότας σε κάποιο ζεύγος χορδής-τάστου.

Για την αξιολόγηση του συστήματος αξιοποιήθηκε ένα σύνολο δεδομένων αποτελούμενο από απομονωμένα ηχητικά δείγματα νοτών ηλεκτρικής κιθάρας. Ειδικότερα, το εν λόγω σύνολο δεδομένων διαχωρίζεται σε τρία διακριτά υποσύνολα ηχητικών δειγμάτων, τα οποία αντιστοιχούν σε ηχογραφήσεις που πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας ξεχωριστά τους τρεις διαφορετικούς μαγνήτες της κιθάρας και λαμβάνοντας δείγματα νοτών σε κάθε χορδή έως και το δωδέκατο τάστο με καθέναν από αυτούς. Το σύστημα αξιολογήθηκε ξεχωριστά για καθένα από τα τρία υποσύνολα βάσει τεσσάρων διαφορετικών σχεδίων προσαρμογής του συστήματος, με γνώμονα την ακρίβεια της ταξινόμησης των ηχητικών δειγμάτων νοτών σε ένα ζεύγος χορδής-τάστου. Τα σχέδια προσαρμογής χαρακτηρίζονται από το πλήθος των ηχητικών δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την προσαρμογή του συστήματος βάσει επιλεγμένων τάστων. Κατά μέσο όρο ως προς το σύνολο των ηχητικών δειγμάτων η ακρίβεια ταξινόμησης υπολογίστηκε να είναι της τάξης του 95% για καθένα από τα σχέδια προσαρμογής. Τα αποτελέσματα αυτά κρίθηκαν αρκετά ικανοποιητικά, ιδιαίτερα δεδομένης της απλοϊκής και άμεσης προσέγγισης της προτεινόμενης μεθοδολογίας, θέτοντας ένα ισχυρό θεμέλιο για τη μελλοντική βελτίωση του συστήματος και προτρέποντας τη διερεύνηση της αποτελεσματικότητας του σε περισσότερα σύνολα δεδομένων.

Δονητική ανάλυση κυμβάλων και καπακιών τζουρά

Σπύρος Μπρέζας^{1,*}, Δέσποινα Γρηγορίου¹, Ευάγγελος Κασελούρης¹, Ελένη Παπαδάκη¹, Ιωάννης Ορφανός¹, Ευθύμιος Μπακαρέζος¹, Νεκτάριος Α. Παπαδογιάννης¹, Βασίλειος Δημητρίου¹

¹Εργαστήριο Φυσικής Ακουστικής και Οπτοακουστικής, Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, Ε. Δασκαλάκη Περιβόλια, 74133, Ρέθυμνο

*sbrezas@hmu.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία περιγράφει τον προσδιορισμό των δονητικών χαρακτηριστικών κυμβάλων, τα οποία είτε είναι κατασκευασμένα από κράμα μετάλλων είτε με τρισδιάστατη εκτύπωση. Η αντίστοιχη μελέτη υλοποιείται και σε τρισδιάστατα εκτυπωμένα καπάκια του έγχορδου μουσικού οργάνου τζουρά. Αρχικά πραγματοποιείται η μοντελοποίηση του δονούμενου συστήματος με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (FEM), η οποία μέσω προσομοιώσεων προσεγγίζει μεγέθη, όπως η συχνотική συνάρτηση μεταφοράς. Για τον προσδιορισμό και τον έλεγχο των παραμέτρων των μοντέλων, η συχνотική απόκριση του συστήματος υπολογίζεται μέσω μετρήσεων. Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν τη διέγερση του συστήματος με κρουστικό σφυρί ανάδρασης, του οποίου το σήμα της ασκούμενης δύναμης καταγράφεται και την ανίχνευση της ταλάντωσης με τη χρήση επιταχυνσιόμετρου. Τα σήματα εισόδου και εξόδου μπορούν να συνδυαστούν καταλλήλως για τον προσδιορισμό διάφορων κινηματικών ποσοτήτων και δεικτών. Η μελέτη των τρόπων ταλάντωσης γίνεται περισσότερο επισταμένως με τη χρήση της τεχνικής της ηλεκτρονικής συμβολομετρίας κουκίδων (Electronic Speckle Pattern Interferometry, ESPI), η οποία επιτρέπει την οπτικοποίηση των τρόπων ταλάντωσης και τον υπολογισμό του αντίστοιχου πλάτους ταλάντωσης.

Βασικός σκοπός της εργασίας είναι χρήση του κριτηρίου CFDAC (Complex Frequency Domain Assurance Criterion) για τον προσδιορισμό της συσχέτισης μεταξύ της δονητικής συμπεριφοράς δύο συστημάτων είτε αυτά είναι πραγματικά, είτε προϊόντα μοντελοποίησης είτε συνδυασμός τους. Με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός μεταλλικού κυμβάλου έχουν εκτυπωθεί με τη χρήση τρισδιάστατου εκτυπωτή δύο αντίγραφα από υλικό PLA και με γεωμετρίες που προσεγγίζονται τρισδιάστατα από πολυώνυμα παρεμβολής είτε από ευθείες. Όλα τα κύμβαλα μετρήθηκαν και οι συχνотικές αποκρίσεις χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της μεταξύ τους συσχέτισης. Για τη σύγκριση με τα υπολογιστικά αποτελέσματα των μοντέλων FEM, εκτυπώθηκαν παρομοίως καπάκια τζουρά από PLA και PETG, και με διαφορετικά πάχη. Αντιστοίχως, μέσω του κριτηρίου CFDAC ελέγχθηκε η συσχέτιση μεταξύ των μοντέλων και των εκτυπωμένων κατασκευών. Για τα κύμβαλα και για τα καπάκια του τζουρά, η σύγκριση περιλαμβάνει επιπροσθέτως και την αντιστοιχία των τρόπων ταλάντωσης, όπως αυτοί προκύπτουν από τις προσομοιώσεις και μετρήσεις με την τεχνική ESPI. Τα ερευνητικά ευρήματα της μελέτης συλλέγονται και παρουσιάζονται στην εργασία.

Μελέτες για την ηχητική κάλυψη των μεγάλων παρελάσεων του καρναβαλιού για την Πάτρα και την Ξάνθη

Κωνσταντίνος Μπαξεβάνης, Μηχ. Ήχου.(B.Sc), Ακουσ. Σχεδιασμός & Ψηφιακός
Ήχος Ε.Α.Π., (M.Sc) kosbax@gmail.com
Γαβριήλ Καμάρης, Ηλ. Μηχανικός, Υπ. Διδάκτωρ Πανεπιστημίου Πατρών,
gpkamaris@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Παρατηρούμε ότι τα τελευταία χρόνια οι καρναβαλικές εκδηλώσεις, αλλά και οι εκδηλώσεις σε δρόμους εντός αστικού ιστού πληθαίνουν στις διάφορες πόλεις της Ελλάδας αλλά και του εξωτερικού. Σε δύο πόλεις στην Ελλάδα, γίνονται οι μεγαλύτερες καρναβαλικές εκδηλώσεις στην Πάτρα και στην Ξάνθη. Αυτές οι εκδηλώσεις έχουν μια μακροχρόνια παράδοση και αποτελούν μέρος της ιστορίας των πόλεων αυτών. Η κορύφωση των εκδηλώσεων γίνεται με την διεξαγωγή της «μεγάλης παρέλασης», η οποία λαμβάνει χώρα την Κυριακή της αποκριάς. Χιλιάδες κόσμου συμμετέχουν σε αυτή την εκδήλωση οργανωμένοι σε γκρουπ. Βασικό στοιχείο της παρέλασης αποτελεί η μουσική η οποία την συνοδεύει και καλύπτει όλο το μήκος της πορείας της.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι ηλεκτροακουστικές μελέτες εφαρμογής και εγκατάστασης, στις δύο μεγαλύτερες παρελάσεις της Ελλάδος. Ο καρναβαλικός χαρακτήρας των παρελάσεων τις καθιστά περισσότερο απαιτητικές στην ύπαρξη ηχητικού συστήματος ισχύος. Λόγω της ετήσιας επανάληψης, των εκδηλώσεων στην Πάτρα και στην Ξάνθη υπάρχει η ανάγκη να δημιουργηθούν μελέτες, ώστε να καλυφθούν ηχητικά όλη η έκταση της παρελάσεις και να καταγράφουν οι απαιτούμενες υλικοτεχνικές επιδρομές. Το μεγάλο μήκος των παρελάσεων, αλλά και το πλήθος του κόσμου δημιουργεί ανάγκες για μετάδοση ηχητικού σήματος σε μεγάλες αποστάσεις. Στο πρώτο μέρος της εργασίας αναφέρονται κάποια ιστορικά στοιχεία, για τις παρελάσεις αλλά και τον τρόπο που γίνονταν τα προηγούμενα έτη. Περιγράφονται, το σύνολο της διαδρομής της παρέλασης, τα σημεία συγκέντρωσης, τερματισμού, και ανοίγματα-πλατείες πάνω στην διαδρομή της παρέλασης. Έπειτα θα παρουσιαστούν οι τεχνικές προδιαγραφές του εξοπλισμού, προηγούμενων ετών και του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται πλέον για την κάλυψη των εκδηλώσεων όπως και ο τρόπος μετάδοσης του σήματος. Στα τελευταία κεφάλαια παρουσιάζονται μετρήσεις Στάθμης Ακουστικής Πίεσης (ΣΗΠ) κατά την διάρκεια των δοκιμών αλλά και κατά την διάρκεια της παρέλασης. Τέλος, συνοψίζονται προτάσεις για την αναβάθμιση του τρόπου μετάδοσης του ηχητικού σήματος, προτείνεται αναβάθμιση της εγκατάστασης αλλά και περιγράφεται ο προτεινόμενος τρόπος ασφάλισης και προστασίας του κοινού και την εγκατάσταση αυτή.

Exploratory analysis of sound datasets in musical acoustics: the case of drumheads

Michael Starakis^{1,*}, Chrisoula Alexandraki¹, Rolf Bader²,
Maximos Kaliakatsos-Papakostas¹

¹ Department of Music Technology and Acoustics, Hellenic Mediterranean University, 74133 Rethymnon, 5 Greece

² Institute of Systematic Musicology, University of Hamburg, 20354 Hamburg, Germany

* ddk216@hmu.gr (corresponding)

ABSTRACT

In recent years, the field of musical acoustics has witnessed significant advancements driven by the increasing use of computational methods and machine learning technologies. State of the art AI-driven techniques have enhanced the ability to process and interpret large datasets of acoustic signals, leading to new insights into the physical and the perceptual aspects of musical instruments. Such methodologies not only broaden the scope of research in musical acoustics but also foster the development of highly novel applications involving interdisciplinary collaborative exchanges.

Research endeavors in this direction have highlighted the need for large and high-quality sound datasets. These datasets are essential for applications such as estimating physical characteristics from sound and training advanced deep learning models for sound source recognition. Ensuring the validity of these datasets, not only in terms of sound quality, but maybe more importantly in terms of their annotations associating physical and perceptual traits, requires the development of tools for Exploratory Data Analysis (EDA).

This article presents the development of a web application called 'AudioInsight', which addresses our requirements for an exploratory investigation of a sound dataset for musical acoustics. The application was developed in the context of a research initiative focusing on drumheads and specifically on computationally inferring the damping material to apply on the surface of a drumhead to attain a given sound texture. The sound dataset comprises more than 11,000 synthetic drumhead sounds, which were generated using a Finite Difference Time Domain (FDTD) algorithm modelling the behavior of a vibrating circular membrane having predefined physical properties. Malleable paste is applied on its surface to change the resulting sound texture, simulating common percussion tuning practices. The amount of paste as well as its distribution pattern affect the vibrational behavior of the membrane and hence the sound it generates. In addition, the membrane was struck at three different impact points to capture diverse sound characteristics. The wide range of parameter variations of the pasting pattern results in a diverse audio dataset suitable for exploratory analysis and machine learning applications. To explore whether similar damping schemes result in highly similar sounds, several clustering methods (PCA, t-SNE, LDA, and more) were employed. Clustering methods allow visualizing high-dimensional data in lower-dimensional spaces (i.e. 2D, 3D) thus permitting the identification of distinct sound clusters grouping similar sounds together and providing insights into the influence of paste patterns and impact points on sound textures.

Developed in Python using the Dash-Plotly framework, AudioInsight features an interactive and responsive user interface, providing a set of Exploratory Data Analysis (EDA) tools. It features multiple pages dedicated to dataset information with audio previews, distribution and scatter plots for examining parameter correlations, and interactive 2D and 3D cluster visualizations. Users can navigate the dataset visually and aurally, apply filters, select a specific sound file for preview, and dynamically render audio waveforms and audio feature graphs such as spectrograms, phase portraits, harmonics, and Cepstral Mel-Frequency coefficients. These analytical capabilities help identify underlying structures, patterns, and irregularities within the dataset by examining correlations between perceptual features of sound and physical properties (i.e. mass distribution) as well as excitation properties (i.e. hitting on different membrane points), in an attempt to promote a comprehensive understanding of the data through multiple perspectives.

Looking to the future, this application has significant potential for further development and use in various areas of musical acoustics. We intend to expand the scope of AudioInsight by incorporating a vast dataset of cymbal sounds, comprising over 200,000 samples from renowned cymbal manufacturers. This future integration could lead to the creation of a universal classification system, based on measurable sound characteristics, untainted by personal biases and personal interpretations. Future improvements may also include incorporating advanced deep learning techniques for audio classification and synthesis, estimating physical parameters of sound sources, and supporting collaborative data exploration with multi-user functionality.

The AudioInsight application may be useful not only for researchers but also for instrument manufacturers as well as for musicians. It can unlock deep insights into the intricate connections between physical properties, sound characteristics, and perceptual attributes, informing them how to manufacture, adjust, or transform a vibrational object or the body of a musical instrument to generate the desired instrument timbre. It is currently published at <https://musicolab.hmu.gr:8050>.

Beam auralization in the time domain using the finite element method

Spyros Kouzoupis^{1,*}, Christos Panagiotopoulos², Aggelos Kontos-Pantazis¹

¹HELMEPA, Department of Music Technology and Acoustics

²AUTh, Department of Civil Engineering

*skouzo@hmu.gr

ABSTRACT

Time-domain modeling of a mallet percussive musical instrument, like an aluminum vibraphone or a wooden marimba bar, struck by a spherical mallet head, is conducted using the finite element method. The bar is modeled as an Euler-Bernoulli beam. Eigenvalue optimization previously led to a non-uniform bar profile with the three lowest eigenfrequencies in proper musical ratios. Given that musical instruments are typically played in enclosed spaces, a realistic acoustic profile is sought by considering the impact of the surrounding room. This involves the vibro-acoustic interaction of the bar with the surrounding air. The dynamic problem is addressed as the beam is struck by a rounded mallet head. A detailed analysis of the impact during the initial phase of the dynamic issue is also provided. The resulting sound from a single bar is captured by virtual sensors positioned at various points within the room or in open space. Additionally, scenarios where a 2D tube is placed under the bar (a common method for sound sustain in real musical instruments) are explored. Auralizations are carried out at multiple locations within the room and with various combinations of bar and mallet head materials. While the primary vibro-acoustic problem is examined in 2D, qualitative assessment of the obtained sensor signals, via listening tests, reveals satisfactory outcomes.

Συστηματική μελέτη των σφαιρικών κατευθυντικών ιδιοτήτων του λαούτου, της λάφτας και του ουτιού

Ιωάννης Μαλαφής*, Κωνσταντίνος Μπακογιάννης, Αρετή Ανδρεοπούλου
Εργαστήριο Μουσικής Ακουστικής Τεχνολογίας (LabMAT)
Τμήμα Μουσικών Σπουδών, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Πανεπιστημιούπολη - Ζωγράφου, 157 84, Αθήνα.
*ymalafis@music.uoa.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η προς υποβολή εργασία έχει ως στόχο τη μελέτη της σφαιρικής κατευθυντικότητας των νυκτών αχλαδόσχημων παραδοσιακών έγχορδων οργάνων. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζει τις περιπτώσεις των στεριανών λαούτων, πολιτικών λαούτων (λάφτες) και ουτιών, τα οποία είναι από τα πιο δημοφιλή που απαντώνται στη χώρα μας και στην ευρύτερη λεκάνη της Ανατολικής Μεσογείου και της Μέσης Ανατολής. Ενώ τα ευρωπαϊκά νυκτά όργανα όπως η κιθάρα (κλασική, ακουστική) έχουν μελετηθεί εκτενώς όσον αφορά στο ηχόχρωμα και στα φασματικά τους χαρακτηριστικά, δεν συμβαίνει το ίδιο για τα νυκτά της ελληνικής παραδοσιακής μουσικής. Στη μελέτη αυτή, για πρώτη φορά εξετάζεται με συστηματικό τρόπο, η σφαιρική κατευθυντικότητα των οργάνων αυτών και το μοτίβο εκπομπής τους (radiation pattern), με στόχο την αποτύπωση των ηχητικών και ηχοχρωματικών ομοιοτήτων και διαφορών τους στον τρισδιάστατο χώρο. Επιπρόσθετα, προσδιορίζονται οι ιδανικές θέσεις τοποθέτησης μικροφώνων σε αυτά με σκοπό την βέλτιστη ηχητική αποτύπωσή τους.

Η εν λόγω μελέτη βασίζεται στην ηχογράφιση τριών (3) στεριανών λαούτων, τριών (3) πολιτικών λαούτων (λάφτες) και τριών (3) ουτιών, κατασκευασμένα από έγκριτους κατασκευαστές με πολυετή πείρα και εκτελεσμένα από μουσικούς εγνωσμένου κύρους. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν ποικίλουν σε ποιότητες. Οι βασικές τους διαφοροποιήσεις σχετίζονται με το σχήμα και το μέγεθος του ηχείου, το μήκος του μπράτσου και το είδος των χορδών που χρησιμοποιούν.

Οι ηχογραφήσεις διεξήχθησαν στον ημι-ανηχοϊκό, ειδικά διαμορφωμένο χώρο του στούντιο ηχογραφήσεων του τμήματος Μουσικών Σπουδών (ΕΚΠΑ). Για την ηχογράφιση χρησιμοποιήθηκε διάταξη 29 όμοιων μικροφώνων, τα οποία τοποθετήθηκαν σε σφαιρικό γεωδαιτικό θόλο. Πιο συγκεκριμένα, δώδεκα (12) μικρόφωνα τοποθετήθηκαν στο οριζόντιο επίπεδο σε ίσες αζιμουθιακές αποστάσεις των 30ο και από οκτώ (8) μικρόφωνα στα επίπεδα των +30ο και -30ο σε ίσες αζιμουθιακές αποστάσεις των 45ο. Το 29ο μικρόφωνο τοποθετήθηκε στην κορυφή του θόλου, ακριβώς πάνω από το όργανο. Καθώς η μελέτη λαμβάνει το όργανο και τον μουσικό ως ένα σύστημα, ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην απόλυτη ακρίβεια τοποθέτησης του οργάνου εντός της μικροφωνικής διάταξης, έτσι ώστε το σημείο νύξης της χορδής να βρίσκεται πάντα στο κέντρο της σφαίρας, σε ίσες αποστάσεις από τα μικρόφωνα.

Τα ηχογραφήματα που συλλέχθηκαν αποτελούνται από μονές νότες σε συγκεκριμένα μουσικά διαστήματα παιγμένες σε ανοιχτές και κλειστές χορδές, καθώς και από μια αυτοσχεδιαστική εκτέλεση, από την οποία προέκυψαν τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης. Τα ηχογραφήματα υπέστησαν μετα-επεξεργασία - η οποία στόχευε στην αφαίρεση της επίδρασης των μικροφώνων και της μετρητικής διάταξης - και αναλύθηκαν τόσο στο σύνολό τους όσο και χωρισμένα σε τριτοκταβικές ζώνες.

Η παρούσα εργασία επιχειρεί να συνδράμει στην ευρύτερη μελέτη της ελληνικής παραδοσιακής μουσικής, ειδικότερα δε στη μελέτη των συγκεκριμένων οργάνων και να δώσει κάποια πρώτα στοιχεία για το αχαρτογράφητο πεδίο της σφαιρικής κατευθυντικότητάς τους. Σκοπός της είναι να αποτυπωθεί το μοτίβο εκπομπής κάθε οργάνου καθώς και να προσδιοριστούν οι ομοιότητες και οι διαφορές ανάμεσα σε όργανα της ίδιας οικογένειας από διαφορετικούς κατασκευαστές αλλά και σε ομάδες οργάνων με κοινά χαρακτηριστικά π.χ. όργανα με μεταλλικές χορδές – όργανα με nylon / εντέρινες χορδές. Εκτιμούμε, ότι εκτός από το εγγενές επιστημονικό ενδιαφέρον μιας τέτοιας πρωτότυπης μελέτης, μπορούν να προκύψουν αξιόλογα συμπεράσματα με πρακτικές απολήξεις. Για παράδειγμα, η μελέτη αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί για την ανάπτυξη εργαλείων ηχογράφησης των εν λόγω οργάνων, την επιστημονική τεκμηρίωση στην τοποθέτησή τους σε ευρύτερα μουσικά σχήματα καθώς και την σωστή τοποθέτησή τους σε περιβάλλον studio ηχογράφησης βάση του μοτίβου εκπομπής τους. Επίσης, μπορεί να συνδράμει στη δημιουργία ψηφιακών βάσεων δεδομένων κατευθυντικότητας για χρήση σε ψηφιακά περιβάλλοντα ακουστικών προσομοιώσεων εκτεταμένης πραγματικότητας (XR).

Αναγνώριση κατασκευαστικών χαρακτηριστικών και εξαγωγή μουσικής πληροφορίας από ηχογραφήσεις μπεντίρ.

Νικόλαος Βρύζας^{1,*}, Βασίλειος Μπουντουράκης², Αντώνης Παγώνης

¹Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

²Πανεπιστήμιο Aalto

³Pagonis Percussions

*nvryzasx@auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το μπεντίρ είναι ένα παραδοσιακό μουσικό όργανο που συναντάται στη μουσική παράδοση πολλών περιοχών της Μεσογείου, Ανατολικής Ευρώπης και Ασίας. Πρόκειται για ένα κυκλικό μεμβρανόφωνο κρουστό. Αποτελείται από ένα κυκλικό στεφάνι, κατά κανόνα φτιαγμένο από ξύλο, και μία δερμάτινη (ή συνθετική σε πιο πρόσφατες προσεγγίσεις) μεμβράνη. Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του μπεντίρ μπορεί να απέχουν ως προς τις διαστάσεις (διάμετρο και βάθος του στεφανιού), την επιλογή είδους ξύλου, και το είδος του δέρματος. Οι τεχνικές της κατασκευής του στηρίζονται σχεδόν κατ'αποκλειστικότητα στην προφορική παράδοση.

Η παρούσα εργασία εντάσσεται σε μία προσπάθεια αφενός συστηματοποίησης της διαδικασίας κατασκευής του μπεντίρ με τη χρήση νέων τεχνολογικών προσεγγίσεων, αφετέρου την αξιοποίηση τεχνικών μηχανικής μάθησης για την αυτοματοποίηση της εξαγωγής μουσικής πληροφορίας από ηχογραφήσεις μουσικών εκτελέσεων σε μπεντίρ.

Με βάση την προφορική παράδοση, οι διαφορετικές επιλογές κατασκευαστικών χαρακτηριστικών αντιστοιχούν σε διαφορετικό αισθητικό αποτέλεσμα της ακουστικής συμπεριφοράς του μουσικού οργάνου. Τέτοιου είδους κανόνες είναι κατά βάση εμπειρικοί. Σε προηγούμενη εργασία (Vryzas et al.), πραγματοποιηθήκαν πειράματα υποκειμενικής αξιολόγησης κάποιων ακουστικών χαρακτηριστικών που επιλέχθηκαν με βάση τη βιβλιογραφία, για να γίνει μια εκτίμηση της δυνατότητας διάκρισης μεταξύ οργάνων με διαφορετικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά (διαστάσεις, υλικό κλπ).

Σε σχέση με τις τεχνικές παιξίματος του οργάνου, διακρίνονται αφενός δύο βασικές κατηγορίες, που αφορούν τη θέση του/ης οργανοπαίχτη/τριας. Συγκεκριμένα, όταν το μπεντίρ παίζεται σε όρθια θέση, ο/η ερμηνευτής/ρια κρατάει το μπεντίρ με το ένα χέρι από την ειδική λαβή και με το άλλο χέρι χτυπάει τη μεμβράνη. Στην καθιστή θέση, το μπεντίρ ακουμπάει στο σώμα. Αυτό οδηγεί σε διαφορετικό ηχητικό αποτέλεσμα, καθώς στη μία περίπτωση το όργανο είναι στον αέρα, ενώ στη δεύτερη εφάπτεται ολόκληρο στο σώμα. Επιπλέον, διακρίνονται τρία βασικά χτυπήματα: το ντουμ, το τεκ και το σλαπ. Στο ντουμ το χτύπημα γίνεται στιγμιαία πιο κοντά στο κέντρο της μεμβράνης, ενώ στο τεκ κοντά στο στεφάνι. Στο σλαπ, όλα τα δάχτυλα και η παλάμη χτυπούν τη μεμβράνη, αλλά όχι στιγμιαία. Αντιθέτως συνεχίζουν να

εφάπτονται μετά το χτύπημα μέχρι το σβήσιμο του ήχου. Αυτά τα τρία χτυπήματα αποτελούν το λεξιλόγιο της σύνθεσης και εκτέλεσης μουσικής σε μπεντίρ. Κατά αναλογία, αντιστοιχούν στη χρήση διαφορετικού κρουστού κατά την εκτέλεση μουσικής σε ένα ντραμ σετ.

Για τις ανάγκες τις έρευνας έχει δημιουργηθεί ένα σετ δεδομένων ηχογραφήσεων μπεντίρ. Η βάση περιέχει περίπου 5000 δείγματα ήχων από χτυπήματα μπεντίρ. Τα χτυπήματα προέρχονται από τη χρήση όλων των παραπάνω τεχνικών σε καθιστή και όρθια θέση, χρησιμοποιώντας όργανα με διαφορετικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά (υλικό, βάθος, διάμετρος). Κάθε δείγμα είναι επισημειωμένο κατάλληλα. Η βάση είναι δημόσια διαθέσιμη διαδικτυακά.

Δείγματα από τη βάση χρησιμοποιήθηκαν για τα πειράματα υποκειμενικής αξιολόγησης. Σε επέκταση της προηγούμενης εργασίας, στην παρούσα έρευνα γίνεται μια προσπάθεια αξιοποίησης τεχνικών μηχανικής μάθησης για την εκτίμηση των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών. Εξάγεται ένα διάνυσμα ηχητικών χαρακτηριστικών για κάθε δείγμα, και γίνεται μια διερεύνηση των πιο κρίσιμων ηχητικών χαρακτηριστικών για την αναγνώριση κάθε κατασκευαστικής παραμέτρου (υλικό, διάμετρος, βάθος). Παράλληλα, εκπαιδεύονται μοντέλα μηχανικής μάθησης για τη διάκριση μεταξύ των διαφορετικών κατασκευαστικών παραμέτρων.

Σε παρόμοια κατεύθυνση, εξετάζεται η επίδραση των διαφορετικών χαρακτηριστικών αλλά και η δυνατότητα εκπαίδευσης αλγορίθμων για τη διάκριση μεταξύ α) όρθιας και καθιστής θέσης παιζίματος β) διαφορετικών χτυπημάτων (ντουμ, τεκ, σλαπ). Τα αποτελέσματα των εκπαιδευμένων μοντέλων συγκρίνονται με τα αποτελέσματα της υποκειμενικής αναγνώρισης από ακροατές.

Βασικός στόχος της έρευνας είναι η διερεύνηση της δυνατότητας αυτόματης εξαγωγής μουσικής παρτιτούρας από ηχογραφήσεις μπεντίρ. Αυτό έχει αξία τόσο για την επισημείωση μουσικών αρχείων, αλλά και για την επέκταση της χρήσης του μπεντίρ σαν αισθητήρα εισόδου για τη συγγραφή μουσικής παρτιτούρας. Παράλληλα, η βάση που δημιουργήθηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση δειγμάτων για εικονικά μουσικά όργανα, για τη σύνθεση μουσικών κομματιών σε μπεντίρ μέσω ψηφιακής διεπαφής.

Vryzas, N., Bountourakis, V., & Pagonis, A. (2023, May). Towards a systematic approach to the design of the traditional bendir drum. In *Audio Engineering Society Convention 154*. Audio Engineering Society.

Μορφές και λειτουργίες στους αθηναϊκούς θεατρικούς χώρους της σύγχρονης εποχής

Νίκος Μπάρκας*, Ιρις Καλογεράκη, Λυδία Παπαγεωργίου, Ελένη Ραυτοπούλου
Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Δ.Π.Θ.
*nbarkas@arch.duth.gr (υπεύθυνος)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η προτεινόμενη ανακοίνωση αποτελεί τμήμα μια διαχρονικής έρευνας που πραγματοποιείται στο Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Δ.Π.Θ και αφορά τη μορφή και τη λειτουργία των θεατρικών χώρων στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών.

Η έρευνα επιχειρεί να παρουσιάσει την κατάσταση που χαρακτηρίζει ένα δείγμα από ιδιωτικά θέατρα της Αθήνας. Κατά την περίοδο 2000-15, οι ενεργές αθηναϊκές θεατρικές σκηνές αυξήθηκαν περίπου κατά 150%, ενώ εξ αυτών, ποσοστό περίπου 70% ιδρύθηκαν την περίοδο της οικονομικής ύφεσης (2008-14). Το μεγαλύτερο ποσοστό των θεατρικών χώρων (περίπου 60%) έχει μικρή χωρητικότητα (μέχρι 200 θέσεις) και βρίσκονται στο κέντρο της Αθήνας (Κυψέλη, Μεταξουργείο, Βοτανικός, Γκάζι, Εξάρχεια, Κεραμικός), ενώ οι θεατρικοί χώροι μεσαίας χωρητικότητας (400 - 700 θέσεων) ανήκουν σε παλαιότερες δεκαετίες (πριν το 1970). Τη χειμερινή σεζόν του 2015, στην Αθήνα εντοπίστηκαν 152 στεγασμένες θεατρικές αίθουσες. Η παρατηρούμενη έντονη τάση ανακαινίσεων / ανακατασκευών παλαιών και δημιουργία νέων θεατρικών χώρων στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών έχει εξασφαλίζει μια σημαντική θεατρική υποδομή, η οποία, παρά τις οικονομικές αντιξοότητες, διαμορφώνει ένα ισχυρό πολιτιστικό απόθεμα.

Η έρευνα περιλαμβάνει επισκέψεις, καταγραφή παρατηρήσεων, συνεντεύξεις και συμπλήρωση ερωτηματολογίων σε ένα δείγμα περίπου 30 θεατρικών χώρων, με 16 παραμέτρους της έρευνας, όπως : το έτος κατασκευής, ο θεατρικός τύπος (η διάταξη του χώρου και η μορφή της σκηνής), πιθανές ανακαινίσεις ή παρεμβάσεις με αλλαγή χρήσης στο κτίριο, το μέγεθος της αίθουσας και της σκηνής, η χωρητικότητα, οι βοηθητικοί χώροι για το κοινό και τους ηθοποιούς (φουαγιέ, υγροί χώροι, καμαρίνια, αποθήκες, παρασκήνια, θάλαμοι τεχνικών), η προσβασιμότητα και η προσπέλαση στο χώρο, οι ηχομονωτικές ενισχύσεις και η ακουστική διόρθωση.

Όπως φαίνεται από τα δεδομένα της έρευνας, το δείγμα εμφανίζει μια ποικιλία μορφών και θεατρικών τύπων, που συχνά ανάγονται στα θεατρικά πράγματα προηγούμενων αιώνων, με εμφανή αρχιτεκτονικά και λειτουργικά μειονεκτήματα. Δηλαδή, καθώς ένα πλήθος θεατρικών χώρων δεν αντιστοιχούν σε μια σύγχρονη αρχιτεκτονική αντίληψη, το πρόβλημα των αθηναϊκών θεάτρων είναι μάλλον ποιοτικό κι όχι ποσοτικό.

Διερεύνηση των ακουστικών χαρακτηριστικών του Ιερού Ναού Παναγίας Καπνικαρέας

Γεώργιος Γουβιανάκης, Ασπασία Κόκκαλη, Πηνελόπη-Μαρία Πιερρουτσάκου,
Αρετή Ανδρεοπούλου*
Εργαστήριο Μουσικής Ακουστικής Τεχνολογίας (LabMAT),
Τμήμα Μουσικών Σπουδών, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
*a.andreopoulou@music.uoa.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο Ι.Ν. Παναγίας Καπνικαρέας, στην οδό Ερμού της Αθήνας, είναι ένας από τους καλύτερα σωζόμενους βυζαντινούς ναούς, ο οποίος από το 1934 βρίσκεται στην κυριότητα του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Αποτελείται από τρεις επιμέρους κτιριακές δομές, οι οποίες ανεγέρθηκαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Ο αρχικός ναός οικοδομήθηκε περί τα 1050 σε ρυθμό τετρακιόνιο σταυροειδή εγγεγραμμένο με τρούλο Αθηναϊκού τύπου. Στο εσωτερικό του ναού έχουν ενσωματωθεί στοιχεία όπως αρχαίοι κίονες και αρχαία και παλαιοχριστιανικά γλυπτά, καθώς έχει χτιστεί πάνω στα θεμέλια αρχαιοελληνικού ναού. Το Ιερό Βήμα έχει τριμερή μορφή με δύο παραβήματα εκατέρωθεν του κεντρικού. Λίγο μετά την οικοδόμηση του κυρίου ναού προστέθηκε στη βόρεια πλευρά το Παρεκκλήσιο της Αγίας Βαρβάρας. Στη δυτική πλευρά κατά μήκος των δύο ναών, υπήρχε ανοιχτή στοάη οποία κλείστηκε και μετατράπηκε σε εξωνάρθηκα, όταν ο ναός περιήλθε στην κυριότητα του Πανεπιστημίου.

