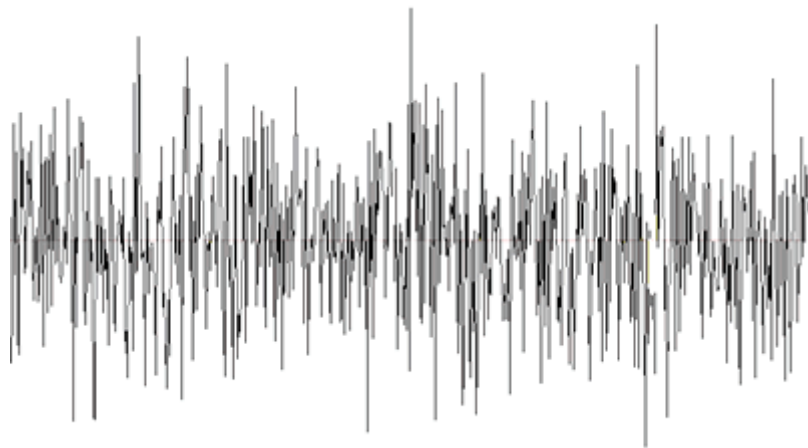


Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Σχολή Καλών Τεχνών
Τμήμα μουσικών σπουδών

Absorbance22

Μια ηχητική εγκατάσταση στο περιβάλλον MAX/MSP με επίκεντρο την
ανάλυση και διαμόρφωση ήχων θορύβου



Δούσος Γιώργος
ΑΕΜ 879

Επιβλέπων καθηγητής Αιμίλιος Καμπουρόπουλος
Θεσσαλονίκη 2012

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αιμίλιο Καμπουρόπουλο και τον κ. Παναγιώτη Κόκκορα για την σημαντική τους βοήθεια, στην ολοκλήρωση της παρούσης εργασίας .

Περιεχόμενα

-Εισαγωγή

1. Θόρυβος

- 1.1. Ο θόρυβος στην μουσική
- 1.2. Τα χαρακτηριστικά του Θορύβου
- 1.3. Λευκός Θόρυβος
- 1.4. Ροζ ή $1/f$ θόρυβος
- 1.5. Θόρυβος και τυχαιότητα

2. Ανάλυση ήχου και αφαιρετική σύνθεση

- 2.1. Η ανάλυση ήχου στην μουσική
- 2.2. Γρήγορος μετασχηματισμός Φουριέ (Fast Fourier transform)
- 2.3. Ανίχνευση τονικού ύψους (Pitch Detection)
- 2.4. Αφαιρετική σύνθεση
- 2.5. Φίλτρα
- 2.6. Τέσσερις βασικοί τύποι φίλτρων
- 2.7. Η τεχνική της συνέλιξης (Convolution)

3. Ηχητική εγκατάσταση και αλληλεπίδραση στην τέχνη

- 3.1. Ηχητική εγκατάσταση
- 3.2. Αλληλεπίδραση
- 3.3. Absorbance22: Περιγραφή της ηχητικής εγκατάστασης
- 3.4. Πρώτη εκδοχή (Patch 1)
- 3.5. Δεύτερη εκδοχή (Patch 2)
- 3.6. Τρίτη Εκδοχή (Patch 3)

- Επίλογος
- Βιβλιογραφία
- Παράρτημα 1

Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία περιγράφει μια ηχητική εγκατάσταση με θέμα τον θόρυβο. Αφορμή στάθηκαν κάποιες σκέψεις του Ζακ Αταλί, σχετικά με τον ρόλο του θορύβου στις σύγχρονες κοινωνίες. Στο βιβλίο “θόρυβοι” ο Αταλί (Αταλί, 1991) ξεκινάει λέγοντας πως η γνώση μας για τον κόσμο δεν πρέπει να βασίζεται στο πως “βλέπουμε” τον κόσμο, αλλά πως ή τι ακούμε μέσα σ' αυτόν. Συνεπώς οι ήχοι που υπάρχουν μέσα σε μια κοινωνία είναι πολύ σημαντικοί. Στην συνέχεια ο Αταλί περιγράφοντας τον θόρυβο, του προσδίδει ένα βαθύτερο νόημα για την δράση του σε μια κοινωνία. Πάνω σε αυτές τις σκέψεις για τους ήχους του κόσμου και τον θόρυβο δημιουργήθηκε η ιδέα για την υλοποίηση της ηχητικής εγκατάστασης που περιγράφει η παρούσα εργασία.

Ο θόρυβος και ο χώρος είναι τα κεντρικά σημεία της εγκατάστασης. Η ιδέα είναι να δημιουργήσουμε καινούριους ήχους (μέσα από διαδικασίες ανάλυσης και επεξεργασίας ηχητικών σημάτων) που θα προέρχονται από την αλληλεπίδραση προ-ηχογραφημένων ήχων θορύβου με τους ήχους που υπάρχουν σε έναν χώρο. Αφετηρία είναι οι προ-ηχογραφημένοι ήχοι θορύβου. Αυτό το πρωτογενές ηχητικό υλικό υπόκειται επεξεργασία και διαμορφώνεται από ήχους προερχόμενους από το γύρω περιβάλλον, δημιουργώντας μια νέα ηχητική – μουσική δομή. Θα είναι κατά κάποιο τρόπο η προβολή των ήχων ενός περιβάλλοντος χώρου πάνω σε έναν ήχο θορύβου.

Για την υλοποίηση της ηχητικής εγκατάστασης θα χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνικές ανάλυσης επεξεργασίας και σύνθεσης ήχου, όλες μέσα στην πλατφόρμα της γλώσσας προγραμματισμού Max/Msp. Μέσα στην Max/Msp θα γίνει η ανάλυση του ήχου που θα λαμβάνει το μικρόφωνο, η μετατροπή του από το χρονικό πεδίο στο συχνοτικό και η επεξεργασία – μορφοποίηση του σήματος με την χρήση φίλτρων. Η ανάλυση γίνεται με την τεχνική ανάλυσης Φουριέ (FFT) καθώς και με επιπλέον τεχνικές ανίχνευσης τονικού ύψους (pitch detection) ενώ το τελικό αποτέλεσμα στηρίζεται σε τεχνικές αφαιρετικής σύνθεσης (με χρήση φίλτρων).

Η δομή της παρούσας εργασίας έχει ως εξής:

Πρώτα θα μιλήσουμε για τον θόρυβο και τα επιμέρους χαρακτηριστικά του. Αρχικά θα γίνει μια ιστορική και αισθητική προσέγγιση και έπειτα θα παρουσιαστούν κάποια πιο τεχνικά χαρακτηριστικά του. Θα αναφερθούμε στον λευκό και ροζ θόρυβο και θα αναφέρουμε την ιδιαίτερη σχέση του θορύβου με την αλεατορική μουσική.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα μιλήσουμε για την επεξεργασία ηχητικών σημάτων και ειδικότερα για την ανάλυση ήχου και την αφαιρετική σύνθεση. Η ανάλυση είναι πολύ σημαντική για σχεδόν κάθε διαδικασία επεξεργασίας ήχου, και τα εργαλεία της είναι πολλά και ποικίλα, μερικά από τα οποία θα τα εξηγήσουμε στην πορεία της εργασίας. Η αφαιρετική σύνθεση κατέχει εξέχουσα θέση στην ηλεκτροακουστική δμουσική δημιουργία καθώς οι τεχνικές και οι εφαρμογές της κυριάρχησαν από την δεκαετία του 1950 κ μετά. Οι τεχνικές που θα χρησιμοποιηθούν για την ολοκλήρωση της εγκατάστασης λοιπόν, περιγράφονται και αναλύονται σε αυτό το κεφάλαιο.

Στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται η περιγραφή της ηχητικής εγκατάστασης. Με λεπτομέρεια αναπτύσσονται οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν και ο τρόπος που εφαρμόζονται μέσα στην MAX/MSP. Η γνώση των προηγούμενων κεφαλαίων είναι αρκετή για να γίνουν κατανοητές οι ενέργειες και οι τεχνικές που εφαρμόζονται στην ηχητική εγκατάσταση.

Θόρυβος1.1 Ο θόρυβος στην μουσική

Ο θόρυβος είναι κεντρικό αντικείμενο στην εργασία αυτή. Τί είναι όμως, ή πιο σωστά, τί θεωρείται θόρυβος;

Ο θόρυβος έχει γίνει ένα όλο και πιο αισθητά, σημαντικό σύμπτωμα του πολιτισμού μας. Θεμελιωδώς ακουστικό φαινόμενο, ο θόρυβος έχει ευρείες εφαρμογές. Είναι επίσημο αντικείμενο επιστημονικής έρευνας στα πεδία της φυσιολογίας και της ψυχολογίας. Μπορεί να αξιολογηθεί για τον ρόλο του στην μουσική και στην αισθητική της μουσικής. Οδηγεί σε βασικές ερωτήσεις στην κοινωνιολογία. Είναι παρών και στην επιστήμη των μαθηματικών και της φυσικής. Έχει απασχολήσει την ακουστική και τις τηλεπικοινωνίες. Είναι σχεδόν παντού παρών (Levarie, 1977). Λόγω αυτής της ευρύτητας του θέματος, είναι δύσκολο να βρεθεί ένας ενιαίος και επιστημονικά ορθός ορισμός για τον θόρυβο που να καλύπτει όλα τα πεδία στα οποία παρουσιάζεται.

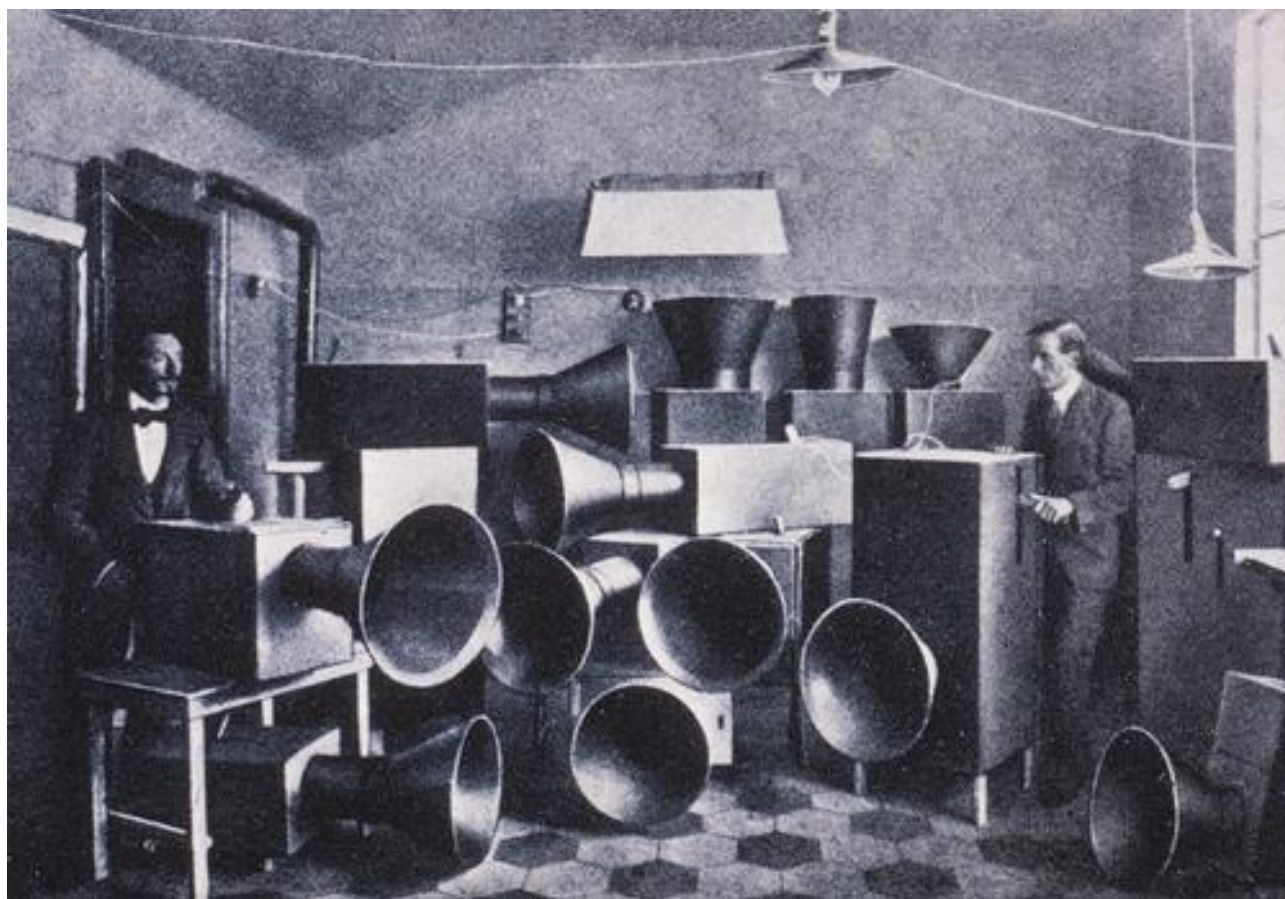
Ο P. M. Schafer πρότεινε τέσσερις τύπους θορύβου που ποικίλουν από το υποκειμενικό στο αντικειμενικό:

1. Ανεπιθύμητος ήχος
2. Μη μουσικός ήχος (ορίζεται ως αυτός που δεν έχει περιοδικότητα στην κυματομορφή)
3. Οποιοσδήποτε δυνατός ήχος
4. Διατάραξη - αλλοίωση σε κάθε σύστημα που διακινεί σήμα (Schafer, 1977).

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με τον θόρυβο ως ήχο. Από τους τύπους του Schafer ο δεύτερος ταιριάζει καλύτερα στο θέμα μας. Οι μη περιοδικοί ήχοι είναι το αντικείμενο μελέτης και ανάλυσης.

Από τους πρώτους που μίλησε με ενθουσιασμό για τον θόρυβο ως ένα νέον τρόπο μουσικής έκφρασης ήταν ο L. Russolo. Μέσα στο φουτουριστικό μανιφέστο του περιγράφει τον θόρυβο ως έναν ήχο που θα έπρεπε οι συνθέτες να στραφούν και να ασχοληθούν με αυτόν καθώς περιέγραφε τη νέα εποχή με τον καλύτερο τρόπο.

“Οι φουτουριστές μουσικοί πρέπει να διευρύνουν και να εμπλουτίσουν το πεδίο των ήχων. Έχει παρατηρηθεί ήδη μια τάση νέων συνθετών προς περίπλοκες διαφωνίες σε σημείο που μοιάζουν με θόρυβο. Αυτή η τάση θα ικανοποιηθεί πλήρως μόνο αν αντικατασταθούν οι συμφωνικοί ήχοι από τους θορύβους” (Russolo, 1967, σελ. 11). Ο Russolo ξεκινάει το μανιφέστο του δίνοντας μια εκτίμηση για τον θόρυβο: “Στην αρχή η ζωή ήταν σιωπηλή. Στον 19ο αιώνα με την εφεύρεση της μηχανής, γεννήθηκε ο θόρυβος. Σήμερα ο θόρυβος θριαμβεύει και κυριαρχεί στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων.” (Russolo, 1967, σελ. 4). Ο Russolo για να υπερασπίσει την άποψη του δημιούργησε μια ορχήστρα που οι ήχοι που παρήγαγε ήταν διαφορετικοί τύποι θορύβου, όπως τους είχε κατατάξει αυτός στο μανιφέστο του.



σχ. 1.1 Ο L. Russolo και η ορχήστρα θορύβων του (Holmes, 2002, σελ. 36)

Ο R. Worby, ένας από τους υποστηρικτές του θορύβου, είπε ότι ο θόρυβος θα μπορούσε να θεωρηθεί η πιο εύστοχη μεταφορά για τον 20ό αιώνα (Worby, 2000). Η άποψη του Russolo για την κεντρική θέση του ήχου του θορύβου στην σύγχρονη

βιομηχανική κοινωνία, βρήκε σύμφωνους τους φουτουριστές συνθέτες που τον χρησιμοποίησαν στα έργα τους. Σήμερα πλέον υπάρχουν ολόκληρα είδη μουσικής βασισμένα στον θόρυβο, σε μια προσπάθεια χειραφέτησης του θορύβου (με τον τρόπο που και ο Cage προσπάθησε να χειραφετήσει την σιωπή) σε ένα μουσικό πλαίσιο. Σε μια συνέντευξη του που έχει τον τίτλο “Η ομορφιά του θορύβου”, ο πρωτοποριακός συνθέτης μουσικής θορύβου (noise music) Merzbow, περιγράφει πως επηρεασμένος από τον Ντανταϊσμό, τον σουρεαλισμό και τον Φουτουρισμό οδηγήθηκε στην αναζήτηση ενός καινούριου μουσικού είδους, που βασικό του συστατικό θα είναι ο “αγνός, ανόθευτος θόρυβος” (Landy, 2007, 127).

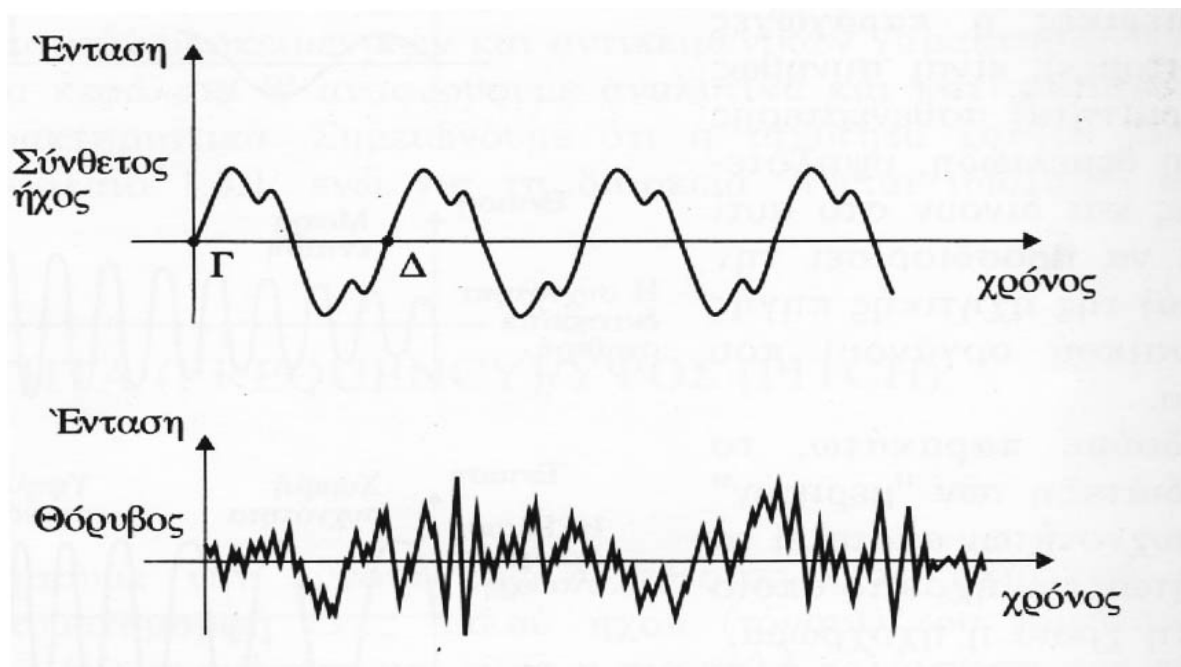
Ο E. Varese, κρίνοντας τον θόρυβο από αισθητικής πλευράς, είχε πει ότι οτιδήποτε καινούριο στην μουσική εκλαμβάνεται ως θόρυβος και συνεπώς θόρυβος είναι οποιοσδήποτε ήχος δεν αρέσει σε κάποιον (Varese, 2004). Ο H. Cowel είχε γράψει ότι η μουσική και ο θόρυβος ήταν πάντα αντίθετα σύμφωνα με ένα διαχρονικό αξίωμα, καθώς τα βασικά στοιχεία της μουσικής είναι η μελωδία και ο ρυθμός κάτι που δεν υπάρχει στον θόρυβο (Cowel, 2004). Αυτές οι απόψεις είναι σύμφωνες με την παραδοσιακή αντίληψη για τη μουσική.

