

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 παρούσα εργασία περιγράφει τη χρήση στοχαστικών τεχνικών σε συνδυασμό με την μικροπολυφωνία για την ηχοποίηση μαγνητικών καταιγίδων. Λαμβάνοντας υπόψη προηγούμενες εργασίες και τη μέχρι τώρα έρευνα που συνδέει το ευχάριστο αισθητικά αποτέλεσμα και την οικειότητα του ακροατή με την αποτελεσματικότητα της ηχοποίησης, σχεδιάστηκε ηχοποίηση δεδομένων δύο επιπέδων που περιγράφει το μοτίβο των καταιγίδων, επιχειρώντας να μεταφέρει στον ακροατή έννοιες όπως η διαταραχή και ο κίνδυνος. Η συνδυαστική χρήση ανεξάρτητων στοιχείων όπως το εύρος της μελωδικής γραμμής και η ρυθμική επιτάχυνση, σε συνδυασμό με τον μικροπολυφωνικό κανόνα σε διαδοχικά διαστήματα δευτέρας μικρής, δημιουργεί μια πυκνή ηχητική μάζα που αντανακλά την πολύπλοκη και έντονη φύση των καταιγίδων.

Sonification of Magnetic Storms with Stochastic Compositional Techniques

ABSTRACT

This paper explores applying stochastic techniques combined with micropolyphony to sonify magnetic storms. Building on previous research, which links aesthetic appeal and listener familiarity with the effectiveness of sonification, we developed a two-layer approach that illustrates storm patterns while evoking concepts such as disturbance and danger. The method integrates independent musical elements, including the range of the melodic line and rhythmic acceleration, with micropolyphonic canon on successive minor second intervals. The resulting dense sonic texture reflects magnetic storms' complex and intense nature.

Εισαγωγή

Η ηχοποίηση δεδομένων, η χρήση δηλαδή μη λεκτικού ήχου για τη μεταφορά πληροφορίας [2], παρά τη σχετικά σύντομη ιστορία της, αποδεικνύεται ένα χρήσιμο

εργαλείο για την προώθηση της επιστημονικής γνώσης, την ευαισθητοποίηση του κοινού σε νέα επιστημονικά δεδομένα, καθώς και την παροχή ίσων ευκαιριών πρόσβασης σε αυτά. [13, 15], γεγονός που αναδεικνύεται από την ανοδική τάση στη χρήση της σε ένα ευρύ φάσμα γνωστικών πεδίων. Ο ήχος προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα ως μέσο αναπαράστασης επιτρέποντας την ταυτόχρονη αναπαραγωγή διαφόρων μεταβλητών, την αναγνώριση μοτίβων και την συμπίκνωση μεγάλων σετ δεδομένων σε λίγα λεπτά [2], πλεονεκτήματα που ενισχύονται από την ακρίβεια που χαρακτηρίζει την ανθρώπινη ακοή σε σχέση με την όραση [3].

Η χρήση του ήχου για τη μετάδοση πληροφοριών ή την περιγραφή όψεων του κόσμου έχει μια πλούσια προϊστορία [16, 17]. Η επιστημονική εξέλιξη ωστόσο κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα και οι νέες προοπτικές έφερε αυτή στη μουσική ως προς την επεξεργασία του ήχου και τη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή, θα θέσουν τα θεμέλια πάνω στα οποία θα χτιστεί η ηχοποίηση. Ο Ιάννης Ξενάκης αναδεικνύεται ως μια από τις σημαντικότερες προσωπικότητες αυτής της πρώιμης ιστορίας, φυτεύοντας σύμφωνα με τον Wotral [19] τον σπόρο για την αναπαράσταση των σχέσεων αφηρημένων δεδομένων στον ήχο για ερευνητικούς σκοπούς.