Με το πέρασμα των χρόνων οι παραπάνω τρεις ανεξάρτητοι λειτουργικώς χώροι ενοποιήθηκαν, δημιουργώντας έναν ενιαίο με ιδιόμορφα αρχιτεκτονικά στοιχεία τα οποία ευθύνονται για την ιδιαιτερότητα της ακουστικής του ναού. Η παρούσα έρευνα εστιάζει στην καταγραφή και την ανάδειξη των μοναδικών ακουστικών χαρακτηριστικών του Ι.Ν. Παναγίας Καπνικαρέας με σκοπό τη συστηματική μελέτη και την ψηφιακή διατήρηση του ακουστικού του αποτυπώματος. Η ακουστική μελέτη υλοποιήθηκε στο λογισμικό CATT-Acoustic και βασίστηκε σε επιτόπιες ακουστικές μετρήσεις χώρου, ακολουθώντας τη μεθοδολογία που περιγράφεται στη σχετική βιβλιογραφία (Postma, 2015).

Ελλείψει λεπτομερών σχεδίων κάτοψης και τομών, η δημιουργία του αρχιτεκτονικού σχεδίου του Ιερού Ναού βασίστηκε σε επιτόπιες λεπτομερείς μετρήσεις του χώρου, φωτογραφίες, και παλαιά σχέδια. Ο χώρος χωρίστηκε σε επιμέρους ζώνες: εξωνάρθηκας, παρεκκλήσι Αγίας Βαρβάρας, κυρίως ναός και ιερά, κάθε μια από τις οποίες μοντελοποιήθηκε χωριστά και στη συνέχεια ενώθηκε με τις υπόλοιπες δημιουργώντας την ιδιαίτερη και χαρακτηριστική γεωμετρία του χώρου. Οι μέγιστες διαστάσεις του ναού είναι $L: 16.56 \text{ m}$, $W: 13.8 \text{ m}$, $H: 11.64 \text{ m}$ (κεντρικού τρούλου), οδηγώντας σε κτίσμα μεγέθους 1550 m^3 , μοντελοποιημένο συνολικά με 990 planes. Ο χώρος μοντελοποιήθηκε σε τρεις καταστάσεις: άδειος, με πληρότητα 50% και με πληρότητα 100%. Οι συντελεστές απορρόφησης που χρησιμοποιήθηκαν και πάνω

στους οποίους εφαρμόστηκε η ακουστική βαθμονόμηση που θα παρουσιαστεί στη συνέχεια βασίστηκαν στη σχετική βιβλιογραφία (Gul, 2019).

Η μοντελοποίηση του χώρου συνοδεύτηκε από σειρά ακουστικών μετρήσεων εντός του ναού προκειμένου αφενός να καταστεί εφικτή η βαθμονόμηση του μοντέλου για περαιτέρω μελέτες και ακουστικές προσομοιώσεις και αφετέρου να καταστεί δυνατή η σύγκριση των ακουστικών χαρακτηριστικών του χώρου με εκείνα άλλων ναών που έχουν μελετηθεί αποκλειστικά βάσει ακουστικών μετρήσεων (Gerstel et al., 2018). Οι ακουστικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση ενός πολυεδρικού ηχείου Bruel & kjaer 4296 και ενός μετρητικού μικροφώνου MMI t.bone. Επιλέχθηκαν δύο θέσεις εκπομπής για την ηχητική πηγή, μπροστά και πίσω από το τέμπλο του κυρίως ναού, αντιπροσωπεύοντας τις βασικότερες θέσεις του Ιερέα κατά τη διάρκεια της Θείας Λειτουργίας και 17 θέσεις δεκτών εντός του ναού, κατανομημένες ομοιογενώς στον χώρο, οι οποίες επιλέχθηκαν καθώς αφενός παρουσιάζουν ιδιαίτερο ακουστικό ενδιαφέρον αφετέρου διότι αποτελούν ρεαλιστικές θέσεις ακρόασης. Ως σήμα διέγερσης χρησιμοποιήθηκε λογαριθμικό sine-sweep, συχνοτικού εύρους 200 Hz - 5000 Hz και διάρκειας 5 δευτερολέπτων. Οι κρουστικές αποκρίσεις καταγράφηκαν στο περιβάλλον Matlab με χρήση του αλγορίθμου ScanIR (Boren & Roginska 2011).

Η παρούσα εισήγηση θα παρουσιάσει μια προκαταρκτική ανάλυση των ακουστικών χαρακτηριστικών του ναού εστιάζοντας σε βασικές ακουστικές παραμέτρους, όπως ο χρόνος αντήχησης (T30, T20, EDT), η διακριτότητα (D50), η ευκρίνεια (C50, C80), ο δείκτης STI κλπ., και θα επιχειρήσει τη σύγκρισή τους με εκείνες ναών αντιστοίχων αρχιτεκτονικών προδιαγραφών και μεγέθους, παρόλο που οι σχετικές βιβλιογραφικές αναφορές παραμένουν πολύ περιορισμένες (Kosala & Malecki, 2018; Elicio & Martellotta, 2023; Malecki & Wiciak, 2023). Θα επιχειρηθεί, επίσης, η συστηματική χαρτογράφηση της διάχυσης του ήχου εντός του ναού, αναδεικνύοντας τον τρόπο με τον οποίο οι αρχιτεκτονικές ιδιαιτερότητές του επηρεάζουν τα ακουστικά χαρακτηριστικά του χώρου.

Η διαδικασία μοντελοποίησης που περιγράφηκε παραπάνω οδήγησε στη δημιουργία ενός τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου του Ιερού Ναού το οποίο ανοίγει τον δρόμο σε μια σειρά περαιτέρω μελετών. Παραδείγματος χάριν, καθίστανται εφικτές μελέτες οι οποίες αναδεικνύουν την εξέλιξη της ακουστικής του ναού με το πέρασμα των αιώνων ως αποτέλεσμα των αλληπάλληλων κατασκευαστικών παρεμβάσεων από το 1050 μέχρι σήμερα, καθώς και του αντίκτυπου των αρχιτεκτονικών του ιδιαιτεροτήτων στην ακουστική. Επίσης, η εν λόγω ψηφιακή ανακατασκευή του χώρου οδηγεί στη διατήρηση του μοναδικού ακουστικού του αποτυπώματος ως σημείο αναφοράς τόσο για μελλοντικές έρευνες όσο και για ενδεχόμενες κατασκευαστικές παρεμβάσεις. Τέλος, το μοντέλο δύναται να αξιοποιηθεί για τη δημιουργία μιας εμπυθιστικής εμπειρίας εικονικής πραγματικότητας μέσα από την οποία οι χρήστες θα μπορούν να περιηγηθούν και να γνωρίσουν βιωματικά την ηχητική “ατμόσφαιρα” του Ι.Ν. Παναγίας Καπνικαρέας στο πέρασμα των χρόνων, χωρίς να είναι απαραίτητη η φυσική τους παρουσία σε αυτόν.

Ακουστική & ηλεκτροακουστική αναβάθμιση αμφιθεάτρου Α, Ιατρικής σχολής Α.Π.Θ.

Κωνσταντίνος Μπαξεβάνης¹, Μιχάλης Καλλίρης, Γεώργιος Καλλίρης²
¹A/V Telmaco S.A., ²ΑΠΘ
kosbax@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η ακουστική και ηλεκτροακουστική μελέτη που πραγματοποιήθηκε με σκοπό την αναβάθμιση του αμφιθεάτρου Α, χωρητικότητας 500 θέσεων, της Ιατρικής Σχολής του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Η ακουστική και ηλεκτροακουστική μελέτη, εντάσσεται στο πλαίσιο της συνολικής οπτικοακουστικής αναβάθμισης του χώρου, αφού εκτός από τις πανεπιστημιακές διαλέξεις γίνονται τελετές και εκδηλώσεις.

Αρχικά έγινε επιτόπια αποτύπωση των διαστάσεων του χώρου και τέθηκαν οι απαιτήσεις σύμφωνα με το DIN 18041 – Education (DIN 18041 - May 2004, chapter 4.3.2) και το διάγραμμα των Knudsen and Harris for Speech auditoria, με βάση τον όγκο του και την χρήση για την οποία προορίζεται. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκαν ηλεκτροακουστικές μετρήσεις της υπάρχουσας κατάστασης και διαπιστώθηκε ότι οι ακουστικές παράμετροι του χώρου απέχουν σημαντικά από τις απαιτήσεις που είχαν τεθεί.

Ενδεικτικά οι τιμές του STI που υπολογίστηκαν, πριν από τις παρεμβάσεις (STI:0.48-0.52), και σύμφωνα με το διάγραμμα αναφοράς, που προαναφέρεται, (Knudsen and Harris for Speech auditoria), δεν ήταν αποδεκτές. Αντίστοιχα, μη αποδεκτές ήταν και οι τιμές του RT60 (RT60: 2-1.8 sec) καθώς και η ακουστική παράμετρος ευκρίνειας C50. Οι παραπάνω δείκτες υπολογίστηκαν με μετρήσεις σάρωσης ημιτόνων που πραγματοποιήθηκαν, με χρήση φορητού εξοπλισμού μετρήσεων. Ο φορητός εξοπλισμός ήταν όμοιος στις μετρήσεις πριν αλλά και μετά την υλοποίηση-παρέμβασή της μελέτης. Επίσης κατασκευάστηκε 3-διάστατο μοντέλο ακουστικής προσομοίωσης προκειμένου να εκτιμηθούν οι καθορισμένες ακουστικές παράμετροι πριν και μετά την εφαρμογή των προτεινόμενων παρεμβάσεων. Τα αποτελέσματα μετρήσεων ήταν σε συμφωνία με τους υπολογισμούς της προσομοίωσης.

Επιλέχθηκαν ήχο-απορροφητικά πάνελ με πιστοποιημένους συντελεστές απορρόφησης σύμφωνα με το DIN EN ISO 354 έτσι ώστε να είναι δυνατή η εισαγωγή τους στο 3-διάστατο μοντέλο και η εκτίμηση της επίδρασης που θα είχε η χρήση τους. Για τις θέσεις τοποθέτησης των ήχο-απορροφητικών πάνελ προτάθηκαν δύο επιλογές οι οποίες είχαν ως κύριο στόχο την μείωση των μακρινών ανακλάσεων οι οποίες δεν συνεισφέρουν στην καταληπτότητα του λόγου, ενώ οι υπάρχουσες κοντινές στην έδρα

ανακλαστικές επιφάνειες δεν επενδύθηκαν προκειμένου να υπερισχύσουν οι πρώιμες ανακλάσεις. Με σκοπό την επιπλέον απορρόφηση των χαμηλών συχνοτήτων, έγινε εκτίμηση τοποθέτησης απορροφητή μεμβράνης, τοποθετημένου σε απόσταση από τον τοίχο. Οι απορροφητές μεμβράνης, τοποθετήθηκαν στο πίσω μέρος των ήχο-απορροφητικών πάνελ και η επίδραση αποτυπώθηκε στους υπολογισμούς της προσομοίωσης.

Για την εγκατάσταση συστήματος ενισχυμένου ήχου, έγινε μοντελοποίηση και σχεδιασμός σε εξειδικευμένο λογισμικό προσομοίωσης του κατασκευαστή του συστήματος που επιλέχθηκε. Οι θέσεις των ηχητικών πηγών, επιλεχθήκαν με βάση την υπάρχουσα γεωμετρία του χώρου και τις δυνατότητες στήριξης των ηχητικών πηγών. Με την χρήση του λογισμικού, ελέγχθηκαν οι επιλεγμένες θέσεις των ηχητικών πηγών και με βάση την κατευθυντικότητα τους έγιναν οι υπολογισμοί προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη και κατά το δυνατόν ομοιόμορφη κάλυψη. Υπολογίστηκε η μέγιστη στάθμη ηχητικής πίεσης στο ακροατήριο, του απευθείας ήχου, ανά συχνοτική περιοχή και κατά IEC60268. Για την κατανομή της στάθμης ηχητικής πίεσης του απευθείας ήχου χρησιμοποιήθηκε επίσης το λογισμικό του κατασκευαστή των ηχητικών πηγών.

Για την εγκατάσταση χρησιμοποιήθηκαν ενισχυτές με ενσωματωμένο ψηφιακό επεξεργαστή του ίδιου κατασκευαστή. Κατά την εγκατάσταση υπήρχε δυνατότητα ρύθμισης, του ενισχυτή και των ηχείων. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε επιλεγμένα σημεία του χώρου, ώστε να υπάρξει η δυνατότητα επιβεβαίωσης των προβλέψεων. Έγιναν ρυθμίσεις καθυστέρησης ανά ηχείο, ώστε στα σημεία επικάλυψης να υπάρχει ομοιογένεια του ηχητικού κύματος.

Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών κατασκευής των ακουστικών παρεμβάσεων και της εγκατάστασης του μεγαφωνικού συστήματος πραγματοποιήθηκαν εκ νέου, μετρήσεις ώστε να διαπιστωθεί η αποτελεσματικότητα των λύσεων που προτάθηκαν και υλοποιήθηκαν.

Διερεύνηση των ακουστικών συνθηκών, στον χώρο της Εκκλησίας του Δήμου, στην αρχαία Πνύκα στην Αθήνα, ανάλογα με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες

Παναγιώτης Καραμπατζάκης
Αρχιτέκτων Μηχανικός – Σύμβουλος ακουστικής, Επιστημονικός συνεργάτης
εργαστηρίου Αρχιτεκτονικής Τεχνολογίας ΑΠΘ
info@nestos.net, pkar38@arch.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία παρουσιάζει την διαδικασία ανάλυσης και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την πρόγνωση ακουστικών παραμέτρων (κυρίως του STI), κάτω από ιδιαίτερες συνθήκες, του χώρου της Πνύκας στο λόφο του Φιλοπάππου στην Αθήνα, κατά, τις τρεις φάσεις κατασκευής της (Α, Β και Γ φάσεις). Πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια διεπιστημονικής συνεργασίας, για την κατασκευή χώρου εικονικής, επαυξημένης, πραγματικότητας για εκπαιδευτικούς λόγους, στο τμήμα Rhetoric του Department of Writing Studies, του University of Minnesota- Twin Cities των Η.Π.Α. και αφορούσε την επαφή των φοιτητών με την διαδικασία της ρητορικής, μπροστά σε κοινό, κάτω από διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες και διαφορετική πληρότητα, κατά τα τρία στάδια κατασκευής της Πνύκας.

Εξετάστηκαν 3 διαφορετικές καιρικές καταστάσεις και έγινε σύνδεση των καιρικών συνθηκών (κυρίως του ανέμου) με τον θόρυβο βάθους που καθοριζόταν από αυτές. Η ακουστική ανάλυση των χώρων, έγινε, με το λογισμικό Catt V9/Tuct2 σε 3διάστατα μοντέλα ΗΥ. Εξετάστηκε η παράμετρος STI, επηρεαζόμενη από τον θόρυβο βάθους ο οποίος καθορίστηκε με μία προσεγγιστική αντιστοίχιση με τις καιρικές συνθήκες, σε δύο καταστάσεις πηγής, μία παράλληλη του διανύσματος aim της πηγής, προς τον κύριο άξονα του χώρου και μία σε αυτή του διανύσματος aim κάθετου στον κύριο άξονα του χώρου. Οι ενδιάμεσες γωνίες του διανύσματος aim προέκυψαν από εσωτερική παρεμβολή των δύο ακραίων καταστάσεων.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων, απεικονίστηκαν σε χάρτες STI, βαθμολογημένα σε 5 κατηγορίες κατά τα σχετικά πρότυπα. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, πέραν των ακουστικών συμπερασμάτων, προέκυψαν και συμπεράσματα που άπτονται της «στρατηγικής» συμπεριφοράς ενός ρήτορα, στο βήμα και των δυνατικών επιπτώσεων της «στρατηγικής» αυτής, στην πολιτική ή/και την δικαιοσύνη, της περιόδου λειτουργίας της, στην αρχαία εποχή.

Ακουστική μελέτη και βελτίωση studio ηχογραφήσεων και μουσικής εξάσκησης

Ιωάννης Αράγκουλες¹, Γεώργιος Καλλίρης^{1,2}

¹ΑΣΠ-ΕΑΠ, ²ΑΠΘ

john.arapkoules@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αποτελεί την ακουστική μελέτη ενός υπάρχοντος χώρου μουσικής εξάσκησης και ηχογραφήσεων (studio). Επιχειρήθηκε η αξιολόγηση της υφιστάμενης ηχομόνωσης του χώρου και της εσωτερικής ακουστικής του. Προέκυψαν αποτελέσματα, με βάση τα οποία προτείνονται χρήσιμες παρεμβάσεις βελτίωσης της ακουστικής του συμπεριφοράς. Ως μελέτη περίπτωσης, θα μπορούσε να αποτελέσει έναν οδηγό για παρόμοιες μελέτες.

Ακολουθούμενη μεθοδολογία

1. Ο καθορισμός των επιθυμητών παραμέτρων μέσω βιβλιογραφικής επισκόπησης
2. Η αποτύπωση της υπάρχουσας κατάστασης μέσω μετρήσεων
3. Ο θεωρητικός υπολογισμός μεγεθών μέσω εξισώσεων και λογισμικών
4. Η σύγκριση επιθυμητών και μετρούμενων – υπολογιζόμενων μεγεθών

Περιγραφή του χώρου

Ο εξεταζόμενος χώρος βρίσκεται στο ισόγειο πολυκατοικίας σε ήσυχη αστική περιοχή. Έχει διαστάσεις εσωτερικά 6x4x2,6m και εφάπτεται στο δωμάτιο ελέγχου. Αποτελείται από εξωτερικό κέλυφος συνηθισμένων δομικών υλικών και εσωτερικό κέλυφος από διπλή γυψοσανίδα και ξύλο, προσαρμοσμένο σε ενιαίο μεταλλικό σκελετό. Οι απέναντι επιφάνειες του εσωτερικού κελύφους είναι μη παράλληλες, ενώ μεταξύ των κελυφών υπάρχει ηχοαπορροφητικό υλικό. Ο εξαερισμός γίνεται με αζονικούς ανεμιστήρες που βρίσκονται έξω από το δωμάτιο.

Εξοπλισμός μετρήσεων

Οι ακουστικές μετρήσεις έγιναν με τη βοήθεια ηλεκτρακουστικού εξοπλισμού, αποτελούμενο από ηχητική πηγή (ηχείο), δέκτη (μικρόφωνο), ψηφιακό μετατροπέα, υπολογιστή και σχετικό λογισμικό, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της σάρωσης ημιτόνου.

Ηχομόνωση

Με ιστορική ανασκόπηση και σύγκλιση προτύπων της βιβλιογραφίας, προέκυψε ότι απαιτείται ηχομόνωση εξεταζόμενη σε όλες τις ακουστές συχνότητες, (75dB) αφού χρησιμοποιείται ηλεκτρακουστικός εξοπλισμός (στάθμες έως 110dB) και το studio βρίσκεται σε ήσυχο περιβάλλον (απαιτούμενη ησυχία 35dB).

Μετρήθηκε η διαφορά στάθμης και, με υπολογισμό της κατάταξης ηχομείωσης, R_w , βρέθηκε η ηχομόνωση ανάμεσα στα δύο δωμάτια (52dB), και η μόνωση έναντι ηχορύπανσης από το studio σε προσκείμενους χώρους (51dB για εξωτερικό χώρο, 59dB για τον ίδιο όροφο & 61dB για τον υπερκείμενο όροφο). Για την ηχοπροστασία του studio μετρήθηκε ο θόρυβος βάθους στο χώρο (40dB). Τέλος, οι ανεμιστήρες εξαερισμού μετρήθηκαν να προκαλούν ηχητικές στάθμες 65dB στα όρια της ιδιοκτησίας.

Οι θεωρητικοί υπολογισμοί ως εξής: Από βιβλιογραφικές πηγές, (διαγράμματα με οπτική παρατήρηση) καταγράφηκε η ηχομόνωση που παρέχουν τα απλά χωρίσματα μεταξύ των εξεταζόμενων χώρων, σύμφωνα με τη γεωμετρία και τα υλικά τους, υπολογίστηκε ο δείκτης ηχομείωσης κάθε πολλαπλού χωρίσματος και υπολογίστηκε φασματικά η κατάταξη ηχομείωσης, R_w που επισημάνθηκε στα 500Hz (67dB μεταξύ των δωματίων, 74dB για τον εξωτερικό χώρο, 71dB για τον ίδιο όροφο & 82dB για τον υπερκείμενο όροφο).

Έτσι η ηχομόνωση του studio, προκύπτει ικανοποιητική, αλλά όχι για όλες τις συχνότητες. Οχλήση στο περιβάλλον προκαλείται από τη λειτουργία του εξαερισμού που ξεπερνά τα θεσμοθετημένα όρια. Με δεδομένη την περιορισμένη εκμετάλλευση του studio, προτείνεται μόνο η αντιμετώπιση του θορύβου από τον εξαερισμό, με χρήση κλωβών και ηχοπαγίδων.

Εσωτερική ακουστική

Βιβλιογραφικά βρέθηκε ότι η σταθμική απόκριση του χώρου πρέπει να είναι συχνοτικά ομοιόμορφη, ενώ ο χρόνος αντήχησης έως 0,6s περίπου, συχνοτικά αυξανόμενος στις χαμηλές, σταθερός στις μεσαίες και ελαττούμενος στις υψηλές συχνότητες.

Κατά τις μετρήσεις, για κάθε μια από τις θέσεις του δέκτη, η πηγή τοποθετήθηκε σε διάφορες θέσεις και τα αποτελέσματα ομαδοποιήθηκαν με αυτόν τον τρόπο. Για ευκολότερη εποπτεία από τα αποτελέσματα, προτιμήθηκε η απεικόνιση της φασματικής κατανομής της ηχητικής στάθμης ενώ σε περιπτώσεις ιδιαίτερου

ενδιαφέροντος, αποτυπώθηκαν και άλλες παράμετροι. Διαπιστώθηκε ότι το δωμάτιο αποκρίνεται σχετικά ομοιόμορφα στις φασματικές στάθμες (απόκλιση έως 15dB στα 85Hz και 130Hz περίπου) και στους χρόνους αντήχησης (απόκλιση έως 0,2s στις ίδιες συχνότητες).

Οι θεωρητικοί υπολογισμοί έγιναν με 3 τρόπους:

1. με υπολογισμό των συντονισμών με εξισώσεις κυματικής Φυσικής και μέσω κατάλληλης προσομοίωσης, η οποία επιπλέον αξιολόγησε θετικά το χώρο ως προς το κριτήριο Bonello και εντός της περιοχής Bolt. Διαπιστώθηκε όμως αυξημένη πυκνότητα συντονισμών στις περιοχές των 85Hz και των 130Hz,
2. με υπολογισμό της ολικής απορρόφησης του δωματίου και του χρόνου αντήχησης RT60, κατά Sabine (0,73s αυξημένου στις χαμηλές συχνότητες),
3. με χρήση λογισμικού ακουστικής προσομοίωσης (ανίχνευση ακτίνων), όπου δόθηκαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δωματίου, οι συντελεστές απορρόφησης των εσωτερικών επιφανειών του και οι θέσεις πηγής – δέκτη, οπότε υπολογίστηκε η στάθμη SPL (με μέγιστο στα 500Hz) ο χρόνος αντήχησης (0,8s) και η συχνότητα Schroeder (199Hz).

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των κρουστικών αποκρίσεων με τα υπολογισμένα και τα επιθυμητά προκύπτει ότι οι στάθμες SPL παρουσιάζουν συχνотικά σχετική ομοιομορφία ενώ οι χρόνοι αντήχησης είναι γενικά αποδεκτοί, (μέχρι 500ms) αλλά όχι σε όλες τις θέσεις και τις συχνότητες. Για τη βελτίωσή τους προτείνεται η τοποθέτηση απορροφητών τύπου μεμβράνης, που θα είναι συντονισμένοι στις προβληματικές περιοχές και θα παρέχουν επαρκή ηχητική απόσβεση.

Συνολικά συμπεραίνεται το studio κατάλληλο για περιορισμένη αλλά όχι για απρόσκοπτη εμπορική εκμετάλλευση.

Ακουστική άνεση σε χώρους ευεξίας: Η συμβολή της στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και ανάπλαση των Λουτρών Λαγκαδά

Αθηνά Μιγδάνη¹, Μελίνα Μαρκοπούλου¹, Καλλιόπη Χουρμουζιάδου²

¹ Τελειόφοιτη Τμήματος Εσωτερικής Αρχιτεκτονικής ΔΠΠΑΕ, Σέρρες

² Αρχιτέκτων Μηχ., MArch, PhD, Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Βιώσιμου Σχεδιασμού ΕΑΠ, Σχολή Επιστημών Σχεδιασμού ΔΠΠΑΕ, Σέρρες
k.chourmouziadou@windowslive.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι διεπιστημονικές προσεγγίσεις στην αρχιτεκτονική θεωρία και σχεδιασμό έχουν επιτρέψει την ένταξη νέων παραμέτρων προσέγγισης του, υπολογιστικών μοντέλων που αφορούν σε άλλα πεδία, όπως την ακουστική, νέες τεχνολογίες, καινοτόμα υλικά, εφαρμογή θεωρητικών προσεγγίσεων στον σχεδιασμό, με βασικό στόχο την εμπειρία του χρήστη. Η ατμόσφαιρα και οι αισθήσεις αποτελούν σημαντικές παραμέτρους του σχεδιασμού, ιδιαίτερα όσον αφορά σε χώρους χαλάρωσης και ευεξίας.

Στόχο της εργασίας αυτής αποτελεί η εξέταση των παραμέτρων ακουστικού σχεδιασμού λουτρικών εγκαταστάσεων, με γνώμονα την βελτίωση των συνθηκών ακουστικής άνεσης, και η εφαρμογή τους στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Αποτελεί συνέχεια των πτυχιακών ερευνητικών και σχεδιαστικών εργασιών, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε δύο στάδια: (α) της διερεύνησης και (β) της εφαρμογής των παραμέτρων στον σχεδιασμό. Το πρώτο στάδιο εξέτασε την αρχιτεκτονική εξέλιξη των ιαματικών λουτρών στην Ευρώπη, τις σύγχρονες προσεγγίσεις στον αρχιτεκτονικό τους σχεδιασμό και τις συνθήκες άνεσης που ευνοούν την λειτουργία τους και βελτιώνουν την εμπειρία του χρήστη. Βάσει των παραπάνω δημιουργήθηκε ένα πρότυπο τυπολόγιο που αφορά σε σχεδιαστικές παραμέτρους για την εύρυθμη λειτουργία τους, σε σύγχρονες αισθητικές απαιτήσεις και στην αξιοποίηση νέων υλικών και τεχνολογιών για παροχή κατάλληλων συνθηκών άνεσης. Το τυπολόγιο εφαρμόστηκε στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό της πρότασης ανάπλασης των Λουτρών Λαγκαδά.

Η σχεδιαστική πρόταση της ανάπλασης του συγκροτήματος Λουτρών Λαγκαδά περιλαμβάνει τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό ξενοδοχειακής μονάδας, λουτρικών εγκαταστάσεων και περιβάλλοντος χώρου, με βασικό στόχο την αναβάθμιση τους από ένα αναχρονιστικό σε ένα τουριστικό σύμπλεγμα με σύγχρονες προδιαγραφές και κατάλληλες συνθήκες άνεσης. Παράλληλα με τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό της ξενοδοχειακής μονάδας και του κτιρίου των λουτρών, κατασκευασμένα στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, ο ακουστικός σχεδιασμός παρείχε κατευθυντήριες γραμμές και σχεδιαστικούς άξονες για την τελική επίλυση. Ειδικότερα, όσον αφορά στις πτέρυγες των αιθουσών αρωμάτων και μασάζ, η νέα επίλυση-διαρρύθμιση επέτρεψε τον σχεδιασμό δωματίων σε σχήμα τραπέζιο, ενώ η εφαρμογή σύγχρονων υλικών

διαμόρφωσε κατάλληλες ακουστικές συνθήκες, περιορίζοντας ανεπιθύμητους και αναδεικνύοντας επιθυμητούς ήχους, ανάλογα με την περίπτωση.

Ιδιαίτερα απαιτητική ήταν η διαχείριση των Βυζαντινών κτιρίων που περιέχονται στον χώρο των Λουτρών Λαγκαδά, τα οποία χρονολογούνται μεταξύ 900 και 1400 μ.Χ. Τα βυζαντινά λουτρά λόγω της ιστορίας τους δημιούργησαν περιορισμούς σε νέες προσθήκες, για την βελτίωση της ακουστικής. Τα κτήρια αυτά αποτελούνται από τούβλο και πέτρα εξωτερικά, ενώ εσωτερικά έχουν κυκλική μορφή και χαρακτηρίζονται από τόξα και θόλους, με αποτέλεσμα, τόσο το σχήμα όσο και οι λείες εσωτερικές επιφάνειες να οδηγούν σε μη επιθυμητό χρόνο αντήχησης και σε ανεπαρκείς συνθήκες άνεσης.

Η εργασία αποτελείται από τέσσερις (4) ενότητες. Αρχικά γίνεται μια αναφορά στην ιστορία των λουτρών και κατόπιν ανάλυση τριών σύγχρονων παραδειγμάτων θέρετρων στην Ευρώπη, βάσει των οποίων εξάγονται καλές πρακτικές σχεδιασμού. Έπειτα περιγράφεται η επιδιωκόμενη ατμόσφαιρα σε χώρους ευεξίας και οι συνθήκες άνεσης που βασίζονται στις τέσσερις από τις πέντε βασικές αισθήσεις, σε σχέση με την σχεδιαστική προσέγγιση. Τέλος, παρουσιάζεται ο αρχιτεκτονικός και ακουστικός σχεδιασμός των ειδικών κτιρίων των λουτρών Λαγκαδά, ως ενιαία προσέγγιση, και τα αποτελέσματά τους ως προς τη λειτουργία των προτεινόμενων χώρων.

The role of the Acoustic Consultant in the correct integration of sustainability systems during the Architectural Design process

Ioannis Timagnis¹, Theodoros Timagenis²,
Alexandra Timageni³, Dimitris Timagenis⁴

¹Architect Engineer – Acoustic Design Consultant | PhCc Acoustics | MSc
Architectural and Environmental Acoustics | MArch, Ba (Hons) Arch | NTUA
School of Architecture Acoustics Lab | WELL International
Committee Advisor (Sound),

²Architect Engineer – Acoustic Design Consultant, MSc UCL | NTUA

³Architect Engineer | NTUA

⁴Architect Engineer | MYD PoliMi | NTUA
athens@timagenis-acoustics.com

ABSTRACT

In recent years, the certification of buildings according to various sustainability systems has been extensively developed in Hellas.

So far, numerous Hellenic buildings have been certified based on WELL, LEED, and BREEAM standards.

The certification levels range from Platinum to Gold, Silver, and “basic Certified”. Attaining these certifications requires meeting specific criteria related to the building’s internal environment, including air quality, recycling practices, and materials used. Among these criteria, room acoustics, sound insulation, and soundproofing of buildings and their mechanical systems are also crucial.

The present paper, discusses the acoustic requirements of these sustainability systems and their practical integration into the architectural design process, by providing a theoretical framework followed by an analysis of applied examples from various, related to the subject matter, projects.

Ακουστικός σχεδιασμός, ακουστική προσομοίωση, πρότυπες μετρήσεις και ανάλυση της ακουστικής της νέας Συνεδριακής Αίθουσας Περιφέρειας Θεσσαλονίκης

Γεώργιος Α. Χατζηγεωργίου B.Eng(Hons),
MSc Civil Engineering, MSc Architectural Acoustics
Πολιτικός Μηχανικός-Μηχανικός Σύμβουλος Ακουστικής
Δωδώνης 1, Θεσσαλονίκη, TK 55 438
Τηλ: 2315 150 157
info@acoustical.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει την μεθοδολογία αρχιτεκτονικού και ακουστικού σχεδιασμού, τα αποτελέσματα ακουστικών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στην νέα συνεδριακή αίθουσα Περιφέρειας Θεσσαλονίκης σύμφωνα με το ISO 3382-2 καθώς και την σύγκριση με μοντέλο ακουστικής προσομοίωσης CATT-Acoustic. Ο υπολογισμός διαφόρων ακουστικών παραμέτρων όπως Reverberation Time RT60, Early Decay Time EDT, Clarity C-80, Definition D-50 κτλ δίνει σημαντικά στοιχεία για την ακουστική συμπεριφορά και την αξιολόγηση του συγκεκριμένου χώρου. Η σχεδιαστική φιλοσοφία του χώρου, βασίστηκε σε ένα διατηρητέο κτίριο φωταερίου, συνδυάζοντας διαχυτικές, ανακλαστικές αλλά και απορροφητικές ζώνες. Μελετήθηκαν ταυτόχρονα τα δωμάτια Ελέγχου, καθώς επίσης και έγιναν προσομοιώσεις πρόβλεψης ηχομονωτικών παραμέτρων σε γειτνιάζουσα μηχανοστάσια. Στην αίθουσα οι λεπτομερείς αναλύσεις των ακουστικών παραμέτρων με βάση τις σχετικές θέσεις πηγής και ακροατή, δίνουν επίσης σημαντικά στοιχεία για την κρουστική απόκριση του χώρου και την αλληλεπίδραση χρόνου και συχνότητας. Κατά την διαδικασία των μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκε και πηγή θορύβου «Talk Box» το οποίο βαθμονομήθηκε σύμφωνα με την συχνотική απόκριση ανθρώπινης φωνής ώστε να μετρηθούν και να αξιολογηθούν οι δείκτες STI & STIPA, ενώ μετρήθηκαν και οι δείκτες για το σύστημα αναγγελίας κοινού (Public Address System) σύμφωνα με το IEC 60268-16:2020.