Ο L. Landy εισήγαγε τον όρο ηχητικά αντικείμενα (sound objects) και ηχητικά προσανατολισμένη μουσική (sound-oriented music), για να περιγράψει τη νέα αντίληψη για την σύνθεση μουσικής. Οι συνθέτες αναζητούν καινούριους ήχους για να δημιουργήσουν μουσική και συνεπώς ο θόρυβος είναι και αυτός ένα (συναρπαστικό για πολλούς) ηχητικό αντικείμενο. Ο J. Cage στο κείμενο του “silence” είπε χαρακτηριστικά: “όπου βρισκόμαστε, ακούμε κυρίως θόρυβο, όταν τον αγνοούμε μας ενοχλεί, όταν του δίνουμε σημασία όμως τον βρίσκουμε συναρπαστικό” (Cage, 1961, σελ. 2). Σε ένα άλλο κείμενο προέβλεψε ότι η χρήση του θορύβου για την δημιουργία μουσικής θα συνεχίσει και θα αυξηθεί μέχρι το σημείο να φτιάχνουμε μουσική με την βοήθεια ηλεκτρικών οργάνων τα οποία θα μπορούν να δημιουργήσουν, για μουσικούς σκοπούς, όλους τους ήχους που μπορεί να ακουστούν (Cage, 1961).

1.2 Τα χαρακτηριστικά του Θορύβου

Για να προσδιοριστεί καλύτερα ο θόρυβος θα χρησιμοποιήσουμε κάποιες έννοιες της φυσικής. Στην ακουστική, θόρυβος είναι ένα σύμπλεγμα ηχητικών κυμάτων με ελάχιστη ή καμιά περιοδικότητα. “Ο ήχος δημιουργείται από κύματα αέρα που προκαλούν δονήσεις στο ανθρώπινο τύμπανο. Από εκεί, μεταφέρονται με νευρώνες στον εγκέφαλο όπου μεταφράζονται και αναγνωρίζονται ως ήχοι. Αν τα κύματα πάλλονται κανονικά, αναγνωρίζονται ως μουσικοί ήχοι. Αν όμως δεν έχουν περιοδικότητα αναγνωρίζονται ως θόρυβοι” (Holmes, 2008, 13).

Ήχοι, όπως το φύσημα του αέρα, το σύρσιμο των ποδιών στο πάτωμα και ο ήχος της βροχής φέρουν αυτά τα χαρακτηριστικά. Είναι ήχοι που υπάρχουν στην φύση αλλά δεν έχουν περιοδικότητα. Βέβαια αν μελετήσουμε πιο προσεχτικά τους ήχους μερικών μουσικών οργάνων θα παρατηρήσουμε αυτά τα χαρακτηριστικά (σε μικρότερη κλίμακα) να είναι παρόντα. Έτσι η ατάκα στον ήχο του φλάουτου και το ξύσιμο στις χορδές του βιολιού είναι ήχοι θορύβου που συνεισφέρουν στον ήχο του οργάνου για την δημιουργία του χαρακτηριστικού ηχοχρώματος.



σχ. 1.2 Περιοδικός ήχος και θόρυβος (Χαδέλλης, 1992, σελ. 16)

Ένας ακόμα διαχωρισμός που γίνεται στους ήχους είναι με βάση την θεμέλιο συχνότητα. Η ικανότητα του ανθρώπινου αυτιού να αντιληφθεί ηχοχρώματα

σχετίζεται με τις συχνότητες. Αν ο λόγος των συχνοτήτων ανάμεσα στην θεμέλιο και τις υπόλοιπες συχνότητες ενός ήχου δεν είναι ακέραιοι, τότε η χροιά του ήχου ακούγεται σαν θόρυβος. (Russ, 1996). Τέτοιοι ήχοι είναι πχ. ο ήχος ενός κυμβάλου, του σνέαρ τύμπανου κτλ. Η έλλειψη ακέραιων αρμονικών όμως, δεν είναι από μόνο του κριτήριο κατάταξης ενός ήχου σε θόρυβο. Υπάρχουν ήχοι με αυτά τα χαρακτηριστικά που παρόλα αυτά έχουν διακριτή τονικότητα όπως η μαρίμπα, τα τυμπάνια κτλ.

Οι φυσικές έννοιες δεν επαρκούν για να καθορίσουν μόνες τους την διαφορετική αίσθηση που προκαλεί ένας ήχος από ένα θόρυβο. Αυτή η διαφορά καθορίζεται από υποκειμενικούς παράγοντες, που προσδίδουν έναν επιθυμητό ή ανεπιθύμητο χαρακτήρα, σε κάθε ηχητικό ερέθισμα που γίνεται αντιληπτό (Δρίβας, 2005).

Στην παρούσα εργασία θα ακολουθήσουμε τους παραπάνω ορισμούς για τον θόρυβο. Οπότε θα θεωρούμε ως θόρυβο τους ήχους χωρίς περιοδικότητα και χωρίς χαρακτηριστική θεμέλιο συχνότητα.

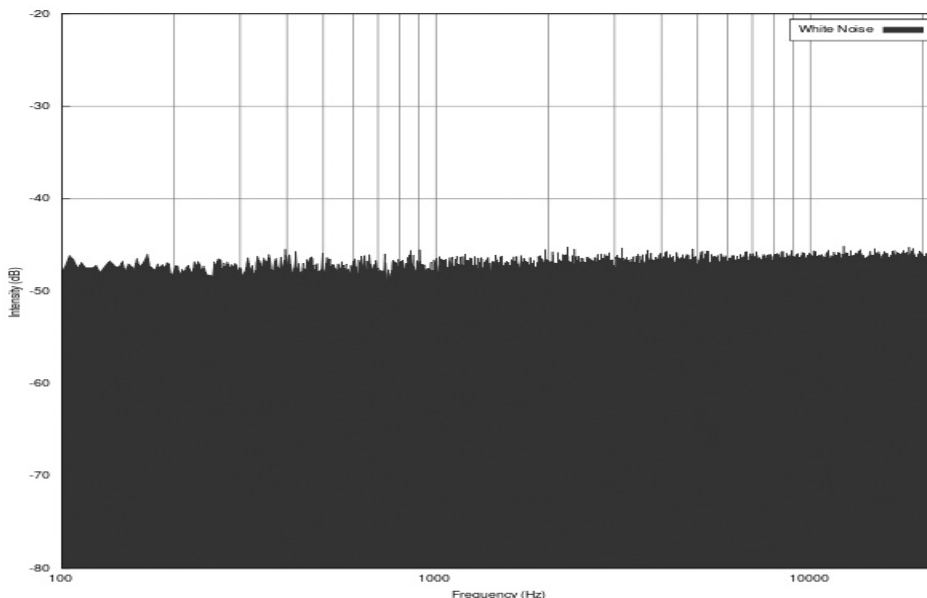
Ο θόρυβος παίρνει διαφορετικές ονομασίες ανάλογα με τις συχνότητες που κυριαρχούν στο φάσμα του. Έτσι έχουμε τον λευκό θόρυβο, τον Ροζ, τον καφέ τον μπλε, τον πράσινο κ.α. Παρακάτω θα μιλήσουμε για τον λευκό και τον ροζ γιατί παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

1.3 Λευκός θόρυβος (white noise)

Λευκός θόρυβος είναι ένας ήχος που περιέχει όλες τις συχνότητες. Το φάσμα του είναι ευρύ και επίπεδο και έχει ομοιόμορφη κατανομή ενέργειας σε κάθε συχνότητα (μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος). Πήρε την ονομασία του από το λευκό φως. Όπως το λευκό φως εμπεριέχει όλα τα χρώματα έτσι και ο λευκός θόρυβος έχει όλες τις συχνότητες του ανθρώπινου ακουστικού πεδίου. Ο λευκός θόρυβος δεν χρωματίζεται από κάποια συχνότητα καθώς έχει την ίδια διανομή συχνοτήτων σε όλο το φασματικό του εύρος (Gardner, 1991). Ο συνθέτης A. Strange όρισε τον λευκό θόρυβο πιο συγκεκριμένα ως εκείνον που περιέχει όλες τις ακουστικές συχνότητες

μεταξύ 18Hz και 22,000Hz (Holmes, 2008).

“Στη λογαριθμική κλίμακα συχνοτήτων ο λευκός θόρυβος εμφανίζεται να έχει συνεχή αύξηση της ενέργειας του, καθώς η συχνότητα αυξάνεται, με ρυθμό 3dB ανά οκτάβα. Αυτό συμβαίνει διότι σε κάθε επόμενη οκτάβα συχνοτήτων, διπλασιάζεται το απόλυτο εύρος της οκτάβας (το εύρος της οκτάβας από 500 έως 1000 Hz είναι 500 Hz, ενώ το εύρος της επόμενης οκτάβας από 1000 Hz έως 2000Hz είναι 1000 Hz κ.ο.κ.), οπότε διπλασιάζεται και το «ποσό ενέργειας θορύβου» που περιέχεται μέσα στην οκτάβα”. (Χαδέλλης, 1992, σελ. 92). Το αποτέλεσμα αυτής της αύξησης ενέργειας είναι να ακούγονται περισσότερο οι ψηλότερες συχνότητες του φάσματος και δίνουν στον λευκό θόρυβο αυτόν τον χαρακτηριστικό ήχο που αναφέρεται και ως “χιόνι””.



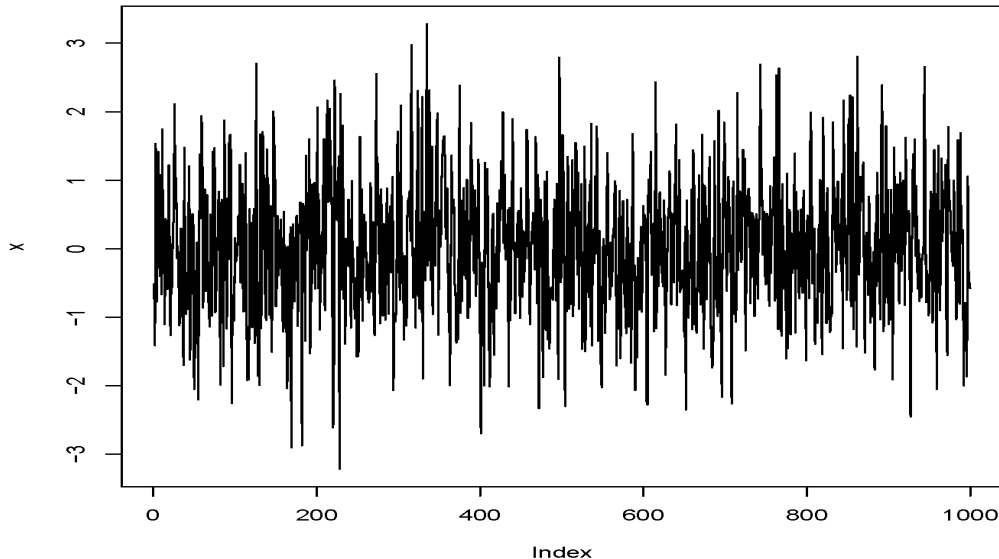
σχ. 1.3 Το φάσμα ενός λευκού θορύβου¹

Ο λευκός θόρυβος έχει όλα τα χαρακτηριστικά που περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Δεν έχει καθόλου περιοδικότητα και δεν υπάρχει κάποια συχνότητα ως θεμέλιος συχνότητα που να του δίνει κάποιο τονικό ύψος. Το γράφημα του ως προς τον χρόνο φαίνεται στο σχήμα 1.4.

Στην φύση συναντάμε συχνά ήχους που έχουν τα χαρακτηριστικά του λευκού θορύβου. Ο ήχος της βροχής, ο ήχος από τα κύματα της θάλασσας, ο ήχος του αέρα και ενός κεραυνού είναι μερικά παραδείγματα. Τεχνικά αυτοί οι ήχοι δεν έχουν

¹ http://en.wikipedia.org/wiki/White_noise

περιοδικότητα ούτε συγκεκριμένο τονικό ύψος. Η ανθρώπινη αντίληψη όμως τους κατατάσσει σε διαφορετικές ηχητικές κατηγορίες δίνοντας τους διαφορετικά ονόματα και δεν τους θεωρεί αταξινόμητους θορύβους.



σχ. 1.4 Το γράφημα ενός Λευκού θορύβου ως προς τον χρόνο¹

Ο λευκός θόρυβος στις ηχογραφήσεις και στα ηλεκτρονικά κυκλώματα έχει ανεπιθύμητο χαρακτήρα. Πρέπει να μειώνεται ή να εξαλείφεται όπου παρουσιάζεται. Εδώ τον συναντάμε με τον ορισμό του θορύβου ως ανεπιθύμητης παρεμβολής. Παρόλα αυτά ο λευκός θόρυβος έχει αρκετές χρήσιμες εφαρμογές. Στην ηλεκτρονική μουσική και στην σύνθεση ήχου είναι χρήσιμος πολλές φορές για την δημιουργία ήχων, που να προσομοιάζουν τους φυσικούς ήχους οργάνων. Οι ατάκες στον ήχο του φλάουτου και στον ήχο του βιολιού έχουν θόρυβο, οπότε η προσπάθεια να συνθέσει κανείς ηλεκτρονικά τους ήχους αυτούς, χωρίς την προσθήκη θορύβου στην ατάκα του ήχου, απέβαινε άκαρπη. Οι ηλεκτρονικοί ήχοι θα ακούγονται πολύ ψεύτικοι και τεχνητοί. Επίσης, ο θόρυβος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αλληλεπιδράσει με ηχητικά σήματα, δημιουργώντας νέους ήχους με χαρακτήρα μη περιοδικότητας. Τα περισσότερα αναλογικά συνθεσάιζερ μπορούσαν να δημιουργήσουν λευκό θόρυβο και να τον χρησιμοποιήσουν για να δημιουργήσουν νέους ενδιαφέροντες και πρωτότυπους ήχους (Russ, 1996).

¹ <http://sfb649.wiwi.hu-berlin.de/quantnet/graphics/showImage.php?i=7fa8759630097d41e0b499182ff9f42e>

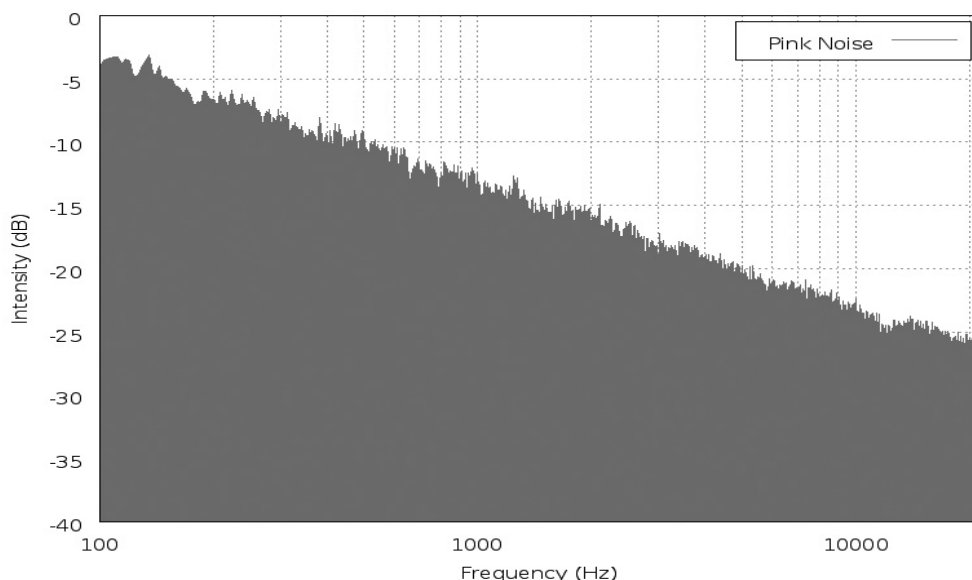
Ο λευκός θόρυβος έχει και άλλες χρήσιμες εφαρμογές και στον σύγχρονο κόσμο. Για παράδειγμα, στην ακουστική χρησιμοποιείται για μετρήσεις χώρων. “Η χρήση καθαρών τόνων στις ακουστικές μετρήσεις είναι συχνά πολύ δύσκολη ενώ μια ζώνη θορύβου με κέντρο στην ίδια συχνότητα κάνει δυνατές ικανοποιητικές μετρήσεις” (Everest, 1998). Με την αναπαραγωγή λευκού θορύβου και μετρήσεις σε διάφορα σημεία του χώρου, είναι εύκολο οι τεχνικοί ήχου να δουν αν κάποιες συχνότητες ενισχύονται ή όχι στα σημεία αυτά. Έτσι μπορεί να ισοσταθμιστεί ο χώρος μιας συναυλίας (equalizing).

1.4 Ροζ ή $1/f$ θόρυβος

Ροζ θόρυβος ή $1/f$ θόρυβος είναι ένας ακόμα τύπος θορύβου πολύ γνωστός και σημαντικός. Ο ροζ θόρυβος έχει «επικλινές» φάσμα με κλίση προς τα δεξιά στη γραμμική κλίμακα συχνοτήτων, δηλαδή η ενέργεια είναι αντιστρόφως ανάλογη με τις συχνότητες. Αυτό συμβαίνει διότι ο ροζ θόρυβος διατηρεί ίση και σταθερή ενέργεια σε κάθε οκτάβα γι’ αυτό στη λογαριθμική κλίμακα συχνοτήτων εμφανίζεται να έχει σταθερή ενέργεια. “Ο ροζ θόρυβος δεν υφίσταται φυσικά, αλλά παράγεται από τον λευκό θόρυβο με φιλτράρισμα, μέσω του λεγόμενου pinking φίλτρου, το οποίο είναι ένα κατωδιαβατό φίλτρο με συχνότητα αποκοπής κάτω από τα 16 Hz και ρυθμό εξασθένησης 3 dB ανά οκτάβα. Αυτό το φίλτρο στην ουσία αναιρεί την κατά 3 dB αύξηση ενέργειας του λευκού θορύβου ανά οκτάβα, ώστε να διατηρεί σταθερή ενέργεια ανά οκτάβα” (Χαδέλλης, 1992, σελ. 92).

Μια χαμηλή οκτάβα έχει μικρό απόλυτο εύρος σε σχέση με μια ψηλή, οπότε όταν οι δύο αυτές οκτάβες έχουν την ίδια ενέργεια, η χαμηλή θα έχει περισσότερη ενέργεια ανά Hertz με αποτέλεσμα να ακούγεται περισσότερο. Έτσι στον ροζ θόρυβο υπερισχύουν οι χαμηλές συχνότητες και ο ήχος είναι διακριτός και διαφέρει από αυτόν του λευκού θορύβου (Χαδέλλης, 1992). Τα ηχητικά σήματα που έχουν περισσότερη ενέργεια στις χαμηλές συχνότητες από ότι στις ψηλές, εξομοιώνονται με μεγάλη ακρίβεια από τον ροζ θόρυβο.

Ο ροζ θόρυβος χρησιμοποιείται όπως και ο λευκός, ως πηγή ηχοσήματος για την ισοστάθμιση χώρων, τον έλεγχο μεγαφώνων, τις μετρήσεις ηχομόνωσης και ηχοαπορρόφησης κτλ. Συχνά αναφέρεται και ως θόρυβος αναλαμπής (flicker noise), παρόλο που αυτή η ονομασία χρησιμοποιείται κυρίως για θορύβους που υπάρχουν μέσα σε ηλεκτρικά κυκλώματα λόγω της τάσης του ρεύματος.