Η παρούσα εργασία αξιοποιεί στοιχεία από την στοχαστική του τεχνική [11] και συγκεκριμένα τη χρήση κατανομών πιθανοτήτων σε συνδυασμό με την υπέρθεση πολλών ανεξάρτητων φωνών που απαντάται στην μικροπολυφωνία του Ligeti [4, 12], προκειμένου να αποτυπώσει ηχητικά το φαινόμενο των μαγνητικών (γεωμαγνητικών) καταιγίδων (διαταραχών) [8], των διαταραχών δηλαδή του μαγνητικού πεδίου της Γης εξαιτίας της απελευθέρωσης μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας από τον Ήλιο. Οι δύο παραπάνω τεχνικές στοχεύουν στη δημιουργία πυκνών ηχητικών μαζών, που σε συνδυασμό με στοιχεία όπως η κινητικότητα και η διαφωνία διευκολύνουν τη σύνδεση του ακροατή με έννοιες που συνδέονται με το φαινόμενο όπως η διαταραχή ή ο κίνδυνος, ενισχύοντας ταυτόχρονα το αισθητικό αποτέλεσμα. Και τα δύο παραπάνω χαρακτηριστικά, σύμφωνα με ψυχοακουστικές μελέτες [6, 9] διευκολύνουν τη σύνδεση της αντίληψης του ακροατή με το φαινόμενο που ηχοποιείται.

Η ηχητική υφή που δημιουργείται, λειτουργεί ως ένα ηχητικό υπόβαθρο μέσα στο οποίο οι τιμές του Dst, του δείκτη δηλαδή που περιγράφει τις ωριαίες διακυμάνσεις του γήινου μαγνητικού πεδίου στο επίπεδο του Ισημερινού, αποτυπώνονται ηχητικά μέσω των μεταβολών του τονικού ύψους. Με αυτόν τον τρόπο μία μοναδική σειρά δεδομένων μεταφέρεται στο πεδίο του ήχου σε μία ηχοποίηση δύο επιπέδων που έχει ως στόχο να αναδείξει τόσο τα ποσοτικά όσο και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του φαινομένου, μια προσέγγιση που θα μπορούσε να αποδειχθεί χρήσιμη στην ηχοποίηση φαινομένων και σωμάτων από το πεδίο των διαστημικών επιστημών.

1. Ιστορικό Υπόβαθρο

Οι διαστημικές επιστήμες αποτελούν ένα δημοφιλές επιστημονικό πεδίο για τη δημιουργία ηχοποιήσεων, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια [20]. Αυτό, έρχεται ως αποτέλεσμα της ανάγκης για εξωστρέφεια ενός επιστημονικού πεδίου, που περιλαμβάνει μεγάλο όγκο δεδομένων και πολυδιάστατα φαινόμενα, πολλές φορές έξω από τις ανθρώπινες αισθήσεις λόγω μεγέθους ή απόστασης.

1.1 Ηλιακή δραστηριότητα και μαγνητικές καταιγίδες

Η χρήση του ήχου για την αποτύπωση των επιπτώσεων της ηλιακής δραστηριότητας στη Γη, ξεκινάει τριάντα περίπου χρόνια από την πρώτη επίσημη διατύπωση του όρου ηχοποίηση από τον Kramer. Συγκεκριμένα, το 1970 ο Charles Dodge μετά από αίτημα της NASA θα συνεργαστεί με τους επιστήμονες Boller, Unger και Frederick μετατρέποντας τις διακυμάνσεις του μαγνητικού πεδίου της Γης σε ήχο, δημιουργώντας το κομμάτι Erths's Magnetic Field [18,].

Οι ηχοποιήσεις που θα ακολουθήσουν,, περιλαμβάνουν παραδείγματα που εξυπηρετούν διερευνητικούς, επικοινωνιακούς και καλλιτεχνικούς σκοπούς. Μπορούμε να βρούμε επιστημονικά εργαλεία όπως το xSonify των Diaz-Merced κ. α. [5], ηχοποιήσεις που εστιάζουν στον διαμοιρασμό της επιστημονικής γνώσης σε ένα ευρύτερο κοινό όπως τα Sounds of Stereo του Πανεπιστημίου του Berkley, η διαδραστική εφαρμογή Hearing the Magnetic Storm [14] και το Auroral Borealis από το ντοκυμαντέρ Rhythms of the Universe του Ballora [1] και η διαδραστική εγκατάσταση για άτομα με προβλήματα όρασης Walk on the Sun [13] του Quinn

Η πλειονότητα των παραπάνω παραδειγμάτων κάνει χρήση της χαρτογράφησης παραμέτρων (parameter mapping) για τη μεταφορά των δεδομένων στο πεδίο του ήχου, εστιάζοντας κατά βάση σε ένα ηχητικό αποτέλεσμα που παραπέμπει στον απόκοσμο χαρακτήρα των φαινομένων που ηχοποιούνται σε μια προσπάθεια σύνδεσης του ακροατή με αυτά. Για τον ίδιο λόγο παρατηρείται η χρήση μεταφορών (π.χ. κόκκοι ήχου και σωματίδια), ενώ υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα στο φυσικό μέγεθος που περιγράφεται και στη μουσική παράμετρο στην οποία αυτό ανατίθεται (π.χ. πυκνότητα ηλιακού ανέμου και πυκνότητα ήχου).

Τα παραπάνω, υποδεικνύουν μια προσπάθεια εξισορρόπησης της απουσίας προηγούμενης σύνδεσης του ακροατή μέσω της δημιουργίας ηχητικών εικόνων που θα μπορούσαν να θεωρηθούν οικείες, κάτι που σύμφωνα με ψυχοακουστικές μελέτες [6 9 15] βελτιώνει την αποτελεσματικότητα της ηχοποίησης. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, σχεδιάσαμε ένα σύστημα ηχοποίησης που περιγράφει το μοτίβο των μαγνητικών καταιγίδων σε διάφορες εντάσεις, επιδιώκοντας να συμπεριλάβουμε στοιχεία όπως ο κίνδυνος και η αναταραχή. Ο συνδυασμός της μικροπολυφωνίας και της στοχαστικής τεχνικής, δημιουργεί ένα ηχητικό υπόβαθρο που μεταφέρει νοητικά την εικόνα μιας καταιγίδας.

1.2 Μικροπολυφωνία και Στοχαστική Μουσική

Ο Clendinning [4] ορίζει τη μικροπολυφωνία ως μια πλούσια πολυεπίπεδη μουσική υφή που δημιουργείται από την υπέρθεση πολλαπλών μελωδικών γραμμών είτε με τη μορφή κανόνα (μικροκανονικές), είτε με αλληλοκαλυπτόμενα ρυθμικά μοτίβα (pattern meccanico).. Μια τρίτη κατηγορία προκύπτει από συνδυασμούς των δύο πρώτων.

Αν και η μικροπολυφωνία εμφανίζει μικρές παραλλαγές, η επιστημονική βιβλιογραφία προσδιορίζει τα βασικά της στοιχεία. Πρώτον, περιλαμβάνει αντιστικτικές τεχνικές όπως ο κανόνας και η μίμηση [12]. Δεύτερον, έχει ως αποτέλεσμα μια πυκνή ηχητική μάζα μέσα στην οποία οι μεμονωμένες γραμμές χάνουν τη ιδιαιτερότητά τους. Τέλος, κάθε φωνή έχει συγκεκριμένη μελωδική και ρυθμική δομή που είναι σχολαστικά συντεθειμένη με κάθε λεπτομέρεια.

Παρόμοια με τη μικροπολυφωνία, σύνθετες δομές μπορούν να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας στοχαστικές διαδικασίες. Αυτή η προσέγγιση βασίζεται στη θεωρία των πιθανοτήτων, ιδιαίτερα στον νόμο των μεγάλων αριθμών και στην τάση προς μια

σταθερή τιμή, κάτι που συσχετίζεται με την ελληνική λέξη *στόχος* [11]. Ο έλεγχος των ηχητικών μαζών που δημιουργούνται, γίνεται μέσω στοχαστικών διεργασιών που χρησιμοποιούν κατανομές πιθανοτήτων.

Η προσέγγισή μας συγχωνεύει τις δύο παραπάνω τεχνικές κάνοντας χρήση του μικροπολυφωνικού κανόνα και της υπέρθεσης των μελωδικών γραμμών, οι οποίες ωστόσο δεν δημιουργούνται από τον συνθέτη αλλά συνδέονται με τα δεδομένα μέσω κατανομών πιθανοτήτων. Η πυκνότητα της υφής που δημιουργείται και ο ρυθμός και η μελωδία της φωνής που δημιουργεί τον κανόνα, ελέγχονται από ζώνες τιμών αντίστοιχες με τις εντάσεις του φαινομένου.

2. Ηχοποίηση Μαγνητικών Καταιγίδων

2.1 Δεδομένα

Τα δεδομένα αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων World Data Center for Geomagnetism. Επιλέχθηκαν πέντε διαφορετικές χρονικές περίοδοι από τις οποίες οι τέσσερις αντιστοιχούν σε καταιγίδες διαφορετικών εντάσεων από μέτριες έως ισχυρές και στις οποίες συμπεριλαμβάνεται η χαμηλότερη καταγεγραμμένη τιμή του δείκτη Dst και η μία σε ήρεμο διαστημικό καιρό, όπου δηλαδή δεν παρατηρείται κάποια διαταραχή. Η διάρκεια των παραπάνω περιόδων ποικίλει ανάλογα με την ένταση του φαινομένου από τέσσερις σε δέκα ημέρες προκειμένου να καλύψει όλες τις φάσεις του.

2.2 Στρατηγικές Ηχοποίησης

Η επιλογή των στρατηγικών της συγκεκριμένης ηχοποίησης έγινε με βάση τους παρακάτω στόχους: α) το σύστημα περιγράφει το μοτίβο του φαινομένου σε όλο το εύρος των καταγεγραμμένων τιμών, β) το μοτίβο της καταιγίδας να μπορεί να γίνει αντιληπτό από ακροατές χωρίς εξειδικευμένες επιστημονικές ή μουσικές γνώσεις, γ) το ηχητικό αποτέλεσμα να είναι ελκυστικό και να συνδέει τον ακροατή με έννοιες όπως η διαταραχή, η ρευστότητα και ο κίνδυνος. Βασικός μας στόχος είναι η απεικόνιση της έντασης των καταιγίδων και όχι η περιγραφή των τιμών του δείκτη που συνδέεται με αυτές. Καθώς ο τελευταίος λαμβάνει αρνητικές τιμές (εξασθένιση του μαγνητικού πεδίου), μετατρέψαμε τις τιμές αυτές σε θετικές (αύξηση της έντασης).

Με βάση τα παραπάνω δημιουργήθηκε μία ηχοποίηση δύο στρωμάτων, όπου στο πρώτο περιγράφεται η (συμμετρική ως προς τον οριζόντιο άξονα) κίνηση του δείκτη Dst και στο δεύτερο ένα ηχητικό περιβάλλον που στοχεύει να αναδείξει ποιοτικά στοιχεία των καταιγίδων. Το τελευταίο, χωρίζεται σε δύο επιμέρους λειτουργίες. Η πρώτη σχετίζεται με τις μικρότερες εντάσεις του φαινομένου (ασθενείς και μέτριες καταιγίδες) και η δεύτερη αναφέρεται σε ισχυρά φαινόμενα. Τα τελευταία καταλαμβάνουν ένα συγκριτικά μεγάλο εύρος τιμών που χρειαζόταν διαφορετικό χειρισμό προκειμένου να αποτυπωθεί αποτελεσματικά.

Το πρώτο επίπεδο της ηχοποίησης έχει ως στόχο να δώσει μια ξεκάθαρη εικόνα της μεταβολής των τιμών του δείκτη, διακριτή μέσα στο περιβάλλον που δημιουργεί το δεύτερο στρώμα της ηχοποίησης. Για αυτό τον λόγο επιλέχθηκε ένα πολύ συχνό

αποτελεσματικό αντιληπτικά ζεύγος αναθέσεων, ο συνδυασμός του τονικού ύψους και της έντασης.

Το δεύτερο επίπεδο προσομοιάζει αυτό που θα μπορούσε να περιγραφεί ως μουσική αισθητική με την έννοια του ευχάριστου και του ελκυστικού [7]. Το επίπεδο αυτό στοχεύει σε ένα ηχητικό αποτέλεσμα δυναμικό και ρευστό που συνδέει τον ακροατή με τη νοητική εικόνα της μαγνητικής καταιγίδας. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της αύξησης της διαφωνίας (διαταραχή, κίνδυνος), της διεύρυνσης της μελωδικής και ρυθμικής κίνησης (αναταραχή, πολυπλοκότητα) και της αύξησης της πυκνότητας του ήχου (ένταση φαινομένου).

2.3 Χαρτογράφηση

Η παρούσα ηχοποίηση χρησιμοποιεί την τεχνική χαρτογράφησης παραμέτρων (parameter mapping sonification), με τη χαρτογράφηση να πραγματοποιείται με δύο διαφορετικούς τρόπους: πρώτον, συνδέοντας απευθείας τις τιμές των δεδομένων με τη μουσική παράμετρο μέσω μιας συγκεκριμένης κλίμακας και δεύτερον, διαιρώντας το συνολικό εύρος τιμών των δεδομένων σε μικρότερα τμήματα και συσχετίζοντας τα με συγκεκριμένες τιμές ή ζώνες τιμών των παραμέτρων του ήχου. Η πρώτη μέθοδος χρησιμοποιείται στο πρώτο στρώμα της ηχοποίησης και η δεύτερη κατά κύριο λόγο στο δεύτερο.

Στο πρώτο επίπεδο οι 600 περίπου μονάδες Dst καλύπτουν ένα εύρος τριών οκτάβων και περίπου 15 dB. Το δεύτερο επίπεδο χωρίζεται σε δύο βασικές ζώνες που αντιστοιχούν στις δύο βασικές λειτουργίες με όριο την τιμή -100nT (ισχυρές καταιγίδες). Και οι δύο ζώνες χωρίζονται σε μικρότερες, που για την πρώτη λειτουργία οριοθετούνται από τις τιμές που διαχωρίζουν τα επίπεδα έντασης των καταιγίδων (-30nT, -50nT, -100nT) και για την δεύτερη σε ίσα κομμάτια με εύρος πενήντα μονάδων η καθεμία.

Κάθε μία από τις παραπάνω ζώνες τιμών, ενεργοποιεί λειτουργίες που σχετίζονται με τα διαθέσιμα προς επιλογή δείγματα ήχου, τη ρυθμική αξία που καθορίζει την εναλλαγή των παραπάνω δειγμάτων και του τονικού ύψους, το εύρος μέσα στο οποίο κινείται η μελωδική γραμμή και τη δημιουργία και εναλλαγή των διάφωνων συνηγήσεων όπως δείχνει ο Πίνακας 1 και περιγράφεται παρακάτω.

Πίνακας 1 Χαρτογράφηση με βάση τις ζώνες τιμών.

Ζώνες Τιμών	Ηχητικά Δείγματα	Κεντρική Αξία (ms)	Διακύμανση Τονικού ύψους (cents)	Διάστημα
> 0	2	9600	0	Ταυτοφωνία
[0,-30)	3	6400	75/ [-25,25]	3 ^η Μεγάλη
[-30, -50)	4	4800	125/ [-50,50]	3 ^η Μικρή
[-50, -100)	5	3600	225/ [-100,100]	2 ^η Μεγάλη

Ζώνες Τιμών	Ηχητικά Δείγματα	Κεντρική Αξία (ms)	Διακύμανση Τονικού ύψους (cents)	Διάστημα
[-100, -150)	6	2400	425/ [-200,200]	2 ^α Μικρή
[-150, -200)	6	1800	625/ [-300,300]	Κανόνας 1 φωνή
[-200, -250)	7	1200	825/ [-400,400]	Κανόνας 2 φωνές
[-250, -300)	7	900	1025/ [-500,500]	Κανόνας 3 φωνές
[-300, -350)	8	800	1225/ [-600,600]	Κανόνας 4 φωνές
[-350, -400)	8	600	1425/ [-700,700]	Κανόνας 5 φωνές
[-400, -450)	9	400	1625/ [-800,800]	Κανόνας 6 φωνές
[-450, -500)	9	300	1825/ [-900, 900]	Κανόνας 7 φωνές
[500, 550)	9	200	2025/ [-1000,1000]	Κανόνας 8 φωνές
<= -550	9	150	2225/ [-1100,1100]	Κανόνας 8 φωνές

Η επιλογή ανάμεσα στα διαθέσιμα δείγματα ήχου είναι τυχαία. Υπάρχει ένα μέγιστο εννέα επιλογών κατανεμημένων από το απλούστερο στο πιο σύνθετο δείγμα. Κάθε ζώνη τιμών μέχρι τα -400nT ενεργοποιεί μία επιπλέον επιλογή μέχρι το μέγιστο. Ο ρυθμός εναλλαγής καθορίζεται από μία κεντρική ρυθμική αξία που γίνεται μικρότερη (πιο γρήγορη εναλλαγή) για κάθε ζώνη τιμών που αντιστοιχεί σε υψηλότερο επίπεδο έντασης. Πιθανές επιλογές που αντιστοιχούν σε διπλάσια και μισή από την κεντρική αξία, όπως επίσης και σε αξίες τρίηχου και παρεστιγμένου. Το εύρος του τονικού ύψους κινείται σε 88 βήματα που αντιστοιχούν σε 11 ημιτόνια (1100 cent) προς τα πάνω και προς τα κάτω. Τέλος για κάθε ζώνη τιμών πάνω από τα -100nT, η μελωδική γραμμή διπλασιάζεται σε διαδοχικά αρμονικά διαστήματα αυξημένης διαφωνίας (από τρίτη μεγάλη έως δευτέρα μικρή). Για χαμηλότερες τιμές μια νέα φωνή σε διάστημα δευτέρας μικρής προστίθεται σε μορφή κανόνα αυξάνοντας την πυκνότητα του ήχου.

Ηχητικά παραδείγματα είναι διαθέσιμα στον παρακάτω σύνδεσμο.

<https://drive.google.com/drive/folders/1VA3Q0xPir99CHHglKiYme3Fo2AKIVd7A?usp=sharing>

3. Συμπεράσματα

Το σύστημα που περιεγράφηκε παραπάνω δοκιμάστηκε χρησιμοποιώντας δεδομένα από καταγίδες διαφορετικών εντάσεων και λειτουργεί αποτελεσματικά για

όλες τις καταγεγραμμένες τιμές του Dst. Οι επιμέρους επιλογές δρουν συνεργατικά και φαίνεται να ενισχύουν ακουστικά την περιγραφή της έντασης των συμβάντων καθώς και το αισθητικό αποτέλεσμα της ηχοποίησης. Για τις καταγίδες μικρότερης έντασης (ασθενείς και μέτριες), το δεύτερο επίπεδο δημιουργεί ένα ρευστό υπόβαθρο που αυξάνει σε κινητικότητα όσο το φαινόμενο εντείνεται, αφήνοντας ακουστικό περιθώριο για να γίνει αντιληπτή η κίνηση του δείκτη μέσω της μεταβολής του τονικού ύψους. Για τις ισχυρές καταγίδες, η πύκνωση του ηχητικού υλικού που προκαλεί ο μικροπολυφωνικός κανόνας ενισχύει την αναταραχή μέσω ασύμφωνων διαστημάτων και της διαδοχικής εισόδου φωνών, με μειωμένα χρονικά διαστήματα δημιουργώντας μια αίσθηση που μπορεί να γίνει αντιληπτή ως επιτάχυνση, με την μελωδική κίνηση του δείκτη να είναι ξεκάθαρη εξαιτίας της απότομης πτώσης του. Η συγκεκριμένη επιλογή φαίνεται ότι θα μπορούσε υπό προϋποθέσεις να λειτουργήσει και ως ανεξάρτητη πηγή πληροφορίας.