Χαρακτηρισμός ακουστικών μεταλλικών με χρήση πηγών ήχου πλάσματος λέιζερ

Κωνσταντίνος Καλέρης^{1,2,*}, Εμμανουήλ Κανιολάκης Καλούδης^{1,2}, Νικόλαος Αραβαντινός – Ζαφείρης³, Διονύσιος Τ. Γ. Κατερέλος⁴, Βασίλης Μ. Δημητρίου^{1,2}, Μάκης Μπακαρέζος^{1,2}, Μιχαήλ Ταταράκης^{1,5}, Γιάννης Μουρτζόπουλος⁶, Μιχάλης Σιγάλας⁷, Νεκτάριος Α. Παπαδογιάννης^{1,2,**}

¹ Ινστιτούτο Φυσικής Πλάσματος και Λέιζερ, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, Τρία Μοναστήρια, 74100 Ρέθυμνο

² Εργαστήριο Φυσικής Ακουστικής και Οπτοακουστικής, Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, 74100 Ρέθυμνο

³ Τμήμα Περιβάλλοντος, Ιόνιο Πανεπιστήμιο, 29100 Ζάκυνθος

⁴ Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Μουσικής Ακουστικής και Ταλαντώσεων, Τμήμα Τεχνών Ήχου και Εικόνας, Ιόνιο Πανεπιστήμιο, 49100 Ληξούρι

⁵ Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, 73133 Χανιά

⁶ Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Πατρών, 26500 Ρίο, Πάτρα

⁷ Τμήμα Επιστήμης των Υλικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, 26500 Ρίο, Πάτρα
*kkaleris@hmu.gr, **npapadogiannis@hmu.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την εργασία παρουσιάζεται μια νέα μέθοδος για τον ακριβή χαρακτηρισμό της ακουστικής απόκρισης Φωνονικών Κρυστάλλων (ΦΚ) και Ακουστικών Μεταλλικών (ΑΜ), η οποία αξιοποιεί τους ευρυζωνικούς ακουστικούς παλμούς που παράγονται από σημειακές και άυλες ηχητικές πηγές λέιζερ πλάσματος (ΠΗΠΛ, Αγγλικά: *laser plasma sound sources-LPSS*). Οι φωνονικοί κρύσταλλοι και τα ακουστικά μεταλλικά αποτελούν τεχνητές περιοδικές δομές με εξαιρετικές ιδιότητες όσον αφορά την αλληλεπίδρασή και τον έλεγχο ακουστικών κυμάτων. Συγκεκριμένα, στους φωνονικούς κρυστάλλους αξιοποιείται η σκέδαση Bragg για τη διαμόρφωση συχνοτικών ζωνών αποκοπής του ήχου σε μήκη κύματος συγκρίσιμα με την περιοδικότητα της δομής, οι οποίες ονομάζονται φωνονικά συχνοτικά χάσματα (*phononic band gaps*) [1]. Αντιθέτως, στα ακουστικά μεταλλικά αξιοποιούνται δομές με διαστάσεις πολύ μικρότερες του μήκους κύματος οι οποίες, διεγείρομενες από το ακουστικό κύμα, δημιουργούν τοπικούς συντονισμούς των οποίων η συνολική μακροσκοπική απόκριση οδηγεί στην αποκοπή στενών συχνοτικών ζωνών [1]. Οι ΦΚ και τα ΑΜ αποτελούν μια ανερχόμενη τεχνολογία ευρείας εφαρμογής που αναμένεται να επιφέρει σημαντικές αλλαγές και ταχεία πρόοδο σε μεγάλο εύρος επιστημονικών και βιομηχανικών πεδίων, όπως για παράδειγμα οι ηχομονώσεις, η ακουστική χώρων [3], η μικρό- και νανο-ακουστική [4], η τεχνολογία μουσικών οργάνων [5] και άλλα.

Ενώ ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη των ΦΚ και ΑΜ βασίζεται σε καλά εδραιωμένα μαθηματικά και υπολογιστικά εργαλεία, οι μέθοδοι για την πειραματική αξιολόγηση της ακουστικής τους απόκρισης υστερούν σε ακρίβεια και εύρος δυνατοτήτων. Η αξιολόγηση του φάσματος ακουστικής διάδοσης (transmission) ενός μοναδιαίου κελιού ή δομών λίγων κελιών πραγματοποιείται συνήθως με τη χρήση σωλήνων εμπέδησης (impedance tubes-ITs) [6]. Οι σωλήνες εμπέδησης εξασφαλίζουν ελεγχόμενες συνθήκες μέτρησης και περιβάλλον χαμηλού θορύβου, επιβάλλουν όμως περιορισμούς στη γεωμετρία της δομής, καθώς το δείγμα πρέπει να είναι κυλινδρικό ή κυβικό με συγκεκριμένες διαστάσεις, ανάλογα με τον σωλήνα. Επίσης, η αξιολόγηση των δειγμάτων σε διαφορετικούς άξονες διάδοσης του ήχου απαιτεί διαφορετικό δείγμα για κάθε άξονα [6]. Τέλος, η ακουστική διέγερση στους σωλήνες εμπέδησης γίνεται αποκλειστικά έξω από τη δομή, ενώ το συχνοτικό εύρος λειτουργίας τους είναι συχνά περιορισμένο.

Τα συμβατικά μεγάφωνα έχουν καλή απόδοση για την αξιολόγηση μεγάλων διατάξεων ΑΜ, αλλά είναι ακατάλληλα για την αξιολόγηση μικρότερων δομών, π.χ. μοναδιαία κελιά, λόγω της έντονης περίθλασης που προκαλείται από το μεγάλο μέγεθος της πηγής σε σχέση με το δείγμα. Επιπλέον, η μέθοδος απαιτεί εξειδικευμένη και δαπανηρή υποδομή καθώς συνήθως πραγματοποιείται σε ανηχοϊκό θάλαμο ή σε διασυνδεδεμένους χώρους. Η διέγερση εντός του δείγματος είναι συνήθως ανέφικτη, με εξαίρεση τις υψηλές ακουστές συχνότητες και τους υπερήχους, όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν πιεζοηλεκτρικοί μετατροπείς πολύ μικρών διαστάσεων. Ωστόσο, αυτό συνεπάγεται παρεμβάσεις στη δομή του δείγματος με αναπόφευκτες επιπτώσεις στην ακουστική του συμπεριφορά [7]. Τέλος, η συχνοτικά εξαρτώμενη κατευθυντικότητα των συμβατικών ηλεκτρομηχανικών και πιεζοηλεκτρικών μετατροπέων δημιουργεί δυσκολίες στην αξιολόγηση σε διαφορετικές κατευθύνσεις διάδοσης.

Η προτεινόμενη χρήση των πηγών ήχου πλάσματος λέιζερ παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους, χάρη στα σχεδόν ιδανικά ακουστικά χαρακτηριστικά των ΠΗΠΑ. Οι ΠΗΠΑ είναι πρακτικά άυλες καθώς σχηματίζονται απευθείας στον αέρα από την θερμοελαστική εκτόνωση του λόγω της απορρόφησης ακτινοβολίας λέιζερ. Έχουν μικροσκοπικές διαστάσεις (~1 mm) ενώ η γεωμετρία τους μπορεί να είναι σφαιρική ή κυλινδρική, με παντοκατευθυντική ή έντονα κατευθυντική ακουστική εκπομπή, αντίστοιχα. Επιπλέον, έχουν πολύ μικρή χρονική διάρκεια (μs) και ευρύ συχνοτικό φάσμα που εκτείνεται από τις πολύ χαμηλές συχνότητες έως και τους υπερήχους [8],[9]. Λόγω των χαρακτηριστικών τους αυτών, οι ΠΗΠΑ επιτρέπουν την αποτίμηση της ακουστικής απόκρισης μετα-δομών οποιασδήποτε γεωμετρίας σε ευρύ συχνοτικό φάσμα και σε πολλαπλούς άξονες διάδοσης του ήχου, ενώ παράλληλα επιτρέπουν την ακουστική διέγερση εσωτερικά του δείγματος χωρίς να απαιτούνται παρεμβάσεις στη δομή του [10].

Εδώ παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα από ακουστικές αξιολογήσεις φωνονικών κρυστάλλων με ζώνες αποκοπής στο ακουστό φάσμα, οι οποίες επιβεβαιώνουν με υψηλή ακρίβεια τις προβλέψεις ειδικά ανεπτυγμένων αριθμητικών μοντέλων. Η προτεινόμενη μέθοδος αναμένεται να ενισχύσει την έρευνα και την εμπορική αξιοποίηση των ακουστικών μεταλλικών.

Βιβλιογραφία

- [1] Oudich, M., Gerard, N. J., Deng, Y., and Jing, Y., *Adv. Funct. Mater.* 33, 2206309 (2023)
- [2] Sigalas, M., Papacinstanopoulos, A. D., and Bacalis, C. N., *Phys. Rev. B Condens. Matter.* 45, 5779 (1992)
- [3] Yang, M. and Ping, S., *Appl. Phys. Lett.* 122, 260504 (2023)
- [4] Li, Y. et al., *Sci. Rep.* 4, 6830 (2014)
- [5] Brezas, S. et al., *Applied Sciences*, 14(6):2293 (2024)
- [6] Aravantinos-Zafiris, N. Sigalas M., and Katerelos G. T. D., *J. Appl. Phys.* 133, 065101 (2023)
- [7] Bilal, O. R., Ballagi, D. and Daraio, C., *Phys. Rev. Appl.* 10, 054060 (2018)
- [8] Kaleris, K. et al., *JSV.* 570, 118000 (2023)
- [9] Kaleris, K., et al., *J. Acoust. Soc. Am.* 146, 212–218 (2019)
- [10] Kaleris, K. et. al., *Nat. Commun. Mater.*, in print (2024)

Πυρηνική Φυσική με Ακουστικά Κύματα: Καινοτόμοι κρυσταλλικοί ακουστικοί κυματιστές για παραγωγή ακτίνων-γ στενού φάσματος

Κωνσταντίνος Καλέρης^{1,2}, Ευάγγελος Κασελούρης^{1,2}, Εμμανουήλ Κανιολάκης
Καλούδης^{1,2}, Ελένη Παπαδάκη^{1,2} Μάκης Μπακαρέζος^{1,2}, Βασίλειος Δημητρίου^{1,2},
Μιχαήλ Ταταράκης^{1,3}, Νεκτάριος Α. Παπαδογιάννης^{1,2,*}

¹Ινστιτούτο Φυσικής Πλάσματος και Λείζερ, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο,
Τρία Μοναστήρια, 74100 Ρέθυμνο

²Εργαστήριο Φυσικής Ακουστικής και Οπτοακουστικής, Τμήμα Μουσικής
Τεχνολογίας και Ακουστικής, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, 74100 Ρέθυμνο

³Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, 73133
Χανιά

*npapadogiannis@hmu.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

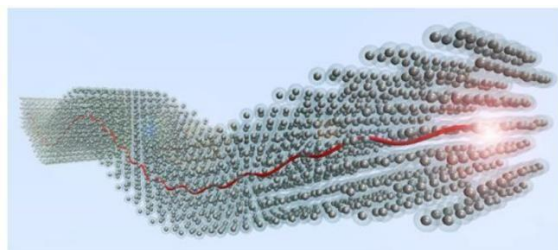
Η ελεγχόμενη και αποδοτική παραγωγή ακτίνων-γ σε καθορισμένες φασματικές περιοχές είναι εξαιρετικά σημαντική σε σύγχρονες επιστημονικές και τεχνολογικές εφαρμογές, όπως η πυρηνική φυσική, η φυσική στερεάς κατάστασης και η ιατρική φυσική [1],[2]. Μέχρι και σήμερα, η παραγωγή σχετικά μονοχρωματικών ακτίνων-γ γίνεται σε επιταχυντές με χρήση τεράστιων ηλεκτρομαγνητών όπου τα φορτισμένα σχετικιστικά σωματίδια (πχ ηλεκτρόνια ή ποζιτρόνια) οδηγούνται σε κυματισμό με ισχυρότατα μαγνητικά πεδία [3]. Οι εγκαταστάσεις αυτές είναι ιδιαίτερα κοστοβόρες υποδομές τεραστίων διαστάσεων με πολύ περιορισμένη προσβασιμότητα και χρησιμότητα με ανελαστικότητα στον έλεγχο της ενεργειακής περιοχής εκπομπής [4]. Άλλου είδους πηγές μονοχρωματικής φωτεινής ακτινοβολίας, όπως τα Λείζερ Ελεύθερων Ηλεκτρονίων (Free Electron Lasers -FELs) τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή σύμφωνων ακτίνων X, αδυνατούν να παράξουν ακτινοβολία στην περιοχή των ακτίνων-γ λόγω τεχνολογικών περιορισμών [5].

Οι κρυσταλλικές πηγές φωτός (Crystal Light Sources - CLS) αποτελούν μια ανερχόμενη καινοτόμα τεχνολογία που αναμένεται να επιτρέψει την ελεγχόμενη παραγωγή ακτινοβολίας-γ στενού φασματικού εύρους από απλές, οικονομικές και αποδοτικές κρυσταλλικές δομές μικρού μεγέθους. Ο απαιτούμενος κυματισμός των σχετικιστικών σωματιδίων θα γίνεται από τις φυσικές ηλεκτρικές δυνάμεις των πυρήνων ενός κρυσταλλικού στερεού των οποίων οι θέσεις μπορούν να διαμορφώνονται μακροσκοπικά με διάφορους στατικούς αλλά και δυναμικούς τρόπους, όπως τα υψίσυχνα ακουστικά κύματα [6],[7].

Η σχετική έρευνα στην Ευρώπη στηρίζεται για την πενταετία 2022 – 2027 από το πρόγραμμα χρηματοδότησης ερευνητικών έργων υψηλού ρίσκου – υψηλής απόδοσης PATHFINDER Europe του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου Καινοτομίας (European Innovation Council - EIC), στο πλαίσιο του έργου TECHNO-CLS: Emerging technologies for crystal-based gamma-ray light sources (101046458 — TECHNO-

CLS — HORIZON-EIC-2021-PATHFINDEROPEN-01). Το έργο στοχεύει στην επίτευξη των κρίσιμων επιστημονικών και τεχνολογικών τομών που απαιτούνται για τον σχεδιασμό και την πρακτική υλοποίηση πηγών ακτινοβολίας γ στην ενεργειακή περιοχή φωτονίων από τα 100 KeV μέχρι και τα GeV [8]. Για το σκοπό αυτό, το TECHNO-CLS προτείνει την εκμετάλλευση και διαμόρφωση των ιδιαίτερα ισχυρών ηλεκτρικών πεδίων που αναπτύσσονται μέσα σε κρυσταλλικά υλικά από τους θετικά φορτισμένους πυρήνες των περιοδικά διατεταγμένων ατόμων του πλέγματος [5]. Σε αυτή την κατεύθυνση, εισάγονται καινοτόμες δομές και διατάξεις κατάλληλα διαμορφωμένων γραμμικών, καμπυλωτών και περιοδικά καμπυλωμένων κρυστάλλων, μέσω των οποίων ελέγχεται η κίνηση, και συγκεκριμένα η επιτάχυνση, υπερ-σχετικιστικών δεσμών φορτισμένων σωματιδίων, με αποτέλεσμα την εκπομπή ακτίνων- γ σε διάφορες ζώνες ευρέως ή στενού φάσματος, ανάλογα με την εκάστοτε διάταξη [1][2][8].

Η ερευνητική πρόταση του έργου TECHNO-CLS αξιολογήθηκε με 99,5% και έλαβε χρηματοδότηση συνολικού προϋπολογισμού 2,5 Μ€. Στο έργο συμμετέχουν 8 ευρωπαϊκοί ερευνητικοί φορείς και 2 ιδιωτικές επιχειρήσεις με συντονιστή το ερευνητικό κέντρο MBN με έδρα τη Φρανκφούρτη, ενώ ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο έχει η ερευνητική ομάδα του Ινστιτούτου Φυσικής Πλάσματος και Λέιζερ (IPPL) του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου (ΕΛΜΕΠΑ). Ο ρόλος της ομάδας είναι η ανάπτυξη καινοτόμου τεχνολογίας για την ελεγχόμενη παραγωγή ακτινοβολίας γ στενού φασματικού εύρους με ρυθμιζόμενα χαρακτηριστικά, μέσω της διαμόρφωσης δεσμών σχετικιστικών ποζιτρονίων μέσα σε ακουστικά διεγερμένους κρυσταλλικούς κυματιστές (crystal undulators). Η ακουστική διέγερση παράγεται είτε από ειδικούς υψίσυχρους πιεζοηλεκτρικούς κρυστάλλους είτε από υπερβραχείς παλμούς Λέιζερ [10],[11]. Τα υλικά όπου διαδίδεται η ακουστική διέγερση έχουν χαρακτηριστικά πολυστρωματικής διάταξης που προσιδιάζει με τους υψίσυχρους οπτοακουστικούς διαμορφωτές δεσμών Λέιζερ. Η ομάδα του ΕΛΜΕΠΑ, σε συνεργασία με το MBN, έχει ήδη παράξει υπολογιστικά αποτελέσματα που αποδεικνύουν την υλοποιησιμότητα των προτεινόμενων ακουστικά οδηγούμενων κρυσταλλικών κυματιστών με ρυθμιζόμενα χαρακτηριστικά της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας γ , ενώ αυτή τη στιγμή εργάζεται για την ανάπτυξη πειραματικής διάταξης με σκοπό την πραγματοποίηση πειραμάτων παραγωγής ακτίνων- γ στον επιταχυντή Mainzer Microtron στο Mainz της Γερμανίας. Τα πειράματα, τα οποία αναμένονται να εκτελεστούν μέσα στο ακαδημαϊκό έτος 2024-2025 πρόκειται να αποτελέσουν την πρώτη επίδειξη υλοποιησιμότητας της καινοτόμου τεχνολογίας σε επίπεδο proof-of-concept, με σημαντικές επιστημονικές και τεχνολογικές επιπτώσεις στον χώρο των κρυσταλλικών πηγών ακτίνων γ .



Εικόνα 1: Καλλιτεχνική απεικόνιση κρυσταλλικών κυματιστών στο πρόγραμμα TECHNO-CLS.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] A. V. Korol, A. V. Solov'yov, W. Greiner, *Channeling and radiation in periodically bent crystals*. Springer Berlin Heidelberg, (2014).
- [2] A. V. Korol, A. V. Solov'yov, *Novel Lights Sources Beyond Free Electron Lasers* (No. PUBDB-2023-04589). Springer, (2022).
- [3] A.V. Korol, A.V. Solov'yov, Eur. Phys. J. D, vol. 74, 201 (2020)
- [4] K. A. Olive, Chin. Phys. C 38, 090001 (2014)
- [5] A. V. Korol, A. V. Solov'yov, The European Phys. J. D, 74, 1 (2020).
- [6] R. Camattari, et.al., Phys. Rev. Accelerators and Beams, 22(4), 044701 (2019).
- [7] M. Tabrizi, A. V. Korol, A. V. Solov'yov, W. Greiner, Phys. Rev. Lett. 98(16), 164801(2007).
- [8] "European Innovation Council (EIC) Pathfinder Project Techno-CLS." MBN Research Center. Accessed May 22, 2024. <https://mbnresearch.com/TECHNO-CLS/Main>.
- [9] L. Bandiera et.al., The European Phys. J. C, 81, 1-9 (2021).
- [10] K. Kaleris, et. al., Appl. Phys. A 129(7), 527 (2023).
- [11] H. Papadaki et. al., Computation 11(12), 240 (2023).

Υπολογιστική μελέτη απόκρισης συντονιστών σωλήνα σε διεγερση N-παλμού από πηγή ήχου πλάσματος λέιζερ

Δημήτρης Κούγιας^{1,2,*}, Κωνσταντίνος Καλέρης^{2,3,4,**}, Νεκτάριος Α. Παπαδογιάννης^{3,4}, Γιάννης Μουρτζόπουλος²

¹Μηχανολόγος Μηχανικός, Ισιδώρου 12, 26442 Πάτρα

²Ομάδα Τεχνολογίας Ήχου και Ακουστικής,

Εργαστήριο Ενσύρματης Τηλεπικοινωνίας & Τεχνολογίας της Πληροφορίας Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Πατρών, 26500 Ρίο, Πάτρα

³ Ινστιτούτο Φυσικής Πλάσματος και Λείζερ, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, Τρία Μοναστήρια, 74100 Ρέθυμνο

⁴ Εργαστήριο Φυσικής Ακουστικής και Οπτοακουστικής, Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, 74100 Ρέθυμνο

* dkougias@upnet.gr, ** kkaleric@hmu.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η υπολογιστική μελέτη της απόκρισης συντονιστών γεωμετρίας σωλήνα $\lambda/4$ και $\lambda/2$ σε ακουστική διεγερση από πηγή ήχου πλάσματος λέιζερ. Οι ακουστικοί συντονιστές τύπου $\lambda/4$ και $\lambda/2$ αποτελούν απλές διατάξεις γεωμετρίας σωλήνα με 2 κλειστά ή 1 κλειστό και ένα ανοιχτό άκρο, αντίστοιχα. Η λειτουργία τους βασίζεται στη δημιουργία στάσιμων κυμάτων στο εσωτερικό των σωλήνων λόγω της διαφοράς στην ακουστική εμπέδηση μεταξύ του αέρα εντός του σωλήνα και του περιβάλλοντος [1]. Βρίσκουν αρκετές εφαρμογές στην ακουστική με χαρακτηριστικότερα παραδείγματα τη χρήση τους ως αποσβεστήρες / σιγαστήρες σε συστήματα ρευστών, όπως καυσαερίων μηχανών εσωτερικής καύσης [2], καθώς και τα πνευστά μουσικά όργανα [3], πχ. κλαρινέτο ($\lambda/4$), φλάουτο ($\lambda/2$).

Στην παρούσα εργασία διερευνάται υπολογιστικά η αξιοποίηση των ακουστικών συντονιστών τύπου σωλήνα ως φίλτρων για την φασματική διαμόρφωση της ακουστικής εκπομπής πηγών ήχου πλάσματος λέιζερ (ΠΗΠΑ). Οι ΠΗΠΑ είναι είναι άυλες, σημειακές και ευρυζωνικές πηγές ήχου που παράγονται από την θερμομηχανική απόκριση του αέρα στη ραγδαία τοπική εναπόθεση οπτικής ενέργειας παλμών λέιζερ. Οι ΠΗΠΑ παράγουν γρήγορους παλμούς τύπου N (N-παλμούς) με διάρκειες της τάξης των μικροδευτερολέπτων και υψηλερατό φασματικό προφίλ 1^{ης} τάξης σε όλη την έκταση του ακουστού φάσματος. Η γεωμετρία των ΠΗΠΑ μπορεί να είναι είτε σημειακή / σφαιρική είτε επιμήκης / κυλινδρική, ανάλογα με την ενέργεια του παλμού λέιζερ και τον τρόπο εστίασης του. Συγκεκριμένα οι σφαιρικές ΠΗΠΑ, οι οποίες προκύπτουν από ισχυρή εστίαση ισχυρών παλμών λέιζερ, έχουν παντοκατευθυντική ακουστική εκπομπή σε όλο το συχνοτικό εύρος, ενώ εμφανίζουν μεγάλη επαναληψιμότητα από παλμό σε παλμό [4,5]. Οι ιδιότητες αυτές αποτελούν πλεονέκτημα για την αξιοποίηση των ΠΗΠΑ σε σχέση με τις παραδοσιακές ηχητικές πηγές σε εφαρμογές όπως είναι οι ακουστικές μετρήσεις [6], η αναπαραγωγή σύνθετων ηχητικών σημάτων [7,8] και ο μη παρεμβατικός ακουστικός χαρακτηρισμός υλικών και δομών κ.α. Η δυνατότητα διεγερσης ακουστικών στοιχείων στο εσωτερικό τους χωρίς παρέμβαση στην δομή τους μέσω ΠΗΠΑ αξιοποιείται εδώ για τη μελέτη της ακουστικής συμπεριφοράς των συντονιστών $\lambda/4$ και $\lambda/2$ σε εσωτερική διεγερση [6].

Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (Finite Elements Method - FEM). Για την μείωση της ταχύτητας υπολογισμού, αναπτύχθηκαν μοντέλα δύο διαστάσεων με κυλινδρική συμμετρία, η οποία περιγράφει με ικανοποιητική ακρίβεια την γεωμετρία του προβλήματος. Τα τοιχώματα των συντονιστών μοντελοποιήθηκαν ως ακλόνητες δομές μηδενικού πάχους, ενώ για την αποφυγή των ανακλάσεων στα όρια του μοντελοποιημένου χώρου έγινε χρήση τέλεια προσαρμοσμένων στρωμάτων (Αγγλικά: *Perfectly Matched Layers - PML*), δηλαδή δομών με πλήρως απορροφητικά χαρακτηριστικά. Η επίλυση έγινε στο πεδίο συχνοτήτων.

Αρχικά προσομοιώθηκε η ακουστική απόκριση συντονιστή Helmholtz σε διέγερση σημειακής παντοκατευθυντικής πηγής ήχου ομοιόμορφου φάσματος, το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως μοντέλο επαλήθευσης της μεθόδου. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις ακουστικής απόκρισης συντονιστών τύπου σωλήνα $\lambda/4$ και $\lambda/2$ διαφόρων διαστάσεων, με σημειακή παντοκατευθυντική διέγερση ομοιόμορφου φάσματος. Τέλος, εκτελέστηκε σειρά προσομοιώσεων για όλες τις γεωμετρίες των συντονιστών με σημειακή παντοκατευθυντική πηγή που προσομοιάζει την ακουστική απόκριση των ΠΗΠΛ εντός του φάσματος ακουστικών συχνοτήτων. Η πηγή τοποθετήθηκε για κάθε συντονιστή σε δύο θέσεις:

α. Εξωτερικά, στο κέντρο του χείλους του στομίου

β. Εσωτερικά, στο κέντρο της κοιλότητας για τον συντονιστή Helmholtz και στα $2/3$ του μήκους του σωλήνα για τους συντονιστές $\lambda/4$ και $\lambda/2$

Οι σημειακοί δέκτες για την λήψη αποτελεσμάτων τοποθετήθηκαν σε απόσταση 70 cm από το χείλος του στομίου και σε τρεις γωνίες (0° , 45° , 90°).

Όπως αναμενόταν, οι συντονιστές $\lambda/4$ εμφανίζουν έντονους συντονισμούς στη θεμελιώδη συχνότητα και τις περιττές αρμονικές τους, αλλά και έντονες ακυρώσεις σε γειτονικές συχνότητες των ενισχύσεων. Οι συντονιστές $\lambda/2$ παρουσιάζουν ενισχύσεις στη θεμελιώδη συχνότητα συντονισμού και τις περιττές και άρτιες αρμονικές, χωρίς όμως να εμφανίζουν έντονες ακυρώσεις. Τα μοτίβα της απόκρισης των ακουστικών στοιχείων μεταβάλλονται σημαντικά με αλλαγή της θέσης της πηγής, όπως επίσης διαφοροποιούνται και τα δεδομένα με τη γωνία τοποθέτησης του δέκτη μέτρησης. Αντίστοιχα αποτελέσματα προκύπτουν από τις προσομοιώσεις με ακουστική διέγερση ΠΗΠΛ, με τη διαφορά ότι το ακουστικό φάσμα αποκτά προφίλ υψηλερατού φίλτρου 1^{th} τάξης, λόγω της χαρακτηριστικής απόκρισης των ΠΗΠΛ. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων αποδεικνύουν την καταλληλότητα των ΠΗΠΛ για τη μελέτη συστημάτων ακουστικών συντονιστών με διέγερση εσωτερικά της δομής, η οποία μπορεί να προκύψει εύκολα από την αντιστροφή του φασματικού προφίλ του N-παλμού. Αντίστοιχα, αποδεικνύεται ότι οι συντονιστές Helmholtz και τύπου σωλήνα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά ως ακουστικά φίλτρα για τη διαμόρφωση του φάσματος των ΠΗΠΛ. Τα υπολογιστικά αποτελέσματα επιβεβαιώνονται από προκαταρκτικές πειραματικές μετρήσεις με μεγάλη ακρίβεια.

Βιβλιογραφία

- [1] Field, C. D. & Fricke, F. R. *Applied Acoustics* **53**, 117-132 (1998)
- [2] Sohn, C. H. & Park, J. H. *Aerospace Science and Technology* **15**, Issue 8, 606-614 (2011)
- [3] Polychronopoulos, S. et al, *IEEE Access* **9**, 98150-98160 (2021)
- [4] Kaleris, K. et al, *JSV*. 570, 118000 (2023)
- [5] Oksanen, M. & Hietanen, *Ultrasonics* **32**, 327–331 (1994)
- [6] Kaleris, K. et al, *Nat. Commun. Mater.*, in print (2024)
- [7] Kaleris, K. et al, *Sci. Rep.* **11**, 476 (2021)
- [8] Kaleris, K. et al, *Sci. Rep.*, *Sci Rep* **14**, 12102 (2024)

Υπολογιστική μελέτη της παραγωγής και διάδοσης υπερήχων σε στερεούς στόχους πυριτίου υπό την επίδραση παλμών laser

Ελένη Παπαδάκη^{1,2}, Εμμανουήλ Κανιολάκης Καλούδης^{1,2}, Κωνσταντίνος Καλέρης^{1,2}, Βασίλειος Σαμολαδάς⁴, Μάκης Μπακαρέζος^{1,2}, Μιχάλης Ταταράκης^{1,3}, Νεκτάριος Α. Παπαδογιάννης^{1,2}, Ευάγγελος Κασελούρης^{1,2}, Β. Δημητρίου^{1,2,*}

¹Ινστιτούτο Φυσικής Πλάσματος και Λείζερ, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, Τρία Μοναστήρια, 74100 Ρέθυμνο

²Εργαστήριο Φυσικής Ακουστικής και Οπτοακουστικής, Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, 74100 Ρέθυμνο

³Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, 73133 Χανιά

⁴Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πολυτεχνείο Κρήτης,

*dimvasi@hmu.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατά την επίδραση φωτός laser σε στερεά υλικά λόγω της ταχείας και μεγάλης απορρόφησης ενέργειας από το υλικό, συμβαίνουν δυναμικές αλλαγές στην περιοχή όπου έδρασε το laser προκαλώντας το σχηματισμό μικρο- ή νανο- δομών (μόνιμες παραμορφώσεις) στην επιφάνεια του υλικού αλλά και τη δημιουργία επιφανειακών ακουστικών κυμάτων τα οποία διαδίδονται διαμέσου του υλικού.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η υπολογιστική μελέτη μέσω προσομοιώσεων της θερμομηχανικής δυναμικής συμπεριφοράς στερεών στόχων πυριτίου (Si) υπό την επίδραση βραχέων (διάρκειας πικο-δευτερολέπτων, ps, και νανο-δευτερολέπτων, ns) παλμών laser σταδιακά αυξανόμενης ενέργειας. Η επιλογή του πυριτίου σαν υλικό έγινε λόγω της μεγάλης σπουδαιότητάς και της ευρείας χρήσης του σε σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές.

Η υπολογιστική μελέτη έγινε με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Για την μοντελοποίηση του στόχου δημιουργήθηκε ένα ομοιόμορφο πλέγμα κατάλληλων διαστάσεων (450μm×9μm×450μm) κ υψηλής διακριτοποίησης (1μm×0,03μm×1μm) ικανό να προσομοιώσει τη δυναμική συμπεριφορά του κρυσταλλικού Si. Η επιλογή των διαστάσεων και της διακριτοποίησης έγινε μετά από δοκιμή και σύγκριση αρκετών διαφορετικών επιλογών, ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα με ανεκτό υπολογιστικό κόστος. Το εμπειρικό μοντέλο Johnson–Cook το οποίο λαμβάνει υπόψη τις αλλαγές φάσεις και την πιθανή θραύση του δοκιμίου στην περίπτωση που η ενέργεια του παλμού είναι υψηλή χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει τις ιδιότητες του υλικού. Το μοντέλο που αναπτύχθηκε ήταν ικανό να προσομοιώσει τη σύνθετη δυναμική του στόχου Si κατά τη διάρκεια και μετά την αλληλεπίδραση με τον παλμό laser και να υπολογίσει σε κάθε χρονικό βήμα τις

θερμοκρασίες, τις μετατοπίσεις, τις τάσεις και τις καταπονήσεις που δεχόταν το υλικό. Ο παλμός του laser θεωρήθηκε ότι έχει Γκαουσιανή χρονική και χωρική κατανομή με διάρκεια 6 ns και μήκος κύματος 532 nm στην περίπτωση των ns παλμών, ενώ για την περίπτωση των ps παλμών η διάρκεια του παλμού θεωρήθηκε 10 ps και το μήκος κύματος 1064 nm. Οι προσομοιώσεις υλοποιήθηκαν με χρήση του λογισμικού πεπερασμένων στοιχείων LS-DYNA στον Υπολογιστή Υψηλής Απόδοσης (HPC) Advanced Research Information system (ARIS).

Το εύρος της έντασης ακτινοβολίας του laser που εφαρμόστηκε στις προσομοιώσεις ήταν μεταβαλλόμενο, ώστε η μέγιστη θερμοκρασία που αποκτούσε ο στόχος στην περιοχή δράσης του laser να αλλάζει και να κυμανθεί μεταξύ 1000°C και 2000°C. Με αυτό τον τρόπο μελετήθηκε η συμπεριφορά του Si σε θερμοκρασίες χαμηλότερες και μεγαλύτερες του σημείου τήξης (1412°C) του Si.

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων έδειξαν ότι σε όλες τις περιπτώσεις, λόγω της έντονης θέρμανσης του υλικού στην περιοχή εστίασης του laser, αρχικά δημιουργήθηκε μια δόγκωση στο κέντρο του στόχου όπου λόγω των ταχύτατων χρονικών μεταβολών της θερμοκρασίας και των τάσεων που αναπτύχθηκαν, δημιουργήθηκαν επιφανειακά ακουστικά κύματα, σε απόσταση περίπου 55-60μm από την περιοχή εστίασης του laser τα οποία διαδόθηκαν με ταχύτητα ~6000m/s σε όλητην έκταση του στερεού. Το πλάτος του παραγόμενου υπέρηχου ήταν μικρό και εμφανίστηκε μακρύτερα από την εστιακή περιοχή εν συγκρίσει με πυκνά μέταλλα, όπως ο Au, εξαιτίας του χαμηλού συντελεστή θερμικής διαστολής και του υψηλού βάθους διείσδυσης της ακτινοβολίας στο Si. Επίσης παρατηρήθηκε ότι αρκετά ισχυρή ένταση ακτινοβολίας (ικανή να προκαλέσει μόνιμες παραμορφώσεις) οδηγούσε σε σχηματισμό μη γραμμικού υπέρηχου λόγω των αναπτυσσόμενων υψηλών μη γραμμικών θερμικών τάσεων στην περιοχή εστίασης του laser. Το φαινόμενο ήταν ιδιαίτερα έντονο όταν η ένταση ήταν πολύ ισχυρή καθότι αναπτύσσονταν θερμοκρασίες μεγαλύτερες του σημείου τήξης και μέρος του υλικού έλιωνε.