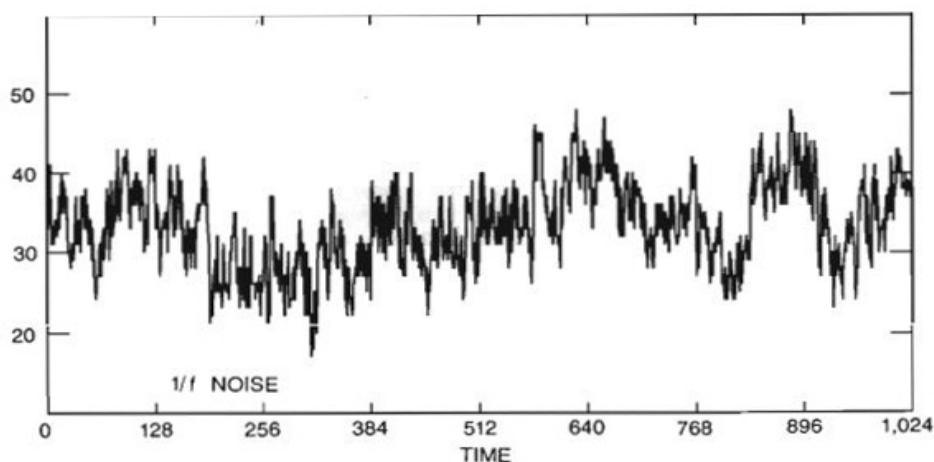


σχ. 1.3 Το φάσμα ενός ροζ θορύβου¹

Ο ροζ θόρυβος ονομάζεται και $1/f$ θόρυβος. Εκφράζεται με τον τύπο:

$S(f) = 1/f^a$, όπου f είναι μια συχνότητα και $0 < a < 2$ με το a συνήθως να είναι κοντά στο 1. Ο Mandelbrot ήταν ο πρώτος που παρατήρησε ότι τέτοιου τύπου “θορύβους” και διακυμάνσεις συναντάμε πολύ συχνά στην φύση. Π.χ ανακάλυψε ότι οι καταγραφές από τις υπερχειλίσεις του ποταμού Νείλου, είναι $1/f$ διακυμάνσεις. Επίσης παρατήρησε πως οι καμπύλες από το γράφημα που σχηματίζουν τέτοιες διακυμάνσεις, σχετίζονται με τα fractals, έναν όρο που εισήγαγε ο ίδιος. Ως fractal περιέγραψε τα στοιχεία αυτά που έχουν ένα γεωμετρικό μοτίβο (geometrical pattern) που έχει την εξής αξιοσημείωτη ιδιότητα: άσχετα με το πόσο κοντά θα το παρατηρήσεις, θα δείχνει πάντα το ίδιο (Garnder, 1991). Ο Mandelbrot και ο Van Ness πρότειναν το όνομα fractal θόρυβο για να δώσουν έμφαση στο βασικό χαρακτηριστικό του $1/f$ θορύβου που είναι η αυτό-ομοιότητα (Hsu, 1991).

¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Pink_noise



σχ. 1.4 Το γράφημα ενός 1/f θορύβου (Gardner, 1991, σελ. 21)

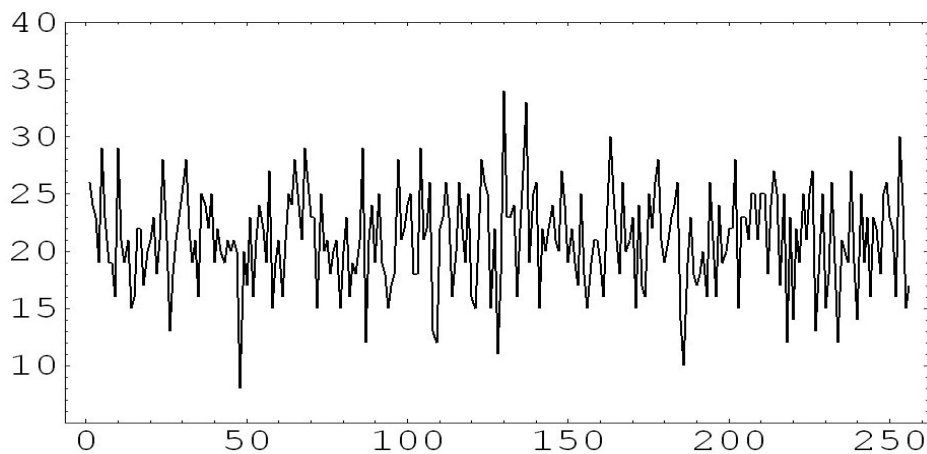
1.5 Θόρυβος και τυχαιότητα

Ένα σημαντικό κεφάλαιο που έρχεται στην επιφάνεια όταν μελετάμε τον θόρυβο είναι και η σχέση του με την τυχαιότητα. Τυχαίο είναι κάτι όταν δεν έχει σκοπό ή στόχο, δεν οδηγείται ή αποστέλλεται προς ορισμένη κατεύθυνση, είναι χωρίς μέθοδο ή συνειδητή επιλογή (Oxford dictionary, 1989). Ο λευκός θόρυβος, ως ήχος, εμπεριέχει ένα τυχαίο φάσμα από όλες τις συχνότητες και δεν έχει περιοδικότητα. Έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μηχανή δημιουργίας τυχαίας αλληλουχίας αριθμών.

Την εποχή που οι συνθέτες αναζητούσαν στην μουσική σύνθεση νέους τρόπους έκφρασης, η δημιουργία ενός μοντέλου για παραγωγή μουσικής, βασισμένου σε τυχαίες επιλογές, χωρίς καμία ή με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση, εμφανίστηκε σαν ένας συναρπαστικός νέος τρόπος δημιουργίας μουσικής. Η αλεατορική μουσική βρίσκεται στο κέντρο αυτής της αναζήτησης με συνθέτες όπως ο Ξενάκης, ο Koenig, ο Cage, ο Stockhausen κτλ. Τεχνικές της αλεατορικής μουσικής χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα σε συνδυασμό με άλλες τεχνικές (Essl, 2007).

Η σχέση του θορύβου με την τυχαιότητα στην αλεατορική μουσική αποτέλεσε χρήσιμο εργαλείο. Θα εξετάσουμε, με ένα απλό παράδειγμα, την σχέση αυτή δημιουργώντας μια μουσική σύνθεση τυχαιότητας. Για τον λόγο αυτό θα

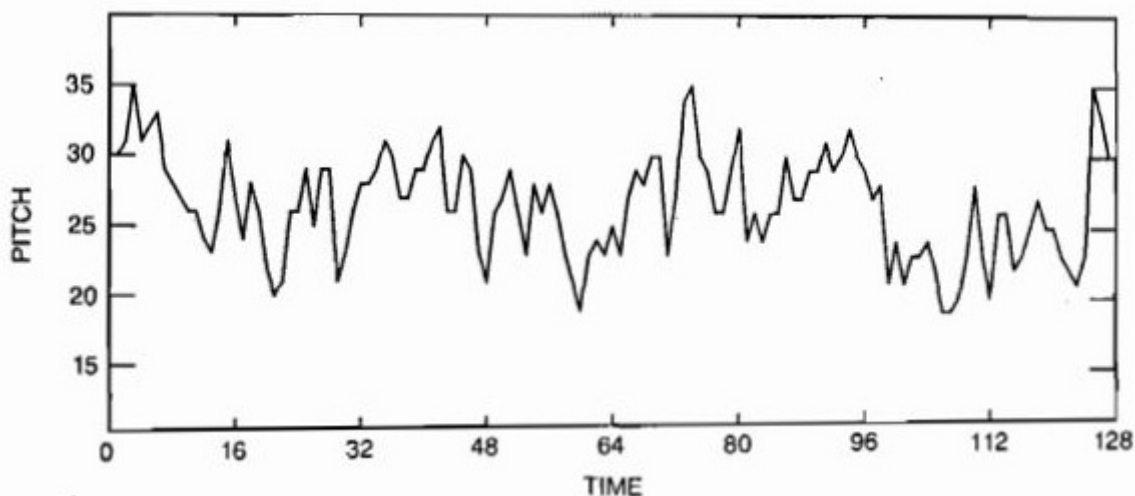
χρησιμοποιήσουμε την τεχνική ριζίματος ζαριού. Το τελικό αποτέλεσμα θα είναι μια σύνθεση “λευκού θορύβου”. Εφόσον δεν θα βάλουμε καθόλου περιορισμούς θα είναι εντελώς τυχαίο. Ας υποθέσουμε ότι έχουμε 6 ζάρια που μπορούν να μας δώσουν αποτελέσματα από 6 έως 36 στα οποία αντιστοιχούμε και μια συγκεκριμένη νότα της κλίμακας που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε π.χ. 6 μπορούμε να ορίσουμε ως το ντο, 7 ως ρε κτλ. Καταγράφοντας τα αποτελέσματα μετά από κάθε ρίψη θα έχουμε τις νότες της σύνθεσης (μπορούμε για να γίνει λίγο πιο ενδιαφέρουσα η σύνθεση να ρίχνουμε ένα ζάρι κάθε φορά για να ορίσει την αξία της νότας). Έπειτα από πολλές ρίψεις το αποτέλεσμα θα είναι μια μουσική σύνθεση λευκού θορύβου με τυχαίες νότες και διάρκειες και μπορεί να αποτυπωθεί όπως στην εικόνα 1.5.



σχ. 1.5 Γράφημα νοτών “λευκής” σύνθεσης (Bulmer, 2000, σελ.2)

Το αισθητικό αποτέλεσμα μιας τέτοιας σύνθεσης παρόλα αυτά είναι κουραστικό και βαρετό. Αυτό το συναίσθημα προκαλείται κυρίως από την έλλειψη συνέχειας και συνοχής της σύνθεσης. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί αν χρησιμοποιήσουμε τον ροζ ή $1/f$ θόρυβο για την σύνθεση μουσικής. Αυτού του τύπου ο θόρυβος είδαμε ότι έχει βασικό χαρακτηριστικό την αυτό-ομοιότητα. Έτσι θα δημιουργεί συσχετισμούς στις νότες της σύνθεσης για ένα αποτέλεσμα πιο “μουσικό” (Bulmer, 2000). Ο Gardner στο άρθρο του *white and brown music, 1/f curves and fluctuations* περιγράφει έναν αποτελεσματικό τρόπο για να δημιουργηθεί μία τέτοια σύνθεση με την τεχνική της ρίψης ζαριών και την εφαρμογή ενός δυαδικού συστήματος για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων. (Gardner, 1978). Το γράφημα

μιας τέτοιας σύνθεσης με μεγαλύτερο συσχετισμό στις νότες, μοιάζει με την εικόνα παρακάτω.



σχ. 1.6 Γράφημα νοτών μιας σύνθεσης ροζ θορύβου (Gardner, 1991, σελ.24).

Για να δημιουργηθούν τυχαίες αλληλουχίες αριθμών, χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές. Ένας τρόπος είναι να πάρεις ένα δείγμα από μια εξωτερική πηγή τυχαίας διαδικασίας στην φύση όπως είναι ο θερμικός θόρυβος, ο ήχος του αέρα κτλ. και να εξάγεις τις αλληλουχίες, σύμφωνα με το δείγμα. Αυτό όμως είναι μια απαιτητική και δαπανηρή διαδικασία. Ένας πιο σύντομος αλλά εξίσου αποτελεσματικός τρόπος είναι η χρήση αλγόριθμων που δημιουργούν αλληλουχίες τυχαίων αριθμών. Τέτοιου τύπου αλγόριθμοι λέγονται ψευδο-τυχαίοι (pseudo random) γιατί παρότι το αποτέλεσμα τους φαίνεται ως τυχαίο στην ουσία δεν είναι. Η διαδικασία της δημιουργίας των τυχαίων αριθμών είναι υπολογισμένη και ντετερμινιστική, άρα όχι τυχαία. Επίσης η αλληλουχία των αριθμών κάποια στιγμή επαναλαμβάνεται, υπάρχει περιοδικότητα. Βέβαια η περίοδος της επανάληψης μπορεί να γίνει αρκετά μεγάλη, τόση ώστε να πληρεί ικανοποιητικά τα κριτήρια τυχειότητας. Οι ψευδο-τυχαίοι αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές επιστήμες και εφαρμογές για τον λόγο ακριβώς ότι είναι γρήγοροι και αποτελεσματικοί (Dodge, 1985).

Ανάλυση ήχου και Αφαιρετική σύνθεση

2.1 Η ανάλυση ήχου στην μουσική

Η δυνατότητα ανάλυσης του ήχου και κατανόησης των βασικών συστατικών του, αποτελεί σημαντικό στοιχείο που επιτρέπει την εξέλιξη της μουσικής προς το μέλλον. Ο ρόλος της είναι σημαντικός για εφαρμογές όπως διαδραστική μουσική (interactive composition), συστήματα συνοδείας, καινούριες μεθόδους σύνθεσης ήχου κ.α. Παρόλα αυτά μέχρι πρόσφατα, λόγω της μη επαρκώς ανεπτυγμένης τεχνολογίας, σε συνδυασμό με τις ελλειπείς γνώσεις για την ανθρώπινη ακουστική αντίληψη τα αποτελέσματα ανάλυσης ήχου ήταν ανεπαρκή, μπερδεμένα και επιφανειακά (Roads, 1995).

Η ανάγκη άλλωστε για την κατανόηση και επεξήγηση του ήχου υπήρχε από πολύ παλιά. Από τους αρχαίους Έλληνες και τα συστήματα του Πυθαγόρα μέχρι το 1630 που οι Galileo και Mersene έκαναν πειράματα με τα τονικά ύψη κυματομορφών και το 1700 που ο Sauver εφηύρε έναν τρόπο να μετράει ηχητικές δονήσεις και μέχρι τις έρευνες που πραγματοποιούνται σε διαφορετικούς κλάδους της επιστήμης στις μέρες μας (ακουστική, ψυχό-ακουστική, μουσική κτλ.), είναι κάποια από τα πολλά παραδείγματα αυτής της αναζήτησης από συνθέτες και επιστήμονες. Μέχρι όμως την εφεύρεση ηλεκτρονικών συσκευών, όλες αυτές οι ηχητικές μετρήσεις περιοριζόταν μόνο στα βασικά χαρακτηριστικά του ήχου και χωρίς ιδιαίτερη ακρίβεια (Roads, 1995).

Σήμερα με την βοήθεια της τεχνολογίας υπάρχουν πολλές δυνατότητες (ηχογράφησης, αναπαραγωγής, απεικόνισης, φασματικής ανάλυσης κα). Όλες αυτές οι νέες τεχνικές και εφαρμογές συνεισφέρουν σημαντικά στην κατανόηση του φαινομένου του ήχου και έδωσαν την δυνατότητα ανάπτυξης νέων μορφών μουσικής δημιουργίας και έκφρασης.

Στις παρακάτω ενότητες θα αναφερθούμε σε κάποιες πτυχές που αφορούν στην ανάλυση του ήχου, που σχετίζονται με την ηχητική εγκατάσταση που περιγράφεται στην ενότητα 3.

2.2 Γρήγορος μετασχηματισμός Φουριέ (Fast Fourier Transform – FFT)

Η ανάλυση του Φουριέ είναι ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία ανάλυσης και επεξεργασίας ηχητικών σημάτων. Ανίχνευση τονικού ύψους, μετατροπές χρονικές και τονικές, ανάλυση και σύνθεση ήχου είναι μερικές από τις εφαρμογές που στηρίζονται στην ανάλυση Φουριέ. Αλλά όλες αυτές οι τεχνικές δεν θα μπορούσαν να λειτουργήσουν αν η τεχνολογία δεν επέτρεπε την ταχύτατη επεξεργασία του μεγάλου όγκου αριθμητικών πράξεων που είναι αναγκαία στην ανάλυση Φουριέ, έτσι ώστε να μπορεί πλέον να εφαρμοστεί και σε έναν απλό Η/Υ.

Η θεωρία του Φουριέ λέει ότι οποιαδήποτε περιοδική κυματομορφή μπορεί να αποδομηθεί σε απλές ημιτονοειδείς κυματομορφές με διαφορετικό πλάτος, συχνότητα και φάση. Έτσι μπορούν να αναλυθούν απλοί και σύνθετοι ήχοι και να διαφανεί από τι συχνότητες αποτελούνται. Η τεχνική αυτής της αποδόμησης του ήχου ονομάστηκε διακριτός μετασχηματισμός Φουριέ (Discrete Fourier Transform) (Roads, 1995).

Μέχρι την ανάπτυξη της τεχνολογίας η τεχνική βασιζόταν σε χειροκίνητους υπολογισμούς άρα ήταν επιρρεπής σε λάθη και απαιτούσε πολύ χρόνο. Αλλά ακόμα και με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και των Η/Υ εξακολούθησε να είναι δύσκολη πρακτική καθώς ήταν πολύ απαιτητική στην διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων. Στα μέσα του 20ου αιώνα έγιναν προσπάθειες να βελτιωθεί η θεωρία και με την βοήθεια αλγόριθμων τελικά μειώθηκαν σε μεγάλο βαθμό οι πράξεις και οι υπολογισμοί που χρειαζόταν για μια ανάλυση Φουριέ. Η νέα αυτή πιο γρήγορη και εύκολη στην χρήση τεχνική ονομάστηκε γρήγορος μετασχηματισμός Φουριέ (Fast Fourier Transform – FFT).

Η φασματική ανάλυση του ήχου χρησιμοποιώντας την τεχνική του Φουριέ αποκαλύπτει πολλά στοιχεία της εσωτερικής δομής του ήχου. Αυτή η αποκάλυψη όμως δεν λειτουργεί σαν ένα τέλος παρά σαν ένα σημείο αφετηρίας για συνθέτες, μουσικούς και ερευνητές για να δημιουργήσουν νέους ήχους και μουσικές (Roads, 1995).

2.3 Ανίχνευση τονικού ύψους (pitch detection)

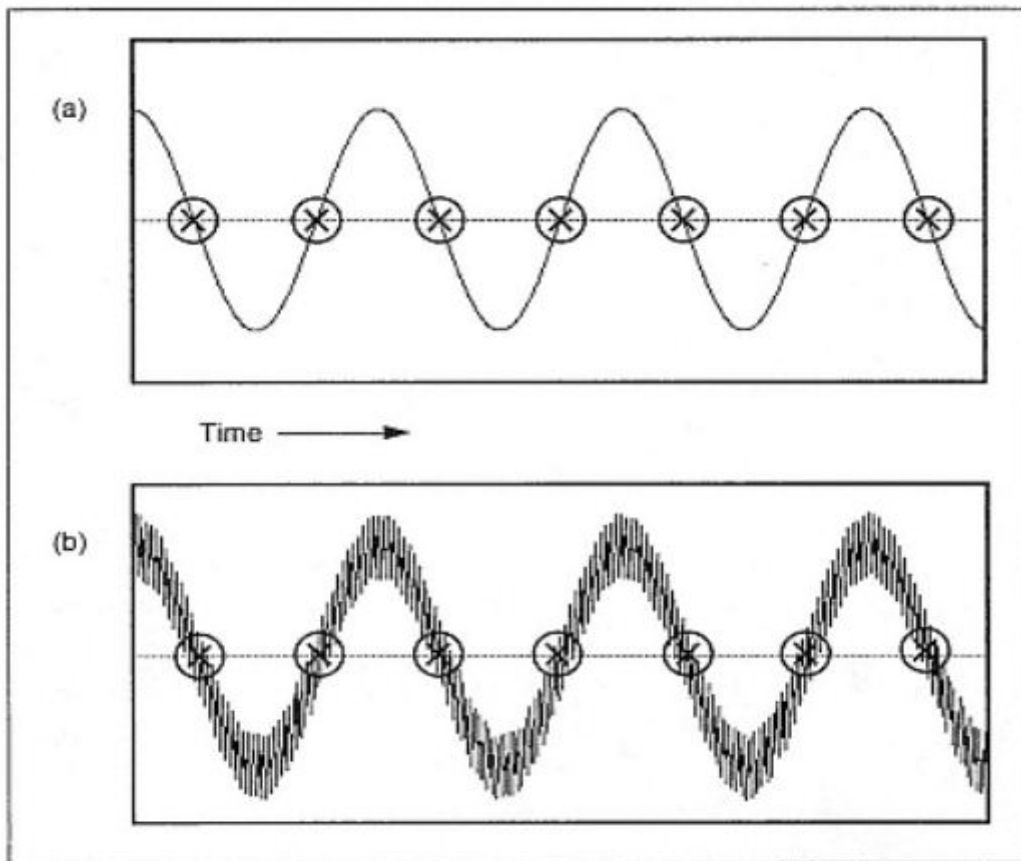
Μπορούμε να ορίσουμε ως ανιχνευτή ή εκτιμητή τονικού ύψους, ένα πρόγραμμα ή μια συσκευή, που δέχεται ένα ηχητικό σήμα και επιχειρεί να προσδιορίσει την θεμέλιο συχνότητα αυτού του σήματος (αναφορικά με την ανθρώπινη αντίληψη για το τονικό ύψος). Τονικό ύψος βέβαια δεν έχουν όλοι οι ήχοι. Επειδή λοιπόν το τονικό ύψος δεν είναι πάντα σαφές ή κάποιες φορές απουσιάζει, σε συνδυασμό με την αδυναμία να κατανοήσουμε πως η ανθρώπινη αντίληψη αντιλαμβάνεται τους ήχους, οι ανιχνευτές τονικού ύψους λειτουργούν κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες και για περιορισμένους ήχους. Η πλειοψηφία των ανιχνευτών τονικού ύψους δημιουργήθηκαν από την έρευνα για αναγνώριση και σύνθεση ομιλίας (Roads, 1995).