Η αξιολόγηση των παραπάνω επιλογών στο πλαίσιο της περαιτέρω έρευνας, θα πρόσφερε χρήσιμα συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητά τους σε σχέση με τον ακροατή. Και οι δύο τεχνικές παρέχουν αρκετές δυνατότητες, όπως το συχνοτικό εύρος της ηχητικής μάζας ή τα χρονικά διαστήματα ανάμεσα στις εισόδους των φωνών που θα μπορούσαν να διερευνηθούν για τη δημιουργία ηχοποιήσεων που αποσκοπούν στην πληροφόρηση ή τη μουσική δημιουργία.

4. Αναφορές

- [1] Ballora M., «Sonification Strategies for the Film Rhythms of the Universe». *Presented at the 20th International Conference on Auditory Display (ICAD2014)*, (2014)
- [2] Barrass S. & Kramer G., «Using sonification», *Multimedia Systems* 7, 23–31 (1999)
- [3] Chion, M., *Audio-Vision : Sound on Screen*. New York: Columbia University Press, (1994).
- [4] Clendinning J. P. «Contrapuntal techniques in the music of Gyorgy Ligeti», PhD Thesis, Yale University (1989)
- [5] Diaz-Merced W. L. et al. «Sonification of Astronomical Data» *Proceedings of the International Astronomical Union* 7, 133–136. (2011)
- [6] Ferguson J. & Brewster S. A., «Investigating Perceptual Congruence between Data and Display Dimensions in Sonification» In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Paper 611, 1–9. (2018)
- [7] Godt I., «Music: A Practical Definition. » *The Musical Times* 146, no. 1890 (2005)
- [8] Gonzalez W. D. et al. «What is a geomagnetic storm?» *Journal of Geophysical Research: Space Physics* 99, A4 5771–5792, (1994),
- [9] Lăpușteanu A. et al. «A review of Sonification Solutions in Assistive Systems for visually impaired people». *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology* 1–16. (2024)
- [10] Lindborg P., Lenzi S., & Chen M., «Climate data sonification and visualization: An analysis of topics, aesthetics, and characteristics in 32 recent projects» *Frontiers in Psychology* 13 (2023).

- [11] Luque S., «The stochastic synthesis of Iannis Xenakis» *Leonardo Music Journal* **19**, 77–84 (2009)
- [12] Mayville S., «The Compositional Techniques and Influences behind Ligeti's Atmosphères» *Intermezzo* **1**, 30-38 (2014)
- [13] Quinn M., «Walk on the Sun: An interactive image sonification exhibit» *AI & SOCIETY* **27**, **2** 303–305. (2011)
- [14] Rovithis E., «Hearing the Magnetic Storm». *SOUNDCLOUD* (2019)
- [15] Ronnberg N., «Musical Elements in Sonification Support Visual Perception». *In Proceedings of the 31st European Conference on Cognitive Ergonomics (ECCE '19)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 114–117 (2019)
- [16] Straebel V., «The Sonification Metaphor in Instrumental Music and Sonification's Romantic Implications». *Proceedings of the 16th International Conference on Auditory Display (ICAD2010)*, Ed. Eoin Brazil. International Community for Auditory Display, (2010).
- [17] Taylor S., «From Program Music to Sonification: Representation and the Evolution of Music and Language» *Presented at the 23rd International Conference on Auditory Display (ICAD2017)*, (2017)
- [18] Thieberger Ed M. & Dodge C., «An interview with Charles Dodge». *Computer Music Journal* **19**, 1 (1995),
- [19] David Worrall, «Sonification: A Prehistory». *Presented at the 24th International Conference on Auditory Display (ICAD2018)* (2018)
- [20] Zanella A. et al. «Sonification and Sound Design for Astronomy Research, education and public engagement» *Nature Astronomy* **6**, **11** (1241–1248 (2022)