Στην περίπτωση των ns παλμών ο υπέρηχος εμφανίστηκε στα 20 ns περίπου ενώ στην περίπτωση των ps παλμών, λόγω της μικρής διάρκειας του παλμού χρειάστηκε μεγαλύτερη ένταση ακτινοβολίας για την επίτευξη ίδιων θερμομηχανικών αποτελεσμάτων με αυτές των ns παλμών, ενώ ο υπέρηχος καθυστέρησε πολύ να εμφανιστεί, σε σχέση με τη διάρκεια παλμού, στα 8 ns. Λόγω της μεγαλύτερης έντασης της ακτινοβολίας το πλάτος του υπέρηχου ήταν μεγαλύτερο από ότι στην περίπτωση των ns παλμών. Ως μελλοντική εργασία, τα υπολογιστικά αποτελέσματα της εργασίας θα συγκριθούν με πειραματικά αποτελέσματα με χρήση συμβολομετρίας laser.

Προσεγγιστική λύση για τον υπολογισμό του ακουστικού πεδίου περίθλασης γύρω από απορροφητική σφήνα

Πηνελόπη Μενούνου^{1,*}, Ελευθέριος Παναγόπουλος¹, Πέτρος
Νικολάου¹ Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Πατρών,
Πανεπιστημιούπολη Πατρών, 26504,
Πάτρα
*menounou@upatras.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η περίθλαση των ακουστικών κυμάτων στην ακμή επιπέδου σχήματος σφήνας. Παραδείγματα είναι τα σκαλιά των αρχαίων θεάτρων, τα ηχοπετάσματα κατά μήκος των οδών ταχείας κυκλοφορίας ή οι πτέρυγες των αεροσκαφών.

Για σφήνες με ανακλαστικές επιφάνειες [ακουστικά σκληρές επιφάνειες (συνοριακή συνθήκη Neumann) ή επιφάνειες ελεύθερης πίεσης (συνοριακή συνθήκη Dirichlet)] υπάρχουν ακριβείς αναλυτικές λύσεις για όλα τα είδη ηχητικής ακτινοβολίας: επίπεδα, κυλινδρικά και σφαιρικά προσπίπτοντα κύματα (βλ. βιβλίο αναφοράς Bowman, Senior & Uslenghi 1987). Ωστόσο, για σφήνες με απορροφητικές επιφάνειες, οι λύσεις είναι περιορισμένες. Η ακριβής λύση Maliuzhinets (βλ. άρθρο αναφοράς Osipov & Norris, 1999) έχει ιδιαίτερες δυσκολίες στον υπολογισμό της. Οι Lim & Lee (1987) έχουν προτείνει προσεγγίσεις της που ισχύουν σε μεγάλες αποστάσεις από την ακμή της σφήνας. Οι Hewett & Morris (2014) θεωρώντας την ακριβή λύση του Maliuzhinets και και βασιζόμενοι στο έργο του Rawlins (1977) έχουν δημοσιεύσει τη μοναδική (εξ' όσων γνωρίζουν οι συγγραφείς) ακριβή λύση για απορροφητική σφήνα σε μορφή που μπορεί να υπολογιστεί. Η λύση ισχύει όμως μόνο για σφήνες εσωτερικής γωνίας 90° και για επίπεδη προσπίπτοσα ακτινοβολία. Μια συνήθης πρακτική τακτική (π.χ. Salomons, 1997, Hayek, 1990, Nord 2000, 2001) αφορά την τροποποίηση λύσεων για ανακλαστικές σφήνες, ώστε να περιγράφει το πεδίο περίθλασης γύρω από απορροφητικές σφήνες. Μια διαφορετική αντιμετώπιση έχει προταθεί από τον Svensson (2023) και αφορά την διακριτοποίηση των απορροφητικών επιφανειών της σφήνας κι έπειτα την προσομοίωση κάθε διακριτού τμήματος ως παλλόμενο έμβολο.

Στην παρούσα εργασία προτείνονται κατάλληλες τροποποιήσεις σε μια πρόσφατα δημοσιευμένη προσεγγιστική λύση τεσσάρων όρων για ανακλαστικές σφήνες (Nikolaou et. al. 2024) για επίπεδα, κυλινδρικά, και σφαιρικά προσπίπτοντα κύματα, έτσι ώστε η λύση να μπορεί να εφαρμοστεί για απορροφητικές σφήνες. Συγκεκριμένα, οι τεσσσερις επιμέρους όροι της λύσης για ανακλαστικές επιφάνειες πολλαπλασιάζονται με κατάλληλους συντελεστές ανάκλασης. Για επίπεδα προσπίπτοντα κύματα, οι συντελεστές αυτοί εξαρτώνται από γωνίες πρόσπτωσης στην επιφάνεια της σφήνας και από την ακουστική αγωγιμότητα του υλικού της σφήνας (η οποία δίνεται ως συνάρτηση της συχνότητας και της ροϊκής αντίστασης σύμφωνα με το μοντέλο των Delany & Bazley, 1970).

Η σειρά τοποθέτησης των συντελεστών ανάκλασης και οι τιμές των γωνιών πρόσπτωσης επιλέγονται έπειτα από πολλαπλές αριθμητικές συγκρίσεις μεταξύ της τροποποιημένης προσεγγιστικής λύσης και της ακριβούς λύσης των Hewett – Morris. Αρχικά, ελέγξαμε όλους τους πιθανούς συνδυασμούς τοποθέτησης των συντελεστών ανάκλασης (24 περιπτώσεις), συγκρίνοντας για κάθε περίπτωση την νέα λύση με την ακριβή λύση των Hewett-Morris. Η νέα λύση περιέγραφε ικανοποιητικά το πεδίο περίθλασης, για τη περίπτωση συνοριακών συνθηκών Dirichlet, μόνο για δύο εκ των 24^{ων} περιπτώσεων. Οι δύο αυτές περιπτώσεις διέφεραν μόνο ως προς τις επιλεχθείσες γωνίες πρόσπτωσης, οι οποίες για τη περίπτωση συνθηκών Dirichlet δεν επηρεάζουν τη τιμή των συντελεστών ανάκλασης. Έπειτα, μεταβάλλαμε τη τιμή της αγωγιμότητας των επιφανειών της σφήνας και παρατηρήσαμε πως η μία εκ των δύο προαναφερθέντων περιπτώσεων οδήγησε σε μικρότερο σφάλμα, για συγκεκριμένες γωνιακές θέσεις πηγής-δέκτη. Στη συνέχεια δοκιμάσαμε διαφορετικές τιμές γωνιών πρόσπτωσης, τις οποίες μεταβάλλαμε ανάλογα με τη σχετική γωνιακή θέση της πηγής και του δέκτη, και επιλέξαμε τους συνδυασμούς για τους οποίους η διαφορά μεταξύ των δύο λύσεων παρουσίασε τη μικρότερη τιμή.

Αποτελέσματα από την νέα λύση συγκρίθηκαν με την ακριβή αναλυτική λύση των Hewett- Morris για πολλές τιμές αγωγιμότητας και συχνότητας πηγής. Η απόκλιση της νέας λύσης από την ακριβή απεικονίστηκε σε διαγράμματα πολικότητας (ηχητική στάθμη πεδίου περίθλασης συναρτήσει πλέγματος γωνιών πηγής – δέκτη για όλες τις πιθανές σχετικές θέσεις πηγής και δέκτη). Από τα αποτελέσματα των συγκρίσεων διαπιστώθηκε πως το σφάλμα της νέας λύσης μειώνεται όταν η ακουστική απόσταση του δέκτη από την ακμή της σφήνας (kr) αυξάνεται και όταν ο λόγος της συχνότητας προς τη ροϊκή αντίσταση του υλικού που επενδύει τη σφήνα μειώνεται. Ως προς τις γωνιακές θέσεις πηγής-δέκτη, σφάλματα εντοπίζονται για θέσεις δέκτη πολύ κοντά στις επιφάνειες της σφήνας και όταν η πηγή τοποθετείται σε θέση που «βλέπει» και τις δύο επιφάνειες της σφήνας και ο δέκτης τοποθετείται μεταξύ της εξωτερικής διχοτόμου της σφήνας και της επιφάνειας που βρίσκεται μακρύτερα από την πηγή. Για τις περισσότερες εξεταζόμενες περιπτώσεις το σφάλμα της νέας λύσης είναι μικρότερο από 3dB.

Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι η νέα λύση είναι 100 φορές ταχύτερη από την ακριβή λύση των Hewett-Morris. Στη συνέχεια η λύση επεκτάθηκε για σφαιρικά προσπίπτοντα κύματα. Οι όροι της αντίστοιχης λύσης για ανακλαστικές επιφάνειες πολλαπλασιάζονται σε αυτή την περίπτωση με σφαιρικούς συντελεστές ανάκλασης (αντί για συντελεστές ανάκλασης επίπεδου κύματος). Για τη σειρά τοποθέτησης των συντελεστών ανάκλασης και τις τιμές των γωνιών πρόσπτωσης ακολουθήθηκαν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μελέτη των επίπεδων κυμάτων. Για τις αποστάσεις που απαιτούνται στον υπολογισμό των σφαιρικών συντελεστών ανάκλασης ακολουθήσαμε το έργο του Salomons, 1997.

Αποτελέσματα από τη νέα λύση για σφαιρικά προσπίπτοντα κύματα συγκρίθηκαν ικανοποιητικά με την προσεγγιστική λύση Nord2000. Οι συγκρίσεις έγιναν για πολλές γωνίες σφήνας, τιμές αγωγιμότητας, συχνότητες, και συνδυασμούς γωνιακών θέσεων πηγής-δέκτη, στην περιοχή εγκυρότητας του μοντέλου Nord 2000 (η εσωτερική γωνία σφήνας δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 180° και πηγή και δέκτης πρέπει να

βρίσκονται εκατέρωθεν της εξωτερικής διχοτόμου της σφήνας). Τέλος, η προτεινόμενη λύση είχε ικανοποιητική συμφωνία με δημοσιευμένα πειραματικά δεδομένα για σφαιρικά προσπίπτοντα κύματα σε απορροφητικές σφήνες για μεγάλο εύρος συχνοτήτων

**Νέα αναλυτική λύση για τον υπολογισμό του
ακουστικού πεδίου περίθλασης γύρω από
ακουστικά σκληρή σφήνα στο πεδίο του χρόνου και
στο πεδίο των συχνοτήτων**

Πέτρος Νικολάου¹, Αναστασία
Μαρκέτου¹ Σωτήρης Σαλάγας¹,
Πηνελόπη Μενούνου^{1,*}

¹Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών
Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών,
Πανεπιστημιούπολη Πατρών, 26504, Πάτρα
*menounou@upatras.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο ήχος που συναντά την ακμή μια σφήνας απείρου μήκους περιθλάται γύρω από αυτή. Η περίθλαση είναι αντικείμενο μελέτης σε πολλούς τομείς της ακουστικής όπως στην ακουστική αρχαίων θεάτρων, τον μη καταστροφικό έλεγχο δομικών κατασκευών, την υποβρύχια ακουστική, την πρόβλεψη του ακουστικού πεδίου γύρω πτέρυγα αεροσκάφους κ.ά. Για την πρόβλεψη της περίθλασης χρησιμοποιούνται αναλυτικές λύσεις, αριθμητικές προσεγγίσεις, και πειράματα. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζουμε μια νέα αναλυτική προσεγγιστική λύση στο πεδίο του χρόνου, την οποία συγκρίνουμε με την ακριβή αναλυτική λύση καθώς και με υπάρχουσες προσεγγιστικές λύσεις των συγγραφέων. Η νέα λύση παρουσιάζεται επίσης και στο πεδίο των συχνοτήτων, όπου και εκεί συγκρίνεται με τις ακριβείς λύσεις καθώς και με υπάρχουσες προσεγγιστικές λύσεις των συγγραφέων.

Συγκεκριμένα, ξεκινώντας από την ακριβή αναλυτική λύση των Biot-Tolstoy (1957) που ισχύει για σφαιρικά κύματα και θεωρώντας μικρούς χρόνους μετά την άφιξη του παλμού περίθλασης καταλήγουμε σε μία προσεγγιστική λύση 4 όρων. Η ακρίβεια της νέας λύσης ελέγχεται για κάθε συνδυασμό γωνιακής θέσης πηγής και δέκτη και για κάθε γωνία σφήνας σε διάφορες χρονικές στιγμές. Οι συγκρίσεις γίνονται με την ακριβή λύση των Biot-Tolstoy. Απεικονίζονται σε διπλά Θ - διαγράμματα και τετραπλά Γ - Θ διαγράμματα και προσδιορίζεται η περιοχή εγκυρότητας της νέας λύσης. Σε σχέση με προγενέστερη προσεγγιστική των συγγραφέων (Μενούνου κ.α. 2023), η παρούσα λύση ισχύει για μεγαλύτερους χρόνους και για μεγαλύτερο εύρος γωνιακών θέσεων πηγής και δέκτη.

Αντίστοιχα, αναπτύσσονται αναλυτικές προσεγγιστικές λύσεις για επίπεδα και κυλινδρικά προσπίπτοντα κύματα ξεκινώντας από τις ακριβείς αναλυτικές λύσεις (βλ. βιβλίο Felsen). Όπως και στην περίπτωση των σφαιρικών κυμάτων, συγκρίσεις με τις

ακριβείς αναλυτικές λύσεις δεικνύουν ότι οι νέες λύσεις είναι ακριβέστερες από προγενέστερες λύσεις των συγγραφέων (Μενούνου κ.α. 2023).

Σε σχέση με τις ακριβείς λύσεις στο πεδίο του χρόνου, οι λύσεις που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία παρουσιάζουν συγκεκριμένα πλεονεκτήματα: 1) Τόσο οι ακριβείς λύσεις όσο και οι νέες προσεγγιστικές λύσεις είναι οι κρουστικές αποκρίσεις του προβλήματος περίθλασης. Το σήμα περίθλασης υπολογίζεται ως η συνέλιξη της κρουστικής απόκρισης με την κυματομορφή ενός τυχαίου προσπίπτοντος σήματος. Η απόκριση μοναδιαίας βαθμίδας, η οποία προκύπτει από την χρονική ολοκλήρωση της κρουστικής απόκρισης, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των ολοκληρωμάτων συνέλιξης (αντί της κρουστικής απόκρισης) γιατί επιταχύνει τους υπολογισμούς κατά τάξεις μεγέθους (Νικολάου, 2019). Το χρονικό ολοκλήρωμα των νέων λύσεων (και άρα η αντίστοιχη μοναδιαία βαθμίδα) μπορεί να υπολογιστεί σε κλειστές αναλυτικές μορφές, ενώ το χρονικό ολοκλήρωμα των ακριβών λύσεων δε μπορεί να υπολογιστεί σε κλειστή αναλυτική μορφή. 2) Μπορεί να αποδειχτεί (με βάση τις προσεγγιστικές λύσεις) ότι υπάρχει μια γεννήτρια καμπύλη που εξαρτάται από μία μόνο αδιάστατη παράμετρο. Η γεννήτρια καμπύλη μπορεί να δημιουργήσει τις κρουστικές αποκρίσεις για κάθε γωνία σφήνας, για κάθε συνδυασμό πηγής-δέκτη και για κάθε είδος προσπίπτοντος σήματος (επίπεδο, κυλινδρικό, σφαιρικό). 3) Μπορεί να αποδειχτεί (και πάλι με βάση τις προσεγγιστικές λύσεις) ότι οποιοδήποτε σήμα (ανεξάρτητα από την κυματομορφή του ή από το είδος της εξάπλωσης του – επίπεδο, κυλινδρικό ή σφαιρικό) το οποίο προσπίπτει σε σφήνα οποιασδήποτε γωνίας μπορεί να αναλυθεί ως ένα ισοδύναμο επίπεδο σήμα που προσπίπτει σε σφήνα μηδενικής γωνίας. Δηλαδή, το απλούστερο πρόβλημα περίθλασης (επίπεδο σήμα προσπίπτον σε ημι-επίπεδο) εμπεριέχει όλα τα προβλήματα περίθλασης από σφήνα.

Στη συνέχεια αποδεικνύεται ότι ο μετασχηματισμός Fourier των νέων λύσεων (για επίπεδα, κυλινδρικά και σφαιρικά προσπίπτοντα κύματα) μπορεί να υπολογισθεί αναλυτικά. Οι νέες προσεγγιστικές σχέσεις συγκρίνονται με τις ακριβείς λύσεις Oberhettinger (βλ. βιβλίο αναφοράς Bowman, Senior & Uslenghi, 1987). Οι ακριβείς λύσεις δε εκφράζονται σε κλειστή αναλυτική μορφή και απαιτείται ο αριθμητικός υπολογισμός ολοκληρωμάτων. Αντίθετα, οι προσεγγιστικές λύσεις που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία εκφράζονται σε κλειστή αναλυτική μορφή. Όπως και οι λύσεις στο πεδίο του χρόνου, οι λύσεις στο πεδίο των συχνοτήτων έχουν 4 όρους και είναι ακριβέστερες από προηγούμενες λύσεις των συγγραφέων.

**Εισαγωγή κινησιολογικών δεδομένων αλληλεπίδρασης
μουσικού - μπαγκέτας
- κυμβάλου σε FEM-BEM μοντέλα δονητικής και
ακουστικής απόκρισης**

Στέλλα Πασχαλίδου^{1,*}, Κώστας Τσάμης¹, Χρυσούλα Αλεξανδράκη¹, Ευάγγελος
Κασελούρης^{1,2,3}, Βασίλης Δημητρίου^{1,2,3}

¹ Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής, Ελληνικό Μεσογειακό
Πανεπιστήμιο, Ε. Δασκαλάκη, Περιβόλια, 74133, Ρέθυμνο

² Εργαστήριο Φυσικής Ακουστικής και Οπτοακουστικής, Τμήμα Μουσικής
Τεχνολογίας & Ακουστικής, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, Ε.
Δασκαλάκη, Περιβόλια, 74133, Ρέθυμνο

³ Ινστιτούτο Φυσικής Πλάσματος και Λείζερ, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο,
Τρία Μοναστήρια, 74100, Ρέθυμνο
*pashalidou@hmu.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη συγκεκριμένη εργασία διερευνούμε τη μηχανική, δονητική και ακουστικοδυναμική συμπεριφορά κυμβάλου κατασκευασμένου από κράμα μπρούτζου B20, μέσω της μεθόδου πεπερασμένων-οριακών στοιχείων FEM-BEM, στο πεδίο του χρόνου. Η καινοτομία της εργασίας έγκειται στη χρήση πραγματικών τριδιάστατων δεδομένων σωματικής κίνησης που καταγράφηκαν κατά την αλληλεπίδραση μουσικού-μπαγκέτας-κυμβάλου και τα οποία παρείχαν τις συνθήκες φόρτισης της αλληλεπίδρασης μπαγκέτας-κυμβάλου, στο υπολογιστικό μοντέλο που προσομοιώθηκε με την αριθμητική μέθοδο FEM-BEM. Η προτεινόμενη μεθοδολογία προάγει μια νέα προοπτική στον σχεδιασμό, τη βελτιστοποίηση και την κατασκευή μουσικών οργάνων λαμβάνοντας υπόψη τις αποκλίσεις στην εκτέλεση που εισάγονται σκόπιμα από τους μουσικούς ρεαλιστικά κατά την πραγματική ερμηνεία.

Για τον σκοπό αυτό, (έξι) προοδευτικά εντεινόμενες κρούσεις από έναν επαγγελματία ντράμερ (δυναμικά επίπεδα που αντιστοιχούν σε πιανίσσιμο, πιάνο, μέτζο-πιάνο, μέτζο-φόρτε, φόρτε και φορτίσιμο, τα οποία στη μουσική σημειογραφία κωδικοποιούνται με τα εξής σύμβολα: *pp*, *p*, *mp*, *mf*, *f*, *ff*) χρησιμοποιήθηκαν ως συνθήκες φόρτισης τόσο για το πείραμα όσο και για την προσομοίωση. Όλες οι κρούσεις πραγματοποιήθηκαν σε μια συγκεκριμένη θέση πάνω στο πιατίνι (στα 2/3 της ακτίνας από το κέντρο), με σταθερή και μέγιστη τάση εφαρμοσμένη στη βάση στήριξης, κατά τη διάρκεια των οποίων η μπαγκέτα ήταν ελεύθερη να ανακρουστεί.

Εκτός από την ηχητική απόκριση, κατά την πειραματική διαδικασία καταγράφηκαν οι συντεταγμένες θέσης της κινούμενης μπαγκέτας σε διάφορες περιπτώσεις κρούσης καθώς και ο χρόνος επαφής της με το κύμβαλο και τα δεδομένα αυτά αναλύθηκαν για

να παράσχουν δεδομένα εισόδου στις προσομοιώσεις. Για την καταγραφή τρισδιάστατης πληροφορίας σωματικής κίνησης (θέσης) χρησιμοποιήθηκε εξειδικευμένος εξοπλισμός τεχνολογίας αιχμής και συγκεκριμένα ένα παθητικό οπτικό σύστημα συστοιχίας τριών υπερύθρων καμερών με χρήση σημειωτών (*marker-based*) της εταιρείας *Optitrack* (*Optitrack V120:Trio*), με χωρική ακρίβεια μικρότερη από ένα χιλιοστόμετρο.

Η σύγκριση της προοδευτικής αύξησης της μέγιστης στάθμης ηχητικής πίεσης και της αντίστοιχης μείωσης του χρόνου κρούσης μεταξύ των υπολογιστικών και των ηχογραφημένων ήχων για τις κρούσεις σε *p* και *ff* έγινε μέσω οπτικού ελέγχου της γραφικής απεικόνισης των κυματομορφών και των φασματογραφημάτων ηχητικής πίεσης και ταχύτητας και αποδεικνύει την ύπαρξη παρόμοιας σχετικής συμπεριφοράς στην επίδραση που έχει η ένταση της κρούσης στο παραγόμενο φάσμα, τόσο για τον προσομοιωμένο όσο και για τον ηχογραφημένο ήχο.

Αυτό που είναι επίσης εμφανές από τις γραφικές απεικονίσεις της δονητικής απόκρισης του κυμβάλου σε ελεύθερες κρούσεις *p* και *ff* βάσει των μοντέλων είναι η δημιουργία μηχανικών κυμάτων που διαδίδονται προς τα έξω από το σημείο πρόσκρουσης και στη συνέχεια ανακλώνται στις άκρες του οργάνου και οδηγούν σε στάσιμα κύματα. Επιπλέον, το μοντέλο είναι ικανό να παρέχει έναν εκτιμώμενο χρόνο επαφής, ο οποίος υπολογίζεται στα 0.25 msec για την πιο δυνατή κρούση (*ff*) και 0.35 msec για τη λιγότερο ισχυρή κρούση (*p*), πράγμα που επιβεβαιώνει την αναμενόμενη μείωση του χρόνου επαφής μεταξύ μπαγκέτας και πιατινιού στις ισχυρότερες κρούσεις. Η παρούσα μελέτη αποκάλυψε ότι οι βασικές παράμετροι που επηρεάζουν την εγκυρότητα της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι ο ρυθμός δειγματοληψίας των καταγεγραμμένων δεδομένων κίνησης, οι γεωμετρικές λεπτομέρειες των μοντέλων υπολογιστικής σχεδίασης της γεωμετρίας CAD και οι ανατιθέμενες ιδιότητες του υλικού στις προσομοιώσεις. Οι μελλοντικές εξελίξεις των μοντέλων FEM-BEM και η βελτιστοποίηση αυτών των παραμέτρων θα επιτρέψουν μια συστηματική αξιολόγηση του προσομοιωμένου μοντέλου μέσω μιας ακριβούς σύγκρισης με τους ηχογραφημένους ήχους.

Επιπλέον, σχεδιάζουμε και αναπτύσσουμε βάση δεδομένων που αποτελείται από πραγματικά δεδομένα κίνησης σώματος και μπαγκέτας, καθώς και πραγματικά και υπολογισμένα ηχητικά σήματα για διάφορες συνθήκες κρούσης. Στόχος είναι η ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης της ηχητικής απόκρισης βάσει των δεδομένων εισόδου, όπως διαφορετικού τύπου σωματικές κινήσεις, διαφορετικής χωρικής κατεύθυνσης και δύναμης κρούσεων, καθώς και διαφορετικά υλικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά κυμβάλων.

Ημι-εμπειρικές σχέσεις για τον υπολογισμό του ακουστικού πεδίου περίθλασης γύρω από σφήνες

Πηνελόπη Μενούνου^{1,*}, Σωτήρης Σαλάγας¹, Πέτρος Νικολάου¹
¹Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Πατρών,
Πανεπιστημιούπολη Πατρών, 26504, Πάτρα
^{*}menounou@upatras.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται το πρόβλημα του γρήγορου υπολογισμού του ακουστικού πεδίου γύρω από σφήνες μέσω ημι-εμπειρικών σχέσεων. Ο ήχος ανακλάται πάνω στις επιφάνειες της σφήνας και περιθλάται πάνω στην ακμή της. Αντικείμενο της μελέτης είναι το ακουστικό πεδίο περίθλασης από την ακμή, το οποίο εκτείνεται παντού γύρω από τη σφήνα και η μελέτη γίνεται στο πεδίο των συχνοτήτων. Οι αναλυτικές λύσεις του προβλήματος, τόσο οι ακριβείς όσο και οι προσεγγιστικές, (βλ. βιβλίο αναφοράς των Bowman, Senior & Uslenghi, 1987) είναι μαθηματικά περίπλοκες και υπολογιστικά χρονοβόρες. Κατά συνέπεια δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις όπου ο αριθμός των σφηνών είναι πολύ μεγάλος (π.χ. τα σκαλοπάτια που δημιουργούν οι θέσεις των αρχαίων θεάτρων) ή σε εφαρμογές όπου η ταχύτητα των υπολογισμών είναι σημαντική. Γι αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί ημι-εμπειρικές σχέσεις οι οποίες μειώνουν το υπολογιστικό κόστος κατά τάξεις μεγέθους. Με τον όρο εμπειρικές, ή ημι-εμπειρικές σχέσεις εννοούμε σχέσεις που περιέχουν απλές και γρήγορες μαθηματικές πράξεις οι οποίες προσεγγίζουν με ικανοποιητική ακρίβεια πολύπλοκες και χρονοβόρες μαθηματικές εκφράσεις ανεξάρτητα από τη μέθοδο με την οποία αναπτύχθηκαν οι απλές εμπειρικές ή ημι-εμπειρικές σχέσεις.

Ευρέως διαδεδομένα εμπειρικά μοντέλα περίθλασης περιέχονται στο Nord2000 (2001) και στο Harmonoise (2010). Πρόσφατα παρουσιάστηκε ένα εμπειρικό μοντέλο (Μενούνου-Ασημακόπουλος, 2021) βασισμένο σε μια προσεγγιστική αναλυτική λύση για το πεδίο περίθλασης (Μενούνου-Νικολάου, 2016) που ισχύει για υψηλές συχνοτήτες. Σε παλαιότερο συνέδριο (Μενούνου-Σαλάγας-Νικολάου, 2022) χρησιμοποιήθηκε μια διαφορετική λύση, με μεγαλύτερη ακρίβεια από την αρχική λύση των Μενούνου-Νικολάου, και παρουσιάστηκε μια καινούργια ημι-εμπειρική σχέση, η οποία όμως περιοριζόταν σε δέκτες στη ζώνη σκιάς πίσω από την σφήνα. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται μια τρίτη, ακόμα πιο ακριβής προσεγγιστική λύση (Μενούνου, κ.ά. 2024) η οποία, όπως και οι προηγούμενες, ισχύει για επίπεδα,

κυλινδρικά και σφαιρικά κύματα και για υψηλές συχνότητες. Με βάση αυτή την αναλυτική λύση μια νέα εμπειρική φόρμουλα παρουσιάζεται, η οποία δεν περιορίζεται σε δέκτες στη ζώνη σκιάς, αλλά ισχύει για όλες τις θέσεις των δεκτών και (σε αντίθεση με τις λύσεις Nord2000, Harmonoise και Μενούνου-Ασημακόπουλος) ισχύει για όλες τις γωνίες σφήνας.

Αρχικά, στη προσεγγιστική αναλυτική λύση αναγνωρίζεται το τμήμα που είναι υπεύθυνο για τους μεγάλους υπολογιστικούς χρόνους. Διαπιστώνεται ότι περιλαμβάνει ολοκληρώματα Fresnel και ότι είναι μια μιγαδική σιγμοειδής συνάρτηση μιάς μοναδικής παραμέτρου. Μια φόρμουλα παρουσιάζεται, η οποία προσεγγίζει αυτή την σιγμοειδή συνάρτηση τόσο ως προς το μέτρο όσο και ως προς τη φάση και η οποία απαιτεί απλές μαθηματικές πράξεις αντί για τον υπολογισμό των ολοκληρωμάτων Fresnel. Η φόρμουλα αυτή συγκρίνεται θετικά τόσο ως προς την ακρίβεια όσο και ως προς την ταχύτητα με υπάρχουσες σχέσεις που προσεγγίζουν ολοκληρώματα Fresnel (Nord2000, Heald 1985, McCormic 2002 and Umzul 2005). Οι ακριβείς λύσεις του προβλήματος απαιτούν τον αριθμητικό υπολογισμό ολοκληρωμάτων, μια διαδικασία που απαιτεί έλεγχο αριθμητικής σύγκλισης και είναι χρονοβόρα. Υποθέτοντας υψηλές συχνότητες τα ολοκληρώματα που περιέχονται στις ακριβείς λύσεις μετατρέπονται σε ολοκληρώματα Fresnel, των οποίων ο υπολογισμός είναι πιο εύκολος αλλά επίσης χρονοβόρος. Οι υπάρχουσες εμπειρικές λύσεις είτε προσεγγίζουν τα ολοκληρώματα Fresnel (Nord2000, Μενούνου-Σαλάγας-Νικολάου, παρούσα εργασία), είτε προσεγγίζουν κατευθείαν ολόκληρο το πεδίο περίθλασης για υψηλές συχνότητες (Harmonoise, Μενούνου-Ασημακόπουλος). Από ότι είναι σε θέση να γνωρίζουν οι συγγραφείς δεν υπάρχουν ημι-εμπειρικές σχέσεις που να παρέχουν το ακουστικό πεδίο τόσο για υψηλές όσο και για χαμηλές συχνότητες, δηλαδή ημι-εμπειρικές σχέσεις που να προσεγγίζουν τα ολοκληρώματα των ακριβών λύσεων. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια τέτοια ημι-εμπειρική σχέση ως επέκταση της εμπειρικής λύσης για τα ολοκληρώματα Fresnel.

Η προτεινόμενη ημι-εμπειρική σχέση πλεονεκτεί σε σχέση με τα διαδεδομένα εμπειρικά μοντέλα Nord2000 και Harmonoise όσο και με τις προηγούμενες ημι-εμπειρικές σχέσεις των συγγραφέων. Έχει ευρύτερο πεδίο εγγυρότητας. Συγκεκριμένα, ισχύει για όλες τις γωνίες σφήνας, για όλες τις γωνιακές θέσεις πηγής- δέκτη και για μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων. Έχει μεγαλύτερη ακρίβεια και μικρότερο υπολογιστικό κόστος.

Τέλος, η προτεινόμενη ημι-εμπειρική λύση ενσωματώνεται σε αναλυτικές λύσεις που περιγράφουν (i) περίθλαση από ηχοαπορροφητική (αντί για ακουστικά σκληρή) σφήνα, (ii) περίθλαση ανώτερης τάξης (δηλαδή διαδοχικές περιθλάσεις σε περισσότερες από μια σφήνες), και (iii) διαδοχικές περιθλάσεις σε περισσότερες από μια απορροφητικές σφήνες. Δημιουργούνται έτσι υβριδικές λύσεις που συνδιάζουν την μαθηματική περιγραφή πολύπλοκων προβλημάτων με το πλεονέκτημα του μικρού υπολογιστικού χρόνου. Οι υβριδικές αυτές λύσεις εφαρμόζονται για την πρόλεξη του ακουστικού πεδίου σε αντίστοιχα προβλήματα. Συγκεκριμένα εξετάζονται περιπτώσεις μεμονωμένης σκληρής ή απορροφητικής σφήνας, τετραγωνικού σκληρού εμποδίου πάνω σε σκληρό έδαφος, τριγωνικού απορροφητικού εμποδίου σε απορροφητικό έδαφος και τραπεζοειδούς εμποδίου (με σκληρή ή απορροφητική άνω βάση) σε απορροφητικό έδαφος. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται ικανοποιητικά με δημοσιευμένα πειραματικά δεδομένα και αριθμητικά αποτελέσματα από τη μέθοδο των συνοριακών στοιχείων.

Προβλήματα αποκατάστασης & ηχοπροστασίας στα αρχαία θέατρα της Δ. Ελλάδας & της Ηπείρου

Νίκος Μπάρκας,
Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Δ.Π.Θ.
nbarkas@arch.duth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η προτεινόμενη ανακοίνωση παρουσιάζει την υφιστάμενη κατάσταση και τα προβλήματα σύγχρονης αποκατάστασης επανάχρησης ενός δείγματος έντεκα (11) αρχαίων ελληνικών θεάτρων στη Δ. Ελλάδα (Συκιών, Μακύνεια, Καλυδώνια, Οινιάδες, Στράτος, Πλευρώνα) και στην Ήπειρο (Γίτανα, Δωδώνη, Αμβρακία, Κασσώπη, Νικόπολις). Τα δεδομένα της ανακοίνωσης εντάσσονται σε μια μακροχρόνια έρευνα - παρατηρητηρίου (από το 2004) η οποία επαναλαμβάνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα. σε μεγάλο δείγμα αρχαίων θεάτρων, με στόχο την ακουστική αξιολόγηση της υφιστάμενης ή δυνητικής επαναλειτουργίας τους.

Αναλύεται η ιδιόμορφη εξέλιξη των θεάτρων του δείγματος, τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά τους και οι λειτουργικές δυνατότητες τους. Επίσης, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ηχομετρήσεων της περιόδου 2019-24, όσον αφορά το είδος και τις στάθμες των κατά τόπους μόνιμων, περιοδικών ή ευκαιριακών, ηχητικών οχλήσεων, σε ποικίλες περιστάσεις. Η αξιολόγηση της δυνητικής λειτουργίας των θεάτρων περιλαμβάνει την υφιστάμενη οικοδομική κατάσταση των θεάτρων (στα επιμέρους λειτουργικά μέρη της ορχήστρας, του κοίλου και της σκηνής), οι πιθανές σύγχρονες λειτουργικές υποδομές (πρόσβαση και προσπέλαση, χώροι στάθμευσης, χώροι εξυπηρέτησης ηθοποιών και θεατών, Η/Μ εγκαταστάσεις παράστασης).