Δεν έχει νόημα να ψάχνει κανείς για τονικό ύψος σε ήχους κρουστών οργάνων όπως κυμβάλων ή σε σύνθετους μη περιοδικούς ήχους όπως ο ήχος του αέρα και της βροχής. Ακόμη και στα όργανα της δυτικής μουσικής ο ήχος ποτέ δεν είναι απολύτως σταθερός και καθαρός κάνοντας το έργο ενός ανιχνευτή τονικού ύψους δύσκολο. Φυσικά ακόμα και να γινόταν σωστά η ανίχνευση ακολουθούν ζητήματα αντίληψης όπως η αναζήτηση τονικού κέντρου σε αρμονικές και μη συνηχήσεις.

Σύμφωνα με τον C. Roads μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για Ανίχνευση Τονικού Ύψους (ATY) σε τρεις. Σε αυτές που είναι στο πεδίο του χρόνου, στο πεδίο των συχνοτήτων και σε αυτές που ακολουθούν το μοντέλο της ανθρώπινης ακοής (Roads, 1995).

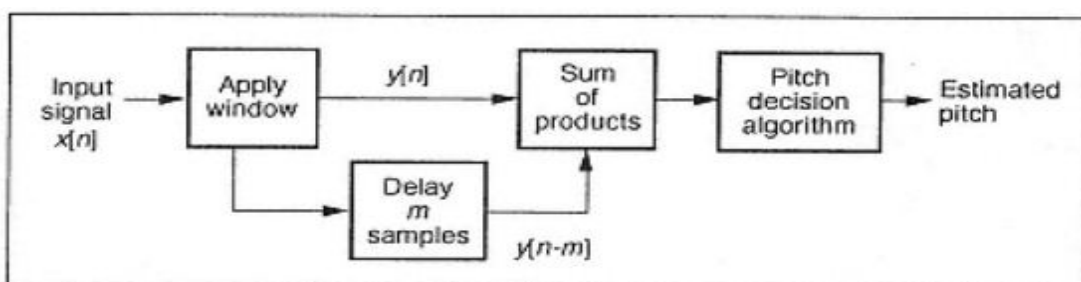
Οι βασικοί τρόποι να πραγματοποιηθεί ATY στο πεδίο του χρόνου είναι τρεις:

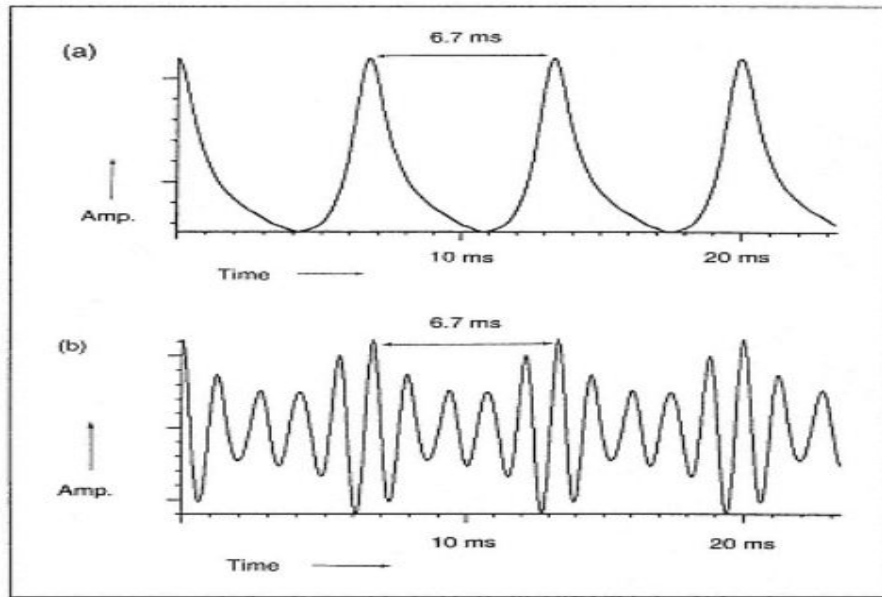
1) Διαβάσεις από το 0 (zero crossings). Αυτή είναι μια απλή σχετικά μέθοδος που βασίζεται στον εντοπισμό των σημείων που το πλάτος της κυματομορφής περνάει από το σημείο 0. Ο αλγόριθμος εδώ ψάχνει τα σημεία αυτά μετράει το διάστημα μεταξύ των σημείων και συγκρίνοντας αντίστοιχα διαδοχικά διαστήματα, βρίσκει την θεμέλιο συχνότητα της κυματομορφής. Η μέθοδος αυτή δεν είναι όμως ιδιαίτερα ακριβής με πιο σύνθετους ήχους ή σε θορυβώδη περιβάλλοντα.



σχ. 2.1 Διαβάσεις από το μηδέν (Roads, 1995, σελ 509)

2) Μέθοδος της αυτό-συσχέτισης (autocorrelation). Τα συστήματα συσχέτισης λειτουργούν συγκρίνοντας δύο σήματα με σκοπό να βρουν τις ομοιότητες. Η μέθοδος της αυτό-συσχέτισης λοιπόν συγκρίνει ένα σήμα με εκδοχές του ίδιου σήματος καθυστερημένες λίγο χρονικά από το αρχικό σήμα. Ένα μικρό τμήμα του σήματος αποθηκεύεται σε ένα buffer του συστήματος και έπειτα ο ανιχνευτής ψάχνει να βρει ομοιότητες με το υπόλοιπο εισερχόμενο σήμα. Η ομοιότητα καταδεικνύει περιοδικότητα και έτσι βρίσκεται η θεμέλιος συχνότητα του σήματος. Αυτή η μέθοδος λειτουργεί καλύτερα στις χαμηλές και μεσαίες συχνότητες (συχνότητες της ανθρώπινης ομιλίας).



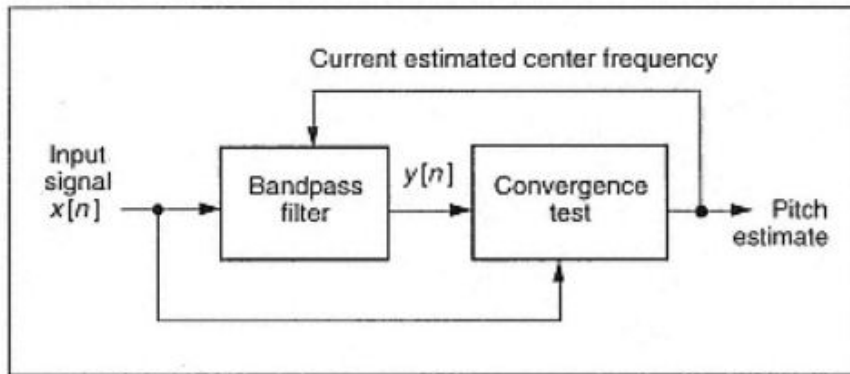


σχ. 2.2 Μέθοδος της αυτοσυσχέτισης (Roads, 1995, σελ 511-512)

3) Ανιχνευτές τονικού ύψους με φίλτρο προσαρμογής (adaptive filter). Ένα φίλτρο προσαρμογής λειτουργεί με έναν τρόπο αυτό-ρύθμισης, που εξαρτάται από το εισερχόμενο σήμα. Αρχικά το εισερχόμενο σήμα αποστέλλεται σε ένα “στενό” ζωνοδιαβατό φίλτρο (βλ. Επόμενο κεφάλαιο). Το αφιλτράριστο σήμα μαζί με το φιλτραρισμένο οδηγούνται μαζί σε ένα κύκλωμα ανίχνευσης διαφορών. Το αποτέλεσμα στέλνεται πίσω στο ζωνοδιαβατό φίλτρο για να ελέγχει την κεντρική συχνότητα του φίλτρου. Μ' αυτόν τον τρόπο το ζωνοδιαβατό φίλτρο αναγκάζεται να συγκλίνει στην συχνότητα του εισερχόμενου σήματος. Η απόφαση για το τονικό ύψος βγαίνει συγκρίνοντας το εισερχόμενο στο φίλτρο σήμα με το εξερχόμενο. Είναι κάλη μέθοδος ΑΤΥ για ήχους με ισχυρή θεμέλιο συχνότητα.

Στην ΑΤΥ στο πεδίο των συχνοτήτων η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι διαφορετική. Το εισερχόμενο σήμα εδώ διαχωρίζεται στις συχνότητες που σχηματίζουν το συνολικό φάσμα του ήχου. Αναλύοντας το φάσμα φαίνεται πόση ενέργεια υπάρχει σε συγκεκριμένες συχνότητες με στόχο να βρεθεί η θεμέλιος συχνότητα του ήχου. Η ανάλυση γίνεται σε μικρά τμήματα του ήχου με την μέθοδο του μετασχηματισμού Φουριέ (short-time Fourier transform – STFT). Κάποιες μέθοδοι ΑΤΥ ψάχνουν να βρουν απλά την ισχυρότερη συχνότητα ενώ άλλες πιο

εξελιγμένες κάνουν και συσχετισμούς με αρμονικούς και συχνότητες για να βρουν σχέσεις και μετά να αποφασίσουν για την θεμέλιο συχνότητα.

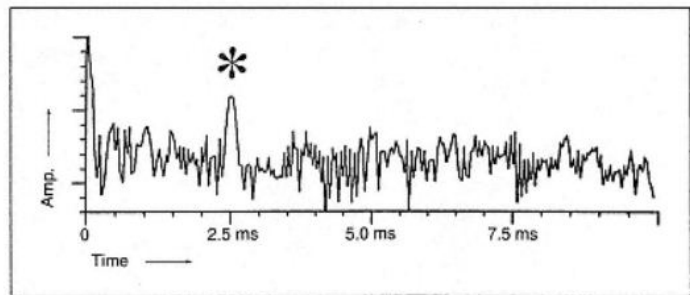
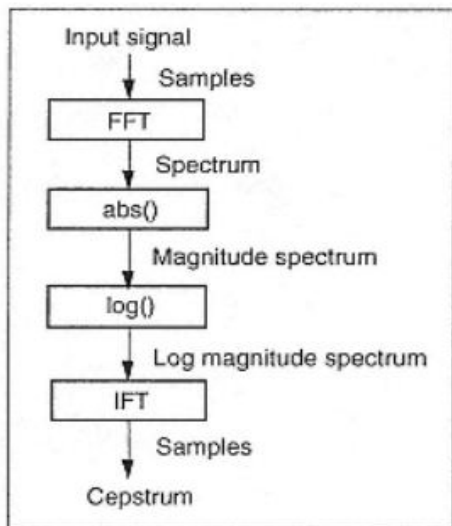


σχ.2.3 Το σχήμα της λειτουργίας ενός ATY με φίλτρο προσαρμογής (Roads, 1995, σελ 513)

Ένας πολύ κοινός ATY στο πεδίο των συχνοτήτων, που χρησιμοποιήθηκε πρώτα στις έρευνες για την ανάλυση ομιλίας, είναι ο cepstrum¹. Ένας απλός τρόπος να περιγράψει κανείς τον τρόπο λειτουργίας του είναι ότι προσπαθεί να ξεχωρίσει ένα ισχυρό τονικά τμήμα του ήχου από το υπόλοιπο φάσμα. Το αποτέλεσμα των υπολογισμών του cepstrum είναι μια χρονική αλληλουχία, όπως και το εισερχόμενο σήμα. Αν αυτό έχει μια ισχυρή θεμελιώδη τονική περίοδο, στο cepstrum εμφανίζεται μια κορυφή (peak). Μετρώντας την απόσταση από το 0 ως το σημείο της κορυφής, μπορεί να εντοπιστεί η θεμέλιος περίοδος του τονικού ύψους.

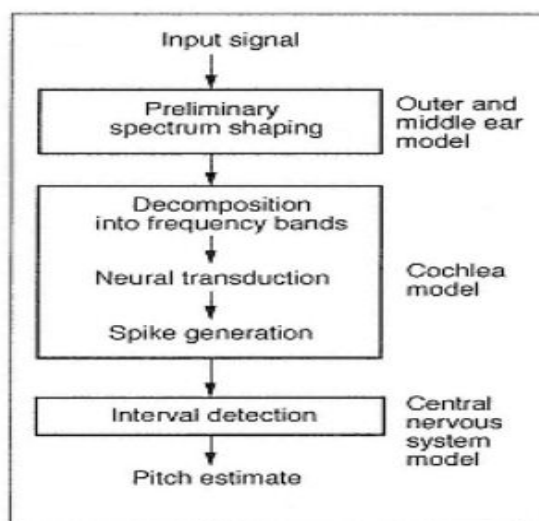
Όλες οι μέθοδοι ATY κάνουν την ανάλυση τους σε ένα πολύ μικρό τμήμα του χρόνου (20-50ms συνήθως) που έρχεται σε αντίθεση με την ανθρώπινη αντίληψη του τονικού ύψους που δεν είναι χρονικά εντοπισμένη (time localized). Βέβαια τελευταία τα αποτελέσματα των μελετών από τις επιστήμες που ασχολούνται με την ψυχοακουστική βοήθησαν στην καλύτερη κατανόηση της ανθρώπινης αντίληψης ακοής και λειτουργίας του ακουστικού συστήματος. Μια από τις εφαρμογές αυτής της γνώσης είναι και στην ATY. Αυτού του τύπου ATY συνδυάζουν αλγόριθμους που βασίζονται σε θεωρίες αντίληψης με μοντέλα των μηχανισμών που λειτουργεί το ανθρώπινο ακουστικό σύστημα.

¹ Το όνομα cepstrum προκύπτει από τον αναγραμματισμό της λέξης spectrum.



σχ. 2.4 α) το υπολογιστικό σχήμα του cepstrum, β) Το γράφημα του cepstrum από μια ηχογραφημένη τρομπέτα σε μεγάλο χώρο. Το αστεράκι στην κορυφή του σήματος υποδουκνεί την περίοδο του σήματος που ανταποκρίνεται στο ανιχνευμένο τονικό ύψος (Roads, 1995, σελ. 516-517)

Η δομή ενός τέτοιου ΑΤΥ φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Χωρίζεται σε τρία υπομοντέλα: εξωτερικό και εσωτερικό του αυτιού, κοχλίας και κεντρικό νευρικό σύστημα. Στο πρώτο στάδιο ο ήχος φιλτράρεται ανάλογα με την απόκριση της λειτουργίας του ανθρώπινου αυτιού. Στο επόμενο στάδιο το εισερχόμενο σήμα μετασχηματίζεται στο πεδίο των συχνοτήτων. Ακολουθεί η προσομοίωση του μοντέλου του κοχλίου (ενεργοποίηση των νευρών) με την δημιουργία αιχμών (spikes). Η μέτρηση της περιόδου ανάμεσα στις αιχμές, μας δίνει το τονικό ύψος αυτών (μοντέλο κεντρικού νευρικού συστήματος).



σχ. 2.5 Το σχήμα ΑΤΥ βασισμένο στο μοντέλο της ανθρώπινης λειτουργίας ακοής (Roads, 1995, 519)

2.4 Αφαιρετική σύνθεση

Σύνθεση ήχου είναι η διαδικασία χρησιμοποίησης θεμελιωδών μονάδων η δόμησης του ήχου για την δημιουργία καινούριων ήχων. Οι πρώτοι συνθέτες ηλεκτρονικής μουσικής, πριν την εμφάνιση των συνθεσάιζερ, είχαν στην διάθεση τους ταλαντωτές, κυματομορφές, φίλτρα και μαγνητοταινίες και έμαθαν να συνδυάζουν και να αλλάζουν ήδη υπάρχοντες ήχους φτιάχνοντας καινούριους δουλεύοντας μόνο πάνω στα βασικά συστατικά του ήχου. Οι επεξεργασία του ήχου λειτουργούσε είτε προσθετικά (προσθέτοντας ήχους ή τμήματα ήχου), είτε αφαιρετικά (Holmes, 2008).

Η αφαιρετική σύνθεση είναι η μέθοδος που χρησιμοποιούσαν σχεδόν όλα τα συνθεσάιζερ τις δεκαετίες 60' και 70' για να παράγουν τους ήχους τους. Δύο παράγοντες που βοήθησαν σ' αυτό είναι ότι η τεχνολογία της εποχής έδινε τέτοιες δυνατότητες και ότι με την αφαιρετική σύνθεση μπορούσες να μιμηθείς σε ικανοποιητικό βαθμό κάποια χαρακτηριστικά των ήχων των παραδοσιακών οργάνων. Η βασική αρχή της αφαιρετικής σύνθεσης είναι πρώτα η δημιουργία ή χρήση ενός σήματος σύνθετου και πλούσιου σε αρμονικούς και έπειτα η χρήση φίλτρων για την μεταβολή φασματικών περιοχών (εξασθένιση, ενίσχυση ή αφαίρεση ανεπιθύμητων αρμονικών). Στην αφαιρετική σύνθεση πέρα από την δυνατότητα μίμησης ήχων οργάνων μπορεί κανείς να δημιουργήσει και νέους, περίεργους και ασυνήθιστους ήχους (Huovilainen-Välimäki, 2005).

Την δεκαετία του 90' με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, νέες τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας του ήχου άρχισαν να γίνονται ιδιαίτερα δημοφιλείς και να εφαρμόζονται στα συνθεσάιζερ με αποτέλεσμα η αφαιρετική σύνθεση να χάσει τα πρωτεία. Όταν όμως στα μέσα της δεκαετίας εκφράστηκε ξανά το ενδιαφέρον για τον “ζεστό” ήχο της αφαιρετικής σύνθεσης, κάποιες εταιρίες έκαναν την αρχή και επανέφεραν την αφαιρετική σύνθεση με ψηφιακά εργαλεία επεξεργασίας σήματος. Με την χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας επίσης παραμερίστηκαν και τα ελαττώματα του αναλογικού ήχου (πχ. αστάθεια τονικού ύψους λόγω θερμοκρασίας). Έτσι η αφαιρετική σύνθεση εξακολουθεί να είναι μια σημαντική τεχνική που εφαρμόζεται

ευρέως στην ηλεκτρονική σύνθεση ήχου και στην σύγχρονη μουσική. (Välämäki, 2011).

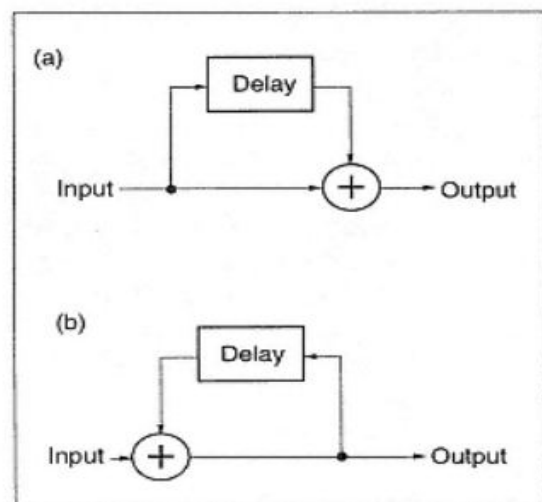
2.5 Φίλτρα

Μπορεί κανείς να φανταστεί την αφαιρετική σύνθεση σαν γλυπτική ήχου, όπου ξεκινάς από ένα “κομμάτι” ήχου όπου εμπεριέχει πολλές συχνότητες και μετά αφαιρείς ολόκληρα μέρη του ή μεμονωμένες συχνότητες, σχηματίζοντας τον τελικό ήχο. Τα φίλτρα είναι τα πιο χρήσιμα και ευέλικτα εργαλεία για αυτήν την γλυπτική του ήχου (Burk et al., 2011)

Το βασικό εργαλείο της αφαιρετικής σύνθεσης λοιπόν είναι τα φίλτρα. Φιλτράρισμα μπορεί να είναι στην πραγματικότητα οποιαδήποτε ενέργεια πάνω σε ένα σήμα, αλλά η πιο κοινή χρήση είναι αυτή που μετριάζει ή ενισχύει συγκεκριμένες περιοχές ενός φάσματος ήχου. Τέτοια φίλτρα λειτουργούν με δύο βασικούς τρόπους:

- α) καθυστερώντας ένα αντίγραφο από ένα εισερχόμενο σήμα ελάχιστα και συνδυάζοντας το καθυστερημένο σήμα με το καινούριο εισερχόμενο σήμα.
- β) καθυστερώντας ένα αντίγραφο του εξερχόμενου σήματος και συνδυάζοντάς το με το εισερχόμενο σήμα (Roads, 1995).