Αναλυτικά, στα δεδομένα της έρευνας καταγράφονται αναλυτικά :

- το σύγχρονο, φυσικό και ανθρωπογενές, περιβάλλον του θεάτρου*
- η τρέχουσα χρήση του θεατρικού χώρου*
- η κατάσταση της ορχήστρας, του κοίλου και της σκηνής,*

Επίσης αναλύονται και αξιολογούνται οι ιστορικές φάσεις που προσδιορίζουν τις σύγχρονες εργασίες στερέωσης κι αποκατάστασης.

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα της έρευνας αποκαλύπτουν πως την τρέχουσα έχουν ενταθεί ή ολοκληρώθηκαν εκτεταμένες εργασίες αποκατάστασης, ενώ παραμένουν οι έντονες αστικές και ηχητικές πιέσεις που έχουν καταγραφεί στο περιβάλλον των αρχαίων θεάτρων.

Μελέτη ακουστικής αναβάθμισης στο νεοκλασικό κτήριο του Δημοτικού Ωδείου Βόλου

Αναστάσιος Κουκούλης¹, Γεώργιος Καλλίρης^{1,2}, Ιωάννης Μουρτζόπουλος^{1,3}

¹ΑΣΠ-ΕΑΠ, ²ΑΠΘ, ³Παν. Πατρών
tasoyylis@hotmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται την εφαρμογή μεθόδων ηχομόνωσης και ηχοπροστασίας καθώς και ακουστικού σχεδιασμού για την αναβάθμιση της ακουστικής συμπεριφοράς του νεοκλασικού κτηρίου του Δημοτικού Ωδείου Βόλου. Μέσω της παρούσας μελέτης, εκτιμάται η ικανότητα στέγασης σε νεοκλασικά κτήρια, δραστηριοτήτων που βασίζονται στην ακουστική του χώρου καθώς και τις παρεμβάσεις που είναι αναγκαίες κατά την ανακατασκευή τους ή την αποκατάστασή τους για την βελτίωση της ακουστικής τους.

Το κτήριο του Δημοτικού Ωδείου Βόλου είναι ένα από τα καλύτερα δείγματα νεοκλασικού κτηρίου της πόλης του Βόλου και κατασκευάστηκε το 1882 για την στέγαση της Τράπεζας Ηπειροθεσσαλίας. Έπειτα από αρκετές επισκευές και αλλαγές χρήσης το 1984 αποκαταστάθηκε στην πρότερη μορφή του από την τεχνική υπηρεσία του Δήμου Βόλου για τη χρήση του ως Δημοτικό Ωδείο της Πόλης του Βόλου. Η εσωτερική του διαρρύθμιση και διακόσμηση ακολούθησε το ύφος της νεοκλασικής αρχιτεκτονικής και του πρότερου χαρακτήρα του κτηρίου με ψηλοτάβανα δωμάτια με περίτεχνες ξύλινες και γύψινες διακοσμήσεις, μαρμάρινα πατώματα και σκάλες, μεγάλες ξύλινες πόρτες και μεγάλα εξωτερικά παράθυρα και μπαλκονόπορτες. Οι παρεμβάσεις της αποκατάστασης του 1984 αφορούσαν εξολοκλήρου τα δομικά και οπτικά χαρακτηριστικά του κτηρίου χωρίς να περιλαμβάνουν καθόλου την ακουστική και την ηχομόνωση.

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την πραγματοποίηση της παρούσας μελέτης ακουστικής αναβάθμισης ήταν τα εξής:

1. Καταγραφή των χαρακτηριστικών του χώρου (θέση, διαστάσεις, όγκος, αποστάσεις από διπλανά κτήρια, υλικά και μέθοδος κατασκευής), καθορισμός των τιμών στάθμης του περιβαλλοντικού θορύβου και αποτύπωση του κτηρίου σε αρχιτεκτονικό σχέδιο.

2. Πραγματοποίηση μετρήσεων στάθμης περιβαλλοντικού θορύβου σε επιλεγμένα σημεία του εξωτερικού και του εσωτερικού χώρου και μετρήσεις του συντελεστή ηχομείωσης των εσωτερικών χωρισμάτων.

3. Προσδιορισμός της επιθυμητής εσωτερικής ησυχίας για τη χρήση κάθε χώρου σύμφωνα με τη νομοθεσία και τις προδιαγραφές κριτηρίων θορύβου NR και με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού, επιλογής των κατάλληλων συνδυασμών για πόρτες, υαλοπίνακες και σύνθεση τοιχοποιίας.

4. Εισαγωγή σε λογισμικό των τρισδιάστατων αρχιτεκτονικών σχεδίων και επιλογής των κατάλληλων υλικών για την κάλυψη των επιφανειών, έτσι ώστε οι τιμές της αντήχησης των αιθουσών να συμβαδίζουν με τις απαιτούμενες από τη βιβλιογραφία για την επιλεγμένη χρήση και τον εκάστοτε όγκο. Με τη βοήθεια του λογισμικού προσδιορίζονται οι ακουστικοί δείκτες και ελέγχονται τα φαινόμενα συντονισμού.

5. Διατύπωση συγκεκριμένων προτάσεων που περιλαμβάνουν επιλογή των κατάλληλων υλικών και της θέσης τοποθέτησης τους στον χώρο.

Στα πλαίσια της μελέτης πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις που αφορούσαν τις δύο σημαντικές ακουστικές ιδιότητες του χώρου, την ηχομόνωση-ηχοπροστασία του και τα εσωτερικά ακουστικά χαρακτηριστικά του.

Όσον αναφορά την ηχομόνωση του χώρου διαπιστώθηκε η θετική συνδρομή των μεγάλου πάχους εξωτερικών τοίχων στην απομόνωση του εξωτερικού θορύβου αλλά και η ελλιπής ηχοπροστασία που προσφέρουν τα ελαττωματικά και παλιού σχεδιασμού κουφώματα από τα παράθυρα, τις μπαλκονόπορτες και τις εξώθυρες. Στον εσωτερικό χώρο η κατάσταση της ηχομείωσης μεταξύ των αιθουσών και των κοινόχρηστων χώρων είναι εξίσου προβληματική. Παρατηρείται ανεπιθύμητη μετάδοση ήχων από χώρο σε χώρο δίνοντας την αίσθηση ότι όλες οι δραστηριότητες γίνονται στο ίδιο δωμάτιο. Οι κύριοι υπαίτιοι για τις διαρροές αυτές είναι η εσωτερική τοιχοποιία και οι απλές εσωτερικές πόρτες μεγάλων διαστάσεων.

Ερευνώντας τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των χώρων μουσικής μελέτης και εξυπηρέτησης του κοινού, διαπιστώθηκε η προβληματική ακουστική τους με κύριο χαρακτηριστικό τους υπερβολικούς χρόνους αντήχησης λόγω της απουσίας υλικών απόσβεσης-απορρόφησης και το μεγάλο ύψος των πέντε μέτρων όλων των χώρων αλλά και της γεωμετρίας των χώρων με τις παράλληλες επιφάνειες που ευνοούν τους συντονισμούς.

Ταυτόχρονα στην αίθουσα συναυλιών επικρατεί αντίθετη κατάσταση με συσσώρευση μεγάλου αριθμού υλικών, οργάνων, διακοσμητικών στοιχείων, βαριών κουρτινών και υπεράριθμων καθισμάτων κοινού για τον υπάρχον μέγεθος της αίθουσας, μειώνοντας υπερβολικά τον επιθυμητό χρόνο αντήχησης και κατ' επέκταση τη μουσική εμπειρία στο χώρο.

Χρησιμοποιώντας σύγχρονα εργαλεία λογισμικού μοντελοποιήθηκε η τωρινή κατάσταση των χώρων καθώς και οι προτεινόμενες παρεμβάσεις με συγκεκριμένες διορθωτικές ενέργειες στους προβληματικούς τομείς της ηχομόνωσης και ακουστικής των χώρων. Παράλληλα υπολογίστηκαν οι απαιτήσεις της ηχομείωσης όλων των

εσωτερικών χώρων ανάλογα με τη χρήση τους και εκτιμήθηκαν οι απαραίτητες παρεμβάσεις ώστε να εξασφαλίζεται η επιθυμητή εσωτερική ησυχία. Τέλος υπολογίστηκαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ακουστικής των χώρων και προσδιορίστηκαν οι βελτιώσεις των χαρακτηριστικών αυτών ως συνέπεια συγκεκριμένων επεμβάσεων.

Βασική μέριμνα όλου του παραπάνω διορθωτικού σχεδιασμού ήταν να μην αλλοιωθεί ο νεοκλασικός χαρακτήρας του κτηρίου γεγονός που οδήγησε σε συγκεκριμένες προτάσεις και παρεμβάσεις αποτελεσματικές ακουστικά μεν αλλά μη βέλτιστες. Ιδανικά, σε περιπτώσεις ανακατασκευής κτηρίων με συγκεκριμένο αρχιτεκτονικό χαρακτήρα και για ειδική χρήση όπως στην περίπτωση ενός ωδείου θα έπρεπε κατά την φάση του αρχικού σχεδιασμού τους να συμπεριληφθεί η ακουστική μελέτη για την ιδανικότερη υλοποίηση από πλευράς ακουστικής αλλά και κόστους.

Μια υπολογιστική πλατφόρμα για τη μελέτη και βελτιστοποίηση των παραμέτρων της ηλεκτρακουστικής εγκατάστασης σε μεγάλους κλειστούς χώρους

Νικόλαος Στεφανάκης^{1,2} και Λουκάς Λαμπούδης¹

¹Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής,
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

² Ινστιτούτο Πληροφορικής, Ίδρυμα Τεχνολογίας
και Έρευνας

nstefana@hmu.gr, laboudes_lucas@hotmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η προσέγγιση που ακολουθείται συχνά για την ηλεκτρακουστική εγκατάσταση σε χώρους συνάθροισης κοινού είναι αυτή των κατανεμημένων ηχείων (distributed loudspeakers), όπου τα ηχεία είναι κατανεμημένα σε μεγάλες σχετικές αποστάσεις μεταξύ τους, μέσα, πάνω ή γύρω από την περιοχή ακρόασης. Η μελέτη τέτοιων περιπτώσεων συχνά απαιτεί την επιλογή ενός μεγάλου αριθμού παραμέτρων και μέχρι σήμερα δεν έχει προταθεί κάποιος τρόπος για τον προσδιορισμό των βέλτιστων τιμών των παραμέτρων αυτών. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται κατά πόσο παράμετροι όπως η θέση, ο προσανατολισμός και η ακουστική ισχύς λειτουργίας ενός συγκεκριμένου πλήθους ηχείων μπορούν να βελτιστοποιηθούν αυτόματα, με τη χρήση εργαλείων βελτιστοποίησης.

Λαμβάνοντας ως δεδομένα τη θέση της περιοχής ακρόασης και τις ακουστικές ιδιότητες του κλειστού χώρου, παρουσιάζεται μια προσέγγιση για την βελτιστοποίηση των παραμέτρων μέσω έτοιμων εργαλείων μη-γραμμικής βελτιστοποίησης τα οποία μπορούν να λαμβάνουν υπόψη και γραμμικούς περιορισμούς. Ως κριτήριο για βελτιστοποίηση προτείνεται η χρήση μια συνάρτησης κόστους η οποία λαμβάνει υπόψη την επιθυμητή στάθμη ακρόασης και το λόγο απευθείας ήχου προς ανακλώμενο.

Η μελέτη του προβλήματος γίνεται με βάση τη θεωρία των μεγάλων κλειστών χώρων και τις αρχές της γεωμετρικής ακουστικής. Το μαθηματικό μοντέλο του χώρου υποθέτει την συνύπαρξη του απευθείας και του ανακλώμενου ήχου. Για τον απευθείας ήχο οι εξασθενήσεις θεωρείται ότι ακολουθούν τον νόμο της αντίστροφης απόστασης, ενώ για την γωνιακή απόκριση των ηχείων προτείνεται η χρήση μιας αναλυτικής συνάρτησης η οποία βασίζεται στη συνάρτηση Cauchy και η οποία δύναται να παραμετροποιείται συναρτήσει του συντελεστή κατευθυντικότητας του ηχείου. Από την άλλη, για τον ανακλώμενο ήχο, η υπόθεση που ακολουθείται είναι αυτή της σταθερής πυκνότητας ενέργειας. Για την πρόσθεση της συνιστώσας του απευθείας ήχου από κάθε

ηχείο αλλά και για την ανακλώμενη συνιστώσα, υιοθετείται η υπόθεση της ανεξαρτησίας των πηγών.

Στην εργασία γίνεται μια αναλυτική αναφορά στις διαφορετικές μεταβλητές που δύνανται να θέτονται ως παράμετροι σχεδιασμού προς βελτιστοποίηση καθώς και στο πως η επιβολή γραμμικών περιορισμών μπορεί να βοηθήσει στην αναζήτηση λύσεων οι οποίες να είναι αποδεκτές από φυσική και λειτουργική σκοπιά. Μέσα από πειράματα σε διαφορετικούς χώρους και σενάρια, αποδεικνύεται ότι η προτεινόμενη μέθοδος μπορεί πραγματικά να βοηθήσει το μελετητή στη λήψη αποφάσεων. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται αποτελέσματα για δύο διαφορετικά προβλήματα κατανεμημένων ηχείων, ένα για ηχεία τοποθετημένα περιμετρικά της περιοχή ακρόασης και ένα για ηχεία τοποθετημένα στο ταβάνι, πάνω από την περιοχή ακρόασης.

Μη τυποποιημένες ακουστικές μετρήσεις για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και την δημιουργία ατμόσφαιρας

Πέτρος Φλαμπουρης^{1,*}, Nicola Remy²

¹Τμήμα αρχιτεκτόνων Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

² Τμήμα αρχιτεκτόνων Πανεπιστημίου Θεσσαλίας
CRESSON - Centre de recherche sur l'espace sonore
et l'environnement urbain

*pflampouris@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία που παρουσιάζεται είναι μέρος τρέχουσα διδακτορική έρευνας που αποσκοπεί στη διερεύνηση νέων εργαλείων και μεθόδων και στην ανάπτυξη ποιοτικών κριτηρίων που σχετίζονται με τον χώρο και τα ηχητικά φαινόμενα, έτσι ώστε να συμπληρώσουν τις παραδοσιακές ακουστικές μετρήσεις, και να συμπεριλάβουν, τη μελέτη του ηχητικού περιβάλλοντος, της ηχητικής ατμόσφαιρας και των ηχητικών γεγονότων στο αρχιτεκτονικό περιβάλλον, ώστε να τα ενσωματώσει στην αρχιτεκτονική σύνθεση και τον σχεδιασμό (αρχιτεκτονικού, πολεοδομικού, κ.α.).

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται αποτελείται από εργαλεία και όργανα μέτρησης, όπως μικρόφωνα διαφορετικών τυπολογιών, ηχόμετρα ,προγράμματα αναλυτές ήχου και άλλα συστήματα δοκιμών, ορισμένα από τα οποία έχουν αναπτυχθεί από τη βιομηχανία για τη μέτρηση ακουστικών ποιοτήτων (κτίριο/ περιοχή/ περιβάλλον/ υλικά /κ.α.) όπως η απόκριση συχνότητας, η ηχητική πίεση κ.α., ενώ τα υπόλοιπα ερευνητικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται ακολουθούν το ήθος του D.I.Y. (κάνε το μόνος σου) για την ανάπτυξη πρότυπου εξοπλισμού μετρήσεων (προσαρμοσμένα μικρόφωνα, κεραίες, ηχεία, πομποί, αισθητήρες, μικροελεγκτές κ.λπ.).

Η έρευνα εκτείνεται σε διαφορετικές αρχιτεκτονικές κλίμακες, από την πολεοδομική και δημόσια έως την ανθρώπινη κλίμακα και ανάλυση των κτιρίων και χώρων. Περιλαμβάνονται διαφορετικά πεδία έρευνας: αστικά, μη αστικά και ημι- αστικά, σε ελεύθερο πεδίο στην ύπαιθρο ή υψηλής πυκνότητας αστικά κέντρα, εγκαταλελειμμένα ή κατοικημένα οικιστικά παραδείγματα και συνεπώς διαφορετικά ηχητικά φαινόμενα.

Η δημοσίευση επικεντρώνεται κυρίως στο στάδιο των πειραματισμών και διερεύνησης μεθοδολογιών για την συλλογή, σύγκριση και ανάλυση των ηχητικών φαινομένων και ποιοτήτων των επιλεγμένων πεδίων. Οι μεθοδολογίες που αναπτύχθηκαν και θα παρουσιαστούν είναι: α) Re-sounding Ruins: αναφέρεται στην αποτύπωση αστικών και μη αστικών εγκαταλελειμμένων κτιριακών κελυφών και οικιστικών συνόλων, και ενδιαφέρεται για την απόδοση των ηχητικών τους ποιοτήτων ως υφιστάμενα κελύφια σε διάδραση με την γειτνίασή τους (ηχητική, χωρική,

περιβαλλοντική κ.α.) τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται στο πεδίο είναι μικρόφωνα, ηχόμετρα, διαφορετικών τυπολογιών, κάρτα ήχου, υπολογιστής, υλικά αποτύπωσης κ.α. Οι μετρήσεις πεδίου περιλαμβάνουν *Leq* καταγραφές καθώς και αρχεία ήχου για να βοηθήσουν σε πιθανές συγκριτικές ποιοτικές αναλύσεις με φιλοδοξία να αποτυπωθούν και να μετρηθούν οι ηχητικές ποιότητες σε μη συμβατικά πεδία έρευνας β) *material sequence* : Ομοίως η μεθοδολογία αυτή αποσκοπεί στην αποτύπωση αστικών και μη αστικών κτιριακών κελυφών και οικιστικών συνόλων κατά την διάρκεια διαφορετικών σταδίων κατασκευής τους (στατικός φορέας, εξωτερικό κέλυφος, κουφώματα, τελικές επιφάνειες, κινητός εξοπλισμός), και ενδιαφέρεται για τις ποιοτικές αλλαγές στο ηχητικό τους περιβάλλον. Οι μετρήσεις πεδίου περιλαμβάνουν *Leq* καταγραφές καθώς και αρχεία ήχου με φιλοδοξία να αποτυπωθούν και να μετρηθούν οι ηχητικές ποιότητες κατά την διάρκεια μιας κατασκευής γ) *Esquis'sons*: Είναι ένα εργαλείο υποστήριξης σχεδιασμού σε τρισδιάστατο χώρο για το ηχητικό περιβάλλον, ανοικτού κώδικα, που στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιείται στις μελέτες υφιστάμενων συνόλων (ελληνικού αρχαίου θεάτρου, κ.α.) και εφαρμόζεται και σε νέα έργα σχεδιασμού κατασκευών όπως πολυώροφες κατοικίες μικτής χρήσης, σε μικρότερης κλίμακας κατασκευές και αποκαταστάσεις καθώς και σε έργα αγροτικών κατοικιών και δημόσιων πλατειών. δ) *Impuls(iv)e response*: είναι η επί τόπου μέτρηση της κρουστικής απόκρισης ενός υπαίθριου ή εσωτερικού χώρου αλλά αυτή την φορά όχι με τυποποιημένο θόρυβο αλλά με ένα «συνηθισμένο» και «τοπικό» κρουστικό σήμα. Το σήμα αυτό δανείζεται από το υφιστάμενο περιβάλλον του επιλεγμένου πεδίου μελέτης, και αντιπροσωπεύει τους καθημερινούς-κοινωνικούς ήχους και εκπέμπονται μέσω μιας εγκατάστασης πολυκάναλων ηχείων που μιμούνται καθημερινούς ήχους που λαμβάνουν χώρα σε ένα περιβάλλον διαβίωσης. Οι μελέτες περίπτωσης είναι μικρότερης κλίμακας κτιριακές άδειες και αποκαταστάσεις, καθώς και αγροτικά οικιστικά έργα.

Τα αναμενόμενα αποτελέσματα είναι μετρήσιμα ηχητικά φαινόμενα που επιβεβαιώνονται μέσω της μελέτης των ηχογραφήσεων και των μετρήσεων πεδίου και τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν ως βάση για νέα ακουστικά κριτήρια ή περαιτέρω έρευνα. Σχεδιαστικά, πιστεύεται ότι τα αποδιδόμενα ηχητικά φαινόμενα και αποτελέσματα που προκύπτουν ωφελούν τις στρατηγικές σχεδιασμού και αρχιτεκτονικής.

Ακουστική Μελέτη και Προσομοίωση Του Ωδείου Του Ηρώδη Του Αττικού

Tavelidou Eleni, Chrostopher Barlow
¹National and Kapodistrian University of Athens
²Solent University, Southampton
*etavelidou@music.uoa.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί αυξημένο ενδιαφέρον ως προς τη μελέτη της ακουστικής αρχαίων θεάτρων και ιστορικών μνημείων. Η αναβίωση και η αναπαραγωγή ήχου εντός αυτών των ιστορικών οικοδομημάτων σήμερα επιτυγχάνεται με την βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών χρησιμοποιώντας τεχνικές μοντελοποίησης σε συνδυασμό με επιτόπιες ακουστικές μετρήσεις, ώστε να αποσαφηνιστεί η ακουστική εξέλιξη αυτών των χώρων στο χρόνο [Savioja & Svensson, 2015; Haddad, 2007].

Με την έλευση των τεχνολογιών εικονικής πραγματικότητας και των τρισδιάστατων περιβαλλόντων υψηλής ευκρίνειας μπορεί επίσης να επιτευχθεί με ακρίβεια μια ρεαλιστική αναπαράσταση και πλοήγηση εντός αυτών των μνημείων (Rindel, 2006).

Αυτή η απομακρυσμένη εμπειρία ενός χώρου ιστορικής σημασίας μπορεί να εξυπηρετήσει εκπαιδευτικούς σκοπούς αλλά και να βελτιώσει την εμπειρία των επισκεπτών σε μουσεία και ιστορικές εκθέσεις.

Η παρούσα μελέτη διερευνά την ακουστική του Ωδείου του Ηρώδου του Αττικού, του αρχαίου και επί του παρόντος εν μέρει ανακατασκευασμένου Ωδείου που βρίσκεται στην καρδιά της Αθήνας. Πιο συγκεκριμένα, η έρευνα επικεντρώνεται στην αρχική κατασκευή του Ωδείου, προ καταστροφής της οροφής, που θεωρείτο ότι έφερε μέχρι και το 267 Π.Χ (Korres, 2014).

Αρχικά, κατασκευάστηκε ένα γεωμετρικό ακουστικό μοντέλο του Ωδείου χρησιμοποιώντας το λογισμικό CATT-Acoustic. Το μοντέλο συμπεριέλαβε την στέγη που λογίζεται ότι εκτεινόταν σε όλο το μήκος του θεάτρου. Οι πληροφορίες σχετικά με την κατασκευή και τα επιμέρους τμήματά της λήφθηκαν από τον Δρ. Μανώλη Κορρέ, αρχιτέκτονα, πολιτικό μηχανικό και καθηγητή της ιστορίας της αρχιτεκτονικής στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ο οποίος είχε ασχοληθεί με την εν λόγω μελέτη και έχει παραθέσει λεπτομερείς περιγραφές της κατασκευής στο αντίστοιχο βιβλίο του (Korres, 2014). Σημαντικό να αναφερθεί ότι η ακουστική μελέτη του Ωδείου συμπεριλαμβανομένης της σκεπής, δεν είχε εξεταστεί σε προηγούμενες ακουστικές μελέτες του χώρου. Η παρούσα μελέτη αφορά στην ανάλυση των ακουστικών ιδιοτήτων του Ωδείου με και χωρίς την παρουσία κοινού στο ακροατήριο/κοίλο. Στην πρώτη περίπτωση η κατάληψη του Ωδείου φτάνει περίπου το 85%. Τέσσερις ακουστικές παράμετροι έχουν εξεταστεί: ο χρόνος αντήχησης (T30), η ευκρίνεια (C80), ο δείκτης ισχύος (G) και ο δείκτης μετάδοσης ομιλίας (STI).

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο χρόνος αντήχησης ήταν ελαφρώς υψηλότερος από τις προτεινόμενες βέλτιστες τιμές για τον τύπο των παραστάσεων που λάμβαναν χώρα κατά τη ρωμαϊκή εποχή στην οποία ανήκει το Ωδείο, αλλά εντός του εύρους προηγούμενων δημοσιευμένων δεδομένων σχετικά με προβλέψεις παρόμοιων δομών. Η ευκρίνεια στην κατειλημμένη έκδοση του Ωδείου ήταν εντός του αποδεκτού εύρους, ενώ χαμηλότερες τιμές από το αναφερόμενο βέλτιστο παρατηρήθηκαν στην περίπτωση απουσίας κοινού. Όσον αφορά στον δείκτη ισχύος του ήχου, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μη κατειλημμένη εκδοχή είναι εντός των βέλτιστων τιμών στο σύνολο του θεάτρου, ενώ η προσθήκη κοινού οδηγεί σε μείωση των τιμών κατά τη μέση και άνω περιοχή του κοίλου. Επιπλέον, παρόλο που η καταληπτότητα της ομιλίας ταξινομήθηκε σύμφωνα με την κλίμακα αξιολόγησης της διεθνούς ηλεκτροτεχνικής επιτροπής IEC 60268-16, ως «ανεπαρκής» (poor) στην έκδοση του Ωδείου χωρίς ακροατές και «επαρκής» (fair) στην κατειλημμένη έκδοση, ήταν εντός του εύρους των προβλεπόμενων τιμών για παρόμοιες κατασκευές βάση της βιβλιογραφίας. Τέλος, οι υλοποιήσεις των παραπάνω εφαρμόστηκαν και σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας που επέτρεψε την πλοήγηση στον εικονικό χώρο συμπεριλαμβανομένων οπτικοακουστικών ερεθισμάτων, με σκοπό την επίτευξη μιας ολιστικής εμπειρίας.

Κυκλική Διεργαστηριακή Μέτρηση Δείκτη Ηχομείωσης R_w

Βασίλειος Βασιλειάδης Παναγιώτης Καραμπατζάκης
Εργαστήριο Αρχιτεκτονικής Τεχνολογίας, Τμήμα Αρχιτεκτόνων, Α.Π.Θ.
vvasil@arch.auth.gr
pkar@arch.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα μέσα του έτους 2023 το Εργαστήριο Αρχιτεκτονικής Τεχνολογίας συμμετείχε σε κυκλική Διεργαστηριακή μέτρηση του δείκτη Ηχομείωσης R_w με ονομασία *AQUS-INSULATION_1* και διοργανώτρια την ισπανική εταιρία *RPS-Qualitas SL*. Στην συγκεκριμένη Διεργαστηριακή μέτρηση συμμετείχαν συνολικά 18 διαπιστευμένα Εργαστήρια από 9 διαφορετικές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Μεταξύ των Εργαστηρίων δεν υπήρχε καμία επαφή καθώς κανείς δεν γνώριζε ποια Εργαστήρια συμμετείχαν στην κυκλική Διεργαστηριακή μέτρηση εκτός της διοργανώτριας Εταιρίας.

Πανομοιότυπο δοκίμιο, δηλαδή ίδιων διαστάσεων, ίδιας σύστασης, απεστάλη και στα 18 Εργαστήρια την ίδια χρονική περίοδο. Υπήρχαν συγκεκριμένες οδηγίες τοποθέτησης του δοκιμίου στο άνοιγμα μετρήσεων του δείκτη Ηχομόνωσης. Τα Εργαστήρια είχαν την υποχρέωση διεξαγωγής πολλαπλών αναλυτικών μετρήσεων του δείκτη Ηχομόνωσης R_w του δοκιμίου που παρέλαβαν αλλά και της μέγιστης δυνατής τιμής του δείκτη R_{wmax} που ήταν δυνατό να επιτευχθεί στους θαλάμους των Εργαστηρίων.

Τηρήθηκαν αυστηρά τα πρότυπα διεξαγωγής εργαστηριακών μετρήσεων καθώς και αξιολόγησης των μετρήσεων του δείκτη ηχομείωσης

- ISO 10140-2:2021. “Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 2: Measurement of airborne sound insulation”
- ISO 717-1:2020. “Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation”

Στη συνέχεια όλα τα αποτελέσματα απεστάλησαν στην διοργανώτρια εταιρία έτσι ώστε να αξιολογηθούν και να συγκριθούν με αυτά των υπολοίπων Εργαστηρίων. Στα τέλη του έτους η διοργανώτρια εταιρία εξέδωσε την τελική συγκριτική έκθεση αξιολόγησης της κυκλικής διεργαστηριακής μέτρησης του δείκτη ηχομείωσης R_w . Στην έκθεση αυτή γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων ανά συχνότητα, καταγράφονται οι αποκλίσεις, υπολογίζονται αβεβαιότητες και τέλος αξιολογείται το κάθε εργαστήριο.

Εφαρμογές προσαρμοζόμενης ακουστικής σε αίθουσα πολλαπλών χρήσεων σχολικού συγκροτήματος στον Βόλο

Κωνσταντίνος Αμυγδαλίτης^{1,*}, Γεώργιος Καλλίρης²

¹ΕΑΠ, ²ΑΠΘ

*std131349@ac.eap.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη βιβλιογραφία ο όρος «Αίθουσα Πολλαπλών Χρήσεων, ΑΠΧ» προσδιορίζει κυρίως τους χώρους απόδοσης μουσικών έργων από συμφωνικές ορχήστρες, χωρίς όμως να αποκλείεται η χρήση του χώρου για θεατρικές παραστάσεις και συναυλίες σύγχρονου μουσικού περιεχομένου. Ο σωστός φωτισμός, ο εξαερισμός και ο κλιματισμός συγκαταλέγονται στους παράγοντες που διαμορφώνουν την αίσθηση της οικειότητας στους επισκέπτες, ωστόσο η ακουστική άνεση οφείλει να αποτελεί κατασκευαστική προτεραιότητα εφόσον η κύρια χρήση σχετίζεται με την ανθρώπινη επικοινωνία και αλληλεπίδραση.

Οι σχολικές ΑΠΧ αποτελούν μία ιδιαίτερη κατηγορία. Χρησιμοποιούνται κυρίως για το μάθημα της Φυσικής Αγωγής, παραχωρούνται για τη διεξαγωγή πολιτιστικών εκδηλώσεων και συνεδριάσεων υπό την προϋπόθεση ότι αμέσως μετά πρέπει να αποκαθίσταται η αθλητική τους χρήση και δεν επιτρέπεται η μόνιμη εγκατάσταση αντικειμένων όπως σκηνή, εξέδρα, και καρέκλες. Κυρίως όμως χαρακτηρίζονται από την εξαιρετικά κακή ακουστική τους συμπεριφορά. Τα σχολεία άλλωστε συμπεριλαμβάνονται στον κατάλογο των κτιρίων που σπάνια κατασκευάζονται λαμβάνοντας υπόψη στοιχειώδη ακουστικά πρότυπα. Η χωρική τοποθέτηση αρκετών από αυτά στον θορυβώδη πολεοδομικό ιστό μεγεθύνει τα προβλήματα έλλειψης ακουστικής άνεσης με σοβαρές επιπτώσεις στην μαθησιακή διαδικασία.

Ο σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να επανασχεδιαστεί ακουστικά μία ΑΠΧ, ενός σχολικού συγκροτήματος του Βόλου, με αξιοποίηση εφαρμογών προσαρμοζόμενης ακουστικής ώστε, αφενός να πληρούνται οι ανωτέρω όροι χρήσης, αφετέρου να βελτιωθούν οι ακουστικές συνθήκες και να προκύψει συμμόρφωση με τα διεθνή πρότυπα, ανεξάρτητα από το είδος χρήσης. Επιχειρήθηκε επίσης μία κατά προσέγγιση κοστολόγηση των προτεινόμενων παρεμβάσεων ώστε η μελέτη να μπορεί να αποτελέσει εν δυνάμει έναν ενδεικτικό οδηγό εφαρμογής.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση των υφιστάμενων συνθηκών με επιτόπιες μετρήσεις στον χώρο που περιλάμβαναν την καταγραφή του θορύβου βάθους, του κυκλοφοριακού θορύβου, την εκτίμηση του δείκτη ηχομείωσης και τη διεξαγωγή ηχοβολισμού για τη μέτρηση της κρουστικής απόκρισης ώστε να υπολογιστούν οι ακουστικές παράμετροι (T30, C50, C80, D50, STI, κτλ). Παράλληλα ο χώρος εξετάστηκε με ακουστική μοντελοποίηση σε αμιγώς υπολογιστικό περιβάλλον και η εξαγωγή των συμπερασμάτων πραγματοποιήθηκε με τη συγκριτική ανάλυση των ευρημάτων των δύο προσεγγίσεων. Στη συνέχεια έγινε επανασχεδιασμός της ΑΠΧ

σύμφωνα με τη χρήση θεωρώντας δύο ακουστικά μοντέλα: ένα για την αίθουσα ως χώρο άθλησης (κύρια χρήση) και ένα για τη φιλοξενία πολιτιστικών δραστηριοτήτων (δευτερεύουσα χρήση). Στον επανασχεδιασμό συνεκτιμήθηκαν περιορισμοί όπως η αποφυγή τοποθέτησης σταθερών κατασκευών μεγάλου όγκου, η εύκολη αλλαγή χρήσης, ακόμη και εντός της ίδιας ημέρας και η επιλογή υλικών ακουστικής διαμόρφωσης λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες κάθε χρήσης, όπως για παράδειγμα την αντοχή σε χτυπήματα, την ασφάλεια των χρηστών, την αποφυγή ακύρωσης φυσικού φωτισμού κτλ. Ο επανασχεδιασμός ολοκληρώθηκε με την πρόταση εγκατάστασης ενός βασικού συστήματος ηχοτροφοδοσίας για την υποστήριξη των εκδηλώσεων που σχετίζονται με τη δευτερεύουσα χρήση (ομιλία, θεατρικές και μουσικές παραστάσεις), εξαιτίας των διαφορετικών απαιτήσεων σε επίπεδο ακουστικής στάθμης.

Κατά την αξιολόγηση των υφιστάμενων συνθηκών καταγράφηκαν τα εξής: Στην αίθουσα, συνολικού όγκου 2358 m^3 υπάρχει εγκατεστημένη (κατά παράβαση) πρόχειρη ξύλινη εξέδρα. Ο χώρος δεν διαθέτει κανενός είδους ακουστική διαμόρφωση, δεν υπάρχουν ενεργά συστήματα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC), καλύπτεται σε ποσοστό 7% από υαλοπίνακες, και η ηχομονωτική ικανότητα του κτιρίου κρίνεται ανεπαρκής. Ο θόρυβος βάρους μετρήθηκε 46.1 dB ($L_{Aeq,40min}$), ο κυκλοφοριακός θόρυβος 61 dB ($L_{Aeq,30min}$), ενώ ο δείκτης ηχομείωσης R_w κυμάνθηκε μεταξύ 32 και 67 dB, σε διαφορετικές προσόψεις του κτιρίου. Ενδεικτικά, στο πεδίο των ακουστικών παραμέτρων ο χρόνος αντήχησης T30 βρέθηκε 3.66 s, και ο δείκτης μετάδοσης ομιλίας STI, 0.36. Η αφαίρεση της αυθαίρετης κατασκευής κατά την μοντελοποίηση του χώρου ανέδειξε την πραγματική ακουστική ταυτότητα της αίθουσας με τον χρόνο αντήχησης να διαμορφώνεται στα 4.23 s.

Οι προτεινόμενες λύσεις ακουστικής θεραπείας έδωσαν τα ακόλουθα αποτελέσματα: Για την κύρια χρήση (ήπια άθληση), ο χρόνος αντήχησης υποβιβάστηκε στα 2,02 s, ενώ ο χαρακτηρισμός του STI διαμορφώθηκε από «φτωχός» σε «επαρκής» με τιμή 0.54. Για τη δευτερεύουσα χρήση, ο χρόνος αντήχησης μπορεί να ρυθμιστεί μεταξύ των τιμών 0.79 s και 1.39 s ανάλογα με τη χρήση (ομιλία, μουσική), εξασφαλίζοντας καλή καταληπτότητα ($STI > 0.65$). Τα αποτελέσματα ικανοποιούν τις προδιαγραφές του προτύπου ANSI S12.2-2002 και του τεχνικού δελτίου BB93. Το προτεινόμενο σύστημα ηχοτροφοδοσίας εξασφάλισε τις απαιτήσεις για ομοιόμορφη κατανομή της ακουστικής στάθμης και την υποστήριξη μουσικών εκδηλώσεων.

Η έλλειψη εξειδικευμένου εξοπλισμού σε επίπεδο προδιαγραφών, βαθμονόμησης και ανάλυσης των μετρήσεων στέρησε στην παρούσα μελέτη το τεκμήριο της επιθυμητής σύμπλευσης με τα διεθνή πρότυπα. Ωστόσο θεωρείται ότι ο αρχικός σκοπός επιτεύχθηκε καθώς εκτός από το τεχνικό σκέλος, η εργασία εγείρει ζητήματα έλλειψης ακουστικού σχεδιασμού σε κτίρια που στεγάζουν υπηρεσίες εκπαίδευσης και προβάλλει την ανάγκη ανάληψης δράσης για την αλλαγή νοοτροπιών.

Ανάλυση και μοντελοποίηση παν-κατευθυντικής πηγής ήχου

Δημήτριος Καπράλος, Χρήστος Σεβαστιάδης,
Γεώργιος Παπανικολάου
Τμ. Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
kapralosd@ece.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια διπλωματικής εργασίας στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Στόχος της διπλωματικής αυτής ήταν να παρουσιάσει μια ολοκληρωμένη ανάλυση και προσομοίωση παν-κατευθυντικών πηγών ήχου, για μετρήσεις κτιριακής ακουστικής, ώστε να διερευνηθούν οι ακουστικές τους ιδιότητες. Μια παν-κατευθυντική πηγή ήχου εκπέμπει ηχητικά κύματα ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις, δημιουργώντας ένα σφαιρικό ή σχεδόν σφαιρικό διάγραμμα ακτινοβολίας. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας εξετάστηκαν δύο είδη παν-κατευθυντικών πηγών. Μέσω της ανάλυσης αυτής, η εργασία αποσκοπούσε, επίσης, στον εντοπισμό πιθανών πλεονεκτημάτων, που απορρέουν από την χρήση διόδου σε παν-κατευθυντικές πηγές ήχου.

Τα δύο στερεά που εξετάστηκαν ως υποψήφιες λύσεις ήταν το δωδεκάεδρο και το εικοσιδωδεκάεδρο. Το πρώτο προσφέρει τον χαμηλότερο συντελεστή κατευθυντικότητας, από τα υπόλοιπα στερεά, με εφαρμογή της μέγιστης γωνίας ανοίγματος [1], ενώ το δεύτερο παρέχει για τον ίδιο όγκο, ένα πιο σφαιρικό σχήμα. Για την ανάλυση των διατάξεων κλειστής πηγής και πηγής με διόδους, χρησιμοποιήθηκε ένα ημι-αναλυτικό μοντέλο το οποίο περιγράφεται από μητρώα μετάδοσης [2]. Τα μητρώα μετάδοσης περιγράφουν, ουσιαστικά, τη σχέση μεταξύ της ηχητικής πίεσης και της ηχητικής ογκομετρικής ταχύτητας στα δύο άκρα της γραμμής μετάδοσης. Στην περίπτωση της πηγής με διόδους, στο ημι-αναλυτικό μοντέλο, υπάρχουν επιπλέον μητρώα μετάδοσης για την διόδο και την ακτινοβολία που αυτή εκπέμπει.

Αρχικά, με τη χρήση του μοντέλου αυτού, προσομοιώθηκαν συστήματα πολλαπλών μεγάρων, σε κλειστά κουτιά και σε κουτιά με διόδους. Αφού διαπιστώθηκε ο τρόπος λειτουργίας των συστημάτων, προχωρήσαμε στην ανάλυση των παν-κατευθυντικών πηγών. Διερευνήθηκαν περιπτώσεις με διαφορετικές παραμέτρους, όπως ο όγκος της πηγής αλλά και τα επιμέρους χαρακτηριστικά των διόδων, όπως το πλήθος, το μήκος και τη διάμετρο. Στόχος ήταν να διερευνηθεί η επίδραση που έχουν στο σύστημα. Επιπλέον, προκειμένου να υπάρχει μια εκτίμηση της ορθότητας των αποτελεσμάτων, συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα μετρήσεων υπαρχουσών πηγών με αυτά που παράγει το μοντέλο μας.

Η εύρεση της βέλτιστης πηγής με παν-κατευθυντικό χαρακτήρα, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση αλγοριθμικών μεθόδων βελτιστοποίησης. Με τους αλγορίθμους αυτούς, εξετάστηκαν τρεις διαφορετικές πηγές: μία δωδεκάεδρη κλειστή πηγή, μία εικοσιδωδεκάεδρη κλειστή πηγή και μία εικοσιδωδεκάεδρη πηγή με διόδους. Σκοπός ήταν να βρεθεί αρχικά ποια είναι η βέλτιστη λύση για την κάθε περίπτωση, και κατά δεύτερον ποια από τις τρεις προσφέρει υψηλότερη ηχητική ισχύ. Στις πηγές αυτές, επειδή ο ήχος εκπέμπεται εξίσου προς όλες τις κατευθύνσεις, μας ενδιαφέρει πόση ακουστική ενέργεια εκπέμπεται συνολικά, ανεξάρτητα από την κατεύθυνση. Επομένως η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων έγινε με βάση τις αποκρίσεις ηχητικής ισχύος. Το εύρος συχνοτήτων για όλες οι περιπτώσεις ήταν από την ενός τρίτου οκτάβας των 50 Hz, έως αυτή των 500 Hz..

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τους αλγορίθμους αυτούς, ανέδειξαν αρχικά, πως η εικοσιδωδεκάεδρη κλειστή πηγή και η δωδεκάεδρη κλειστή πηγή προσφέρουν σχεδόν ίδια ηχητική ισχύ, με εφαρμογή της βέλτιστης λύσης. Συγκρίνοντας την ηχητική ισχύ των κλειστών πηγών και της εικοσιδωδεκάεδρης πηγής με διόδους, η ανάλυσή μας συνήγαγε ότι η ενσωμάτωση διόδων μπορεί να επιφέρει μία μικρή αύξηση στην ηχητική ισχύ του συστήματος. Στο εύρος συχνοτήτων στο οποίο εξετάστηκαν οι δύο περιπτώσεις, η αύξηση αυτή παρατηρήθηκε περίπου στα 150 Hz, όπου η μέγιστη διαφορά που υπολογίστηκε έφτανε μέχρι και τα 1 dB. Σε υψηλότερες συχνότητες η απόκριση της ηχητικής ισχύος της πηγής με διόδους παρουσιάζει σταδιακά χαμηλότερες τιμές από την αντίστοιχη των κλειστών πηγών.

Λόγω της πολύ μικρής αύξησης της ηχητικής ισχύος που προσφέρει η προσθήκη διόδων σε μία παν-κατευθυντική, αλλά και της μεγαλύτερης δυσκολίας που υπάρχει στην τοποθέτησή τους, λόγω γεωμετρίας, η υλοποίηση κλειστής παν-κατευθυντικής πηγής αποτελεί την βέλτιστη επιλογή. Ανάμεσα στο δωδεκάεδρο στερεό και το εικοσιδωδεκάεδρο, το πρώτο διευκολύνει περισσότερο την κατασκευή του, καθώς αποτελείται από λιγότερα κομμάτια, δηλαδή δώδεκα ίδια πεντάγωνα.

Αναφορές

- [1] C. Quested, A. Moorhouse, B. Piper, and B. Hu, "An analytical model for a do decahedron loudspeaker applied to the design of omni-directional loudspeaker arrays," *Applied acoustics*, vol. 85, pp. 161–171, 2014
- [2] L. Beranek and T. Mellow, *Acoustics: sound fields, transducers and vibration*. Academic Press, 2019.

Χαρακτηρισμός και έλεγχος υπερ-υψίσυχων τρεχόντων ακουστικών κυμάτων σε κρυσταλλικά στερεά με την χρήση ταχείας φασικής απεικόνισης με ns λέιζερ

Εμμανουήλ Κανιολάκης Καλούδης^{1,2,*}, Κωνσταντίνος Καλέρης^{1,2}, Ευάγγελος
Κασελούρης^{1,2}, Γιάννης Ορφανός^{1,2}, Μάκης Μπακαρέζος^{1,2}, Βασίλειος Δημητρίου^{1,2},
Μιχαήλ Ταταράκης^{1,3}, Νεκτάριος Α. Παπαδογιάννης^{1,2}

¹Ινστιτούτο Φυσικής Πλάσματος και Λείζερ, Ελληνικό Μεσογειακό
Πανεπιστήμιο, Τρία Μοναστήρια, 74100 Ρέθυμνο

²Εργαστήριο Φυσικής Ακουστικής και Οπτοακουστικής, Τμήμα Μουσικής
Τεχνολογίας και Ακουστικής, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο, 74100
Ρέθυμνο

³Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο,
73133 Χανιά

*mkaniolakis@hmu.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την εργασία παρουσιάζονται μέθοδοι και αποτελέσματα χαρακτηρισμού και απεικόνισης τρεχόντων ακουστικών κυμάτων μέσα σε κρυστάλλους. Για τον ακριβή ποσοτικό και ποιοτικό χαρακτηρισμό και έλεγχο της έντασης, της συχνότητας και της χωρικής κατανομής των τρεχόντων ακουστικών κυμάτων απαραίτητη προϋπόθεση είναι η απεικόνιση τους με υψηλή ευκρίνεια και ταχύτητα, προκειμένου να αποτυπώνονται στατικά. Για τον σκοπό αυτό κατάλληλες μέθοδοι οπτικής απεικόνισης αποτελούν η συμβολομετρία λέιζερ [1,2] και η φασική απεικόνιση [3]. Στη συμβολομετρία, πχ. με χρήση συμβολόμετρου Mach-Zehnder, η χωρική κατανομή των ακουστικών κυμάτων απεικονίζεται μέσω της διαφοράς φάσης που αποκτά το φως όταν διασχίζει περιοχές του κρυστάλλου με διαφορετικό δείκτη διάθλασης. Πιο συγκεκριμένα, η αρχικά ομοιογενής πυκνότητα του κρυστάλλου διαμορφώνεται δυναμικά από τα τρέχοντα ακουστικά κύματα, τα οποία μετατοπίζουν τα κρυσταλλικά επίπεδα και δημιουργούν περιοχές υψηλής και χαμηλής χωρικής πυκνότητας στη διεύθυνση διάδοσης τους. Η φασική ανομοιογένεια της φωτεινής δέσμης που διέρχεται από τον κρύσταλλο (probe beam-δέσμη ελέγχου) προκαλεί παραμόρφωση των κροσσών συμβολής, η οποία με κατάλληλη επεξεργασία μας δίνει πληροφορία για την αλλαγή του δείκτη διάθλασης λόγω των ακουστικά διαμορφωμένων κρυσταλλικών επιπέδων. Η μέθοδος έχει ικανοποιητική διακριτική ικανότητα (της τάξης των μερικών nm) αλλά παρουσιάζει σχετικά υψηλή πολυπλοκότητα ως προς την βελτιστοποίησή της. Η οπτική φασική απεικόνιση είναι εναλλακτική μέθοδος απεικόνισης ανομοιογενειών στον δείκτη διάθλασης υλικών, η οποία βρίσκει εφαρμογή μεταξύ άλλων στην απεικόνιση ακουστικών κυμάτων. Η μέθοδος βασίζεται στην εκτροπή του φωτός λόγω της περιοδικής διαμόρφωσης του δείκτη διάθλασης κάθετα στην διάδοση της δοκιμαστικής οπτικής δέσμης, όπως περιεγράφηκε προηγουμένως [1,4]. Όταν, η οπτική δέσμη διαδίδεται διαμέσου του κρυστάλλου, η κλίση του δείκτη διάθλασής αναγκάζει το φως να εκτραπεί λόγω του φαινομένου της διάθλασης [3,5]. Η εκτροπή αυτή απεικονίζεται ως ανομοιομορφία στην κατανομή της έντασης του φωτός πάνω στην οθόνη μιας κάμερας υψηλής ευκρίνειας [6,7]. Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι

επιτρέπει την ανίχνευση ακουστικών κυμάτων με υψηλή διακριτική ικανότητα, της τάξης των nm, με χρήση σχετικά απλών πειραματικών διατάξεων.

Εδώ παρουσιάζονται αποτελέσματα από την ανίχνευση και απεικόνιση ακουστικών κυμάτων σε κρυστάλλους χαλαζία (Quartz) με την μέθοδο οπτικής απεικόνισης φάσης αλλά και με συμβολομετρία Mach-Zehnder. Διαμήκη ημιτονοειδή ακουστικά κύματα παράγονται από ειδικά κατασκευασμένους πιεζοηλεκτρικούς μετατροπείς σε εύρος συχνοτήτων από 20 έως 60 MHz. Τα κύματα ταξιδεύουν μέσα στον κρύσταλλο χαλαζία (Quartz) με ταχύτητα 5570 m/s διαμορφώνοντας δυναμικά τα κρυσταλλικά επίπεδα. Ένα παλμικό σύστημα λέιζερ Nd:YAG, με παλμούς διάρκειας 6 ns και κεντρικό μήκος κύματος στα 1064 nm, χρησιμοποιείται για την απεικόνιση των τρέχοντων ακουστικών κυμάτων. Η χρήση παλμικού λέιζερ επιτρέπει την στατική απεικόνιση των τρεχόντων ακουστικών κυμάτων, καθώς στην διάρκεια των 6ns που διαρκεί ο κάθε παλμός το κύμα έχει ταξιδέψει μέσα στο Quartz 33μm που είναι αρκετά μικρότερο από το μήκος κύματος των τρεχόντων κυμάτων. Για την περίπτωση της ταχείας φασικής απεικόνισης παρουσιάζεται, επίσης υπολογιστικό μοντέλο που επιτρέπει την ποσοτικοποίηση διαφόρων χαρακτηριστικών των ακουστικών κυμάτων, όπως η ακουστική πίεση και η γωνία εκτροπής του φωτός [10].

Απώτερος σκοπός της βελτιστοποίησης του χαρακτηρισμού των ακουστικά διαμορφωμένων κρυστάλλων είναι η χρήση τους σε διάφορα επιστημονικά πεδία, όπως στις φυσικές επιστήμες και η ιατρική [8]. Επίσης, προτείνονται ως πηγές ακτίνων γ με ενέργεια MeV με εξαιρετική απόδοση και χαμηλό κόστος [9]. Συνεπώς, η ικανότητα αποτελεσματικού χαρακτηρισμού τους είναι απαραίτητη προϋπόθεση για οποιαδήποτε περαιτέρω πρόοδο στην ανάπτυξη των εφαρμογών τους.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Pawar, D., Rao, C. N., Choubey, R. K., & Kale, S. N., Mach-Zehnder interferometric photonic crystal fiber for low acoustic frequency detections. *Applied Physics Letters*, 108(4) (2016).
- [2] Paltauf, G., Nuster, R., Haltmeier, M., & Burgholzer, P., Photoacoustic tomography using a Mach-Zehnder interferometer as an acoustic line detector. *Applied optics*, 46(16), 3352-3358 (2007).
- [3] Kudo, N., Sanbonmatsu, Y., & Shimizu, K., Microscopic visualization of high-frequency ultrasound fields using a new method of Schlieren photography. In *2010 IEEE International Ultrasonics Symposium* (pp. 829-832). IEEE (2010).
- [4] Kudo, N., A simple technique for visualizing ultrasound fields without Schlieren optics. *Ultrasound in medicine & biology*, 41(7), 2071-2081. (2015).
- [5] Kudo, N., Optical methods for visualization of ultrasound fields. *Japanese Journal of Applied Physics*, 54(7S1), 07HA01(2015).
- [6] Kudo, N. Experimental observation of an acoustic field. *Handbook of Ultrasonics and Sonochemistry*, 207-238 (2016).
- [7] Grégoire de Izarra and Charles de Izarra *Eur. J. Phys.* 33 1821 (2012).
- [8] A. V. Korol, A. V. Solov'ov, W. Greiner, *Channeling and radiation in periodically bent crystals*. Springer Berlin Heidelberg, (2014).

- [9] A.V. Korol, A.V. Solov'yov, *Crystal-based intensive gamma-ray light sources (Topical Review)*, *Eur. Phys. J. D*, vol. 74, 201 (2020).
- [10] E. Kaniolakis, Kaloudis, K. Kaleris, E. Kaselouris, V. Dimitriou, M. Bakarezos, M. Tatarakis, N. A. Papadogiannis, *Progress on controlled multi-MHz acoustic excitation for ultrarelativistic positron beam crystalline undulators*, *DYSON conference, Tbilisi (2024)*.

Προσομοίωση ακουστικής απόκρισης χώρου για αυθαίρετη επιλογή θέσης δέκτη-πηγής

Ρήγας Κωτσάκης^{1,*}, Χρήστος Σεβαστιάδης², Νικόλαος Βρύζας², Λάζαρος Βρύσης²,
Χαράλαμπος Δημούλας², Γεώργιος Καλλιρής²,

¹Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος

²Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

*rkotsakis@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιείται στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Έργου *Searchable multi-dimensional Data Lakes supporting Cognitive Film Production & Distribution for the Promotion of the European Cultural Heritage*, το οποίο έχει ως στόχο την παροχή εργαλείων για την υποστήριξη των εργασιών κινηματογραφικής παραγωγής σε όλα τα στάδια προπαραγωγής, παραγωγής και μεταπαραγωγής. Μεταξύ άλλων, παρέχεται στους ενδιαφερόμενους χρήστες (κινηματογραφικοί παραγωγοί, σκηνοθέτες, υπεύθυνοι ήχου κλπ.) η δυνατότητα εικονικής πλοήγησης σε χώρο τόσο οπτικά μέσω του τρισδιάστατου μοντέλου, όσο και ηχητικά, μέσω μιας ηχητικής προσομοίωσης της απόκρισης του χώρου για διαφορετικές θέσεις πηγής και δέκτη εντός του χώρου. Η χρησιμότητα αυτής της λειτουργικότητας είναι να παρέχει μια ενδεικτική πληροφορία σχετικά αφενός με την καταλληλότητα του χώρου για πραγματοποίηση ηχογραφήσεων, αφετέρου για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του για την υποβοήθηση του ηχητικού σχεδιασμού.

Η ηχητική προσομοίωση βασίζεται στην πραγματοποίηση ηχογραφήσεων σε έναν χώρο. Οι χώροι ενδιαφέροντος στο πλαίσιο του συγκεκριμένου έργου αποτελούν κατά κύριο λόγο χώρους πολιτιστικής κληρονομιάς. Στη συνήθη περίπτωση, τέτοιοι χώροι δεν προσφέρουν παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και η διαδικασία απαιτεί δυνατότητες φορητότητας. Επιπλέον, στόχος είναι η δημιουργία μεγάλων και δυναμικών αποθετηρίων με τη συνδρομή πολλών διαφορετικών χρηστών. Οι παραπάνω απαιτήσεις δικαιολογούν έναν συμβιβασμό στην πιστότητα και την ακρίβεια των μετρήσεων, οι οποίες πρέπει να μπορούν να εκτελεστούν από μη εξειδικευμένους χρήστες και με προσβάσιμο εξοπλισμό.

Σε αυτή την κατεύθυνση, έχει επιλεγεί σαν μεθοδολογία η χρήση ενός φορητού εγγραφέα με μικρόφωνα σε διάταξη *Soundfield* που επιτρέπει την εγγραφή και κωδικοποίηση τόσο σε κωδικοποίηση *B-Format*, όσο και τη χρήση μόνο της πανκατευθυντικής συνιστώσας *W* του *B-Format*. Ως πηγή ήχου χρησιμοποιείται μία φορητή πηγή ήχου που αναπαράγει ημιτονοειδής σαρώσεις με διαφορετικά χαρακτηριστικά, καθώς και μπαλόνια για κρουστικές διεγέρσεις. Οι σαρώσεις δημιουργούνται από το λογισμικό *REW* με χρήση διαφορετικών παραμετροποιήσεων ως προς την ταχύτητα σάρωσης.

Κατά την ηχογράφηση στον χώρο επιλέγονται συγκεκριμένες θέσεις της πηγής και του εγγραφέα. Οι θέσεις επιλέγονται εμπειρικά, με βάση τα πιο χαρακτηριστικά του

χώρου. Επιλέγονται οι πιο πιθανές θέσεις πηγής και ακροατή για ένα τυπικό σενάριο κινηματογράφησης. Ωστόσο, στόχος είναι να δοθεί στον χρήστη η δυνατότητα να επιλέξει σχετικές θέσεις πηγής και χρήστη οι οποίες δεν έχουν προβλεφθεί κατά τη διαδικασία των ηχογραφήσεων. Σε αυτή την κατεύθυνση, πρέπει να βρεθεί ένα μοντέλο προσομοίωσης που να υπολογίζει την απόκριση σε κάθε θέση πηγής-δέκτη με χρήση των καταγεγραμμένων θέσεων. Αυτή η μεθοδολογία εφαρμόστηκε για την καταγραφή και τη μοντελοποίηση συγκεκριμένων χώρων που σχετίζονται με την πολιτιστική κληρονομιά στην Κύπρο. Σε κανέναν από τους επιλεγμένους χώρους δεν υπήρχε η δυνατότητα ηλεκτρικής παροχής, οπότε η απαίτηση της φορητότητας ήταν δεδομένη.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται μια διπλή διερεύνηση. Αφενός διερευνάται η επίδραση των διαφορετικών σημάτων διέγερσης, δηλαδή η αναπαραγωγή των ημιτονοειδών σαρώσεων με διαφορετικά χαρακτηριστικά, καθώς και η χρήση κρουστικών διεγέρσεων (π.χ. μπαλόκι). Παράλληλα, εξετάζεται πειραματικά η μεθοδολογία προσομοίωσης της απόκρισης σε συγκεκριμένη θέση πηγής-δέκτη με βάση της υπόλοιπες. Για αυτό τον λόγο πραγματοποιείται πείραμα σε ελεγχόμενο χώρο, όπου γίνεται η καταγραφή για 10 διαφορετικές θέσεις πηγής και δέκτη σύμφωνα με τη μεθοδολογία που παρουσιάστηκε. Στη συνέχεια, η μία θέση θεωρείται άγνωστη και υπολογίζεται έχοντας ως είσοδο της υπόλοιπες 9. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με την καταγεγραμμένη απόκριση για τη δεδομένη θέση πηγής-δέκτη.

Inverse characterization of sound absorbing media using one dimensional analytical Biot's poroelasticity theory solutions

Christos Panagiotopoulos^{1,2*}, Luis Sanchez-Ricart³

¹Pythmen R&D, Custom Design of Impedance Tubes & Laboratory Equipment for Special Acoustic Applications.

²Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki.

³Departamento de Estructuras y Construcción, Universidad Politécnica de Cartagena.

*Christos.Panagiotopoulos@pythmen.com

ABSTRACT

Design of vibro-acoustic systems including poroelastic material, with main aim the reduction if not cancellation of noise, require the knowledge of several material parameters. These material parameters are possible to be defined using some regular test in a standard acoustic laboratory. Here, we study an inverse technique for the characterization of poroelastic materials based on Biot's theory of poroelasticity. Experimental setups for such a procedure usually consist of some configuration of several sequentially positioned layers each of it in the general case could be a poroelastic medium, some fluid or an elastic solid. As an indicative example we mention a configuration formed by a fluid, two porous layers saturated by a fluid, a solid layer and a second fluid. The configurations considering here result in an one-dimensional problem in the longitudinal direction, free of external forces per unit volume, stationary, and in the frequency domain ω . The problem represents the ideal conditions of the Kundt's or impedance tube. In our work we take advantage of analytical solutions for the one-dimensional case of the poroelasticity's boundary value problem. Based on previous works of one of the authors (LSR), the macroscopic model is valid from low to high frequencies; therefore, the analytical solutions are valid from low to high frequencies. Utilizing these solutions we develop a java-based toolkit that solves general case of an indefinite finite number of layers multidomain problem and calculates acoustical indicators, e.g. the surface impedance, the reflection coefficient or the absorption coefficient, important for poroelastic material characterization in vibro-acoustic applications. Following that we set a minimization problem in order to approximate the material parameters using the measured acoustical indicators. For the minimization procedure we use an evolutionary algorithm, namely the differential evolution, which is a gradient free algorithm appropriate for global optimization. Finally, examples that validate the current approach are presented.

Ανάπτυξη μοντέλου πρόλεξης της κυματομορφής κρότου υπερηχητικού αεροσκάφους στο έδαφος με είσοδο τις συνθήκες πτήσης

Πέτρος Νικολάου. Πηνελόπη Μενούνου
Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Πατρών, Πανεπιστημιούπολη Πατρών, 26504, Πάτρα
petros7nikolaou@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι υπερηχητικοί κρότοι (*sonic booms*) είναι κρότοι υψηλής έντασης που δημιουργούνται κατά την πτήση υπερηχητικών αεροπλάνων, διαδίδονται στην ατμόσφαιρα μέχρι το έδαφος και μπορεί να προκαλέσουν ηχορύπανση ή και υλικές ζημιές. Οι συνθήκες της πτήσης ενός υπερηχητικού αεροσκάφους, όπως ταχύτητα πτήσης, γωνία προσβολής και υψόμετρο πτήσης επηρεάζουν τη δημιουργία ενός υπερηχητικού κρότου γύρω από το αεροσκάφος και κατ' επέκταση την κυματομορφή του κρότου που θα φτάσει στο έδαφος. Στην παρούσα εργασία μελετάται ο τρόπος δημιουργίας του υπερηχητικού κρότου γύρω από το αεροπλάνο και διάδοσης του στην ατμόσφαιρα μέχρι το έδαφος. Επιπλέον παρουσιάζεται ένα νευρωνικό δίκτυο το οποίο, έπειτα από κατάλληλη εκπαίδευση, δέχεται ως είσοδο τις συνθήκες πτήσης και επιστρέφει ως έξοδο την κυματομορφή στο έδαφος.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας δημιουργήθηκε ένα προκαταρκτικό σχέδιο ενός υπερηχητικού επιβατηγού αεροσκάφους και μελετήθηκε ο υπερηχητικός του κρότος. Η μελέτη του υπερηχητικού κρότου περιλαμβάνει 2 φάσεις: i) τη δημιουργία του κρότου κοντά στο αεροπλάνο όπου η κυματομορφή του διαμορφώνεται από την υπερηχητική ροή γύρω από το αεροπλάνο, ii) την διάδοση του κρότου μέσα στην ατμόσφαιρα όπου η κυματομορφή του αλλάζει λόγω μη γραμμικότητας καθώς και των μηχανισμών απορρόφησης της ατμόσφαιρας.

Για τον κρότο κοντά στο αεροπλάνο χρησιμοποιήθηκε η θεωρία του *Whitham* (*Whitham 1952*). Με βάση τη θεωρία αυτή η κυματομορφή του κρότου κοντά στο αεροπλάνο προκύπτει από τον υπολογισμό ενός ολοκληρώματος κατά μήκος του άξονα διατοιχισμού (διαμήκη άξονα) του αεροπλάνου. Η υπό ολοκλήρωση ποσότητα περιλαμβάνει τη δεύτερη παράγωγο της διατομής του αεροπλάνου σε κάθε θέση του

διαμήκη άξονα συν τη δεύτερη παράγωγο μιας ισοδύναμης διατομής που αντιστοιχεί στην τιμή της δύναμης άντωσης σε κάθε θέση του διαμήκη άξονα. Η διατομή κατά το διαμήκη άξονα υπολογίστηκε από τη σχεδίαση του αεροπλάνου ενώ η ισοδύναμη διατομή που αντιστοιχεί στην άντωση με βάση τη θεωρία του Carlson (Carlson 1971). Το άθροισμα των συναρτήσεων των διατομών ως προς το διαμήκη άξονα δεν είναι 2 φορές παραγωγίσιμο. Συνεπώς, ο αριθμητικός υπολογισμός της δεύτερης παράγωγου του αθροίσματος των 2 διατομών επιστρέφει απειρισμούς με αποτέλεσμα το ολοκλήρωμα να αποκλίνει. Διάφοροι τρόποι έχουν προταθεί για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος όπως η εισαγωγή συναρτήσεων Bessel στην υπό ολοκλήρωση ποσότητα (Whitham 1952), (Lighthill 1949). Στην παρούσα εργασία προτείνεται μία εναλλακτική λύση. Το άθροισμα των διατομών προσεγγίζεται τμηματικά από πολυώνυμα. Τα όρια του κάθε τμήματος τοποθετούνται εκεί όπου υπάρχει ασυνέχεια της 2^{ης} παραγωγού. Κάτι τέτοιο συμβαίνει στις αλλαγές γεωμετρίας όπως αρχή πτέρυγας ή αρχή ουραίου κ.α. Κατ' επέκταση το ολοκλήρωμα που δίνει την κυματομορφή υπολογίζεται αναλυτικά και τμηματικά από τα επιμέρους ολοκληρώματα που δημιουργούνται.

Για την διάδοση του κρότου στην ατμόσφαιρα χρησιμοποιείται υπάρχων κώδικας ο οποίος λύνει τις μη γραμμικές εξισώσεις Burgers για διάδοση σε μη ομογενή ατμόσφαιρα και λαμβάνει υπόψιν του το θερμοιζώδες καθώς και τους μηχανισμούς μοριακής χαλάρωσης του οξυγόνου και του αζώτου.

Στην παρούσα εργασία αναπτύσσεται ένα μοντέλο πρόλεξης της κυματομορφής του κρότου στο έδαφος το οποίο έχει ως είσοδο την ταχύτητα πτήσης, τη γωνία προσβολής και το ύψος της πτήσης. Το μοντέλο βασίζεται σε ένα νευρωνικό δίκτυο FCNN (fully connected neural network), το οποίο έχει εκπαιδευτεί με δεδομένα από πολλούς συνδυασμούς εισόδων και εξόδων. Τα δεδομένα προκύπτουν από την εύρεση του ολοκληρώματος της κυματομορφής κοντά στο αεροσκάφος με βάση τη θεωρία του Whitham και την προσομοίωση της διάδοσης αυτού στην ατμόσφαιρά μέσα από τις εξισώσεις Burgers. Το πλεονέκτημα του νευρωνικού έναντι των παραδοσιακών μεθόδων είναι ότι αφού εκπαιδευτεί μπορεί να δώσει προλέξεις του υπερηχητικού κρότου σε πραγματικό χρόνο.

Ταυτοποίηση πλαστικής παραμόρφωσης, σχηματισμού ρωγμών και εξέλιξης αστοχίας σε χάλυβα με την μέθοδο της Ακουστικής Εκπομπής

N. Αγγελόπουλος¹, Θ. Τσένης¹, Β. Καπάτος^{1,*}

¹Ινστιτούτο Βιώσιμης Κινητικότητας & Δικτύων Μεταφορών (I.MET.) /

Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ)

*vkappatos@certh.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία διερευνάται η χρησιμοποίηση της μεθόδου της Ακουστικής Εκπομπής (ΑΕ) για την ανίχνευση πλαστικής παραμόρφωσης, σχηματισμού ρωγμών, και εξέλιξης της αστοχίας σε δομικό χάλυβα κατασκευών. Ο προσδιορισμός των σημάτων ΑΕ που σχετίζονται με αστοχία και έναρξη πλαστικής παραμόρφωσης αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην ανάπτυξη και εφαρμογή συστημάτων παρακολούθησης δομικής ακεραιότητας (Structural Health Monitoring - SHM) σε κρίσιμες υποδομές. Κατά συνέπεια, στα πλαίσια της προβλεπτικής συντήρησης, είναι δυνατή η έγκαιρη πρόβλεψη αστοχιών, ενισχύοντάς σημαντικά την ασφάλεια, την αξιοπιστία και τη μακροβιότητα των υποδομών.