Ο συνδυασμός του εισερχόμενου ή εξερχόμενου σήματος μπορεί να είναι αφαίρεση ή και πρόσθεση. Συνδυάζοντας περισσότερα από ένα σήματα μπορείς να δημιουργήσεις ένα μεγάλο αριθμό διαφορετικών φίλτρων.



σχ. 2.6 Η λειτουργία των φίλτρων (Roads, 1995, σελ 185)

2.6 Τέσσερις βασικοί τύποι φίλτρων

Ένας από τους τρόπους για να χαρακτηριστούν οι τύποι των φίλτρων, είναι απεικονίζοντας την ένταση-προς-πλάτος καμπύλη απόκρισης (response curve). Ο όρος καμπύλη απόκρισης χρησιμοποιείται για να εκφράσει την σχέση της έντασης με την συχνότητα και παρέχεται συνήθως σαν ξεχωριστό χαρακτηριστικό σε περιγραφές συσκευών ήχου (όχι αποκλειστικά για φίλτρα) (Roads, 1995). Η καμπύλη απόκρισης δείχνει ποια περιοχή συχνοτήτων το φίλτρο “επιτρέπει” να διαβεί και ποια “απορρίπτει”. Η περιοχή συχνοτήτων της οποίας επιτρέπεται η διέλευση ονομάζεται περιοχή διέλευσης ενώ όλα τα σήματα έξω από την περιοχή αυτή, εξασθενούνται δραστικά ή και αποκόπτονται τελείως (περιοχή αποκοπής). Οι συχνότητες που βρίσκονται στα όρια των περιοχών διέλευσης και αποκοπής συμβολίζονται ως f_c και λέγονται συχνότητες αποκοπής (cut off frequency) (Χαδέλλης, 1992)

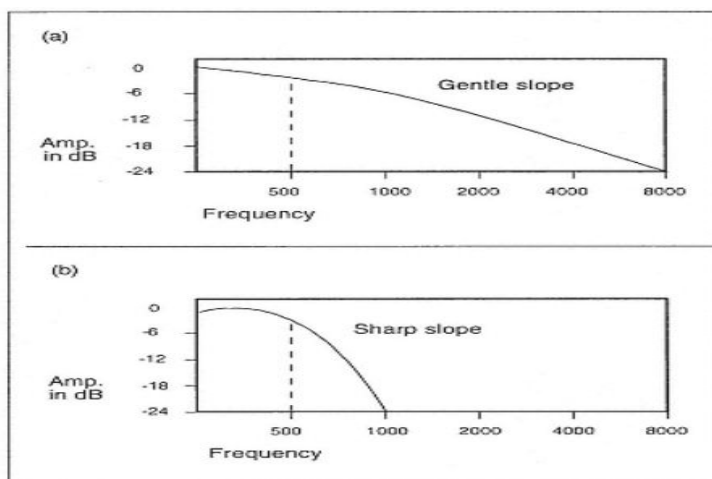
Κάθε τύπος φίλτρου έχει την δική του καμπύλη απόκρισης. Σύμφωνα με αυτήν συναντάμε τέσσερις βασικούς τύπους φίλτρων: κατωδιαβατά (lowpass), ανωδιαβατά (highpass), ζωνοδιαβατά (bandpass) και αποκοπής ζώνης (bandreject ή notch).

Τα κατωδιαβατά και ανωδιαβατά φίλτρα έχουν την ίδια λειτουργία αλλά προς αντίθετη κατεύθυνση. Τα κατωδιαβατά φίλτρα ή χαμηλής διέλευσης (Low-Pass Filters) επιτρέπουν την διέλευση χαμηλών συχνοτήτων. Τα ανωδιαβατά φίλτρα ή υψηλής διέλευσης (High-Pass Filters) επιτρέπουν μόνο τις ψηλές συχνότητες (Χαδέλλης, 1992). Οπότε σε ένα ανωδιαβατό φίλτρο, τα συστατικά του ήχου που θα είναι πάνω από την συχνότητα αποκοπής θα ανήκουν στην επιτρεπόμενη ζώνη του φίλτρου και δεν θα επηρεάζονται ενώ οι συχνότητες κάτω από την συχνότητα αποκοπής θα είναι στην ζώνη απόρριψης και θα μετριάζονται ή κόβονται εντελώς. Η συχνότητα αποκοπής μπορεί να ελέγχεται από άλλες πηγές και να μεταβάλλεται δημιουργώντας εφέ όπως του σαρώματος φίλτρων κτλ.

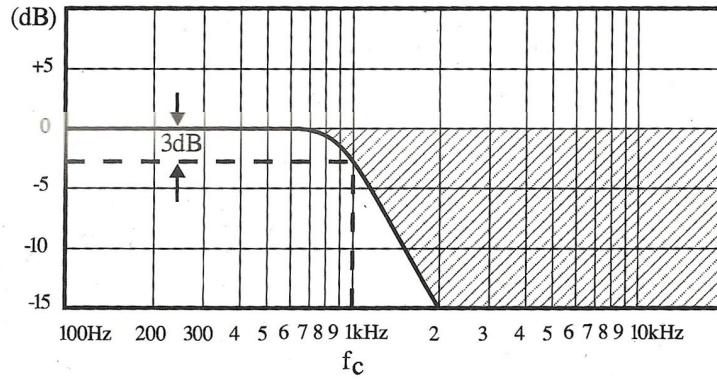
Ο συνδυασμός ανωδιαβατών και κατωδιαβατών φίλτρων είναι αυτός που δημιουργεί τα ζωνοδιαβατά και τα φίλτρα αποκοπής ζώνης. Η περιοχή ανάμεσα σε ένα ανωδιαβατό και ένα κατωδιαβατό φίλτρο είναι η περιοχή απόρριψης ή αποκοπής (bandstop) του φίλτρου αποκοπής ζώνης, ενώ αν η συχνότητα αποκοπής του

κατωδιαβατού βρίσκεται πάνω από αυτήν του ανωδιαβατού τότε η περιοχή αυτή είναι η επιτρεπόμενη ζώνη (bandpass) του ζωνοδιαβατού φίλτρου. Πιο συγκεκριμένα το ζωνοδιαβατό ή φίλτρο συντονισμού επιτρέπει μόνο μια συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων και απορρίπτει τις υπόλοιπες, ενώ τα φίλτρα αποκοπής ζώνης απορρίπτουν μια ζώνη συχνοτήτων και επιτρέπουν όλες τις άλλες (Χαδέλλης, 1992). Η συχνότητα που βρίσκεται στο κέντρο της ζώνης και στις δύο περιπτώσεις λέγεται κεντρική συχνότητα (center frequency) και το εύρος της ζώνης είναι το εύρος του φίλτρου (bandwidth) (Burk et. al. 2011). Έτσι η κεντρική συχνότητα ενός ζωνοδιαβατού φίλτρου είναι το σημείο με την περισσότερη ενέργεια στο φάσμα ενώ στο φίλτρο αποκοπής ισχύει το αντίθετο (Roads, 1995).

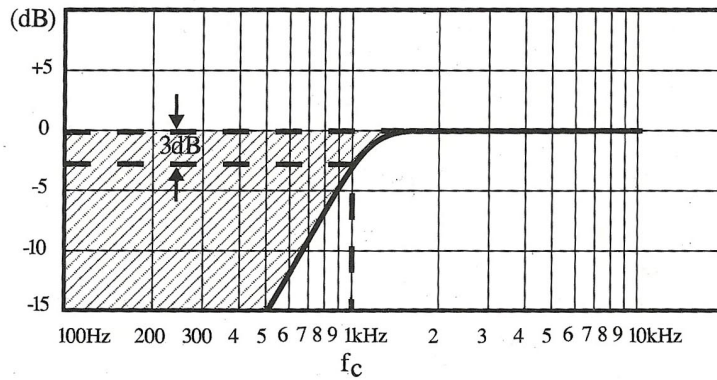
Η περιοχή από την συχνότητα αποκοπής μέχρι το σημείο όπου οι συχνότητες έχουν μηδενική ενέργεια λέγεται ζώνη μετάβασης (transition band). Η κλίση στην ζώνη μετάβασης είναι σημαντική για την διαμόρφωση του ήχου. Αν είναι πολύ απότομη τότε το φίλτρο χαρακτηρίζεται “αιχμηρό” (sharp), ενώ αν είναι πιο σταδιακή, το φίλτρο χαρακτηρίζεται “απαλό” (soft).



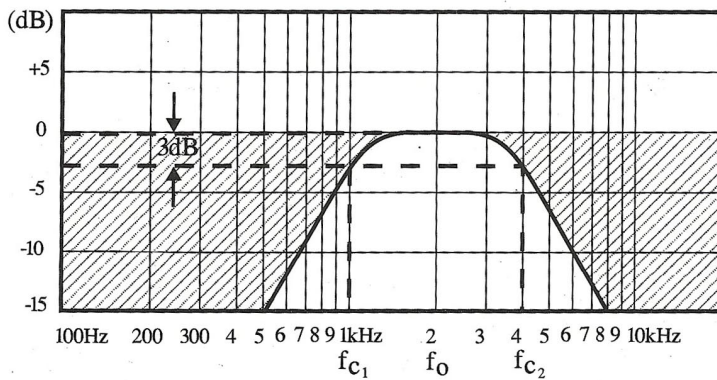
σχ. 2.8 Απαλή και αιχμηρή ζώνη μετάβασης (Rads, 1995, σελ 191)



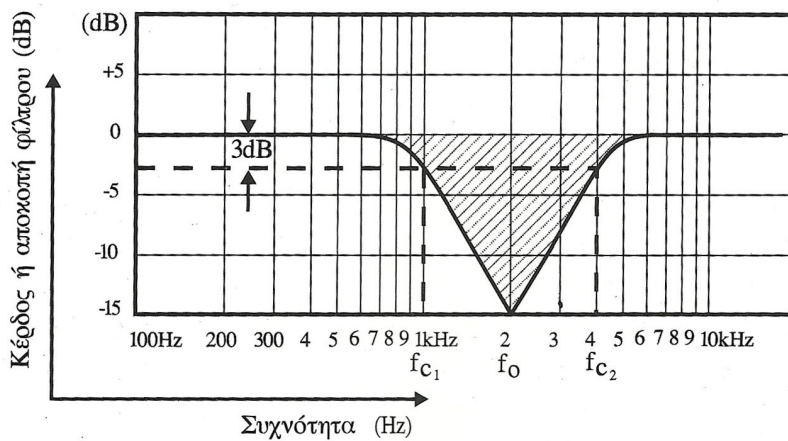
Λατοδιαβατό
 $f_c = 1 \text{ kHz}$



Ανοδιαβατό
 $f_c = 1 \text{ kHz}$



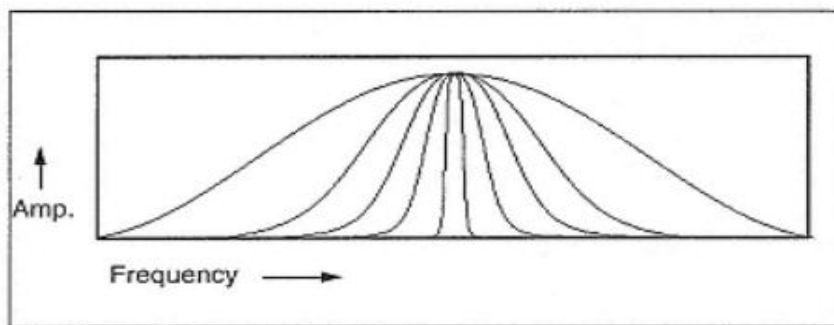
Ζωνοδιαβατό
 $f_{c1} = 1 \text{ kHz}$
 $f_{c2} = 4 \text{ kHz}$
 $f_0 = 2 \text{ kHz}$



Αποκοπής ζώνης
 $f_{c1} = 1 \text{ kHz}$
 $f_{c2} = 4 \text{ kHz}$
 $f_0 = 2 \text{ kHz}$

σχ 2.7 Οι τέσσερις βασικοί τύποι φίλτρων (Χαδέλλης, 1992, σελ 121)

Μια επιμέρους παράμετρος που εμφανίζεται στα ζωνοδιαβατά φίλτρα και καθορίζει πόσο “στενό” ή “φαρδύ” είναι το φίλτρο, είναι αυτή του συντελεστή ποιότητας (Quality factor ή Q). Ο συντελεστής ποιότητας μπορεί να χαρακτηριστεί σαν τον παράγοντα που περιγράφει τον βαθμό συντονισμού¹ (resonance) του φίλτρου. Όταν ο συντελεστής ποιότητας είναι μικρός τότε ο συντονισμός είναι “αμβλύς” και ζώνη διέλευσης μεγάλη. Αν αντίθετα είναι μεγάλος, τότε ο συντονισμός είναι “οξύς” και η ζώνη διέλευσης πολύ μικρή (Χαδέλλης, 1992).



σχ. 2.9 Διαφορετικοί τύποι συντελεστή ποιότητας (Roads, 1995, σελ 191)

¹ Ο συντονισμός σύμφωνα με τον ορισμό που δίνει η Ηλεκτρονική, είναι μια κατάσταση ταλάντωσης στην οποία μπορεί να βρεθεί ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα ή σύστημα μιας συγκεκριμένης μορφής, κάτω από κάποιες συνθήκες (Χαδέλλης, 1992).

2.7 Η τεχνική της συνέλιξης (convolution)

Η τεχνική της συνέλιξης είναι μια θεμελιώδης λειτουργία για την ψηφιακή επεξεργασία ήχου. Σαν μαθηματική τεχνική εφαρμόζονταν ήδη από τις αρχές του 20ου αιώνα σε διάφορους κλάδους αλλά από την ανάπτυξη της ψηφιακής τεχνολογίας και μετά αναδείχτηκε σε πολύ σημαντικό εργαλείο της ψηφιακής επεξεργασίας σημάτων. Είναι ένας μαθηματικός τρόπος για να σχηματίσεις ένα τρίτο σήμα συνδυάζοντας δύο σήματα. Όλοι είναι εξοικειωμένοι με τα παράγωγα της ακόμα και αν δεν έχουν ποτέ ακούσει για την τεχνική αυτή. Στην ψηφιακή επεξεργασία ήχου συχνά χρησιμοποιούνται άλλοι όροι όπως φίλτράρισμα, modulation cross-synthesis, reverbation για να περιγράψουν αυτήν την διαδικασία (Smith, 1997).

Στην ουσία η συνέλιξη είναι μια μέθοδος πολλαπλασιασμού. Η συνέλιξη δύο σημάτων, μας δίνει ένα τρίτο σήμα το οποίο περιγράφει κατά κάποιον τρόπο πως το ένα σήμα τροποποιεί το δεύτερο και αντίστροφα. Περιλαμβάνει πολλαπλασιασμό, παρόλα αυτά η συνέλιξη δύο σημάτων είναι διαφορετική από τον απλό πολλαπλασιασμό τους. Στον πολλαπλασιασμό ενός σήματος a με ένα σήμα b , κάθε τμήμα του a θα πολλαπλασιαστεί με το αντίστοιχο τμήμα του b σήματος. Στην συνέλιξη δύο σημάτων όμως κάθε τμήμα του σήματος a πολλαπλασιάζεται από κάθε τμήμα του b δημιουργώντας μια σειρά από τμήματα που θα έχουν το μήκος του b για κάθε τμήμα του a . Η συνέλιξη είναι το άθροισμα αυτών των σειρών τμημάτων. (Roads, 1995).

Για να καταλάβουμε καλύτερα την λειτουργία της συνέλιξης θα πάρουμε κάποιες απλές μορφές συνέλιξης ενός σήματος a , με μια κρουστική μονάδα (unit impulse¹) που ονομάζουμε $unit(n)$. Η συνέλιξη του σήματος $a(n)$ με την κρουστική μονάδα $unit(n)$ μπορεί να δοθεί ως εξής:

$$output(n) = a(n) * unit(n) = a(n) \text{ (το } * \text{ σημαίνει συνέλιξη)}$$

Βλέπουμε ότι το αποτέλεσμα $output(n)$ είναι ίδιο με το αρχικό σήμα $a(n)$. Η κρουστική μονάδα για αυτό τον λόγο θεωρείται σαν την ταυτότητα της πράξης της

¹ Η κρουστική μονάδα είναι μια ψηφιακή αλληλουχία που ορίζεται από n σημεία χρόνου. Στο σημείο $n = 0$ μονάδα(n) = 1, αλλά για όλες τις άλλες τιμές του n , μονάδα(n) = 0. Αναφέρεται και ως λειτουργία Δέλτα (Delta function).

συνέλιξης καθώς η συνέλιξη οποιουδήποτε σήματος με αυτήν δεν θα επιφέρει αλλαγές στο σήμα. Αν όμως διαβαθμίσουμε την κρουστική μονάδα με ένα συνεχές c τότε η ισότητα γράφεται ως εξής:

$$\text{output}(n) = a(n) * [c \times \text{unit}(n)]$$

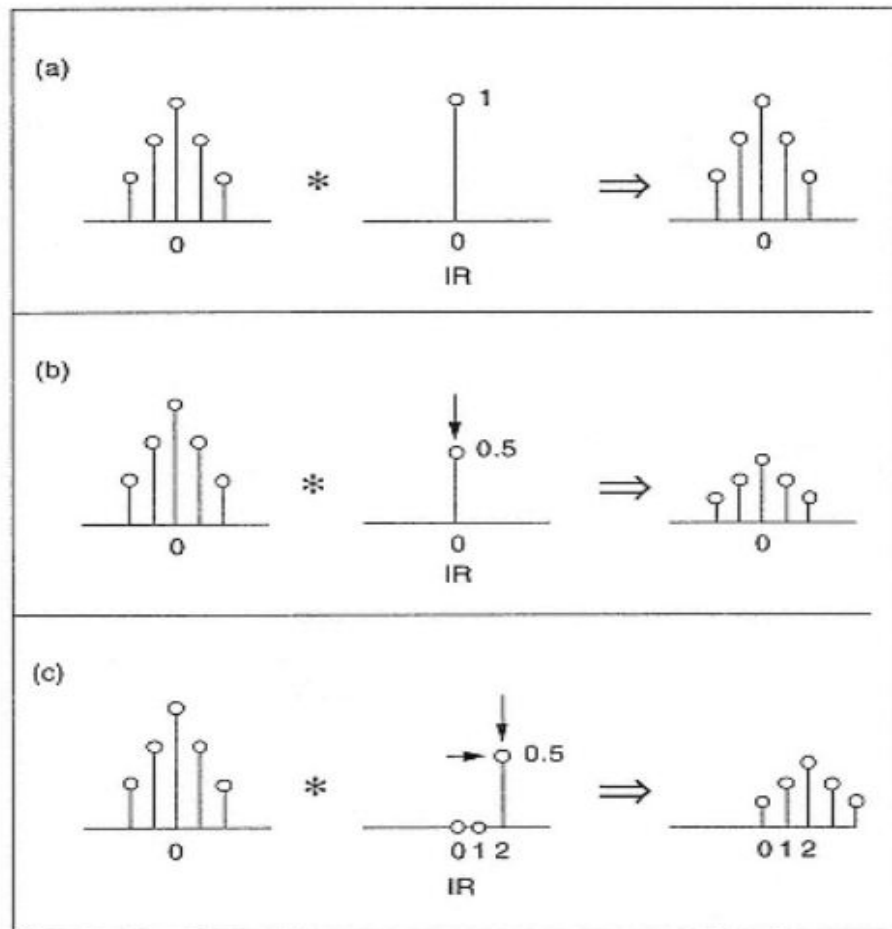
που το αποτέλεσμα του είναι το: $\text{output}(n) = c \times a(n)$

Έτσι έχουμε το σήμα a διαβαθμισμένο από το c . Εδώ η συνέλιξη λειτουργεί σαν ρυθμιστής της έντασης του a .

Ένα άλλο απλό παράδειγμα είναι αν συνέλιξουμε το σήμα a με μια κρουστική μονάδα μετατοπισμένη χρονικά t δείγματα (samples) (η κρουστική μονάδα είναι $n-t$ αντί του αρχικού $n = 0$) μπορεί να εκφραστεί ως: $\text{output}(n) = a(n) * [\text{unit}(n - t)]$

που το αποτέλεσμα του είναι το:

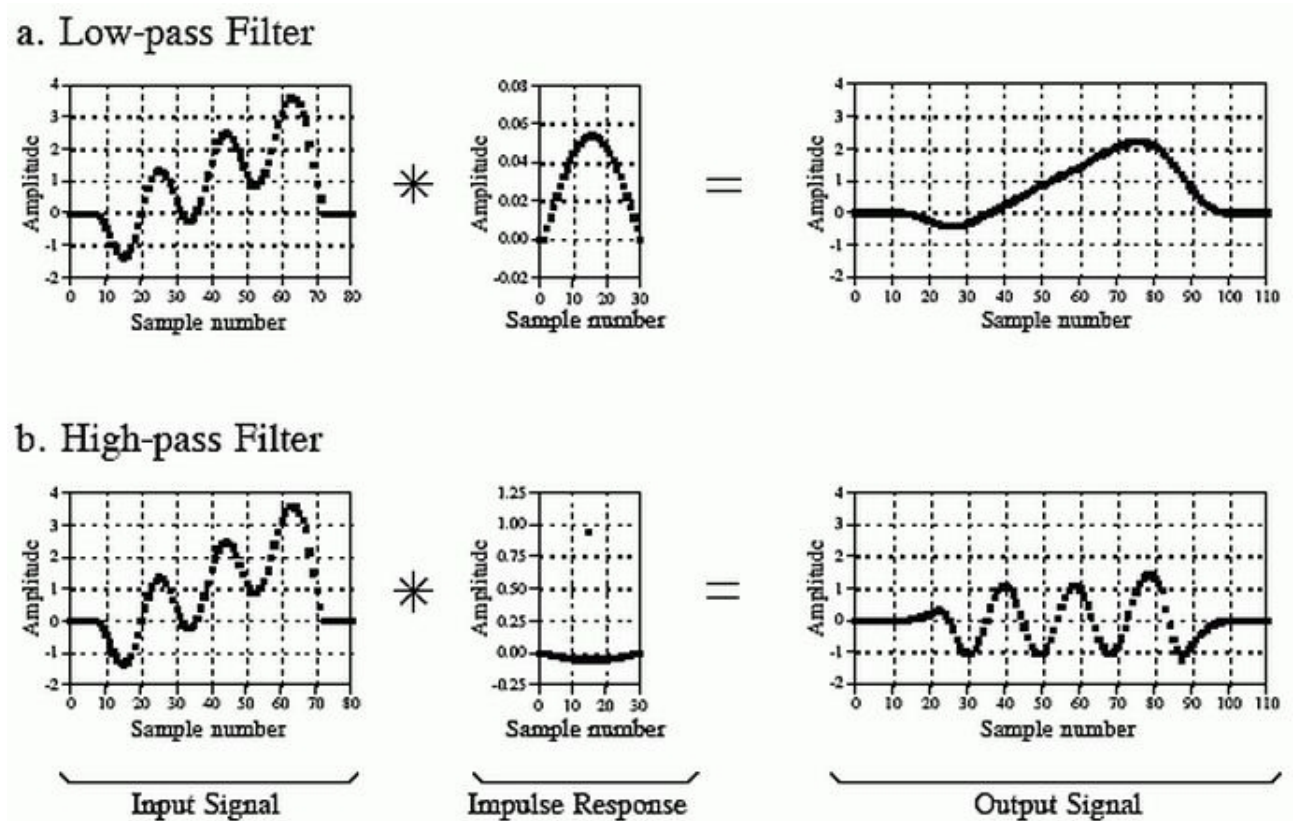
$$\text{output}(n) = a(n - t)$$



σχ. 2.10 Η συνέλιξη ενός σήματος με μια κρουστική μονάδα (Roads, 1995, σελ 421)

Εδώ η συνέλιξη λειτουργεί ως καθυστέρηση (delay) του σήματος a . Κάπως έτσι επιτυγχάνεται και το εφφέ της ηχούς (echo). Αν συνέλιξεις το σήμα a με δύο κρουστικές μονάδες με απόσταση 500ms η μία από την άλλη το εφφέ είναι αυτό της ηχούς.

Η τεχνική της συνέλιξης σχετίζεται άμεσα και με το φιλτράρισμα. Σχεδιάζοντας την κατάλληλη καμπύλη κρουστικής απόκρισης (impulse response curve) ενός φίλτρου, μπορείς να δημιουργήσεις όλους τους τύπους των φίλτρων. Η συνέλιξη της καμπύλης κρουστικής απόκρισης με κάποιο σήμα, το φιλτράρει και διαμορφώνει το φάσμα του σήματος ανάλογα με τον τύπο του φίλτρου. Η τεχνική αυτή λέγεται συνέλιξη μετασχηματισμού Φουριέ.

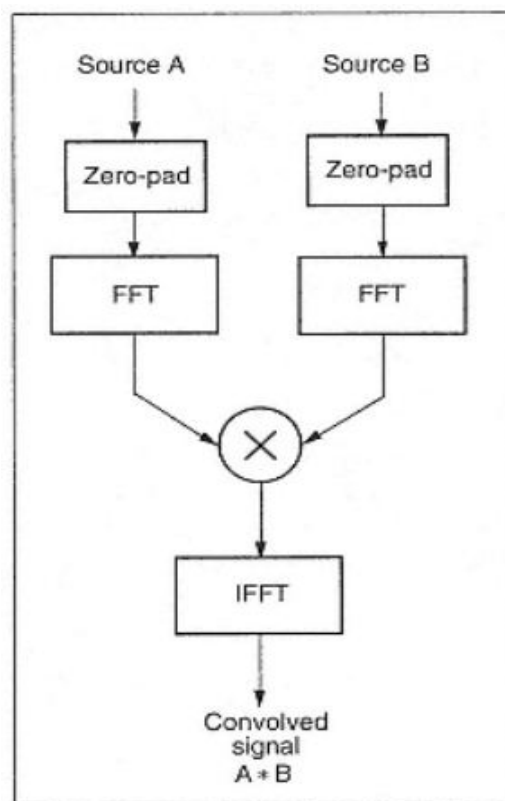


σχ. 2.11 Η συνέλιξη ενός εισερχόμενου σήματος με την καμπύλη κρουστικής απόκρισης ενός κατωδιαβατού και ενός ανωδιαβατού φίλτρου (Smith, 1997, κεφ.6 σελ. 2)

Ένας θεμελιώδης κανόνας που μπορεί να θεωρηθεί ως ο νόμος της συνέλιξης μετασχηματισμού Φουριέ είναι: “ο πολλαπλασιασμός στο πεδίο των συχνοτήτων είναι ισοδύναμος με συνέλιξη στο πεδίο του χρόνου και αντίστροφα” (Roads, 1995,

σελ. 424). Κάθε μετατροπή στο πεδίο του χρόνου έχει σαν αποτέλεσμα μια αντίστοιχη μετατροπή στο πεδίο των συχνοτήτων και αντίστροφα. Το εισερχόμενο σήμα μετασχηματίζεται στο πεδίο των συχνοτήτων με τον διακριτό μετασχηματισμό Φουριέ, πολλαπλασιάζεται με την συχνοτική καμπύλη απόκρισης ενός φίλτρου και έπειτα μετασχηματίζεται στο πεδίο του χρόνου με τον ανάστροφο μετασχηματισμό Φουριέ.

Ένα μεγάλο μειονέκτημα της συνέλιξης αυτού του τύπου είναι ότι χρησιμοποιεί πολλές πράξεις και αριθμούς για να ολοκληρωθεί η διαδικασία. Πλέον οι περισσότερες πρακτικές εφαρμογές της συνέλιξης χρησιμοποιούν μια πιο σύγχρονη μέθοδο που λέγεται γρήγορη συνέλιξη (fast convolution). Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος του γρήγορου μετασχηματισμού Φουριέ (FFT) για να υπολογίσει τον μετασχηματισμό του ηχητικού σήματος. Η συνέλιξη στο πεδίο των συχνοτήτων μπορεί να γίνει πιο γρήγορα από την συνέλιξη στο πεδίο του χρόνου. Το τελικό αποτέλεσμα είναι το ίδιο αλλά ο αριθμός των υπολογισμών έχει μειωθεί κατά πολύ (Smith, 1997).



σχ. 2.12 Το σχήμα γρήγορης συνέλιξης δύο σημάτων (FFT Convolution) (Roadsm 1995, σελ. 426)

Ηχητική εγκατάσταση και αλληλεπίδραση στην τέχνη

3.1 Ηχητική εγκατάσταση (sound installation)

Τα τελευταία χρόνια ο όρος ηχητική εγκατάσταση χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει μια ποικιλία από έργα τέχνης. Ο όρος υιοθετήθηκε και περιγράφει σχεδόν κάθε έργο το οποίο περιλαμβάνει ή έχει ενσωματωμένο το στοιχείο του ήχου, συνήθως με μη συμβατικό τρόπο, και που είναι δύσκολο να ενταχθεί σε κάποια καθιερωμένη κατηγορία μουσικού έργου. Αλλά αυτή ακριβώς η τόσο ευρεία χρήση του όρου καθιστά δύσκολο να δοθεί σήμερα ένας καθαρός και συγκεκριμένος ορισμός για την ηχητική εγκατάσταση. Ίσως θα ήταν καλύτερα να την προσεγγίσουμε ως μέρος ή επέκταση της “τέχνης της εγκατάστασης” (installation art) από την οποία είναι σαφές ότι ξεκίνησε.

Αυτή η κατηγορία τέχνης αποφεύγει την εστίαση σε ένα αντικείμενο αλλά επικεντρώνεται στις σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων ή στην αλληλεπίδραση αυτών και του περιεχομένου τους. Ένα έργο αποτελεί εγκατάσταση όταν μπορεί και δημιουργεί διάλογο με τον χώρο που το περιβάλλει (Rocha, 2003). Αυτή η σχέση σε μια ηχητική εγκατάσταση δημιουργείται ανάμεσα στον ήχο, στα οπτικά ή αρχιτεκτονικά στοιχεία του έργου, στον χώρο που έχει παρουσιαστεί και στον παρατηρητή. Η τέχνη της εγκατάστασης ασχολείται όχι μόνο με την τέχνη και τα όρια της, αλλά με την συνεχή προσέγγιση και την μίξη της τέχνης με την καθημερινή ζωή. Η αλληλεπίδραση είναι ένα βασικό συστατικό για αυτή την μορφή τέχνης (Minard, 1995)

Η βασική διαφορά μιας απλής εγκατάστασης από μια ηχητική εγκατάσταση, είναι η πρόσθεση του στοιχείου του ήχου. Αυτό το επιπλέον στοιχείο όμως δημιουργεί στην ουσία μια επιπλέον παράμετρο, αυτήν του χρόνου. Ο ήχος δεν είναι στατικό στοιχείο, έχει άμεση σχέση με τον χρόνο και δίνει την δυνατότητα να παρατηρήσει κάποιος σε διαφορετικές χρονικές στιγμές άλλες πλευρές της εγκατάστασης. Δίνει διάρκεια στο έργο τέχνης και μια πιο χειροπιαστή εμπειρία. “Στις ηχητικές εγκαταστάσεις ο ήχος συνεισφέρει στο να οριοθετεί ενεργά ένα μέρος

της εγκατάστασης, απορροφώντας διαρκώς την αντιπαράθεση ανάμεσα στον χρόνο και στον χώρο. Μία από τις βασικές αρχές του ήχου είναι αυτή της γλυπτικής του χρόνου” (Bosseur, 1998).

Ο ήχος σε μια εγκατάσταση μπορεί να είναι της μορφής επαναλαμβανόμενου μοτίβου ή ήχου με την τεχνική της επανάληψης (loop) ή μπορεί να έχει γραμμικό χαρακτήρα. Πολύ συχνά είναι ανοιχτής φόρμας που ενέχει το στοιχείο της αλληλεπίδρασης με το κοινό δίνοντας στο έργο πιο αφηρημένη χρονική και μορφολογική υπόσταση.



σχ. 3.1 Η αρχιτεκτονική ηχητική εγκατάσταση Philips Pavilion του Ι. Ξενάκη¹.

Το ενδιαφέρον για αυτό το πεδίο τέχνης έχει αυξηθεί δραματικά τις τελευταίες δεκαετίες. Αυτή η αύξηση ενδιαφέροντος μπορεί να οφείλεται σε μια φυσική τάση των καλλιτεχνών να αναμιγνύουν νέα τεχνολογία, μουσική και ζωντανή εμπειρία ή απλά να αντανακλά την σύγχρονη εποχή στην οποία κυριαρχούν τα πολυμέσα στην καθημερινή ζωή. Σημαντικό ρόλο έπαιξε η μεγάλη ανάπτυξη της τεχνολογίας που δίνει πλέον σχεδόν απεριόριστες δυνατότητες αλληλεπίδρασης ανάμεσα σε

¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Philips_Pavilion

μουσικούς, συνθέτες και εικαστικούς, τροφοδοτώντας τους συνεχώς με καινούρια ερεθίσματα και ιδέες.

3.2 Αλληλεπίδραση

Η αλληλεπίδραση είναι βασικό και ζωτικό στοιχείο στην τέχνη της εγκατάστασης. Είναι δύσκολο όμως να δοθεί μια περιγραφή του όρου “αλληλεπίδραση” που να περικλείει όλα τα στοιχεία της αλληλεπίδρασης και τις λειτουργίες της στην τέχνη. Στις περισσότερες προσπάθειες ορισμού διάφοροι αναλυτές εστιάζουν κυρίως σε μεμονωμένα επιμέρους στοιχεία και όχι σε μια συνολική λειτουργία της αλληλεπίδρασης.

Κάπως απλοποιημένα θα μπορούσαμε να πούμε ότι η τέχνη είναι αλληλεπιδραστική όταν οι παρατηρητές συμμετέχουν με κάποιο τρόπο δίνοντας ένα ερέθισμα ή μια δράση (input) που θα επηρεάσει και καθορίσει το αποτέλεσμα (outcome). Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές τέχνες που η δράση εκτελείται μέσα στο μυαλό του παρατηρητή (κατανόηση και ερμηνεία του έργου), η αλληλεπίδραση στην τέχνη της εγκατάστασης φέρνει τον παρατηρητή σε ενεργό ρόλο επιτρέποντας του να συμπληρώνει ή να συνεισφέρει ενεργά στο έργο τέχνης. Η αλληλεπίδραση εδώ ως μέσο παράγει νόημα (Paul, 2003).

Συνήθως σ' αυτήν την μορφή τέχνης η τεχνολογία παίζει βασικό ρόλο στο να δημιουργήσει την διεπαφή (interface) η οποία επιτρέπει την αλληλεπίδραση. Αισθητήρες, κάμερες, μικρόφωνα και υπολογιστές χρησιμοποιούνται με ευρηματικότητα και βοηθάνε στην δημιουργία αυτού του διαλόγου ανάμεσα στα έργα και τους παρατηρητές που είναι απαραίτητος για την δημιουργία αλληλεπιδραστικής τέχνης. Ο κάθε παρατηρητής δημιουργεί μέσω της εμπειρίας την δική του εκδοχή του καλλιτεχνικού έργου, την δική του εικόνα και έχει την δική του ερμηνεία¹.

Μια αρκετά ολοκληρωμένη και διαφωτιστική περιγραφή της αλληλεπίδρασης είναι η παρακάτω: “Αλληλεπίδραση μπορεί να οριστεί ως ο βαθμός στον οποίον μια

¹ Wikipedia στο λήμμα interactive art http://en.wikipedia.org/wiki/Interactive_art

τεχνολογία επικοινωνίας μπορεί να δημιουργήσει ένα περιβάλλον μεσολάβησης, στο οποίο οι συμμετέχοντες μπορούν να επικοινωνήσουν (ένας με έναν, ένας με πολλούς, πολλοί με πολλούς), συγχρονισμένα ή ασυγχρόνιστα, και να συμμετέχουν σε αμοιβαίες ανταλλαγές μηνυμάτων (εξάρτηση 3ου προσώπου). Όταν αφορά χρήστες ανθρώπους, τότε επιπρόσθετα αναφέρεται στην δυνατότητα τους να αντιληφθούν την εμπειρία ως προσομοίωση διαπροσωπικής επικοινωνίας και στο ότι η εμπειρία αυτή θα αυξήσει την επίγνωση της *τηλεπαρουσίας*¹ τους” (Κιούσης, 2002, σελ 372).



σχ. 3.2 Το έργο *Boundary functions* του Scott Snibbe. Κάθε φορά που κάποιος προχωράει στο πάτωμα της εγκατάστασης σειρές από γραμμές προβάλλονται σε αυτό, χωρίζοντας τον από τους γύρω του².

Παραθέσαμε παραπάνω μερικά στοιχεία γύρω από την τέχνη της εγκατάστασης, τη σχέση της με τον ήχο και τον ρόλο της αλληλεπίδρασης. Στόχος μας δεν είναι να εμβαθύνουμε στις έννοιες αυτές αλλά να κάνουμε μια εισαγωγική περιγραφή και αναφορά.

1 Ο όρος τηλεπαρουσία (telepresence) αναφέρθηκε πρώτη φορά από τον επισήμονα τεχνητής νοημοσύνης M.Minsky και αναφέρεται στην χρήση της τεχνολογίας που σου επιτέπει με μηχανικά μέσα να είσαι παρών ή να μπορείς να επιδράσεις σε ένα περιβάλλον χωρίς να έχει φυσική παρουσία (Minsky, 1980).

2 <http://www.snibbe.com/projects/interactive/boundaryfunctions/>

3.3 Περιγραφή της ηχητικής εγκατάστασης

Η ηχητική εγκατάσταση absorbanse²² επιχειρεί ένα σχόλιο πάνω στην έννοια του θορύβου. Τέσσερις προ-ηχογραφημένοι ήχοι θορύβου (λευκός και ροζ θόρυβος, ένα δείγμα ήχου της βροχής, και ένα δείγμα ήχου αέρα) είναι το πρωτογενές υλικό της εγκατάστασης που θα χρησιμοποιηθεί ως αφετηρία. Οι ήχοι αυτοί υπόκεινται σε επεξεργασία και διαμορφώνονται αλληλεπιδρώντας με τους ήχους που υπάρχουν σε έναν χώρο με έντονη ηχητική δραστηριότητα (κυλικείο, δρόμος, Φουαγιέ θεάτρου κτλ.) δημιουργώντας καινούριους ήχους. Ο τύπος του θορύβου ως αντικείμενο ήχου χωρίς περιοδικότητα, διαμορφώνεται από έναν κοινωνικό τύπο θορύβου που είναι ο ανεπιθύμητος ήχος σε έναν χώρο.

Ο θόρυβος, ο χώρος (περιβάλλον) και η ανθρώπινη παρουσία συνθέτουν την εγκατάσταση. Οι καθημερινοί ήχοι που μας περιβάλλουν σε διάφορες στιγμές στην καθημερινότητα μας σχετίζονται άμεσα με την ανθρώπινη δραστηριότητα εφόσον είτε άμεσα είτε έμμεσα είναι προϊόντα της. Στην εγκατάσταση χρησιμοποιούμε τον χώρο (μπορεί να πραγματοποιηθεί σε οποιονδήποτε χώρο), για να φέρουμε σε “αντιπαράθεση” τους ήχους που υπάρχουν σ' αυτόν με τους προ-ηχογραφημένους ήχους θορύβου. Αυτή η “αντιπαράθεση” γίνεται μέσα στο περιβάλλον της γλώσσας προγραμματισμού Max/Msp¹ με τρία διαφορετικά “προγράμματα” (τρία patches).

Στο πρώτο patch οι προ-ηχογραφημένοι ήχοι θορύβου διαμορφώνονται μέσα στον χρόνο, φιλτράροντας και αφαιρώντας διαδοχικά μπάντες (bands) από συχνότητες, οι οποίες ελέγχονται από τα τονικά ύψη των ήχων που υπάρχουν στον χώρο. Αναλύοντας τους ήχους που λαμβάνει ένα μικρόφωνο τοποθετημένο στον χώρο, εντοπίζονται τα τονικά τους ύψη. Κάθε συχνότητα που εντοπίζεται ελέγχει έναν γραφικό ισοσταθμιστή (graphical equalizer) που με την σειρά του φιλτράρει τον προ-ηχογραφημένο ήχο θορύβου, με τρόπο που να αφαιρεί εντελώς ολόκληρες μπάντες συχνοτήτων κοντά στην περιοχή του τονικού ύψους από τους ήχους του χώρου. Έτσι μακροπρόθεσμα οι προ-ηχογραφημένοι ήχοι θορύβου αλλοιώνονται, έχοντας στο φάσμα τους μόνο τις συχνότητες που δεν έχουν “ακουστεί” καθόλου

¹ Βλ. παράρτημα 1

στον χώρο. Το αποτέλεσμα είναι ένας καινούριος ήχος θορύβου αποτέλεσμα της αφαίρεσης των συχνοτήτων των ήχων του χώρου από τους προ-ηχογραφημένους ήχους θορύβου. Ο καινούριος αυτός ήχος είναι η “αντιπαράθεση” ενός ήχου θορύβου με τον κοινωνικό ανεπιθύμητο θόρυβο ενός χώρου.

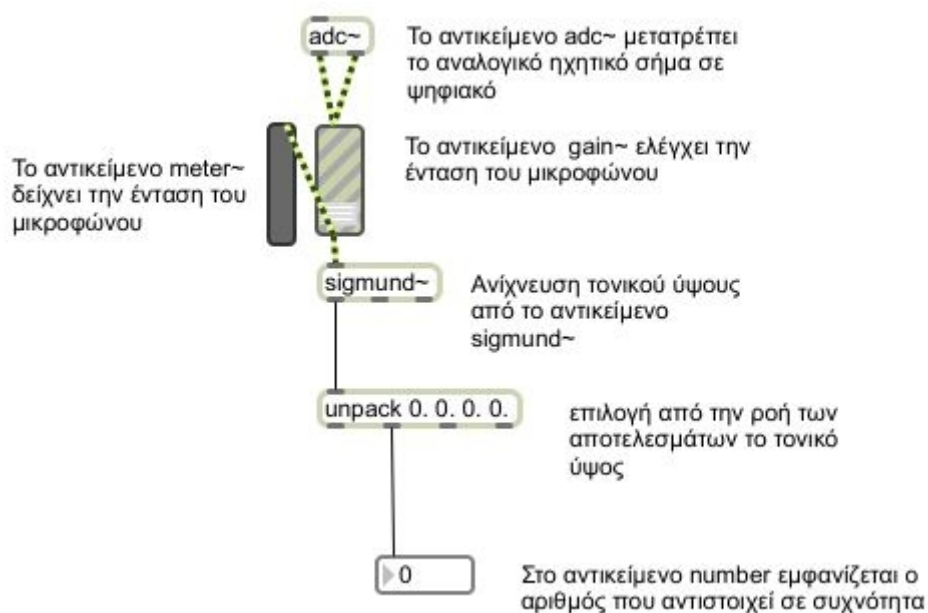
Το δεύτερο patch είναι ίδιο με το πρώτο στον πρώτο που διαχειρίζεται και επεξεργάζεται τα ηχητικά σήματα με μια βασική διαφορά. Αρχικά ο γραφικός ισοσταθμιστής είναι ρυθμισμένος έτσι ώστε να φιλτράρει απορρίπτοντας όλες τις συχνότητες του προ-ηχογραφημένου ήχου θορύβου. Ξεκινάει δηλαδή από την σιωπή. Οι συχνότητες των ήχων του χώρου ενεργοποιούν τον ισοσταθμιστή επιτρέποντας την αντίστοιχη μπάνα συχνοτήτων. Έτσι σταδιακά δημιουργείται ένας καινούριος ήχος θορύβου που είναι όμως το άθροισμα των συχνοτήτων των ήχων του χώρου.

Το τρίτο patch λειτουργεί λίγο διαφορετικά, οι συχνότητες των ήχων του χώρου είναι οι κεντρικές συχνότητες σε ένα “στενό” ζωνοδιαβατό φίλτρο συντονισμού (resonant filter), που θα φιλτράρει απορρίπτοντας όλες τις υπόλοιπες συχνότητες από τους προ-ηχογραφημένους ήχους θορύβου. Κάθε νέος ήχος που εντοπίζεται μεταφέρει το φίλτρο συντονισμού στην συχνότητα που είναι το τονικό του ύψος. Έτσι φαίνεται ο ήχος του θορύβου να “ακολουθεί” του ήχους του χώρου. Την αναλυτική λειτουργία του κάθε patch θα την εξετάσουμε ξεχωριστά παρακάτω.

Η ηχητική εγκατάσταση μπορεί να εκτελεστεί σε οποιονδήποτε χώρο εσωτερικό και εξωτερικό. Ο εξοπλισμός που χρειάζεται είναι ένα μικρόφωνο (που δέχεται τους ήχους του χώρου), ένας H/Y για να εκτελούνται στην Max/Msp οι διαδικασίες ανάλυσης και επεξεργασίας του ήχου και ένα ζευγάρι ακουστικών (ή ηχείων τοποθετημένων σε άλλο χώρο) που ακούγεται το αποτέλεσμα της επεξεργασίας.

Ας εξετάσουμε πιο αναλυτικά πως λειτουργεί η εγκατάσταση. Το πρώτο στάδιο είναι κοινό και για τις τρεις εκδοχές (τρία patches) και είναι αυτό της ανίχνευσης τονικού ύψους (ATY) των ήχων του χώρου. Από τη μια μεριά έχουμε λοιπόν προ-ηχογραφημένους ήχους θορύβου, όπως λευκό θόρυβο, τον ήχο της βροχής, έναν ήχο μηχανής κτλ. και από την άλλη έχουμε τους ήχους που λαμβάνει το μικρόφωνο. Η

πρώτη επεξεργασία γίνεται στους ήχους του μικροφώνου. Οι ήχοι μετατρέπονται σε ψηφιακό σήμα μέσω του *adc~* αντικειμένου (Analog-to-Digital Converter), που ελέγχεται από το αντικείμενο *gain~* για την εξισορρόπηση της έντασης του μικροφώνου. Στην συνέχεια οι ήχοι αναλύονται στο πεδίο των συχνοτήτων χρησιμοποιώντας τον γρήγορο μετασχηματισμό Φουριέ. Το αντικείμενο *sigmund~*¹ επιτελεί την διαδικασία του γρήγορου μετασχηματισμού Φουριέ και ανίχνευσης τονικού ύψους. Στην έξοδο (output) του αντικειμένου *sigmund~* έχουμε μια ροή από δεδομένα που είναι όχι μόνο τα αποτελέσματα της ATY αλλά και μερικά άλλα (ημιτονοειδείς κορυφές, ένταση, τονικό ύψος στην αρχή μιας νότας, συνεχόμενο τονικό ύψος). Για να ξεχωρίσουμε τα δεδομένα που μας ενδιαφέρουν (συνεχόμενο τονικό ύψος) χρησιμοποιούμε το αντικείμενο *unpack*. Τα δεδομένα της ATY από το αντικείμενο *sigmund~* είναι μια συνεχόμενη ροή αριθμών που αντιστοιχούν στα τονικά ύψη των ήχων του χώρου και εμφανίζονται στο αντικείμενο *number*.

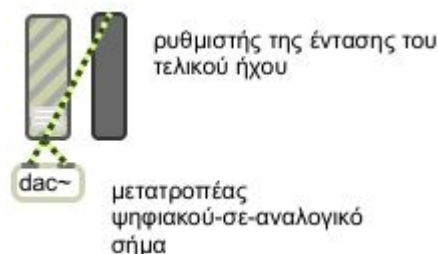


σχ. 3.3 Το βασικό patch της ATY όπως φαίνεται στο περιβάλλον της MAX/MSP

Η διαδικασία αυτή είναι πανομοιότυπη για τα τρία patch της εγκατάστασης. Η

¹ Το αντικείμενο *sigmund~* αναλύει έναν εισερχόμενο ήχο στις ημιτονοειδείς συνιστώσες του που μπορούν να παρουσιαστούν ξεχωριστά ή να συνδυαστούν για να δώσουν τονικό ύψος. Δεν ανήκει στον βασικό κατάλογο αντικειμένων της max/msp. Δημιουργήθηκε από χρήστη και ανασύρθηκε στις 28/11/2011 από την διεύθυνση http://www.maxobjects.com/?v=objects&id_obj=4713

διαφοροποίηση του κάθε patch ξεκινάει από τον τρόπο που χρησιμοποιεί τα δεδομένα από την ATY. Το τελευταίο τμήμα είναι επίσης ίδιο στα τρία patch και είναι αυτό της μετατροπής του σήματος από ψηφιακό σε αναλογικό με το αντικείμενο *dac~*. Ένα αντικείμενο *gain~* και *meter~* είναι πάλι τοποθετημένα για να ελέγχουν και να απεικονίζουν την ένταση της εξόδου.



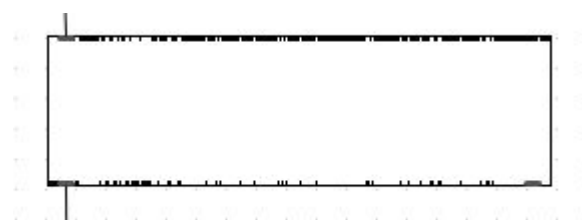
σχ. 3.4 Τα αντικείμενα *meter~* *gain~* και *dac~* στο τέλος των patch

Παρακάτω θα περιγράψουμε αναλυτικότερα το κάθε patch. Η διαδικασία μετατροπής ενός ήχου που λαμβάνουμε από μικρόφωνο σε ακριβείς συχνότητες, είναι αρκετά δύσκολη όπως εξηγήσαμε στο κεφάλαιο της ανίχνευσης τονικού ύψους. Επιπλέον ακριβείς μετρήσεις απαιτούν και ακριβό εξοπλισμό για να γίνουν. Γνωρίζοντας τις δυσκολίες αυτές στην παρούσα εργασία, δημιουργήσαμε τις συνθήκες όπου παρότι οι μετρήσεις δεν είναι απόλυτα ακριβείς, το αποτέλεσμα είναι το επιθυμητό, βασισμένο πάνω στην αλληλεπίδραση των ήχων του περιβάλλοντος με τους προ-ηχογραφημένους ήχους θορύβου.

3.4 Absorbance22: Πρώτη εκδοχή (patch 1)

Το πρώτο patch είπαμε ότι ασχολείται με την διαμόρφωση των προ-ηχογραφημένων ήχων θορύβου από τους ήχους του χώρου της εγκατάστασης. Η διαμόρφωση γίνεται με την τεχνική της συνέλιξης. Για να διαμορφώσουμε τους ήχους θορύβου με τον τρόπο που περιγράψαμε παραπάνω (αφαιρούμε μπάντες συχνοτήτων για να δημιουργήσουμε καινούριους ήχους), θα δημιουργήσουμε έναν γραφικό ισοσταθμιστή (graphical equalizer) με πολλές μπάντες (bands), που θα ελέγχεται και ρυθμίζεται από τους ήχους του χώρου. Η συνέλιξη γίνεται με τους προ-ηχογραφημένους ήχους θορύβου και με την κρουστική καμπύλη απόκρισης (impulse response curve) του γραφικού ισοσταθμιστή. Το αποτέλεσμα είναι το φιλτράρισμα

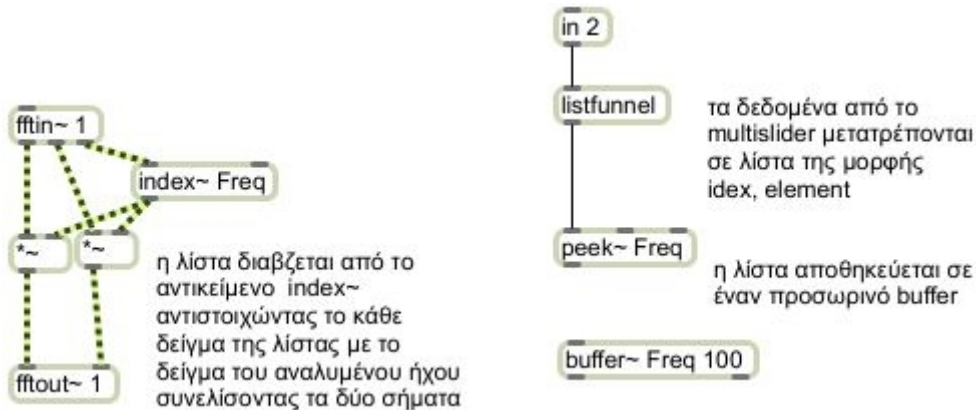
Το αντικείμενο αυτό χρησιμεύει για γραφική απεικόνιση και έχει ευρεία χρήση λόγω των πολλών sliders που μπορεί να πάρει. Ο αριθμός των sliders στην παρούσα εργασία ορίστηκε από το μέγεθος του παράθυρου (window) που χρησιμοποιήσαμε για τον γρήγορο μετασχηματισμό Φουριέ και είναι 2048 (αριθμός των FFT bins = Window length / 2, το μέγεθος του παράθυρου που χρησιμοποιούμε είναι 4096, οπότε $4096 / 2 = 2048$). Δημιουργήσαμε δηλαδή έναν γραφικό ισοσταθμιστή με 2048 μπάντες που μπορούν να έχουν τιμές 0 ή 1. Οι μπάντες λειτουργούν σαν διακόπτες (on/off) και δεν παίρνουν ενδιάμεσες τιμές. Αρχικά όλοι οι sliders είναι στο 1 επιτρέποντας όλες τις συχνότητες του ήχου θορύβου. Η είσοδος (input) του multislider είναι συνδεδεμένη με την έξοδο (output) του sigmund~ που κάνει την ATY. Όταν εντοπίζεται μια θεμέλιος συχνότητα από έναν ήχο, στην έξοδο του sigmund~ έχουμε έναν αριθμό που είναι αυτή η συχνότητα. Ο αριθμός αυτός ενεργοποιεί τον αντίστοιχο slider μετακινώντας τον στο 0 (πχ. αν κάποιος μιλάει στον χώρο και το τονικό ύψος της ομιλίας του εντοπιστεί από την ATY ότι είναι 110 Hertz, ενεργοποιείται στο multislider ο slider 110). Έτσι διαδοχικά ενεργοποιούνται οι sliders ανάλογα με τα δεδομένα από την έξοδο του sigmund~ και δημιουργείται η καμπύλη απόκρισης του ισοσταθμιστή.



σχ. 3.6 Το αντικείμενο multislider διαμορφωμένο μετά από κάποια ώρα λειτουργίας. Κάποιοι sliders που αντιστοιχούν σε τονικά ύψη είναι στο 0, ενώ αυτοί που οι αντίστοιχες συχνότητες δεν εντοπίστηκαν από την ATY στον χώρο παραμένουν στο 1.

Τα δεδομένα από την έξοδο του multislider~ στέλνονται σε ένα sub-patch (pfft~) μέσα στο αρχικό patch που εκτελούνται δύο λειτουργίες: πρώτα η μετατροπή των τιμών του multislider~ σε μια λίστα με 2048 δείγματα που αποθηκεύονται σε ένα buffer, και έπειτα η συνέλιξη τις λίστας με το σήμα του προ-ηχογραφημένου ήχου

θορύβου στο πεδίο των συχνοτήτων.



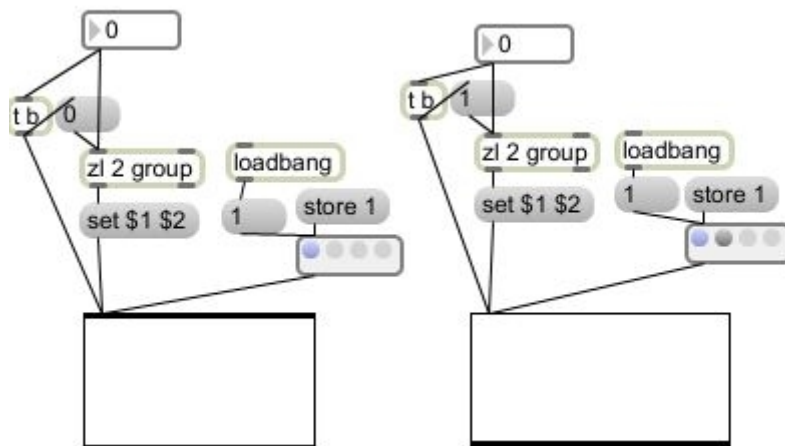
σχ. 3.7 Το sub-patch που επιτελείται η συνέλιξη

Μέσα στο subpatch `pfft~`, το αντικείμενο `listfunnel` δημιουργεί μια λίστα με αριθμούς της μορφής [δείκτης] [στοιχείο] (`[index] [element]`). Στην συνέχεια το αντικείμενο `peek~` αναλαμβάνει να “γράψει” την λίστα αυτή σε ένα `buffer`. Η λίστα αυτή θα αποτελείται από 2048 δείγματα (samples) που το κάθε δείγμα θα αντιστοιχεί σε έναν slider και θα έχει τιμή 1 ή 0. Το αντικείμενο που “διαβάζει” την λίστα αυτή από το `buffer` είναι το `index~`. Το `index~` μπορεί να “διαβάζει” σήματα από `buffer` χωρίς παρεμβολή και να αντιστοιχεί το κάθε δείγμα με το αντίστοιχο δείγμα που δέχεται στην είσοδο του. Χρησιμοποιείται για γρήγορη συνέλιξη (FFT convolution) λόγω της δυνατότητας που έχει να αντιστοιχεί τα δείγματα χωρίς παρεμβολή. Στην παρούσα εργασία η είσοδος του `index~` είναι συνδεδεμένη με το αντικείμενο `fftin~` που κάνει τον γρήγορο μετασχηματισμό Φουριέ στον ήχο θορύβου, και διαβάζοντας το `buffer` αντιστοιχίζει κάθε δείγμα του αναλυμένου ήχου από το `fftin~` με το δείγμα του `buffer` που είναι η καμπύλη απόκρισης του γραφικού ισοσταθμιστή. Με αυτόν τον τρόπο ο ισοσταθμιστής διαμορφώνει και φιλτράρει το φάσμα του ήχου θορύβου. Το τελευταίο αντικείμενο στο sub-patch είναι το `fftout~` που κάνει την αναστροφή του γρήγορου μετασχηματισμού Φουριέ ξανα-συνθέτοντας τον καινούριο ήχο που δημιουργήθηκε από την συνέλιξη.

3.5 Absorbance22: Δεύτερη εκδοχή (patch 2)

Το δεύτερο patch είναι ίδιο με το πρώτο. Χρησιμοποιεί τα ίδια αντικείμενα με

τις ίδιες συνδέσεις και την ίδια επεξεργασία των ήχων. Υπάρχει παρόλα αυτά μια χαρακτηριστική διαφορά που δίνει ένα εντελώς διαφορετικό αποτέλεσμα στον τελικό ήχο. Ο γραφικός ισοσταθμιστής που περιγράψαμε παραπάνω με το αντικείμενο multislider όταν ανοίγει το patch έχει όλους τους sliders στο 0. Έτσι απορρίπτονται όλες οι συχνότητες του ήχου θορύβου και δεν ακούγεται ήχος. Κάθε συχνότητα που εντοπίζεται μετακινεί τον αντίστοιχο slider στο 1 “ανοίγοντας” την αντίστοιχη μπάντα συχνοτήτων για τον ήχο θορύβου. Έτσι διαδοχικά δημιουργείται ένας ήχος θορύβου από την πρόσθεση συχνοτήτων των ήχων του χώρου. Το αποτέλεσμα αναπτύσσεται γρηγορότερα και είναι πιο δραστικό από το πρώτο patch.

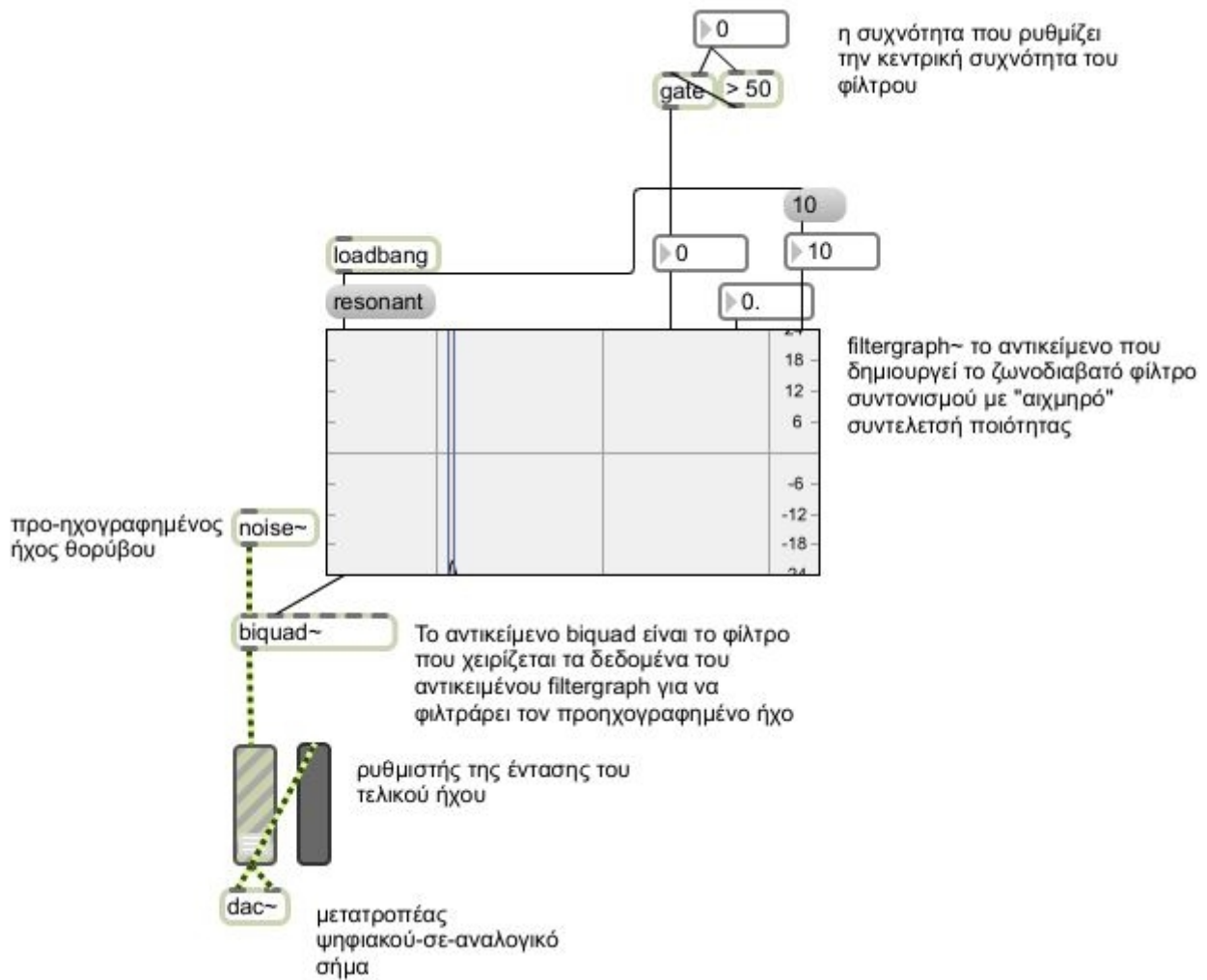


σχ. 3.8 Οι διαφορές του πρώτου από το δεύτερο patch.

3.6 Absorbance22: τρίτη εκδοχή (patch 3)

Το τρίτο patch είναι πιο απλό στον τρόπο που επεξεργάζεται τους ήχους. Το τελικό αποτέλεσμα επιτυγχάνεται με την χρήση ενός “στενού” ζωνοδιαβατού φίλτρου που η κεντρική του συχνότητα ελέγχεται από τις συχνότητες των ήχων του χώρου. Ο ήχος θορύβου φιλτράρεται και επιτρέπει να ακούγονται μόνο οι συχνότητες κοντά στην περιοχή της κεντρικής συχνότητας. Το αποτέλεσμα ακούγεται σαν να “ακολουθάει” ο ήχος του θορύβου τους ήχους του χώρου στο τονικό τους ύψος.

Παρακάτω θα δούμε λίγο πιο αναλυτικά πως λειτουργεί το patch.



σχ.3.9 Το τρίτο patch

Η διαδικασία ATY είπαμε είναι κοινή για όλα τα patch. Στο τρίτο patch η έξοδος του sigmund~ όμως συνδέεται με το αντικείμενο filtergraph~. Το filtergraph~ είναι το αντικείμενο που θα δώσει τους βασικούς συντελεστές που χρειάζεται το αντικείμενο biquad~ στο επόμενο στάδιο για να φιλτράρει τον ήχο θορύβου [την κεντρική συχνότητα (center frequency), το κέρδος (gain) και τον συντελεστή ποιότητας (quality factor) του φίλτρου]. Το filtergraph~ απεικονίζει γραφικά τους παραπάνω συντελεστές και είναι εύκολο έτσι να τους επεξεργάζεσαι και να ρυθμίζεις τις παραμέτρους του φίλτρου. Η έξοδος του sigmund~ ελέγχει την κεντρική συχνότητα του φίλτρου. Οι συχνότητες από τους ήχους του χώρου δηλαδή μας δίνουν την κεντρική συχνότητα. Το κέρδος της κεντρικής συχνότητας ελέγχεται από την έξοδο του αντικειμένου meter~ που απεικονίζει την ένταση του ήχου, έτσι ώστε ο

ήχος που μέσω της ΑΤΥ θα δώσει την κεντρική συχνότητα να δώσει και το κέρδος της. Ο συντελεστής ποιότητας (Q) έχει οριστεί από την αρχή να είναι σταθερά σε μια υψηλή τιμή για να περιορίζει δραστικά της συχνότητες που δεν είναι πολύ κοντινές στην κεντρική. Ο τύπος του φίλτρου ορίζεται με ένα μήνυμα (message) στην είσοδο του `filtergraph~`. Στο παρών patch χρησιμοποιούμε ένα φίλτρο συντονισμού (resonant filter) που είναι ένας τύπος ζωνοδιαβατού φίλτρου.

Το αντικείμενο που φιλτράρει τον ήχο θορύβου στο τρίτο patch είναι το `biquad~`. Στην αριστερή του είσοδο (input) δέχεται τον προ-ηχογραφημένο ήχο θορύβου και στην δεξιά τους συντελεστές του φίλτρου από το αντικείμενο `filtergraph~` (που ελέγχεται από τους ήχους του χώρου). Έτσι διαμορφώνουμε το τελικό αποτέλεσμα του ήχου φιλτράροντας με ένα “στενό” ζωνοδιαβατό φίλτρο τον ήχο θορύβου που επιτρέπει από όλο το φάσμα του θορύβου μόνο τις συχνότητες γύρω από την κεντρική, δημιουργώντας την αίσθηση τονικού κέντρου μέσα στον θόρυβο, που αντιστοιχεί στο τονικό ύψος των ήχων του χώρου.

Επίλογος

Είδαμε λοιπόν τις τρεις διαφορετικές εκδοχές διαμόρφωσης ήχων θορύβου, μέσα από τα τρία patch της ηχητικής εγκατάστασης, που έχουν στο επίκεντρο τους τον θόρυβο. Τον θόρυβο ως ήχο μη περιοδικό και τον θόρυβο ως ανεπιθύμητους ήχους που υπάρχουν σε έναν χώρο. Δημιουργήσαμε μια “αντιπαράθεση” των θορύβων αυτών στο πεδίο των συχνοτήτων, μέσα στο περιβάλλον της γλώσσας προγραμματισμού MAX/MSP. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία καινούριων ήχων που φέρουν πάλι τα χαρακτηριστικά του θορύβου. Στην παρούσα εργασία όμως μας ενδιαφέρει ο τρόπος δημιουργίας των ήχων, η ανάλυση και επεξεργασία τους, ενώ το αποτέλεσμα (ο τελικός ήχος) αποτελεί αντικείμενο παρατήρησης.

Η ανάλυση των ήχων στάθηκε πολύτιμο εργαλείο. Η ανάλυση ήχου είναι στην πρώτη γραμμή της μουσικής πρωτοπορίας καθώς συνδέεται άμεσα και με την εξέλιξη της τεχνολογίας. Τα παράγωγα της έχουν συμβάλει καθοριστικά στην ανάπτυξη της μουσικής αντίληψης και στον τρόπο δημιουργίας μουσικής. Στην παρούσα εργασία είχαμε αρχικά την ανάλυση των ήχων στο πεδίο των συχνοτήτων και τον μετασχηματισμό Φουριέ (FFT), και έπειτα την ανίχνευση τονικού ύψους (ATY). Από τις διάφορες τεχνικές ATY χρησιμοποιήσαμε αυτήν στο πεδίο των συχνοτήτων. Είναι η τεχνική που χρησιμοποιεί το αντικείμενο *sigmund~* μέσα στην γλώσσα MAX/MSP για να κάνει ATY. Οι ήχοι στους οποίους εφαρμόζουμε την ATY είναι οι εισερχόμενοι ήχοι από το μικρόφωνο που έχουμε τοποθετημένο στον χώρο της ηχητικής εγκατάστασης.

Στο περιβάλλον της MAX/MSP γίνεται η σύνθεση των καινούριων ήχων. Η αφαιρετική σύνθεση και το φιλτράρισμα είναι οι βασικές τεχνικές για την δημιουργία αυτών των ήχων. Η αφαιρετική σύνθεση ως κατεξοχήν εργαλείο σύνθεσης ήχων των δεκαετιών των αναλογικών συνθεσάιζερ, βρήκε πάλι την θέση της στον ψηφιακό κόσμο. Καινούριες τεχνικές και εφαρμογές βοήθησαν ώστε να εξαλειφθούν οι ατέλειες της αναλογικής τεχνολογίας και να εκμεταλλευτούν και βελτιώσουν τα θετικά της διαδικασίας της αφαιρετικής σύνθεσης,

Ο τρόπος που λειτουργεί η αφαιρετική σύνθεση στην ψηφιακή επεξεργασία ηχητικών σημάτων, είναι με την τεχνική της συνέλιξης. Στην παρούσα εργασία η συνέλιξη γίνεται ανάμεσα στο εισερχόμενο σήμα του μικροφώνου, με την καμπύλη απόκρισης ενός γραφικού ισοσταθμιστή που δημιουργήσαμε στην MAX/MSP. Η χρήση του γραφικού ισοσταθμιστή είναι σημαντική καθώς λειτουργεί ως “αποθηκευτικός” χώρος των συχνοτήτων των ήχων του χώρου. Η καμπύλη απόκρισης του γραφικού ισοσταθμιστή ελέγχεται και διαμορφώνεται από τους ήχους αυτούς, και στην συνέχεια συνελίσσεται με τον προ-ηχογραφημένο ήχο θορύβου.

Κλείνοντας μπορούμε να σκεφτούμε και να προτείνουμε κάποιες προεκτάσεις της ηχητικής εγκατάστασης. Πχ. θα μπορούσε η “αντιπαράθεση” των ήχων του χώρου να γίνεται με προ-ηχογραφημένες μελωδίες ή αρμονικές συνηχήσεις ή ακόμα με δημοφιλή μουσικά θέματα. Το αποτέλεσμα έτσι θα είναι η αλλοίωση και διαμόρφωση των μελωδιών, από τους ήχους του χώρου. Επίσης μπορεί να δοκιμαστεί η εφαρμογή και σε εξωτερικούς χώρους πχ. σε έναν πολυσύχναστο εμπορικό δρόμο ή έναν κεντρικό δρόμο την ώρα αιχμής. Η ιδέα της ηχητικής εγκατάστασης κινείται γύρω από τον θόρυβο. Σκοπός είναι να δημιουργήσει έναν χώρο σκέψης και προβληματισμού γύρω από το ζήτημα του θορύβου, που όπως ο R. Worby είπε χαρακτηριστικά: “ο θόρυβος είναι η πιο εύστοχη μεταφορά για τον 20ό αιώνα” (Worby, 2000, σελ. 138).

Βιβλιογραφία

Αταλί, Ζακ (1991). *Θόρυβοι, δοκίμιο πολιτικής οικονομίας της μουσικής*. Κέδρος – Ράππα. Αθήνα

Δρίβας, Σπύρος (2005). *Θέματα υγείας και ασφάλειας της εργασίας*, 2η έκδοση, Ινστιτούτο υγιεινής και ασφάλειας της εργασίας, Αθήνα

Κιούσης, Σπύρος (2002). *Interactivity: a concept explication*. *New Media & Society*. September 2002. vol. 4 no 3, 355 – 383. Sage Publications, USA.

Χαδέλλης, Λουκάς (1992). *Ήχος – Μουσική και Τεχνολογία*, Εκδόσεις Σύγχρονη Μουσική, Αθήνα

Blum, Frank (2007). *Digital Interactive Installations*. VDM Verlag Muller, Germany

Bosseur, Jean-Yves (1992). *Le sonore et le visuel. Intersections Musique/arts plastiques aujourd'hui*. Dis Voir, Paris.

Bulmer, Michael (2000). *Music from fractal noise*. Reproduced from the Proceedings of the Mathematics 2000 Festival, Melbourne.

Burk, Larry and Repetto, Daglas and Rockmore, Dan and Roberts Mary and Polansky, Phil. *Music and Computers*. Ανασύρθηκε στις 20/02/2012 από την διεύθυνση παγκόσμιου ιστού <http://music.columbia.edu/cmc/MusicAndComputers/>

Bosseur, Jean-Yves (1998). *Musique et Arts Plastiques*. Minerve, Paris.

Cage, John (1961). *Lectures and writings*. Wesleyan University Press, Middletown, Connecticut.

Cowel, Henry (2004). *The Joys of Noise in Audio Culture, readings in modern music*. C. Cox & D. Warner (eds). Continuum International Publishing Group, NY.

Dodge, Charles (1985). *Computer Music, synthesis, composition and performance*. Schirmer Books. New York.

Everest, Alton. *Εγχειρίδιο ακουστικής*, μεταφραση Λ. Γαβριηλίδης, εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη (1998)

Essl, Karlheinz (2007). *Algorithmic Composition in Cambridge companion to Electronic music*. Collins, Nick and Escrivan, Julio eds. Cambridge University Press.

- Gardner, Martin (1991). *Fractal Music, Hypercards and More*, W. H. Freeman
- Gardner, Martin (1978). Mathematical games - White and brown music, fractal curves and $1/f$ fluctuations. *Scientific American*, 238.4, 16-32.
- Holmes, Thom (2008). *Electronic and experimental music*. 3rd edition, Routledge, New York
- Hsu, Kenneth and Hsu, Andrew (1991). *Self similarity of the "1/f noise" called music*. PNAS, vol. 88. USA.
- Huovilainen Antti, Välimäki Vesa (2005). *New approaches to digital subtractive synthesis*, Helsinki University of technology, Finland.
- Levarie, Siegmund (1977). Noise. *Critical Inquiry*, 4.1, 21-31
- Landy, Leigh (2007). *Understanding the art of sound organization*. The MIT press, Cambridge, Massachusetts.
- Mandelbrot, Benoit. *The fractal geometry of nature*, W. H. Freeman and company, New York (1977).
- Minard, Robin (1995). seminar "*Die Klangwelt am Rand der Datenautobahn*". Institut für Elektronische Musik. Ανασύρθηκε στις 15/4/2012 από την διεύθυνση παγκόσμιου Ιστού <http://iem.kug.ac.at/projekte/publications/bem/bem6/>
- Minsky, Marvin (1980). *Telepresence*, OMNI magazine, June 1980.
- Paul, Christiene (2003). *Digital art*. Thames & Hudson Inc, UK.
- Pope, Stephen Travis (ed.) (1991). *The well tempered object: Musical applications of object oriented technology*. Cambridge: MIT Press.
- Puckette, Miller (2007). *The Theory and Technique of Electronic Music*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Roads, Curtis (1995). *The computer music tutorial*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Rocha. Iturbide Manuel (2003). The sound Installation. *Ηλεκτρονικό περιοδικό Obolon Vol.4*. Ανασύρθηκε στις 12/04/2012 από την διεύθυνση παγκόσμιου ιστού <http://www.uclm.es/artesonoro/Ololo4/oloboport4.html>

Russ, Martin (1996). *Sound synthesis and sampling*. 3rd edition by Elsevier Ltd, Oxford

Russolo, Luigi (1967/ 1913). *The art of noise*. Great Bear Pamphlet by Something Else Press.

Schafer, R. Murray (1977). *The Tuning of the World*, Knopf, New York.

Smith, Steven, (1997). *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. California Technical Publishing, California.

Välimäki, Vesa & Pekonen, Jussi (2011). *The brief history of virtual analog synthesis*, proceedings of the conference Forum acusticum 2011, Aalborg Denmark

Varese, Edgar (2004). "The Libaration of Sound" in *Audio Culture, readings in modern music*. C. Cox & D. Warner (eds). Continuum International Publishing Group, NY.

Winkler, Todd (2001). *Composing interactive music*. MIT Press, London

Worby, Rob (2000). Cacophony. In Simon Emmerson, ed. *Music, Electronic Media and Culture*. 138-163. Aldershot: Ashgate.

Παράρτημα 1

Η γλώσσα προγραμματισμού max/msp

Η γλώσσα προγραμματισμού Max, δημιουργήθηκε το 1986 από τον M. Puckette αρχικά σαν εργαλείο ελέγχου του IRCAM 4X συνθεσάιζερ. Έκτοτε έχει αναπτυχθεί και εξελιχθεί σαν μια πολύ δημοφιλή γλώσσα προγραμματισμού, και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως από μουσικούς, συνθέτες και εικαστικούς καλλιτέχνες. Σήμερα το πλήρες όνομα είναι max/jitter/msp, δηλώνοντας με τις επεκτάσεις jitter και msp την δυνατότητα του προγράμματος να επεξεργαστεί βίντεο και ήχο αντίστοιχα (F. Blum, 2007).

Η max ανήκει στις υψηλού επιπέδου (high-level) γλώσσες προγραμματισμού που έχει ενσωματώσει στοιχεία σπονδυλωτού προγραμματισμού (modular programming). Χρησιμοποιεί “αντικείμενα” σαν βασική μονάδα επικοινωνίας μέσα στο πρόγραμμα για να στέλνει και να αποκωδικοποιεί μηνύματα. Τα αντικείμενα αυτά είναι αυτόνομες μονάδες που εκτελούν μια συγκεκριμένη λειτουργία και μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλές φορές. Αντικειμενοστραφείς γλώσσες επιτρέπουν στους προγραμματιστές να χτίσουν συστήματα σαν συλλογή από αλληλεπιδρούμενα αντικείμενα, όπου το κάθε ένα μιμείται την συμπεριφορά μιας οντότητας από την πραγματικότητα (Pope, 1991). Αυτή η δυνατότητα ήταν σημαντική και συνάμα συναρπαστική αφού μετέφερε το βάρος του προγραμματισμού από το “πως γίνεται” κάτι στο “τι κάνει” αυτό, χαρακτηριστικό που βρίσκουμε στις 4 γενιές γλώσσες προγραμματισμού (Winkler, 2001).

Η max/msp προσφέρει έναν μεγάλο αριθμό διαφορετικών αντικειμένων, αλλά ο κατάλογος μπορεί να γίνει αρκετά μεγαλύτερος καθώς προσφέρεται η δυνατότητα να δημιουργήσουν και οι χρήστες δικά τους ξεχωριστά αντικείμενα (externals). Τα αντικείμενα αυτά μέσα στην max επικοινωνούν με μηνύματα που δέχονται από άλλα αντικείμενα ή από το ποντίκι και το πληκτρολόγιο ή και από MIDI όργανα συνδεδεμένα στον Η/Υ. Τα μηνύματα μεταφέρονται με γραμμές που ενώνουν το αντικείμενα μεταξύ τους. Έτσι οπτικά ένα πρόγραμμα γραμμένο στην max θυμίζει συνδεσμολογία από συνθεσάιζερ και για αυτό ονομάζεται patch.