Στην συγκεκριμένη εργασία ακολουθήθηκε η παρακάτω μεθοδολογία: Για τον προσδιορισμό των κύριων χαρακτηριστικών των σημάτων ΑΕ που σχετίζονται με πλαστική παραμόρφωση, σχηματισμού ρωγμών και εξέλιξης αστοχίας, το διάγραμμα της χρονικής εξέλιξης της ΑΕ κατά την διάρκεια των μηχανικών δοκιμών απεικονίστηκε μαζί με τη καμπύλη Τάσης – Παραμόρφωσης. Η καταγεγραμμένη δραστηριότητα ΑΕ διαχωρίστηκε σε διακριτές ομάδες σημάτων που αντιστοιχούν στα στάδια ελαστικής παραμόρφωσης, ορίου διαρροής, πλαστικής παραμόρφωσης, και αστοχίας που παρατηρήθηκαν στην καμπύλη Τάσης-Παραμόρφωσης. Για την ανάλυση της κατανομής της έντασης των σημάτων ΑΕ κατά τα παραπάνω στάδια, αξιοποιήθηκε η ενέργεια των αντίστοιχων σημάτων, καθώς συμβάντα αστοχίας και μεταβολής στη δομή του υλικού συνοδεύονται από υψηλές τιμές ενέργειας σε σχέση με τον ανεπιθύμητο θόρυβο που μπορεί επίσης να καταγραφεί κατά την δοκιμή ΑΕ. Υψηλότερη ενέργεια διαπιστώθηκε στο όριο διαρροής του υλικού όπου πραγματοποιείται η μετάβαση από την αντιστρέψιμη ελαστική παραμόρφωση στη μόνιμη πλαστική παραμόρφωση. Στη συνέχεια, η παραγόμενη ενέργεια στα σήματα της ΑΕ μειώνεται κατά το στάδιο της πλαστικής παραμόρφωσης, ενώ στη συνέχεια αυξάνεται κατά τον σχηματισμό και εξέλιξη ρωγμών, καθώς και κατά την τελική αστοχία του δείγματος. Κατόπιν ανάλυσης των καταγεγραμμένων σημάτων ΑΕ διαπιστώθηκε ότι το κάθε στάδιο, από την ελαστική παραμόρφωση έως την τελική θραύση, χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένα μοτίβα σημάτων. Αυτή η ανάλυση οδήγησε στον προσδιορισμό των κυρίως χαρακτηριστικών των σημάτων ΑΕ που σχετίζονται με την ελαστική παραμόρφωση, πλαστική παραμόρφωση, τον σχηματισμό και διάδοση

ρωγμών, καθώς και την τελική αστοχία. Η κατηγοριοποίηση των σημάτων ΑΕ μπορεί να παρέχει σημαντική πληροφορία σχετικά με την συμπεριφορά του υλικού υπό συνθήκες εντατικής φόρτισης, επιτρέποντας τον προσδιορισμό και τον εντοπισμό σε πραγματικό χρόνο την έναρξη και εξέλιξη της αστοχίας υπό συνθήκες εντατικής φόρτισης. Κατά την εκκίνηση και εξέλιξη αστοχίας παρατηρήθηκε έντονη δημιουργία σημάτων ΑΕ υψηλής ενέργειας που σχετίζονται με την έναρξη της πλαστικής παραμόρφωσης και διάδοσης ρωγμών.

Επομένως, με την ταυτοποίηση και την εξαγωγή των κυρίως χαρακτηριστικών των σημάτων ΑΕ που σχετίζονται με τα συμβάντα αυτά, είναι δυνατή η έγκαιρη διάγνωση και πρόβλεψη εκτεταμένης πλαστικής παραμόρφωσης και ρηγμάτωσης στο υλικό, πριν εξελιχθούν σε κρίσιμο βαθμό και προκαλέσουν στατική αστάθεια και ξαφνική αστοχία σε μια κατασκευή.

Μελέτη ηχηρότητας υπερηχητικού κρότου (sonic boom) στο έδαφος και σε αστικό περιβάλλον

Πέτρος Νικολάου, Πηνελόπη Μενούνου
Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών,
Πανεπιστημιούπολη Πατρών, 26504, Πάτρα
menounou@upatras.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι υπερηχητικοί κρότοι (sonic booms) είναι κρότοι υψηλής έντασης που δημιουργούνται κατά την πτήση υπερηχητικών αεροπλάνων, διαδίδονται στην ατμόσφαιρα μέχρι το έδαφος και μπορεί να προκαλέσουν ηχορύπανση ή και υλικές ζημιές. Η γεωμετρία ενός υπερηχητικού αεροσκάφους και οι συνθήκες της πτήσης, όπως ταχύτητα πτήσης, γωνία προσβολής και υψόμετρο πτήσης επηρεάζουν τη δημιουργία του υπερηχητικού κρότου γύρω από το αεροσκάφος και κατ' επέκταση την κυματομορφή του κρότου που θα φτάσει στο έδαφος. Σε άλλη εργασία στο ίδιο συνέδριο οι συγγραφείς έχουν αναπτύξει ένα μοντέλο το οποίο προβλέπει τον υπερηχητικό κρότο στο έδαφος ανάλογα με τις συνθήκες πτήσης. Σε αυτήν την εργασία οι συγγραφείς χρησιμοποιούν το ήδη υπάρχον μοντέλο για να συνδέσουν τις συνθήκες πτήσης και τη γεωμετρία του αεροσκάφους με τους συντελεστές ηχηρότητας. Η μελέτη αποσκοπεί στην επίλυση του προβλήματος θορύβου των υπερηχητικών αεροσκαφών.

Η εργασία αυτή χρησιμοποιεί ως δεδομένα τις κυματομορφές υπερηχητικών κρότων. Υπάρχουν διάφοροι συντελεστές ηχηρότητας στη βιβλιογραφία όπως είναι η χρήση φίλτρων A, B, C ή D. Σε αυτήν την εργασία επιλέγεται η μέθοδος του Stevens (Stevens 1972). Σε αυτήν τη μέθοδο ο υπολογισμός του συντελεστή ηχηρότητας ξεκινάει με την εύρεση του μετασχηματισμού Fourier (FFT) (φάσμα) της κυματομορφής του υπερηχητικού κρότου. Στη συνέχεια βρίσκουμε την ενέργεια του φάσματος που υπάρχει σε κάθε τρίτο-οκτάβα συχνοτήτων (ολοκλήρωμα του φάσματος στο τετράγωνο με όρια τις ακραίες συχνότητες της τρίτο-οκτάβας). Από την ενέργεια με βάση ειδική εξίσωση προκύπτουν τα dB που αντιστοιχούν σε κάθε τρίτο-οκτάβα. Τα dB αυτά μετασχηματίζονται σε μία ισοδύναμη τιμή η οποία ανάγεται σε μία τρίτο-οκτάβα αναφοράς την 3150Hz. Η τρίτο-οκτάβα αναφοράς επιλέγεται με βάση την αντίληψη του ήχου από το ανθρώπινο αυτί. Στην συνέχεια πραγματοποιείται ένας δεύτερος μετασχηματισμός. Τα dB που προέκυψαν από προηγούμενο μετασχηματισμό μετατρέπονται σε μία άλλη μονάδα τα sone. Ένα Sone είναι θόρυβος 32dB τον οποίο προκαλεί πηγή συχνότητας 3150Hz. Αφού γίνουν οι μετασχηματισμοί σε sone για την κάθε τρίτο-οκτάβα με κατάλληλους αθροιστικούς τύπους προκύπτει η συνολική ηχηρότητα σε sone και dB.

Με τον παραπάνω τρόπο η ηχηρότητα υπολογίζεται με βάση την κυματομορφή του κρότου που φτάνει στο έδαφος. Η κυματομορφή αυτή ωστόσο θα αλλάξει και θα αλλοιωθεί όταν έρθει σε επαφή με τις γεωμετρίες των κτιρίων ενός αστικού περιβάλλοντος. Η αλλοίωση αυτή προκύπτει από την ανάκλαση του κρότου στις επιφάνειες αλλά και από την περίθλαση του κρότου στις ακμές των κτιρίων. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται ένας υπάρχον αλγόριθμος (Μενουπου 2023) ο οποίος μας επιτρέπει να προβλέψουμε την κατοπτρική ανάκλαση και την περίθλαση του υπερηχητικού κρότου γύρω από κτίρια. Ο αλγόριθμος υπολογίζει την απόκριση σε μοναδιαία βαθμίδα του χώρου διάδοσης και στη συνέχεια χρησιμοποιεί συνέλιξη με την παράγωγο της κυματομορφής για να προβλέψει το πώς η γεωμετρία αλλάζει την κυματομορφή. Το προσπίπτον κύμα θεωρείται επίπεδο. Οι αποκρίσεις των ανακλάσεων σε μοναδιαία βαθμίδα είναι επίσης μοναδιαίες βαθμίδες με διαφορετικό χρόνο άφιξης ανάλογα με την απόσταση του δέκτη από την ανακλούσα επιφάνεια. Οι αποκρίσεις των περιθλάσεων έχουν επίσης διαφορετικούς χρόνους άφιξης και η μορφή τους προκύπτει από αναλυτική λύση που αναπτύχθηκε σε προηγούμενη δουλειά των συγγραφέων για περίθλαση επίπεδων κυμάτων.

Ο παραπάνω αλγόριθμος εφαρμόστηκε σε μια γεωμετρία σπιτιού. Ο συντελεστής ηχηρότητας υπολογίστηκε για συγκεκριμένη γεωμετρία αεροσκάφους σε διαφορετικές συνθήκες πτήσης με και χωρίς τη γεωμετρία του σπιτιού παρούσα.

Ανίχνευση Συμβάντων Ακουστικής Εκπομπής σε Μεταλλικές Πύλες Δεξαμενών Ανύψωσης σε Ποτάμια

Θ. Τσένης¹, Ν. Αγγελόπουλος¹, Β. Καππάτος^{1,*},

¹Ινστιτούτο Βιώσιμης Κινητικότητας & Δικτύων Μεταφορών (Ι.ΜΕΤ.) /

Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ)

*vkappatos@certh.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανίχνευση συμβάντων ακουστικής εκπομπής μικρορωγμών αποτελεί κρίσιμο στοιχείο της παρακολούθησης και έγκαιρης ανίχνευσης στατικών δομικών αστοχιών σε υποδομές. Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στην ανίχνευση συμβάντων μικρορωγμών ακουστικής εκπομπής σε μεταλλικές πύλες δεξαμενών ανύψωσης σε ποτάμια στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού έργου CRISTAL. Το ευρωπαϊκό έργο CRISTAL αποσκοπεί στην αύξηση του όγκου φορτίων που μεταφέρονται μέσω εσωτερικών υδάτινων οδών κατά τουλάχιστον 20% και στη βελτίωση της αξιοπιστίας της μεταφοράς μέσω ποταμών κατά 80% σε σχέση με την παρούσα κατάσταση. Το έργο θα υλοποιηθεί σε τρεις πιλοτικές χώρες στην Ιταλία, την Πολωνία και Γαλλία. Προς επίτευξη των προηγούμενων στόχων η αύξηση της ανθεκτικότητας των μεταφορικών διαδρόμων απαιτείται. Προς τούτο ο έλεγχος της καλής λειτουργίας των μεταλλικών πυλών σε δεξαμενές ανύψωσης σε ευρωπαϊκά ποτάμια επιβάλεται, ενώ η χρήση ανίχνευσης ακουστικών εκπομπών από τις μεταλλικές πύλες επιλέχθηκε. Μέσα σε αυτό το περιεχόμενο δράσεων και πλαίσιο του CRISTAL, κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας επισκεφτήκαμε δεξαμενές ανύψωσης τόσο στην Γαλλία αλλά και Ιταλία όπου οι μεταφορές μέσω ποταμών ακμάζουν, ενώ ένα από τα κρίσιμα σημεία του έργου. Πιο συγκεκριμένα, στα πλαίσια αυτής της έρευνας αναπτύχθηκε νευρωνικό μοντέλο αποθρομβοποίησης ακουστικών εκπομπών προερχόμενες από τις μεταλλικές πύλες στις δεξαμενές ανύψωσης με τη χρήση κατάλληλου καταγραφέα ακουστικής εκπομπής υψηλής ευαισθησίας. Το σύνολο του χώρου εκμάθησης του νευρωνικού μοντέλου αποτελούν καταγραφές των ακουστικών εκπομπών κατά τη διάρκεια κανονικής λειτουργίας των μεταλλικών πυλών αλλά και χρήση φορητής συσκευής παραγωγής κυματομορφών υπερήχων με την πηγή κοντά και γύρω σε ένα πιεζοηλεκτρικό αισθητήριο ακουστικής εκπομπής και με εύρος συχνοτήτων κυματομορφής από 30-80kHz, μαζί με την παραδοσιακή προσομοίωση μικρορωγμών με τη χρήση μολυβιού και τη χρήση της τεχνικής του σπασίματος μυτών ενός μηχανικού μολυβιού. Το νευρωνικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη έρευνα είναι του είδους κωδικοποιητή-αποκωδικοποιητή (autoencoder), το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως σε αποθρομβοποιήσεις και έμμεση εξαγωγή χαρακτηριστικών σήματος, με την προσθήκη μιας ακόμα εξόδου φέρουσα του επιπέδου εμπιστοσύνης ότι πράγματι πρόκειται για ένα συμβάν ακουστικής εκπομπής από μικρορωγή. Η κάθε εγγραφή είσοδος του νευρωνικού αποτελείται από 4096 δείγματα, με έξοδο την αποθρομβοποιημένη ακουστική εγγραφή αλλά και το επίπεδο εμπιστοσύνης

ανίχνευσης μικρορωγμής. Διάφορες μορφολογίες 1/2/3 επίπεδα, 512 μέχρι 4096 latent space, συναρτήσεις λάθους MSE, L1Loss, HuberLoss, QuantileLoss και optimizers Adam, Nadam, SGD, RMSprop, Adamax, Adadelta, ASGD και με χρήση L1, L2 regularizers, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα εργασία.

¹ [CRISTAL Project | CRISTAL Project - Climate resilient and environmentally sustainable transport infrastructure, with a focus on inland waterways \(crystal-project.eu\)](https://crystal-project.eu)

Remote microphone virtual sensing with multi-microphone configurations

Achilles Kappis*, Jordan Cheer, Jihui (Aimee) Zhang
Institute of Sound and Vibration Research, University of Southampton, University
Road, Southampton, SO17 1BJ, United Kingdom
*A.Kappis@soton.ac.uk (corresponding)

ABSTRACT

In conventional local Active Noise Control (ANC) systems, microphones must be placed directly where the sound field needs to be controlled. However, this is often impractical in many applications, such as the active headrest. To overcome this issue, Virtual Sensing (VS) methods are employed to project the control point from the location of physical sensors to the desired position. The Remote Microphone Technique is used in this study to estimate the sound field at a location remote from the physical sensors. This involves calculating an observation filter in a preliminary identification stage, which is then used during operation of the system to estimate the sound field at the position of interest from the measured signals.

Traditionally, omnidirectional microphones are used in the design and implementation of ANC and VS systems. However, this study aims to build upon previous findings in the literature that suggest knowledge of pressure and pressure gradient can provide significant advantages to the estimation process. To acquire estimates of the pressure gradient at the position of the physical sensors, multi-microphone configurations are used in this work, as omnidirectional microphones are sensitive to pressure only.

Expanding upon prior research on estimation with linear and circular microphone arrays, similar configurations have been implemented where multi-microphone sub-arrays have replaced each microphone in the array. Frequency domain simulations have been conducted where the optimal unconstrained observation filters have been calculated for a single-frequency sound field generated by multiple wide-sense stationary uncorrelated random noise sources situated on a circle around the area where estimation is required. The performance of the configurations is evaluated based on the spatial extent to which the estimation error is less than -10 dB, termed the estimation zone. Furthermore, the study explores the robustness of the multi-microphone configurations against perturbations and the effect regularisation has on the estimation performance.

The findings indicate that using multiple microphones per measurement position to incorporate the pressure gradient in the estimation process greatly improves performance, providing more accurate sound field estimation and greater spatial extension of the estimation zones. Estimation is improved along the direction of the pressure gradient estimate when this is available with higher-order estimates

resulting in increased accuracy and larger zone extension. However, configurations with dense sub-arrays exhibit higher sensitivity to uncertainties, with setups providing high-order pressure gradient estimates being significantly affected by perturbations. Regularisation can partially alleviate the problem at the expense of decreasing the estimation performance, which results in smaller estimation zones.

Η χρήση οπτικοακουστικών διαδραστικών αφηγήσεων και δραστηριοτήτων ως μέσο ηχητικής ευαισθητοποίησης παιδιών 9-12 ετών

Κωνσταντίνα Σταυροπούλου*, Μηνάς Εμμανουήλ
Τμήμα Μουσικών Σπουδών, Ιόνιο Πανεπιστήμιο

* kwn_stavropoulou@hotmail.com, minas_e@yahoo.com (υπεύθυνου)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ζούμε σε ένα κόσμο, όπου τίποτα ουσιαστικό δε συμβαίνει χωρίς να είναι παρόν ο ήχος (Attali, 1991), ενώ παράλληλα διανύουμε την εποχή των καθημερινών θορύβων, των ήχων χαμηλής ευκρίνειας και της τάσης για μονοαισθητηριακή αντίληψη του περιβάλλοντος. Εν μέσω μίας τέτοιας περιόδου, ζητήματα όπως η καλλιέργεια της ακουσματικής εμπειρίας και η ευαισθητοποίηση των παιδιών στους ήχους και τα ηχοτοπία έρχονται στο προσκήνιο απασχολώντας τόσο την καλλιτεχνική, όσο και την ακαδημαϊκή αλλά και εκπαιδευτική κοινότητα. Η πολυσχιδής σχέση της τέχνης με τη φύση, αλλά και με τις σύγχρονες πολυμεσικές τεχνολογίες και τις τεχνολογίες του ήχου και της μουσικής, θεωρείται ολοένα και ικανότερη να ανταποκριθεί εκπαιδευτικά στις σύγχρονες αυτές ανάγκες.

Στην παρούσα ανακοίνωση αναδεικνύεται ο σχεδιασμός, η δημιουργία και η χρήση οπτικοακουστικών διαδραστικών αφηγήσεων και δραστηριοτήτων, ως βιωματικό εκπαιδευτικό εργαλείο καλλιέργειας της ακουστικής εμπειρίας σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε παιδιά ηλικίας 9-12 ετών στο τριθέσιο δημοτικό σχολείο του χωριού Ζάκρος στο νομό Λασιθίου. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης έρευνας σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν με οπτικό και ηχητικό πρωτόλειο υλικό από το παγκόσμιο γεωπάρκο UNESCO της Σητείας, εντός των συνόρων του οποίου βρίσκεται και το χωριό Ζάκρος, τρεις οπτικοακουστικές διαδραστικές αφηγήσεις με περιφερικό ήχο και μία ηχητική διαδραστική δραστηριότητα. Βασικός σκοπός της έρευνας αποτέλεσε η μελέτη της ηχητικής ευαισθητοποίησης των παιδιών ως αποτέλεσμα του βιώματος των εν λόγω αφηγήσεων. Ως χαρακτηριστικά ηχητικής ευαισθητοποίησης και κατ' επέκταση κάποια από τα βασικά ερευνητικά ερωτήματα εξετάστηκαν η αντιληπτική ικανότητα ηχητικών ιδιοτήτων, η ικανότητα συναισθηματικής σύνδεσης με ήχους και ηχοτοπία, αλλά και η συμβολή της διάδρασης προς μία δημιουργική αντίληψη του ήχου.

Η επιλογή της χρήσης οπτικοακουστικών διαδραστικών αφηγήσεων ως βασικό εργαλείο της συγκεκριμένης έρευνας θεωρήθηκε απολύτως σκόπιμη και σημαντική, κάτι που επιβεβαιώνεται τόσο από την υπάρχουσα βιβλιογραφία, όσο και από την ίδια την έρευνα όπως θα παρουσιαστεί εκτενέστερα και στη συνέχεια. Ο συνδυασμός της μακρόχρονης δύναμης των αφηγήσεων στον άνθρωπο με την εξέλιξη της ψηφιακής και της διαδραστικής τεχνολογίας, αλλά και την καθημερινή ζωή των σύγχρονων παιδιών, χρήζει τέτοιου είδους αφηγήσεις ως μία καινοτόμο παιδαγωγική προσέγγιση, η επιτυχία της οποίας βρίσκεται στην παροχή ευφάνταστων και δημιουργικών

εργαλείων που επιτρέπουν στα παιδιά την καλλιέργεια της δημιουργικότητας, της στοχαστικής σκέψης και των τεχνολογικών δεξιοτήτων και γραμματισμών (Ohler, 2013, σ.15). Απολύτως σκόπιμη και εξέχουσα σημασία για την ορθότητα της πραγματοποίησης μίας μελέτης τέτοιας φύσεως κρίθηκε επίσης εκ προοιμίου η αποδοχή και ανάδειξη της αμφίδρομης σχέσης μεταξύ καλλιτεχνικής δημιουργίας και ερευνητικής διαδικασίας. Στον κεντρικό άξονα της οπτικής όλων των δημιουργικών φάσεων, από την επιλογή των ιστοριών των αφηγήσεων μέχρι την ολοκλήρωση των οπτικοακουστικών διαδραστικών δημιουργιών, τοποθετήθηκε ο ήχος και η ανάδειξη αυτού, με σκοπό τη δημιουργία μίας ποιοτικής και πολύπλευρης ηχητικής εμπειρίας για τα παιδιά.

Ως εκ τούτου, η επιλογή των ιστοριών των αφηγήσεων πραγματοποιήθηκε με πρωτεύον κριτήριο την ύπαρξη ηχητικών στιγμών και στοιχείων εντός του κειμένου τους. Στα ίδια πλαίσια, πραγματοποιήθηκαν με την επιλογή των ιστοριών οι πολύμηνες ηχογραφήσεις πεδίου εντός διαφόρων σημείων του γεωπάρκου και στη συνέχεια δημιουργήθηκε ο ηχητικός σχεδιασμός κάθε αφήγησης. Με την ολοκλήρωση του συνόλου του ηχητικού σκέλους κάθε αφήγησης, πραγματοποιήθηκαν οι βιντεοσκοπήσεις στα ίδια σημεία των ηχογραφήσεων και ακολούθως η δημιουργία της οπτικοποίησης, η οποία ήταν απόλυτα βασισμένη στη ροή, το ρυθμό και τα χαρακτηριστικά του ηχητικού σχεδιασμού. Τελευταίο στάδιο της δημιουργίας υπήρξε ο σχεδιασμός της διάδρασης και ο προγραμματισμός των διεπαφών με ηχητικά δείγματα από το σχεδιασμό κάθε αφήγησης.

Για τις ανάγκες του σκοπού της έρευνας διεξήχθη συλλογική μελέτη περίπτωσης, όπου μέσω ποιοτικών μεθόδων ανάλυσης των δεδομένων εξήχθησαν ποικίλα αποτελέσματα και συμπεράσματα σε σχέση με τη διερεύνηση της ηχητικής ευαισθητοποίησης και εκπαίδευσης των παιδιών. Αρχικά επιβεβαιώθηκαν τα πολύμορφα και σημαντικά οφέλη των πολυμεσικών αφηγήσεων, όπως επίσης διαφάνηκε ότι οι σύγχρονες τεχνολογίες του ήχου και της διάδρασης δίνουν το χώρο και την απαιτούμενη ελευθερία στο παιδί για μία πολύπλευρη ηχητική καλλιέργεια. Μεταξύ των συμπερασμάτων παρουσιάζουν επίσης ενδιαφέρον η ικανότητα που επέδειξαν τα παιδιά στην αναγνώριση ηχητικών και μουσικών ιδιοτήτων των ηχητικών σχεδιασμών των αφηγήσεων, η εντυπωσιακή ικανότητα συναισθηματικής σύνδεσης ήχων με την καθημερινή ζωή, αλλά και το θετικό πρόσημο της χρήσης διαδραστικών συστημάτων στη διαδικασία ηχητικής σύνθεσης. Τέλος, εντύπωση και προβληματισμό για μελλοντική διερεύνηση προκάλεσε η ένδειξη αδυναμίας αντίληψης του περιφερικού ήχου από το σύνολο των παιδιών μεγαλύτερης ηλικίας (11-12 ετών).

Βιβλιογραφία

- Attali, J. (1991). *Θόρυβοι. Δοκίμιο Πολιτικής Οικονομίας της Μουσικής*. Κέδρος
- Ohler, J. B. (2013). *Digital storytelling in the classroom: New pathways to literacy, Learning, and creativity*. Corwin Press.
<https://doi.org/10.4135/9781452277479>

A framework for organising audio-visual cross-modal correspondences for the Soundsketcher project

Konstantinos Giannos^{1,*}, Asterios Zacharakis¹, Georgios Athanasopoulos² & Emilios Cambouropoulos¹

¹School of Music Studies, Aristotle University of Thessaloniki

²Humboldt-Universität zu Berlin

*giannosk@mus.auth.gr (corresponding)

ABSTRACT

Attributes or features from different sensory modalities are often systematically associated with each other. This process is referred to as cross-modal correspondence. Unlike synesthesia, where associations are concurrent or immediately consecutive, cross-modal correspondences can occur between attributes that share similar positions on scales of sensory dimensions with distinct degrees of intensity (Spence, 2011).

This study aims to organise existing cross-modal associations between the auditory and the visual modalities in the context of the research project [Soundsketcher](#). Soundsketcher seeks to create a prototype application for music visualisation in the form of graphic scores. One of the fundamental goals is to base mappings between sonic and visual structures on associations derived from existing knowledge of audio-visual correspondences.

The most extensively studied relationships to date are those between pitch and loudness and their visual correspondences. One of the most prominent identified associations with pitch is elevation, where ‘high’ corresponds to high pitch and ‘low’ to low pitch (Athanasopoulos et al., 2016; Baret 2005; Walker, 1987), a phenomenon also observed in many languages around the world (Stumpf, 1883; Evans & Treisman, 2010). The horizontal dimension, apart from indicating the passage of time in a significant amount of free-drawn systems of 2D music representation (Tan & Kelly 2004, Athanasopoulos & Moran, 2013) has also been mapped onto pitch, with ‘left’ corresponding to lower pitches and ‘right’ to higher pitches (Küssner et al., 2014; Lidji et al., 2007). In addition, size is another visual attribute that has been related to pitch. Specifically, large objects have been linked to low pitches, while small objects to high pitches (Speed et al., 2021). Such correspondences can be attributed to statistical regularities in the environment where organisms smaller in size and living in higher elevations are more likely to produce higher pitches (Spence, 2022). In addition, Western music notation or the mere structure of a piano keyboard can also account for such cross-modalities. Another visual parameter that has been associated with high-low pitches is brightness and dark- bright objects, respectively (Ward et al., 2006; Marks, 1974). A notable mention

should be made for colour and notes of the chromatic scale, where identified correspondences have been contrasting possibly due to the lack of a clear linear organisation (Spence & Di Stefano, 2022).

Several of the above-mentioned visual attributes have also been linked to loudness. For instance, large objects are typically matched to louder sounds, while small objects are to quieter ones (Eitan, 2013), which again may be grounded in naturally occurring statistical correlations (Spence, 2011), or occur due to metaphorical associations (Walker, 1987; Spence, 2022). Similarly, loudness and brightness have been significantly correlated, matching loud sounds to dark objects and quiet sounds to bright objects (e.g., Marks, 1987). Thickness has also been positively correlated to loudness (Küssner et al., 2014), as well as spatial location, such that louder sounds were related to higher elevation (Kohn & Eitan, 2012).

Duration and rhythm are crucial features in the perception of sound: the length of line segments has been found to be proportional to sound duration for Westerners, Japanese, literate and nonliterate Papua New Guineans (Athanasopoulos et al., 2016). These populations have graphically depicted stimuli featuring high attack densities with densely arranged lines, and the inverse for lower attack densities (Athanasopoulos et al., 2016; Athanasopoulos & Moran, 2013).

Timbre is one of the least explored sound elements for its potential visual analogues. A handful of studies have examined the relationship between timbre and shape, where instruments producing soft sounds such as the piano or the cello were associated with rounded shapes and instruments such as crash cymbals were associated with angular shapes (Adeli et al., 2014). At the same time, listeners have linked auditory roughness with jagged and spiky 2- and 3-dimensional shapes (Liew et al., 2017, 2018).

Despite the lack of studies on direct timbral-visual associations, recent works have demonstrated that some of the salient semantic dimensions of timbre such as brightness, roughness or mass (Zacharakis et al., 2016) and their various nuances (Wallmark, 2018; Reymore, 2022; Noble, 2022) could be visually represented. However, since timbre is significantly more complex than pitch or loudness, there is still room for adequate modelling of these semantic categories through audio features. This is a key area of focus for the Soundsketcher project, aiming to utilise such models for timbre semantics together with existing models for pitch, loudness and rhythm to achieve perceptually informed sound visualisations.

References

- Adeli, M., Rouat, J., & Molotchnikoff, S. (2014). Audiovisual correspondence between musical timbre and visual shapes. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00352>
- Athanasopoulos, G., & Moran, N. (2013). Cross-cultural representations of musical shape. *Empirical Musicology Review*, 8(3-4), 185-199. <https://doi.org/10.18061/emr.v8i3-4.3940>
- Athanasopoulos, G., Tan, S. L., & Moran, N. (2016). Influence of literacy on representation of time in musical stimuli: An exploratory cross-cultural study in the UK, Japan, and Papua New Guinea. *Psychology of Music*, 44(5), 1126-1144. <https://doi.org/10.1177/0305735615613427>

- Eitan, Z. (2013). How pitch and loudness shape musical space and motion: New findings and persisting questions. In S.-L. Tan, A. Cohen, S. Lipscomb & R. Kendall (Eds.), *The psychology of music in multimedia* (pp. 161-187). Oxford: Oxford University Press.
- Küssner, M. B., Tidhar, D., Prior, H. M., & Leech-Wilkinson, D. (2014). Musicians are more consistent: Gestural cross-modal mappings of pitch, loudness and tempo in real-time. *Frontiers in Psychology*, 5, 99328.
- Lidji, P., Kolinsky, R., Lochy, A., & Morais, J. (2007). Spatial associations for musical stimuli: A piano in the head? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(5), 1189-1207. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.33.5.1189>
- Marks, L. E. (1974). On associations of light and sound: The mediation of brightness, pitch, and loudness. *The American Journal of Psychology*, 87(1-2), 173-188. <https://doi.org/10.2307/1422011>
- Marks, L. E. (1987). On cross-modal similarity: Auditory-visual interactions in speeded discrimination. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13, 384-394.
- Noble, J., Thoret, E., Henry, M., & McAdams, S. (2020). Semantic dimensions of sound mass music: mappings between perceptual and acoustic domains. *Music Perception*, 38(2), 214-242.
- Reymore, L. (2022). Characterizing prototypical musical instrument timbres with Timbre Trait Profiles. *Musicae Scientiae*, 26(3), 648-674.
- Speed, L. J., Croijmans, I., Dolscheid, S., & Majid, A. (2021). Crossmodal associations with olfactory, auditory, and tactile stimuli in children and adults. *i-Perception*, 12(6). <https://doi.org/10.1177/20416695211048513>
- Spence, C. (2011). Crossmodal correspondences: A tutorial review. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73, 971-995. <https://doi.org/10.3758/s13414-010-0073-7>
- Spence, C., & Di Stefano, N. (2022). Coloured hearing, colour music, colour organs, and the search for perceptually meaningful correspondences between colour and sound. *i-Perception*, 13(3), 1-42. <https://doi.org/10.1177/20416695221092802>
- Spence, C. (2022). Exploring group differences in the crossmodal correspondences. *Multisensory Research*, 35(6), 495-536. <https://doi.org/10.1163/22134808-bja10079>
- Stumpf, K. (1883). *Tonpsychologie I [Psychology of the tone]*. Leipzig: Hirzel.
- Tan, S. L., & Kelly, M. E. (2004). Graphic representations of short musical compositions. *Psychology of Music*, 32(2), 191-212.
- Walker, R. (1987). The effects of culture, environment, age, and musical training on choices of visual metaphors for sound. *Perception & Psychophysics*, 42, 491-502. <https://doi.org/10.3758/BF03209757>
- Wallmark, Z. (2018). A corpus analysis of timbre semantics in orchestration treatises. *Psychology of Music*, 47(4), 585-605.
- Ward, J., Huckstep, B., & Tsakanikos, E. (2006). Sound-colour synaesthesia: To what extent does it use cross-modal mechanisms common to us all? *Cortex*, 42(2), 264-280.
- Zacharakis, A., & Pasiadis, K. (2016). Revisiting the Luminance-Texture-Mass Model for Musical Timbre Semantics: A Confirmatory Approach and Perspectives of Extension. *Journal of the Audio Engineering Society*, 64, 636-645.

Ακουστο-απτική διέγερση και αισθησιοκινητικός συγχρονισμός: μία μουσική διδακτική παρέμβαση

Παπαδόγιαννη-Κουραντή Μάρθα ^{1,*}, Μπακογιάννης Κωνσταντίνος¹,
Αναγνωστοπούλου Χριστίνα¹
Ανδρεοπούλου Αρετή ¹

¹Τμήμα Μουσικών Σπουδών Φιλοσοφικής Σχολής ΕΚΠΑ

*marthaparadogianni@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατά την ακρόαση της μουσικής βιώνουμε (συνήθως ασυνείδητα) μία πολυτροπική εμπειρία, όπου ακουστικές και απτικές πληροφορίες ολοκληρώνονται και επεξεργάζονται σε έναν κοινό εγκεφαλικό ρου. Η υποκείμενη χρονική περιοδικότητα κάθε μουσικού γεγονότος μπορεί να προβλεφθεί μέσα από την σύζευξη της αντίληψης του παλμού και αυτής της αυθόρμητης σωματικής αντίδρασης στην οποία δόθηκε ο όρος αισθησιοκινητικός συγχρονισμός. Εμπειρικές έρευνες έχουν δείξει ότι ο αισθησιοκινητικός συγχρονισμός με χτύπημα του χεριού παρουσιάζει βελτίωση όταν κυριαρχούν οι χαμηλές συχνότητες. Η απτική διέγερση επηρεάζει παράλληλα την αντίληψη χαρακτηριστικών του ήχου, όπως είναι η ένταση και χρονικών χαρακτηριστικών όπως ο παλμός. Νευροφυσιολογικά ευρήματα υποστηρίζουν ότι η έκθεση σε επαναλαμβανόμενη απτική διέγερση που δεν απαιτεί την αντιληπτική προσοχή ή την ενεργό εμπλοκή των συμμετεχόντων επηρεάζει την απτική αντιληπτική ικανότητα του ανθρώπου, μεταβάλλοντας εγκεφαλικές δομές του σωματοαισθητικού συστήματος. Με αφετηρία τις θεωρητικές και εμπειρικές αναφορές στον αισθησιοκινητικό συγχρονισμό και την απτική διέγερση, η παρούσα πρόταση εξετάζει τις πιθανές επιδράσεις μίας διδακτικής παρέμβασης στην ακρίβεια συγχρονισμού, που περιλαμβάνει επαναλαμβανόμενη απτική διέγερση. Τα ευρήματα που αναλύονται αποτελούν μέρος μίας μεγαλύτερης πειραματικής έρευνας που ολοκληρώθηκε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής “Auditory-tactile music perception: examining beat sensibility and sensorimotor synchronization in education context” στο Τμήμα Μουσικών Σπουδών του ΕΚΠΑ (Φεβρουάριος 2024).

Στην έρευνα συμμετείχαν 60 παιδιά ηλικίας 8 έως 10 ετών, τα οποία χωρίστηκαν σε μία πειραματική ομάδα και μία ομάδα ελέγχου. Όλα τα παιδιά ολοκλήρωσαν 18 διδακτικές παρεμβάσεις με τις ίδιες μουσικές δραστηριότητες, με τη διαφορά ότι, η πειραματική ομάδα βίωνε μία διτροπική μουσική εμπειρία: ταυτόχρονα με την ακρόαση της μουσικής, τα παιδιά ένιωθαν και μουσικές δονήσεις. Η μεταφορά των δονήσεων πραγματοποιούνταν μέσω μίας κατασκευής που είχε τη μορφή πατώματος και αποτελείται από 10 πλάκες μοριοσανίδας. Κάτω από κάθε πλάκα εφάπτονταν μία συσκευή μεταφοράς χαμηλών συχνοτήτων (bass shakers) που δονούνταν ανάλογα με

την αντίστοιχη μουσική δράση. Η έρευνα ακολούθησε μία μικτή μεθοδολογία, περιλαμβάνοντας ποσοτικές μετρήσεις και ποιοτικές συνεντεύξεις, με τη μορφή του προελέγχου-μεταελέγχου.

Οι ποσοτικές μετρήσεις είχαν σκοπό να αξιολογήσουν την ικανότητα συγχρονισμού των παιδιών της πειραματικής ομάδας και της ομάδας ελέγχου, χρησιμοποιώντας τρεις διαφορετικούς μετρονόμους: 80, 100, 120 BPM. Τα παιδιά κλήθηκαν να συγχρονιστούν με την ισόχρονη παλμική ακολουθία που άκουγαν χτυπώντας με μία μπαγκέτα ένα ηλεκτρονικό τύμπανο. Κάθε δοκιμασία πραγματοποιήθηκε τρεις φορές: πριν την έναρξη της έρευνας, κατά τη διάρκεια της και μετά την ολοκλήρωση της διδακτικής παρέμβασης, ώστε να αποτυπωθούν τυχόν στατιστικά σημαντικές διαφορές τόσο μεταξύ της πειραματικής ομάδας και της ομάδας ελέγχου, όσο και μέσα στην ίδια ομάδα. Επιπλέον, στην αρχή κάθε μέτρησης τα παιδιά καλούνταν να χτυπήσουν την μπαγκέτα τους, όσο πιο σταθερά μπορούσαν για 30 sec σε μία ταχύτητα της επιλογής τους. Το αυθόρμητο αυτό χτύπημα ορίζεται ως *spontaneous motor* ή *self-paced tapping*. Προγενέστερες μελέτες υποστηρίζουν ότι η ταχύτητα με την οποία χτυπάμε αυθόρμητα χωρίς κάποιο εξωτερικό ερέθισμα συνδέεται με την ακρίβεια συγχρονισμού. Συγκεκριμένα θεωρείται ότι ο συγχρονισμός μας εμφανίζεται υψηλότερος σε BPM που είναι κοντά στην “πηγαία” ταχύτητά μας. Η ερευνητική υπόθεση υποστήριζε ότι, κατά τη διάρκεια της παρέμβασης η πειραματική ομάδα θα εμφάνιζε στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη βελτίωση στον συγχρονισμό σε μετρονομικό παλμό, σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου. Επιπλέον, υποθέσαμε ότι τα μεγαλύτερα παιδιά θα εμφάνιζαν πιο ακριβή ικανότητα συγχρονισμού στον παλμό. Παράλληλα υποθέσαμε πως κάθε παιδί θα χτυπούσε με μεγαλύτερη ακρίβεια στον παλμό που η ταχύτητά του ήταν πιο κοντά στην ταχύτητα του προσωπικού, πηγαίου χτυπήματός του και πως ανεξάρτητα από τη διδακτική παρέμβαση, τα παιδιά μικρότερης ηλικίας τείνουν να χτυπούν σε πιο γρήγορες ταχύτητες από τα μεγαλύτερης ηλικίας παιδιά. Εξαιτίας της υψηλής μεταβλητότας στα χτυπήματα των παιδιών, η ανάλυση των δεδομένων έγινε με μεθόδους στατιστικής ανάλυσης κυκλικών δεδομένων. Χρησιμοποιήθηκε το *CircStat toolbox* της *MATLAB*. Η πρώτη μας υπόθεση ότι τα παιδιά της πειραματικής ομάδας θα παρουσίαζαν μεγαλύτερη βελτίωση δεν υποδείχθηκε από τα δεδομένα. Ο τύπος της διδακτικής παρέμβασης (με-χωρίς δόνηση) φάνηκε να μην έχει κάποια επίδραση στις αισθησιοκινητικές δεξιότητες, υπονοώντας ότι τα παιδιά μπορεί να επωφελήθηκαν μόνο από την διδακτική προσέγγιση. Τα αποτελέσματα υπέδειξαν ότι δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης των παιδιών στον συγχρονισμό με μετρονόμους και το αυθόρμητο χτύπημα. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν την υπόθεση ότι η μεταβλητότητα στην απόδοση μειώνεται κατά τη διάρκεια της παιδικής ηλικίας, αλλά παραμένει υψηλή για παιδιά ηλικιών κάτω των 10 ετών. Παράλληλα, τα δεδομένα μας συμφώνησαν με παλαιότερα ευρήματα, ότι τα μεγαλύτερα παιδιά χτυπούν με πιο αργή ταχύτητα σε σχέση με τα μικρότερης ηλικίας παιδιά.

Σύμφωνα με τα παρόντα συμπεράσματα, οι επιδράσεις μία διδακτικής της μουσικής αγωγής με ταυτόχρονη απτική διέγερση θα πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω. Οι ατομικές δεξιότητες συγχρονισμού αναπτύσσονται με αρκετά διαφορετικούς ρυθμούς, ακόμη και σε παιδιά ίδιας ηλικιακής ομάδας και φαίνεται να επηρεάζονται από τη λεπτή κινητικότητα. Η έντονη διαφοροποίηση στην ακρίβεια και την σταθερότητα των χτυπημάτων μπορεί επίσης να οφείλεται σε ακουστικές ιδιαιτερότητες των πειραματικών ηχητικών παραδειγμάτων, προτείνοντας την χρήση ερεθισμάτων με διαφορετικά ακουστικά χαρακτηριστικά.

Κατευθυντικότητα των ελληνικών φωνηέντων στο τραγούδι βάσει συχνοτήτων φωνοσυντονισμού: Μελέτη περίπτωσης κλασικού τραγουδιού και Βυζαντινής ψαλτικής

Γιώργος Δεδούσης*, Κωνσταντίνος Μπακογιάννης, Αναστασία Γεωργάκη, Αρετή Ανδρεοπούλου
Εργαστήριο Μουσικής Ακουστικής Τεχνολογίας (LabMAT),
Τμήμα Μουσικών Σπουδών, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
*gdedousis@music.uoa.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Έχουν διεξαχθεί εκτεταμένες έρευνες σχετικά με τα κατευθυντικά χαρακτηριστικά της ανθρώπινης φωνής (προφορικής και τραγουδιστής) οι οποίες επικεντρώνονται τόσο στο οριζόντιο ή/και στο κάθετο επίπεδο όσο και σε πλήρη σφαίρα. Μελέτες που συγκρίνουν τα χαρακτηριστικά κατευθυντικότητας της φωνής τραγουδιού και ομιλίας έχουν καταδείξει διαφορές μεταξύ των δύο, με τους κλασικούς τραγουδιστές να παρουσιάζουν υψηλότερη κατευθυντικότητα σε σύγκριση με την ομιλία (Brandner κ.ά., 2022). Διάφοροι παράγοντες, όπως το άνοιγμα του στόματος (Brandner κ.ά., 2020; Kocson & Monson, 2018), η στάση του σώματος, η κλίση του κεφαλιού (Blandin & Brandner, 2019) και η φυσιολογία της φωνητικής οδού (Kocson & Monson, 2018), επηρεάζουν τη φωνητική προβολή και την κατευθυντικότητα. Επιπλέον, έχει προταθεί ότι η κατευθυντικότητα μπορεί να επηρεαστεί από τη θέση του ήχου στη στοματική κοιλότητα, το ύψος και τον τύπο της φώνησης.

Η παρούσα μελέτη εξετάζει τα χαρακτηριστικά κατευθυντικότητας λαμβάνοντας υπόψη τα τραγουδιστικά στυλ κλασικών τραγουδιστών και τραγουδιστών Βυζαντινής ψαλτικής. Στόχος είναι να συμβάλει στην έρευνα σχετικά με τη φωνητική παραγωγή, τα ακουστικά χαρακτηριστικά της και στο σχεδιασμό συστημάτων προσομοίωσης και εικονικής πραγματικότητας με εφαρμογές στους τομείς της ομιλίας και της μουσικής.

Η έρευνα επικεντρώνεται στις ηχογραφήσεις τεσσάρων επαγγελματιών τραγουδιστών -δύο στην κλασική μουσική και δύο στη βυζαντινή ψαλμωδία- που καταγράφηκαν σε ελεγχόμενο ακουστικό χώρο τραγουδώντας τα ελληνικά φωνήεντα (μονοφθόγγων) /a/ (α), /e/ (ε, αι), /i/ (ι, η, υ, οι, ει), /o/ (ο, ω) και /u/ (ου), από δύο φορές το καθένα, στα τονικά ύψη A2, E3 και C#4 για περίπου δύο δευτερόλεπτα. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης κατευθυντικότητας παρουσιάζονται για κάθε φωνήεν και την αντίστοιχη συχνότητα σε ζώνες τρίτης οκτάβας με κέντρο τις αντίστοιχες συχνότητες φωνοσυντονισμών (F1, F2, F3) κάθε τραγουδιστή. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση 29 πυκνωτικών μικροφώνων RODE-M5 μικρού διαφράγματος, τοποθετημένων συμμετρικά σε ημισφαιρική κατασκευή με ακτίνα 158,5cm, σε τέσσερα επίπεδα ύψους (+90°, +30°, 0°, -30°) με 12 μικρόφωνα ανά

επίπεδο, τοποθετημένα σε αζιμουθιακά βήματα των 30°, στην ημι-ανηχοϊκή αίθουσα του Εργαστηρίου Μουσικής Ακουστικής και Τεχνολογίας (LabMAT) του ΕΚΠΑ. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν με δύο ψηφιακούς μίκτες Yamaha TF1 (διασυνδεδεμένους μέσω DANTE) χρησιμοποιώντας τους ενσωματωμένους προενισχυτές τους και ηχογραφήθηκαν σε φορητό υπολογιστή i5 με το Cubase 11. Η ανάλυση των φωνοσυντονισμών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του Fast Track (Barreda, 2021), προσαρμόζοντας τις παραμέτρους ανάλογα με τους συμμετέχοντες.

Τα αποτελέσματα συνάδουν με την υπάρχουσα βιβλιογραφία σχετικά με τη συμμετρική (δεξιά/αριστερά) προβολή της τραγουδιστής φωνής (Bakogiannis κ.ά., 2022; Boren & Roginska, 2013; Katz & d'Alessandro, 2007). Τα μοτίβα κατευθυντικότητας ποικίλλουν ανάλογα με το ύψος και την κεντρική συχνότητα που μετρώνται (Brandner κ.ά., 2022; Marshall & Meyer, 1985). Είναι δύσκολο να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα από τον τρόπο που μπορεί να επηρεάζει το είδος του τραγουδιού (Βυζαντινή ψαλτική, κλασικό τραγούδι) την κατευθυντικότητα. Εντούτοις, οι κλασικοί τραγουδιστές φαίνεται να διευρύνουν την προβολή των /i/ και /u/ στην περιοχή F3 (2219,5Hz – 2719Hz) σε σχέση με την περιοχή F1 στο C#4. Επιπλέον, οι δύο συμμετέχοντες Βυζαντινής ψαλτικής, έχουν διαφορετικές τιμές για το /i/ στην περιοχή F2 και F3 στο C#4, καθώς και στο /u/ στην περιοχή F2 στο C#4 και E3. Τέλος, η κατευθυντικότητα των φωνηέντων από το περισσότερο στο λιγότερο κατευθυντικό αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως /a/, /e/, /i/, /o/, /u/ (Marshall & Meyer, 1985; Pörschmann & Arend, 2021). Σε αντίθεση με άλλες έρευνες, τα ελληνικά φωνήεντα /u/ και /i/ είναι λιγότερο κατευθυντικά, ειδικά στην περιοχή F3 στο C#4, ενώ το φωνήεν /e/ φαίνεται να είναι το πιο κατευθυντικό σε σχέση με την περιοχή F1, πιθανώς λόγω του τρόπου που εκφέρονται στην ελληνική γλώσσα που επηρεάζει τις συχνότητες φωνοσυντονισμού (κυρίως F1 και F2).

Δεδομένης της περιορισμένης έρευνας σχετικά με τους φωνοσυντονισμούς και την κατευθυντικότητα της τραγουδιστής φωνής στην ελληνική γλώσσα (Arvaniti, 2007; Bakogiannis κ.ά., 2022) αλλά και τη Βυζαντινή ψαλτική (Chrysochoidis κ.ά., 2013; D. Delviniotis, 2002; D. S. Delviniotis & Theodoridis, 2019), τα παραπάνω αποτελέσματα φιλοδοξούν να συμπληρώσουν και να διευρύνουν τη σχετική βιβλιογραφία. Οι μελλοντικές εργασίες θα επικεντρωθούν στην διερεύνηση της κατευθυντικότητας με κέντρο τις συχνότητες του τέταρτου και πέμπτου φωνοσυντονισμού (F4, F5). Επιπλέον, η ανάλυση θα επεκταθεί με περισσότερους τραγουδιστές διαφόρων επιπέδων κατάρτισης και ειδών τραγουδιού, με στόχο το μεγαλύτερο δείγμα να προσφέρει πιο γενικευμένα αποτελέσματα. Στόχος μας είναι να βρούμε πιθανές συνδέσεις μεταξύ της ελληνικής γλώσσας, της ανάλυσης των φωνοσυντονισμών, των τραγουδιστικών ειδών και εκπαίδευσης, σε σχέση με την κατευθυντικότητα και τη φωνητική προβολή.

Χαρτογράφηση του Εύρους Ζώνης των Φωνοσυντονισμών στο Σύγχρονο Φωνητικό Ιδιώμα του Ριζίτικου Τραγουδιού

Σπύρος Καλοζάκης, Αρετή Ανδρεοπούλου, Αναστασία Γεωργάκη
Εργαστήριο Μουσικής Ακουστικής Τεχνολογίας (LabMAT)
Τμήμα Μουσικών Σπουδών, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Πανεπιστημιούπολη - Ζωγράφου, 157 84, Αθήνα.
skalozakis@music.uoa.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε έναν σημαντικά μεγάλο αριθμό σύγχρονων μελετών σχετικών με την ακουστική ανάλυση της ανθρώπινης φωνής, παρατηρούμε την ιδιαίτερη έμφαση η οποία δίνεται στα ηχοχρωματικά χαρακτηριστικά της και συγκεκριμένα στη διερεύνηση των προσαρμογών της φωνητικής οδού (vocal tract) κατά την τραγουδιστική επιτέλεση ή την ομιλία, οι οποίες (προσαρμογές) επηρεάζουν τους φωνοσυντονισμούς. Οι εκπεμπόμενοι ήχοι της ανθρώπινης φώνησης «μεταφέρονται» ακουστικά με μεγαλύτερη ευκολία (με μεγαλύτερο πλάτος/ένταση), όταν αυτοί οι ήχοι συμπίπτουν συχνοτικά (συντονίζονται) με τις συχνότητες των φωνοσυντονισμών (Sundberg, 1987, 1999).

Σε αυτήν την ανακοίνωση, θα αναφερθούμε στους φωνοσυντονισμούς του σύγχρονου φωνητικού ιδιώματος στο ριζίτικο τραγούδι και συγκεκριμένα στο εύρος ζώνης των φωνοσυντονισμών. Οι φωνοσυντονισμοί χαρακτηρίζονται ακουστικά από:

α) την κεντρική τους συχνότητα μέσω της οποίας μπορούμε να «αντλήσουμε» σημαντικές πληροφορίες για τις προσαρμογές της φωνητικής οδού κατά την τραγουδιστική επιτέλεση και την ομιλία.

β) Τη στάθμη ισχύος των, για την οποία τα συμπεράσματα τα οποία εξάγουμε προκύπτουν από την εξέταση των μεγάλου μέσου όρου φασμάτων (Long Term Average Spectrum – LTAS), ώστε να «θεμελιωθεί» εν πολλοίς, μία σημαντική αύξηση του ηχητικού σήματος της φωνής (άδουσας και ομιλούσας) η οποία δεν ενέχει τη χρήση μικροφώνου.

γ) Τη συσχέτισή τους είτε με τη συχνότητα φώνησης (θεμελιώδης συχνότητα), είτε με τις αρμονικές συχνότητες ή μέρη (partials) αυτών (αρμονικών), για την «ανίχνευση» τραγουδιστικών τεχνικών που ως σκοπό έχουν την αύξηση της ακουστότητας της φωνής σε σχέση με την ακουστότητα της ορχήστρας (Joliveau et al., 2004).

δ) Το εύρος ζώνης αυτών (Formant Bandwidth), το οποίο συνδέεται με το πλάτος των φωνοσυντονισμών, ώστε όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος ζώνης, τόσο μικρότερο είναι το πλάτος κορυφής, επομένως το επίπεδο πλάτους των αρμονικών. Για τη μέτρησή του, λαμβάνεται υπόψιν το πλάτος της ζώνης το οποίο σχηματίζεται 3 Decibel (dB) κάτω από την κορυφή (peak) του φωνοσυντονισμού των αρμονικών.

Το εύρος ζώνης των φωνοσυντονισμών, συνδέεται με τη λεπτομερή ακρίβεια σε ότι αφορά την αναγνώριση συλλαβών και λέξεων στην ομιλία και κατ' επέκταση στο τραγούδι (Summerfield et al., 1985), (Vincelas, 2011). Ειδικότερα, η λεπτομέρεια (η δυνατότητα καλύτερης αντίληψης αναγνώρισης από τον ακροατή της συλλαβής που αρθρώνεται από τον ομιλητή/τραγουδιστή) μειώνεται, όσο αυξάνεται το εύρος ζώνης των φωνοσυντονισμών (Broad Formant Bandwidth). Αντίστροφα, όσο στενεύει το εύρος ζώνης των φωνοσυντονισμών (Narrow Formant Bandwidth) από τον ομιλητή/τραγουδιστή, ο ακροατής έχει μία σαφώς λεπτομερέστερη αντίληψη (φασματική «αποτύπωση») της λέξης και της συλλαβής που αρθρώνεται κατά το άκουσμά της. Επιπλέον, το αυξημένο εύρος ζώνης του πρώτου φωνοσυντονισμού (B1), σχετίζεται άμεσα με το ποσοστό διεύρυνσης της γλωττίδας και τη ροή του εκπνεόμενου αέρα (airflow) κατά τη φώνηση (Park, 2002), ενώ ταυτόχρονα διαφορετικές έρευνες υποστηρίζουν ότι το εύρος ζώνης των φωνοσυντονισμών σχετίζεται -μεταξύ άλλων- με τη «ρινικότητα» του φωνήεντος (vowel nasality) κατά τη φώνηση (Khodai et al., 2002). Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, θελήσαμε να πραγματοποιήσουμε μία πρώτη καταγραφή του εύρους ζώνης των δύο χαμηλότερων φωνοσυντονισμών (B1, B2) του σύγχρονου φωνητικού ιδιώματος στο ριζίτικο τραγούδι, μέσα από ένα -ενδεικτικό- δείγμα δεκατεσσάρων (14) Κρητών τραγουδιστών των οποίων η καταγωγή προέρχεται από τρεις (3) διαφορετικούς Νομούς της Μεγαλονήσου (Χανιά, Ρέθυμνο, Ηράκλειο), τους οποίους ηχογραφήσαμε κατά την τραγουδιστική «εκτέλεση» (στην τονική βαθμίδα της ανιούσας μείζονας κλίμακας) του «ανοιχτού» φωνήεντος /a/, εφαρμόζοντας την τεχνική του «αντίστροφου φιλτραρίσματος» (Inverse Filtering), κατά το πρότυπο (μεθοδολογία) προγενέστερων ερευνών οι οποίες εστίασαν στην εξέταση του εύρους ζώνης των φωνοσυντονισμών ανδρικών οπερατικών φωνών (Sundberg et al., 2013).

Η μεθοδολογία την οποία ακολουθήσαμε για την «εξαγωγή» της φωνητικής παραμέτρου του εύρους ζώνης των φωνοσυντονισμών των τραγουδιστών που ηχογραφήσαμε, βασίστηκε στην ψηφιακή επεξεργασία του ηχητικού σήματος της φωνής και ειδικότερα, στην εφαρμογή της προαναφερθείσας τεχνικής (Inverse Filtering). Η εφαρμογή από μέρος μας της συγκεκριμένης τεχνικής, βασίστηκε στους -απόλυτα- χειροκίνητους χειρισμούς μας (manual adjustments) επί του φάσματος της γλωττιδικής ροής και την επισημείωση των φωνοσυντονισμών του φωνητικού σήματος, μέσω της χρήσης εξειδικευμένου λογισμικού προγράμματος (Sopran) και της λογισμικής επέκτασης (plug-in) αυτού (DeCap).

Οι χειροκίνητοι χειρισμοί μας επί του φάσματος του φωνητικού σήματος, κρίθηκαν απαραίτητοι κατά τη χρήση του προαναφερθέντος λογισμικού προγράμματος, αφού αυτό (πρόγραμμα) δεν «στηρίζει» τη μέθοδο του αντίστροφου φιλτραρίσματος για την εύρεση του εύρους ζώνης των φωνοσυντονισμών σε ένα γραμμικό μοντέλο πρόγνωσης (Linear Prediction Code – LPC), αλλά στους προσεκτικούς χειρισμούς του χρήστη επί της γλωττιδικής ροής. Η εφαρμογή της τεχνικής του αντίστροφου φιλτραρίσματος η οποία χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα χρήσιμη επίσης για την κωδικοποίηση, τη σύνθεση και την τροποποίηση της φωνής (Kafentzis, 2010) με τη χρήση του παραπάνω λογισμικού, κατέδειξε το σημαντικά «στενότερο» εύρος ζώνης των φωνοσυντονισμών των τραγουδιστών με καταγωγή από τα Χανιά για το φωνήεν /a/ σε σχέση με τους τραγουδιστές από το Ηράκλειο και το Ρέθυμνο, αναδεικνύοντας ταυτόχρονα το «έντονο» ένρινο στοιχείο ενός (1) Ρεθύμνιου τραγουδιστή.

Εφαρμογές σοβαρών παιχνιδιών στη συλλογή και συναισθηματική επισημείωση δειγμάτων ομιλίας

Λάζαρος Ματσουλιάδης^{1*}, Λουκάς Χαδέλλης², Χαράλαμπος Δημούλας³

¹ΕΑΠ, ²ΠΑΠΕΛ, ³ΑΠΘ

*matsouliadis.l@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στον τομέα των σοβαρών παιχνιδιών, η ενσωμάτωση της τεχνολογίας Αναγνώρισης Συναισθημάτων Ομιλίας (Speech Emotion Recognition – SER) παρουσιάζει μια πολλά υποσχόμενη οδό για τη βελτίωση της συλλογής δεδομένων και την ενίσχυση της διαδραστικότητας των χρηστών. Αυτή η έρευνα εξερευνά τις δυνατότητες των σοβαρών παιχνιδιών με δυνατότητα SER να συλλέγουν πλούσια δεδομένα ομιλίας από τους παίκτες, συμβάλλοντας στην πρόοδο τόσο της τεχνολογίας SER όσο και της ανάπτυξης σοβαρών παιχνιδιών.

Η έρευνα που παρουσιάζεται σε αυτή την εργασία επικεντρώνεται στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη δύο διαφορετικών εφαρμογών σοβαρών παιχνιδιών ειδικά σχεδιασμένων για τη συλλογή δεδομένων χροιάς φωνής. Αυτά τα παιχνίδια, που δημιουργήθηκαν με χρήση της Unreal Engine 5, παρέχουν εμπειρίες παιχνιδιού, ενώ ταυτόχρονα καταγράφουν τις συναισθηματικές εκφράσεις των παικτών μέσω της ομιλίας τους.

Η ενσωμάτωση SER σε σοβαρά παιχνίδια προσφέρει πληθώρα πλεονεκτημάτων. Πρώτον, διευκολύνει τη συλλογή ποικίλων δεδομένων ομιλίας, τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη της τεχνολογίας SER. Δεύτερον, βελτιώνει την εμπειρία του χρήστη επιτρέποντας στα παιχνίδια να προσαρμόζονται και να ανταποκρίνονται στις συναισθηματικές καταστάσεις των παικτών, δημιουργώντας πιο εξατομικευμένη εμπειρία για κάθε χρήστη.

Πέρα από την ενσωμάτωση SER, η έρευνα εστιάζει και στην υλοποίηση προηγμένης τεχνολογίας ήχου, αξιοποιώντας χωρικό ήχο, Doppler, Binaural και μηχανισμούς τρισδιάστατης ηχητικής τοποθέτησης. Η ενσωμάτωση αυτών των στοιχείων συμβάλλει στην υλοποίηση ρεαλιστικών ηχητικών περιβαλλόντων, ενισχύοντας την αίσθηση παρουσίας και την συναισθηματική σύνδεση των παικτών με το παιχνίδι.

Αυτή η έρευνα αποδεικνύει την αποτελεσματικότητα των σοβαρών παιχνιδιών με την δυνατότητα SER ως εργαλείο για τη συλλογή δεδομένων και την ενίσχυση της διαδραστικότητας με τους χρήστες. Οι εφαρμογές παιχνιδιών που αναπτύχθηκαν και η υλοποίηση των τεχνολογιών ήχου ανοίγουν τον δρόμο για το μέλλον του σχεδιασμού παιχνιδιών, όπου η συναισθηματική νοημοσύνη και η ρεαλιστική ηχητική εμπειρία διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη δημιουργία παιχνιδιών με βαθύτερη απήχηση στους χρήστες και αισθητή επίδραση στην ψυχολογία και τη συμπεριφορά τους.

Ο ρόλος της οπτικής επικοινωνίας στη ΔΜΕ

Κωνσταντίνος Τσιούτας^{1,*}, Κωνσταντίνος Τσάμης¹, Χρυσούλα Αλεξανδράκη¹

¹Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής

Ε. Δασκαλάκη Περιβόλια

741 33, Ρέθυμνο

*ktsioutas@hmu.gr (υπεύθυνου)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη Δικτυακή Μουσική Εκτέλεση (ΔΜΕ), δηλαδή την μουσική εκτέλεση μέσω δικτύου υπολογιστών, η επικοινωνία των μουσικών βασίζεται πρωτίστως, αν και όχι αποκλειστικά, στην ανταλλαγή ψηφιακών ροών ήχου και η εικόνας. Η αναγκαιότητα της ΔΜΕ αναδείχθηκε ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της πρόσφατης πανδημίας όπου πρωτίστως στην εκπαίδευση, η συνεργασία και επικοινωνία μέσω Διαδικτύου έγινε απαραίτητη. Ειδικά η μουσική εκπαίδευση μέσω Διαδικτύου αξιοποιεί συστήματα ΔΜΕ. Στα σενάρια Διαδικτυακών μουσικών συναυλιών, η καθυστέρηση του ήχου λόγω καθυστέρησης του Διαδικτύου διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο, καθώς καθιστά δύσκολο και στις περισσότερες περιπτώσεις αδύνατο το συγχρονισμό των μουσικών. Πολυάριθμες είναι οι έρευνες που μελετούν την επίδραση της καθυστέρησης του ήχου στη ΔΜΕ. Οι έρευνες αυτές φαίνεται να συμφωνούν στο γενικό συμπέρασμα ότι κατά την παρουσία δικτυακής καθυστέρησης, οι μουσικοί τείνουν να επιβραδύνουν το τέμπο της μουσικής εκτέλεσης σε μια προσπάθεια να συγχρονιστούν με τους συνεργάτες τους. Οι έρευνες αυτές εστιάζουν πρωτίστως στην ηχητική επικοινωνία θεωρώντας ότι η οπτική επικοινωνία των μουσικών είναι συμπληρωματική ή/και δευτερεύουσα. Εντούτοις, εστιάζοντας στην περίπτωση της μουσικής εκπαίδευσης, όπου δάσκαλος και μαθητής αλληλεπιδρούν με πολλαπλά αισθητηριακά μέσα, η καθυστέρηση του ήχου δεν αποτελεί απαραίτητα απαγορευτικό παράγοντα. Σε ένα μάθημα μουσικής η ταυτόχρονη μουσική εκτέλεση δάσκαλου και μαθητή δεν είναι προϋπόθεση για τη διεξαγωγή μαθήματος. Αντίθετα, προϋπόθεση για τη διεξαγωγή μαθήματος μουσικής είναι η δυνατότητα οπτικής επικοινωνίας.

Αυτή η εργασία εξετάζει το ρόλο της οπτικής επικοινωνίας σε συνεδρίες ΔΜΕ, χωρίς όμως να επικεντρώνεται στη μουσική εκπαίδευση, ώστε να εξαχθούν γενικότερα συμπεράσματα για τη ΔΜΕ. Πραγματοποιήσαμε μια σειρά από πειράματα με δέκα (10) μουσικούς (πέντε ζευγάρια), οι οποίοι επικοινωνούσαν μέσω του τοπικού δικτύου του τμήματος Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής του ΕΛΜΕΠΑ. Στα πειράματα αυτά χρησιμοποιήθηκε λογισμικό το οποίο εισάγει μεταβλητή καθυστέρηση στην ηχητική επικοινωνία. Οι μουσικοί επιπρόσθετα με την ηχητική επικοινωνία, είχαν οπτική επικοινωνία με χρήση συνδεδεμένων καμερών και οθονών από άκρο σε άκρο. Η οπτική επικοινωνία είχε σταθερή καθυστέρηση της τάξεως των 64ms από τον ένα μουσικό στον άλλον. Τα πειράματα βασίστηκαν στη μεθοδολογία επαναλαμβανόμενων μετρήσεων (repeated measurements).

Συγκεκριμένα οι μουσικοί κλήθηκαν να πραγματοποιήσουν δύο (2) σενάρια τα οποία περιλάμβαναν επτά (7) επαναλήψεις το καθένα. Σε κάθε επανάληψη, η καθυστέρηση του ήχου είχε διαφορετική τιμή μέσα σε ένα εύρος τιμών από 17ms έως 60ms από το ένα άκρο στο άλλο. Πριν την πειραματική διαδικασία ζητήθηκε από τους μουσικούς να προετοιμάσουν ένα μουσικό θέμα της επιλογής τους το οποίο να μην υπερβαίνει σε διάρκεια το ένα λεπτό. Η επιλογή αυτή έγινε σκόπιμα ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα όπως η επίδραση της πράξης (practice effect) που συναντάται σε περιπτώσεις επαναλαμβανόμενων μετρήσεων. Η προετοιμασία λάμβανε χώρα στον έναν από τους δύο χώρους του που επιλέχθηκαν για τη διεξαγωγή των πειραμάτων και χωρίς χρήση τεχνολογικών μέσων. Κατόπιν της προετοιμασίας ακολουθούσε η πειραματική διαδικασία. Κατά το Σενάριο 1 (πρώτες επτά επαναλήψεις) οι μουσικοί εκτέλεσαν το κομμάτι που προετοίμασαν χωρίς οπτική επαφή ενώ πραγματοποίησαν άλλες επτά επαναλήψεις κατά το Σενάριο 2 με οπτική επαφή.

Προκειμένου να γίνει συλλογή δεδομένων προς ανάλυση, εφαρμόστηκε η μέθοδος της υποκειμενικής αξιολόγησης (subjective evaluation), με χρήση ηλεκτρονικών ερωτηματολογίων τα οποία οι μουσικοί κλήθηκαν να απαντήσουν μετά από κάθε επανάληψη. Οι ερωτήσεις αφορούσαν την αξιολόγηση ζητημάτων όπως η αντίληψη της καθυστέρησης, η δυνατότητα συγχρονισμού ανάμεσα στους μουσικούς, η γενικότερη εμπειρία στην κάθε επανάληψη, αλλά και η χρησιμότητα της οπτικής επικοινωνίας. Η αξιολόγηση έγινε με χρήση ψυχομετρικής κλίμακας Likert από 1 έως 7. Επιπρόσθετα με τα ερωτηματολόγια, καταγράφηκαν οι ροές ήχου και βίντεο κατά τη διάρκεια των πειραμάτων. Οι καταγραφές βίντεο εστίαζαν στα πρόσωπα των μουσικών, προκειμένου να επιτραπεί η αναγνώριση εκφράσεων προσώπου με εργαλεία υπολογιστικής όρασης. Συμπληρωματικά, οι καταγραφές ήχου βοηθούν μέσω της ευθυγράμμισής τους με τις εκφράσεις προσώπου στην επικύρωση των απαντήσεων που υποβλήθηκαν μέσω των ερωτηματολογίων.

Για την ανάλυση των ερωτηματολογίων, εφαρμόστηκαν στατιστικά εργαλεία κατάλληλα για τη μεθοδολογία των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων καταδεικνύουν ότι παρόλο που η οι μουσικοί επικεντρώνονται στην ηχητική πληροφορία, επιβεβαιώνοντας προηγούμενες έρευνες, υπάρχουν ενδείξεις ότι σε συνθήκες αυξημένης καθυστέρησης της ηχητικής πληροφορίας οι μουσικοί τείνουν να στρέφουν τη προσοχή τους προς την οθόνη αναζητώντας μηχανισμούς αντιμετώπισης της αυξημένης ηχητικής καθυστέρησης. Αν και το δείγμα των δέκα μουσικών μπορεί να χαρακτηριστεί ως στατιστικά αδύναμο, τα ευρήματα φανερώνουν ότι η οπτική επαφή διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη συνεργασία κατά τη ΔΜΕ.

Πλατινένιος Χορηγός:



Χρυσή Χορηγοί:

