

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



ΣΧΟΛΗ ΚΑΛΩΝ ΤΕΧΝΩΝ - ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΦΟΙΤΗΤΗ:

ΑΛΜΠΙΑΝΑΚΗ ΕΥΑΓΓΕΛΟΥ Α.Ε.Μ. 853

Θέμα:

Ηλεκτρονική σύνθεση ήχου και μουσικής:

Η τεχνική της

GRANULAR  SYNTHESIS

(κοκκώδους σύνθεσης)

Επιβλέπων καθηγητής: Αιμίλιος Καμπουρόπουλος

Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2004

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|------------------------------|---|
| <u>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</u> | 6 |
|------------------------------|---|

| | |
|------------------------------|---|
| <u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u> | 7 |
|------------------------------|---|

| | |
|-------------------------------------------|---|
| 1. Εισαγωγή στην ηλεκτρονική μουσική..... | 7 |
|-------------------------------------------|---|

| | |
|---------------------------------|----|
| <u>ΠΡΩΤΟ ΜΕΡΟΣ</u> | 10 |
|---------------------------------|----|

1. Ιστορική επισκόπηση.

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1. Ιστορική επισκόπηση γενικών “θεωριών περί σωματιδίων” | 10 |
|-------------------------------------------------------------------------|----|

- Θεωρία σωματιδίων όσον αφορά την ύλη.....10
- Θεωρία σωματιδίων του φωτός.....10

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.2. Ιστορική επισκόπηση “θεωριών περί σωματιδίων του ήχου” | 11 |
|--------------------------------------------------------------------------|----|

| | |
|-----------------------------|----|
| 1.2.1. Πρώιμες θεωρίες..... | 11 |
|-----------------------------|----|

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.2.2. Σημαντικές θεωρίες περί σωματιδίων του ήχου και αντιπροσωπευτικοί συνθέτες..... | 12 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|

| | |
|---------------------------------------------|----|
| 1.3. Θεωρίες ανάλυσης του ήχου | 18 |
|---------------------------------------------|----|

| | |
|-----------------------------|----|
| 1.3.1. Ανάλυση Fourier..... | 18 |
|-----------------------------|----|

| | |
|-------------------------------|----|
| 1.3.2. Το φαινόμενο HAAS..... | 20 |
|-------------------------------|----|

| | |
|---------------------------|----|
| 1.3.3. Ανάλυση Gabor..... | 21 |
|---------------------------|----|

| | |
|------------------------------------|----|
| 1.3.4. Άλλες μέθοδοι ανάλυσης..... | 23 |
|------------------------------------|----|

- Ανάλυση FFT.....23

- Ανάλυση Wavelet.....23

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.4. Ομοιότητα της τεχνικής της Granular Synthesis με την τεχνική του κινηματογράφου | 24 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2. <u>Εισαγωγή στην “κοκκώδη” σύνθεση (Granular Synthesis)</u> | 26 |
| 2.1. Τοποθέτηση της “κοκκώδους” σύνθεσης στην κατάταξη των κατηγοριών της ηλεκτρονικής σύνθεσης..... | 26 |
| 2.1.1. Time modeling synthesis..... | 26 |
| 2.1.2. Είδη – Τεχνικές σύνθεσης με ηχητικά σωματίδια..... | 26 |
| 2.1.3. Είδη – Τεχνικές της Granular synthesis..... | 27 |
| 2.2. Η μικροδομή του ήχου..... | 27 |
| 2.3. Κοκκώδης Σύνθεση (Granular Synthesis)..... | 29 |
| 2.4. Ηχητικός κόκκος (grain)..... | 29 |
| 2.5. Περιβάλλουσα ηχητικού κόκκου (envelope)..... | 31 |
| 2.6. Ήχοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην “κοκκώδη” σύνθεση..... | 36 |
| 2.7. Ήχοι που μπορούν να παραχθούν με την “κοκκώδη” σύνθεση..... | 36 |
| 2.8. Χαρακτηριστικά των ηχητικών σύννεφων..... | 39 |
| 2.9. “Παρτιτούρες” “κοκκώδους” σύνθεσης..... | 40 |
| <hr/> | |
| 3. <u>“Κοκκοποίηση ήχου” (Granulation of sound)</u> | 42 |
| 3.1. Εισαγωγή..... | 42 |
| 3.2. Η τεχνική της “λούπας” (looping)..... | 43 |
| 3.3. Είδη “κοκκοποίησης”..... | 45 |
| 3.3.1. “Κοκκοποίηση” ήχου - δείγματος (granulation of sampled sound)..... | 45 |
| 3.3.2. “Κοκκοποίηση” εξωτερικής πηγής ήχου..... | 48 |
| 3.4. “Κοκκοποίηση” ήχου–δείγματος: Αλλαγή της χρονικής διάρκειας ενός ήχου, κρατώντας σταθερό το τονικό του ύψος και το αντίστροφο..... | 49 |
| 3.4.1. Ιστορική επισκόπηση..... | 49 |
| 3.4.2. Εισαγωγή..... | 50 |
| 3.4.3. Χρονική επέκταση (time expansion) / σύμπτυξη (time compression) ενός ήχου, χωρίς αλλαγή στο τονικό του ύψος..... | 51 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| • Διπλασιασμός της χρονικής διάρκειας ενός ήχου..... | 52 |
| • Υποδιπλασιασμός της χρονικής διάρκειας ενός ήχου..... | 52 |
| 3.4.4. Αλλαγή του τονικού ύψους ενός ήχου (Pitch shifting), χωρίς αλλαγή στη χρονική του διάρκεια..... | 53 |
| • Ανέβασμα του τονικού ύψους ενός ήχου (διπλασιασμός)..... | 53 |
| • Χαμήλωμα του τονικού ύψους ενός ήχου κατά μία οκτάβα..... | 54 |
| 3.5. Παράμετροι ελέγχου κατά τη διαδικασία της “κοκκοποίησης”..... | 54 |
| 3.6. Τρόποι ελέγχου των παραμέτρων της “κοκκοποίησης”..... | 55 |
| 3.7. Δομή λειτουργίας των λογισμικών “κοκκώδους” σύνθεσης..... | 56 |
| 3.8. Σύγκριση μεθόδων σε πραγματικό και μη-πραγματικό χρόνο..... | 57 |
| | |
| <u>4. Σχολιασμός της “κοκκώδους” σύνθεσης.....</u> | 58 |
| | |
| 4.1. Κριτική νέων τεχνικών ηλεκτρονικής σύνθεσης (Granular Synthesis).... | 58 |
| 4.2. Σύνθεση μουσικής με “κοκκώδη” σύνθεση..... | 58 |
| 4.3. Επίλογος..... | 59 |

| | |
|------------------------------------------------------|-----------|
| <u>ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΕΡΟΣ.....</u> | 61 |
| | |
| 1. Εισαγωγή..... | 61 |
| <u>2. Λογισμικά “κοκκώδους” σύνθεσης.....</u> | 62 |
| 2.1. Εισαγωγή..... | 62 |
| | |
| <u>A. Granulator.....</u> | 63 |
| 1. Εισαγωγή..... | 63 |
| 2. Γενικές ιδιότητες του προγράμματος..... | 64 |
| 3. Θετικά στοιχεία του λογισμικού Granulator..... | 64 |
| 4. Αρνητικά στοιχεία του λογισμικού Granulator..... | 65 |
| 5. Κριτική του λογισμικού Granulator..... | 65 |

| | | |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <u>B.</u> | <u>GranuLab</u> | 66 |
| 1. | Εισαγωγή..... | 66 |
| 2. | Γενικές ιδιότητες του προγράμματος..... | 67 |
| 3. | Θετικά στοιχεία του λογισμικού GranuLab..... | 68 |
| 4. | Αρνητικά στοιχεία του λογισμικού GranuLab..... | 69 |
| 5. | Κριτική του λογισμικού GranuLab..... | 69 |
| . | | |
| <u>Γ.</u> | <u>Crusher-x</u> | 70 |
| 1. | Εισαγωγή..... | 70 |
| 2. | Γενικά θετικά στοιχεία του προγράμματος..... | 71 |
| 3. | Τομέας εισαγωγής ήχου – δείγματος (Sampler)..... | 72 |
| 4. | Τομέας ταλαντωτών (DCO)..... | 72 |
| 5. | Τομέας εφέ (Effects)..... | 73 |
| 6. | Τομέας αλγορίθμου | 73 |
| 6.1. | Τομέας παραγωγής των ηχητικών κόκκων (Vapor)..... | 73 |
| 6.2. | Τομέας ελέγχου και διαχείρισης των ηχητικών κόκκων (Vapor Modulations)..... | 73 |
| 6.3. | Επίλογος..... | 75 |
| 7. | Παράθυρα του Crusher-x..... | 75 |
| 8. | Κριτική του λογισμικού Crusher-x..... | 77 |
| | <u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</u> | 78 |
| 1. | Ψηφιοποίηση του ήχου..... | 78 |
| 1.1. | Εισαγωγή..... | 78 |
| 1.2. | Δειγματοληψία (sampling). | 79 |
| | • Συχνότητα δειγματοληψίας (sampling frequency)..... | 79 |
| | • Το θεώρημα Nyquist..... | 80 |
| 1.3. | Κβαντισμός πλάτους (quantization)..... | 81 |
| 1.4. | Επίλογος..... | 82 |

| | | |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2. | Ανέβασμα / χαμήλωμα του τονικού ύψους ενός ήχου, με αλλαγή της χρονικής του διάρκειας..... | 83 |
| | • Ανέβασμα του τονικού ύψους ενός ήχου..... | 83 |
| | • Χαμήλωμα του τονικού ύψους ενός ήχου..... | 83 |
| | <u>Γλωσσάριο</u> | 85 |
| | <u>Περιεχόμενα του συνοδευτικού CD</u> | |
| | <u>Βιβλιογραφία</u> | |

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία έγινε μέσα στα πλαίσια της διπλωματικής μου εργασίας στο τμήμα Μουσικών Σπουδών. Σαν αντικείμενό της έχει την τεχνική ηλεκτρονικής σύνθεσης που ονομάζεται “κοκκώδης” σύνθεση (Granular Synthesis). Πρόκειται για μια πολύ ενδιαφέρουσα τεχνική που σίγουρα δεν θα μπορούσε να αναλυθεί πλήρως σε μία τέτοιου είδους εργασία.

Εκείνο που με παρακίνησε να ασχοληθώ με αυτό το θέμα ήταν το γεγονός ότι η “κοκκώδης” σύνθεση συνδυάζει πολλά πράγματα μαζί: την επιστήμη της ακουστικής, την τεχνολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών, τις διάφορες μεθόδους ανάλυσης του ήχου, αλλά κυρίως το ενδιαφέρον μου προσέλκυσαν οι “περίεργοι” και πρωτάκουστοι ήχοι που παράγονταν με την “κοκκώδη” σύνθεση.

Όσον αφορά την εργασία, αυτή έχει την εξής δομή: Έπειτα από μια εισαγωγή στην ηλεκτρονική μουσική ακολουθεί το πρώτο μέρος. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή, παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι ερευνητές και οι διάφορες θεωρίες ανάλυσης του ήχου. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται η τεχνική της “κοκκώδους” σύνθεσης και όλες οι παράμετροι αυτής. Το τρίτο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στην “κοκκοποίηση” του ήχου και γενικά στις διάφορες επεξεργασίες που μπορούν να γίνουν. Το τέταρτο κεφάλαιο περιλαμβάνει ένα γενικό σχολιασμό της “κοκκώδους” σύνθεσης καθώς επίσης και τις απόψεις που κατά καιρούς διατυπώθηκαν γι’ αυτή. Στο δεύτερο μέρος, παρουσιάζονται ορισμένα λογισμικά που συνθέτουν με αυτή την τεχνική και τέλος περιγράφονται και συγκρίνονται οι λειτουργίες τους. Ακολουθεί το παράρτημα και τέλος ο κατάλογος με τα περιεχόμενα του CD που συνοδεύει την εργασία.

Σε αυτό το νέο για εμένα κόσμο της ηλεκτρονικής μουσικής και σ’ αυτή μου την προσπάθεια με βοήθησε και με στήριξε ο καθηγητής μου κ. Αιμίλιος Καμπουρόπουλος, τον οποίο και ευχαριστώ για την καθοδήγηση και την υπομονή του.

Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2004,
Αλμπανάκης Ευάγγελος.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Εισαγωγή στην ηλεκτρονική μουσική.

Πριν τα πρώτα βήματα της ανάπτυξης της ηλεκτρονικής μουσικής, τα μόνα όργανα που ήταν διαθέσιμα για τους συνθέτες ήταν τα παραδοσιακά-ακουστικά όργανα. Ο ήχος τους, διαμέσου αιώνων μουσικής δημιουργίας, έφτασε στην κορυφή της εξέλιξής του και οι πιθανότητες που υπήρχαν για κάποια περαιτέρω εξέλιξη ήταν πολύ περιορισμένες. Έτσι, έπειτα από μια περίοδο πειραματισμού και εξερεύνησης σχετικά με το “πώς είναι φτιαγμένοι” οι ήχοι της φύσης, μερικοί μουσικοί στράφηκαν σε τεχνητούς ήχους για να εμπλουτίσουν τις συνθέσεις τους, ήχους που δεν υπήρχαν στη φύση και δεν είχαν ακουστεί ποτέ μέχρι τότε. Η ευκαιρία λοιπόν που προσφέρει η εποχή μας είναι μοναδική, μιας και τώρα ο συνθέτης μπορεί να δημιουργήσει διαφορετικούς ήχους, ποικίλα ηχοχρώματα, πρωτόγνωρα ακούσματα, σχεδόν χωρίς κανένα περιορισμό.

Από τα τέλη περίπου της δεκαετίας του 1950, ανακαλύφθηκε η **ψηφιακή τεχνολογία** του ήχου (η ψηφιακή τεχνολογία εισήχθη από τον Max Mathews). Η επανάσταση που προκλήθηκε ήταν εύλογη, μιας και η ψηφιακή κωδικοποίηση του ήχου προσφέρει ακρίβεια και ευκολία στην αναπαραγωγή και στην επεξεργασία. (**Jean-Claude Risset** εισαγωγή στο βιβλίο του E.R.Miranda, 2002). Η ψηφιακή τεχνολογία λοιπόν, υποσχόταν καινούριες ηχητικές εμπειρίες. Η **αναλογική τεχνολογία** όμως συνεχίζει να χρησιμοποιείται ακόμη και μέχρι σήμερα. Η αναλογική και η ψηφιακή τεχνολογία του ήχου έχουν καθεμιά τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Σημαντικό ρόλο βέβαια, έπαιξε και η εξέλιξη του **ηλεκτρονικού υπολογιστή (H/Y)**, όπου παρατηρούνται δύο τινά: από τη μια μεριά, η ισχύς επεξεργασίας του ηλεκτρονικού υπολογιστή αυξάνεται συνεχώς και από την άλλη, μειώνεται το κόστος του (πράγμα το οποίο σημαίνει ότι ο τεχνολογικός εξοπλισμός γίνεται περισσότερο προσιτός σε όλο και περισσότερους μουσικούς). Σε προηγούμενες δεκαετίες, για να πετύχει κανείς κάτι από αυτά που πετυχαίνει σήμερα με έναν κοινό υπολογιστή, απαιτούνταν χρόνια έρευνας, πολύς κόπος, πανάκριβος εξοπλισμός και χρηματοδότηση από επιστημονικά κέντρα. Τα υπολογιστικά συστήματα που κατασκευάζονταν, είχαν μεγάλο όγκο, απαγορευτικό κόστος και δεν ήταν καθόλου

φιλικά προς τον χρήστη. Δηλαδή, μόνο λίγοι μπορούσαν να τα προγραμματίσουν και μάλιστα έπειτα από ειδική εκπαίδευση. Το ηχητικό αποτέλεσμα τις περισσότερες φορές δεν μπορούσε να προβλεφθεί. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, νέες τεχνικές σύνθεσης ανακαλύφθηκαν και αναπτύχθηκαν προγράμματα λογισμικού, από πολύ απλά, μέχρι πανίσχυρα συνθεσάιζερ που εκτελούν επεξεργασία του ήχου σε επίπεδο τόσο μικροδομής, όσο και μακροδομής.

«Η ραγδαία ανάπτυξη λογισμικού [software], έφερε στη διάθεση του μουσικού εργαλεία που του επιτρέπουν να διαχειριστεί το μουσικό του υλικό, να εξερευνήσει τις ηχητικές δυνατότητες των ηλεκτρονικών οργάνων και να δημιουργήσει νέους τρόπους καλλιτεχνικής έκφρασης » (Αδάμ 2002, σελ 3). Όπως παρατηρεί ο E.R.Miranda: « η σύνθεση μουσικής μέσω υπολογιστή κερδίζει συνεχώς έδαφος ανάμεσα στους νέους μουσικούς όλων των ειδών της μουσικής (...) Οι προσωπικοί υπολογιστές σύντομα θα είναι απολύτως ικανοί να “τρέχουν” λογισμικό σε πραγματικό χρόνο (real time) και να συνθέτουν ήχους χρησιμοποιώντας κάθε γνωστή τεχνική [ηλεκτρονικής σύνθεσης] ». (Miranda 1998, σελ VIII).

Όσον αφορά την “κοκκώδη” σύνθεση θα μπορούσαμε να πούμε ότι πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνική ηλεκτρονικής σύνθεσης που με τη βοήθειά της μπορούν να παραχθούν πρωτάκουστοι ήχοι. Πραγματικά μπορούν να παραχθούν ήχοι που είναι τόσο διαφορετικοί ο ένας από τον άλλο, σαν να είχαν παραχθεί με ξεχωριστές τεχνικές. Πολλές φορές ο ακροατής αναζητά τις λέξεις που θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει για να περιγράψει κάποιον από αυτούς τους ήχους. Αυτό είναι συχνά τόσο δύσκολο που ο μόνος τρόπος για να περιγράψει κανείς το ηχητικό αποτέλεσμα είναι να καταφύγει σε παρομοιώσεις.

Στη σημερινή εποχή είναι γνωστό πλέον ότι οι ήχοι που ακούμε αποτελούνται από “ηχομόρια” δηλαδή από ηχητικά σωματίδια. Όπως αναφέρει σχετικά ο Curtis Roads, κάτω από το βασίλειο των ήχων βρίσκεται αυτό των μικρόηχων (Roads 2001). Θα ήταν σίγουρα πολύ ελκυστικό για τους πρωτοπόρους εκείνους (Ιάννης Ξενάκης, Curtis Roads, Barry Truax) που μελέτησαν τη μικροδομή του ήχου και την χρησιμοποίησαν στη μουσική σύνθεση, να προτείνουν στο κοινό πρωτόγνωρους ήχους, τόσο πλούσιους και ασυνήθιστους που έκαναν τους ακροατές να εκπλαγούν.

Αυτοί οι άνθρωποι είναι άξιοι θαυμασμού γιατί βάδισαν σε άγνωστα μονοπάτια και ανακάλυψαν ένα “νέο ήχο” με αξιοπρόσεκτες ιδιότητες. Και μάλιστα εργάστηκαν κάτω από δύσκολες συνθήκες, χωρίς τα απαραίτητα τεχνολογικά μέσα και πολλές φορές ήταν αναγκασμένοι να περιμένουν την πρόοδο της τεχνολογίας για να επαληθεύσουν θεωρίες που είχαν διατυπώσει πριν από χρόνια. Ο ίδιος ο Roads περιγράφει στο βιβλίο του *Microsound* με γλαφυρό τρόπο τις δυσκολίες που είχε με την υπάρχουσα τεχνολογία των υπολογιστών που τότε έκανε τα πρώτα της βήματα, την έλλειψη εργαστηρίων και επεξεργαστικής ισχύος των υπολογιστών, την τεράστια για την εποχή μνήμη και αποθηκευτικό χώρο που απαιτούσαν οι μουσικές εφαρμογές και τέλος τις πολλές αποτυχίες του. Ακόμη, πολλές φορές χρειάστηκε οι ίδιοι να αναπτύξουν νέες τεχνολογίες που δεν υπήρχαν πριν. Ο Gabor έφτιαξε ένα μηχάνημα ανάλυσης με ένα κινηματογραφικό προβολέα, ο Ξενάκης ανέπτυξε ένα σύστημα όπου μπορεί κανείς να ζωγραφίσει σε μια επιφάνεια και ο υπολογιστής να μετατρέψει τα σκίτσα σε ήχο, ο Roads ανέπτυξε τα πρώτα λογισμικά που συνέθεταν με “κοκκώδη” σύνθεση, ο Truax τέλος, έφτιαξε το πρώτο λογισμικό real time granular synthesis κτλ.

Κλείνοντας αυτή την αναφορά στο παρελθόν, θα ήθελα να κάνω ιδιαίτερη μνεία στον Έλληνα Ιάννη Ξενάκη. Ήταν αυτός που ενέπνευσε ολόκληρες γενιές ερευνητών και συνθετών να ασχοληθούν με το βασίλειο των μικρόηχων και δημιούργησε μια καινούρια αισθητική της μουσικής. Είναι γεγονός ότι όποιο βιβλίο ηλεκτροακουστικής μουσικής και αν ανοίξει κανείς, όποια σελίδα στο internet για granular synthesis και αν επισκεφτεί, παντού θα διαβάσει το όνομα και τις θεωρίες του Ιάννη Ξενάκη.

ΠΡΩΤΟ ΜΕΡΟΣ

1. Ιστορική επισκόπηση.

1.1. Ιστορική επισκόπηση γενικών “θεωριών περί σωματιδίων”.

Η ιδέα ότι τα πάντα αποτελούνται από μικρά σωματίδια δεν είναι καινούρια: Μια ιστορική επισκόπηση παρουσιάζει ο C.Roads (2001) στο βιβλίο του *Microsound*. Μερικά στοιχεία παρατίθενται στις ενότητες 1.1 και 1.2.

- Θεωρία σωματιδίων όσον αφορά την ύλη.

Οι αρχαίοι φιλόσοφοι ήδη από τον 5^ο αι π.Χ. (**Δημόκριτος, Λεύκιππος**) και 3^ο αι π.Χ. (**Επίκουρος**) έκαναν υποθέσεις ότι η ύλη απαρτίζεται από **άτομα**. Είδαν τα άτομα ως τη θεμελιώδη ύλη του σύμπαντος και της ενέργειας, συμπεριλαμβανομένου και του ήχου. Αυτές οι θεωρίες αναβίωσαν τον 17^ο αι με τους **Pierre Gassendi** (1592-1655) και **Rene Descartes** (1596-1650).

- Θεωρία σωματιδίων του φωτός.

Είναι γεγονός ότι υπάρχουν κοινά στοιχεία ανάμεσα στον ήχο και το φως. Ο **Leonardo da Vinci** (1452-1519), παρατήρησε ότι η ήχος μεταδίδεται με παρόμοιο τρόπο με το φως. Ο **Ισαάκ Νιούτον (Isaac Newton, 1642-1727)** στη μελέτη του *Opticks* (1704) υποστήριξε ότι μια ακτίνα φωτός αποτελείται από μικρά σωματίδια. Μετέπειτα μελετητές (**Christian Huygens, Thomas Young, Augustin Fresnel, de Broglie, Elmore** και **Heald**) επιβεβαίωσαν και εξέλιξαν αυτή τη θεωρία. Τα σωματίδια του φωτός ονομάστηκαν **φωτόνια**.

1.2. Ιστορική επισκόπηση “θεωριών περί σωματιδίων του ήχου”

1.2.1. Πρώιμες θεωρίες.

Από τον 17^ο αιώνα η επιστήμη αρχίζει να δείχνει ενδιαφέρον για τα ακουστικά φαινόμενα, προσπαθώντας κυρίως να αποδείξει τις θεωρίες των αρχαίων Ελλήνων (**Αριστοτέλης**, 384-322 π.Χ.) και των Ρωμαίων (**Vetruvius**, περίπου 25 μ.Χ.- **Βοήθιος**, 480-524 π.Χ.) για τον ήχο.

Στην εξέλιξη της ιστορίας, οι θεωρίες που αντιμετωπίζουν τον ήχο ως μικρά σωματίδια, είναι οι παρακάτω:

- Το 1616 ο Ολλανδός λόγιος **Isaac Beekman** (1588-1637) στο άρθρο του “Quantifying music”, πρότεινε μια θεωρία για τον ήχο (1604-1634; 1984). Ο Beekman σε αυτήν υποστήριξε ότι κάθε αντικείμενο που πάλλεται (όπως π.χ. μια χορδή), εκπέμπει στον αέρα που το περιβάλλει **σφαιρικά σωματίδια** τα οποία διαχέονται προς όλες τις κατευθύνσεις. Σύμφωνα με τη θεωρία του, όταν αυτά τα σωματίδια προσκρούσουν στη μεμβράνη του αυτιού, τότε αντιλαμβανόμαστε ήχο (Roads 2001, σελ 52).

Η σύγχρονη μουσική ακουστική έχει ανακαλύψει ότι η ηχητική πηγή δεν εκπέμπει σωματίδια αλλά ηχητικά κύματα, τα οποία διαχέονται προς όλες τις κατευθύνσεις (Παπανικολάου 1995, σελ 3). Παρόλο όμως που η θεωρία του Beekman δεν είναι απολύτως σωστή, αποτελεί μια πρώιμη αντίληψη της Granular Synthesis.

- Τον 20^ο αιώνα, ο συνθέτης **Edgard Varese** (1883-1965) αναφέρει: « κάθε ήχος είναι ένα περίπλοκο σύνολο στοιχείων, οργανωμένων με πολλούς τρόπους (...) Με άλλα λόγια, κάθε ήχος (...) μπορεί να διαιρεθεί στα **ακουστικά σωματίδια** που τον απαρτίζουν » (Varese 1940).

1.2.2. Σημαντικές θεωρίες περί σωματιδίων του ήχου και αντιπροσωπευτικοί συνθέτες.

- Πρώτος, ο Βρετανός φυσικός **Dennis Gabor** (1900-1979) (εικόνα 1.1)¹ εισήγαγε την ιδέα της κοκκώδους ή της κβαντικής προσέγγισης του ήχου σε τρεις μελέτες του (1946, 1947, 1952). Στη θεωρία του χρησιμοποίησε κβαντική φυσική και διάφορα πειράματα (Roads 2001, σελ 54-55)

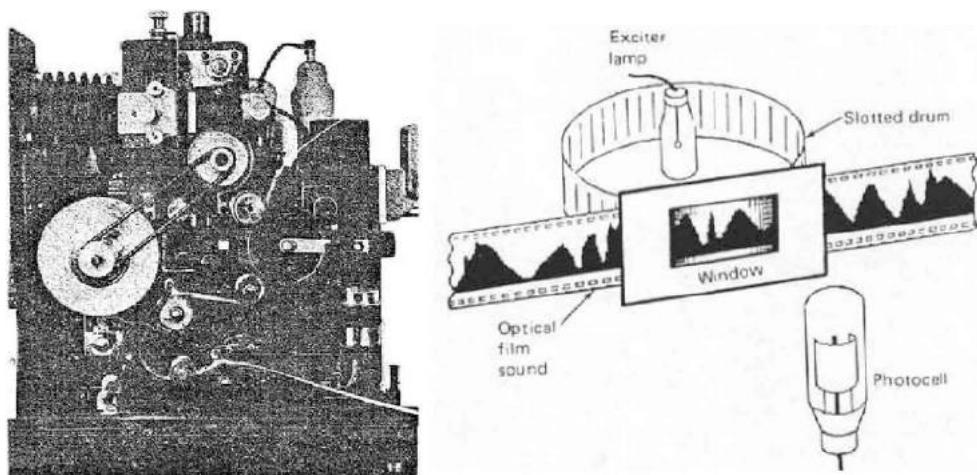


(εικόνα 1.1) Ο Dennis Gabor

Το 1946 ο Gabor κατασκεύασε μάλιστα και μια μηχανή “κοκκοποίησης ήχου”² βασισμένη σε ένα οπτικό σύστημα εγγραφής, προσαρμοσμένο από έναν κινηματογραφικό προβολέα 16mm, γι’ αυτό και ονομάστηκε **kinematical** (εικόνα 1.2) (Tristram, 2003).

¹ Ηλεκτρονική εγκυκλοπαίδεια Microsoft Encarta 2000, λήμμα Gabor, Dennis.

² Τα πειράματά του αφορούσαν την σύμπτυξη / επιμήκυνση του χρόνου (time compression/expansion) με ταυτόχρονο ανέβασμα του τονικού ύψους (pitch shifting) χωρίς να αλλάζει η διάρκεια του ήχου, και το αντίθετο. (Roads 1996, σελ 169).



(εικόνα 1.2) α) Ο τροποποιημένος κινηματογραφικός προβολέας του Gabor και β) ο τρόπος που δούλευε διαβάζοντας τον ήχο που ήταν καταγραμμένος σε κινηματογραφικό φιλμ.

Ακολούθησε μια βελτιωμένη μηχανή στις αρχές της δεκαετίας του 1950 (με τη συνεργασία των **Pierre Schaeffer** και **Jacques Poullin**). Τέλος, κατασκευάστηκε και μια μηχανή (που ονομάστηκε **Tempophon**) βασισμένη σε σύστημα εγγραφής σε μαγνητοταινία και πολλές κεφαλές αναπαραγωγής (Tristram, 2003). (Περισσότερα για τη θεωρία του Gabor στην ενότητα 1.3.3.)

- Ένας από τους σημαντικότερους συνθέτες ηλεκτρονικής μουσικής, ερευνητής και πρωτεργάτης της “κοκκώδους” σύνθεσης, είναι ο Έλληνας **Ιάννης Ξενάκης** (1922-2001) (εικόνα 1.3)³. Ο Ξενάκης εφάρμοσε μαθηματικές θεωρίες και αρχιτεκτονική οργάνωση στη μουσική. Γι αυτό και έχει χαρακτηριστεί ως “ο φιλόσοφος της επιστήμης της μουσικής”. Από τη δεκαετία του 1950 ανέπτυξε θεωρητικό στοχασμό όσον αφορά τη θεωρία και τη σύνθεση κόκκων ήχου, ο οποίος αποτέλεσε τα θεμέλια της τεχνικής της Granular Synthesis (Miranda 1998, σελ 107). Πίστευε ότι: « όλοι οι ήχοι (...) γίνονται αντιληπτοί ως ένα σύνολο τεραστίου αριθμού στοιχειωδών ήχων, τοποθετημένων κατάλληλα στο χρόνο. Στο ξεκίνημα, στο κυρίως μέρος και στην απόσβεση ενός σύνθετου ήχου, σε ένα χρονικό διάστημα (Δt)

³ Από το World Wide Web: <http://www.iannis-xenakis.org/photofilm.htm>

περισσότερο ή λιγότερο σύντομο, εμφανίζονται χιλιάδες στοιχειώδεις ήχοι » (Roads 2001, σελ 65) « Όλοι οι ήχοι είναι ένας συνδυασμός από ηχητικούς κόκκους, από στοιχειώδη ηχητικά σωματίδια, από ακουστικά κβαντικά σωματίδια » (Ξενάκης 1971).



(εικόνα 1.3) Ο Ιάννης Ξενάκης.

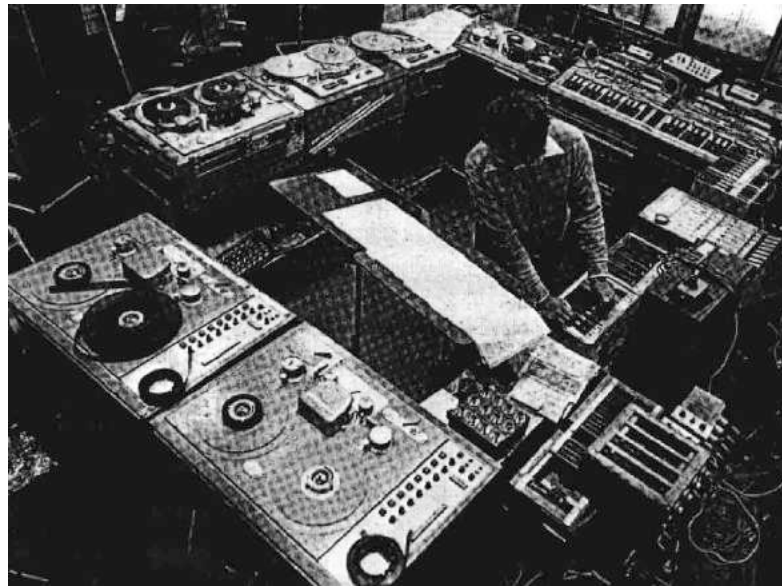
Ο Ξενάκης χρησιμοποιούσε για την παραγωγή των ήχων αναλογικές γεννήτριες απλών τόνων ή ηχογραφούσε διάφορους ήχους που είχαν ενδιαφέρον. Ηχογραφούσε τους ήχους σε μαγνητοταινία και έπειτα έκοβε και συγκολλούσε αναρίθμητα πολύ μικρά κομμάτια μαγνητοταινίας, σύμφωνα με κάποια συνθετική κατανομή (πρωτόγονος τύπος **μικρομοντάζ-micro editing**⁴). Έπειτα, ηχογραφούσε ξανά το αποτέλεσμα (εικόνα 1.4)⁵. Αυτή η διαδικασία γινόταν αποκλειστικά με το χέρι και είναι απίστευτο το πόσες εκατοντάδες ώρες (ακόμη και βδομάδες) και πόση υπομονή απαιτούνται για τη συγκόλληση των κομματιών ξανά και ξανά για ηχογραφήσεις και δοκιμαστικές ακροάσεις. Και όλος αυτός ο κόπος για ένα μουσικό κομμάτι, διάρκειας το πολύ μερικών λεπτών.

Το 1958 ο Ξενάκης συνθέσσε στο Παρίσι το έργο του “**Concret PH**”, το οποίο παρουσιάστηκε στο περίπτερο της Philips στη διεθνή έκθεση των Βρυξελλών. Το περίπτερο της Philips (εικόνα 1.5) σχεδιάστηκε από τον ίδιο τον Ξενάκη και τον Le Corbusier έτσι ώστε να τοποθετηθούν 425 ηχεία στους τοίχους και στην οροφή του κτιρίου. Σε αυτό το έργο ηχογράφησε τον ήχο που παράγουν τα κάρβουνα όταν

⁴ Η μαγνητοταινία κινείται με ταχύτητα 38 cm/sec. Έτσι, ο συνθέτης μπορούσε να υπολογίσει πόσα mm μαγνητοταινίας έπρεπε να κόψει για απόσπασμα χρονικής διάρκειας π.χ. 10msec. (ένα κομμάτι 1 cm αντιστοιχούσε σε διάρκεια 27msec περίπου) (Tristram,2003)

⁵ Εφημερίδα **Καθημερινή**, ένθετο “**επτά ημέρες**”, Αφιέρωμα στον Ιάννη Ξενάκη, 2 Φεβρουαρίου 2003, σελ 22

καίγονται και έκανε μικρομοντάζ με την παραπάνω διαδικασία. Οι ήχοι που μονταρίστηκαν είχαν διάρκεια τουλάχιστον 1 sec ο καθένας (Roads 2001, σελ 64).



(εικόνα 1.4) Ο Ιάννης Ξενάκης κάνοντας μικρομοντάζ.



(εικόνα 1.5)⁶ Το περίπτερο της Philips στη διεθνή έκθεση των Βρυξελλών.

Το 1959 ο Ξενάκης συνθέτει ένα πιο οργανωμένο κομμάτι με ηχητικούς κόκκους (**Analogique B**) για ορχήστρα εγχόρδων και μαγνητοταινία. Σε αυτό, ηχογραφεί σε μαγνητική ταινία ηχητικούς κόκκους που εξάγονται από ημιτονοειδείς κυματομορφές. Για την παραγωγή των ημιτονοειδών κυματομορφών, χρησιμοποίησε **αναλογικούς ταλαντωτές**. Στο Analogique B ο Ξενάκης ταξινομεί τους ηχητικούς κόκκους σε τρισδιάστατο πεδίο. Αυτός πρώτος πρότεινε τον όρο **“grains of sound”**

⁶ Από το World Wide Web: <http://www.iannis-xenakis.org/photofilm.htm>

“ηχητικοί κόκκοι” καθώς και μια θεωρία σύνθεσης με ηχητικούς κόκκους (Roads 2001, σελ 65).

Ας σημειωθεί εδώ ότι πριν την εφεύρεση του μαγνητοφώνου, ο μόνος τρόπος να γίνει κάτι που να προσεγγίζει την τεχνική της “κοκκώδους” σύνθεσης ήταν με εξαιρετικά δύσκολο χειρισμό των ακουστικών οργάνων. Ο αριθμός των οργάνων που απαιτούνταν για αυτό το σκοπό ήταν πολύ μεγάλος. (Αυτή την πρώιμη τεχνική την χρησιμοποίησε ο Ξενάκης σε μερικές από τις πρώτες συνθέσεις του)⁷.

Σήμερα, στα λογισμικά που χρησιμοποιούν την τεχνική της “κοκκώδους” σύνθεσης, την παραγωγή και τον έλεγχο των ηχητικών κόκκων έχουν αναλάβει μαθηματικοί αλγόριθμοι. Η όλη διαδικασία γίνεται πλέον ψηφιακά, αποφεύγοντας την εξαιρετικά κοπιαστική δουλειά με το χέρι.

- Ο ερευνητής **Curtis Roads**, επηρεασμένος από την έρευνα του Ξενάκη, ανέπτυξε την πρώτη εφαρμογή της “κοκκώδους” σύνθεσης σε ηλεκτρονικό υπολογιστή (1974 πανεπιστήμιο Καλιφόρνια, 1978 Σαν Ντιέγκο, 1981 Τεχνολογικό Ινστιτούτο Μασαχουσέτης)⁸, η οποία κατέληξε στη δημιουργία των λογισμικών Cloudgenerator και Pulsargenerator. Επίσης, το 1999 κατασκεύασε το **creatovox** στο “Center for Research in Electronic Art Technology” (CREATE, απ’ όπου το συνθεσάιζερ πήρε και το όνομά του) στην Καλιφόρνια. Το creatovox είναι το πρώτο hardware synthesizer που συνθέτει με την τεχνική της Granular Synthesis και εξελίσσεται διαρκώς μέχρι σήμερα (Roads 2001, σελ 193). (εικόνα 1.6)⁹

⁷ Από το World Wide Web: <http://shoko.calarts.edu/~eric/ga.html>

⁸ Μερικές συνθέσεις του C.Roads είναι: Prototype, 1975 / Nscor, 1980, Wergo CD 2010-50 / Field, 1981, MIT Laboratory CD / Clang-tint, 1993 / Half life, 1999 / Tenth vortex, 2000 / Eleveth vortex, 2001 / Sculptor, 2001. (Roads 1996, σελ 169).

⁹ Roads 2001, σελ 196.



(εικόνα 1.6) Ο C.Roads συνθέτει με το creatovox.

- Σημαντικός συνθέτης έργων ηλεκτρονικής μουσικής είναι και ο **Barry Truax** (1987, 1988, 1990). Ο Barry Truax ασχολήθηκε κυρίως με την κοκκοποίηση ήχου σε “πραγματικό χρόνο” (**real time granulation**) χρησιμοποιώντας λογισμικό ηλεκτρονικού υπολογιστή. Από το 1986 έως το 1990 ανέπτυξε διάφορα λογισμικά κοκκοποίησης. Το 1990 παρουσίασε ένα πρωτοποριακό λογισμικό, ικανό για “real time” κοκκοποίηση μιας πηγής ήχου (Roads 2001, σελ 112).
- Άλλοι, πρωτοπόροι συνθέτες που ασχολήθηκαν με σωματίδια του ήχου γενικά (όχι με “κοκκώδη” σύνθεση) είναι ο **Karlheinz Stockhausen** και ο **G.M.Koenig**.

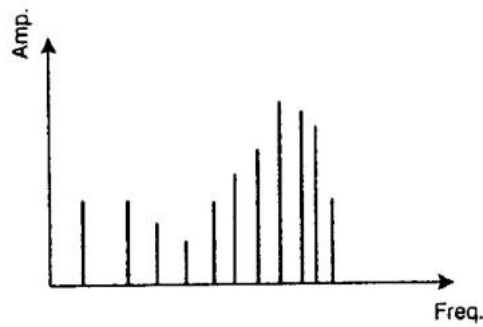
Οι πρωτοπόροι συνθέτες των “θεωριών περί σωματιδίων” (Gabor, Xenakis, Roads, Truax, Stockhausen) δέχτηκαν σφοδρή κριτική. Κυρίως τους κατηγορήσαν ότι τα ηχητικά σωματίδια είναι ασήμαντα και ότι σε αυτά χάνεται η ουσία της μουσικής δημιουργίας. Ποιος όμως μπορεί να αρνηθεί ότι όλοι οι ήχοι αποτελούνται από αυτά;

1.3. Θεωρίες ανάλυσης του ήχου.

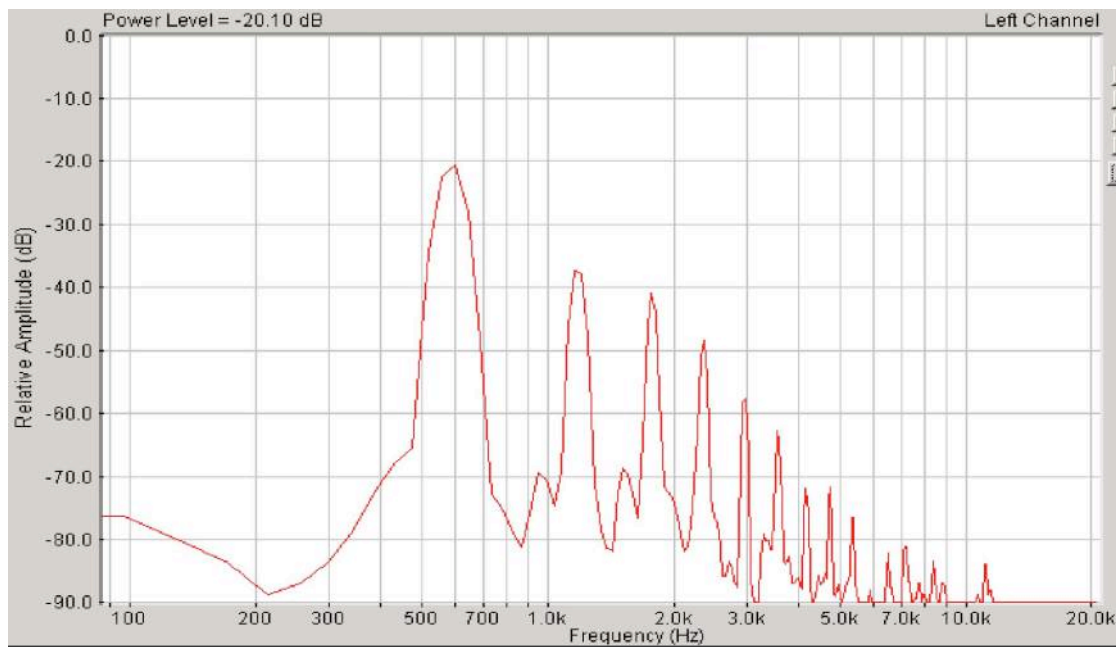
1.3.1. Ανάλυση Fourier.

Σύμφωνα με τη θεωρία ανάλυσης του **Fourier** (1768-1830), η οποία δημοσιεύτηκε το 1822, ο περιοδικός ήχος αναλύεται σε **επιμέρους συχνότητες (αρμονικούς)** με μεταξύ τους απόσταση, η οποία χωρίζεται με κάποια αναλογία (π.χ. $1x, 2x, 3x$ κτλ, όπου x = η χαμηλότερη συχνότητα). Ο **Helmholtz** (1821-1894), εφάρμοσε αυτό το μοντέλο ανάλυσης στη μουσική ακουστική (1885) (Miranda 1998, σελ 108). Το αντί αντιλαμβάνεται τα διάφορα ηχοχρώματα (timbres) κάνοντας ανάλυση Fourier, δηλαδή αναλύει το **φάσμα** τους (**spectrum**) σε σειρές αρμονικών. Σε αυτές τις σειρές, οι αρμονικοί δεν έχουν όλοι την ίδια ένταση. « Η απεικόνιση της κατανομής της ισχύος του σήματος στις διάφορες συχνότητες λέγεται **ανάλυση φάσματος (spectrum analysis)** » (Παπαδέλης 2001, σελ 4). Το αρνητικό σε αυτές τις τεχνικές ανάλυσης είναι ότι δε λαμβάνουν υπ' όψη το χρόνο (βλ παρακάτω), αλλά μόνο τα συστατικά του φάσματος και το πλάτος (ένταση) του ήχου (σχήμα 1.7α, 1.7β).

Αρχικά, η ανάλυση Fourier ήταν μια κοπιαστική μαθηματική διαδικασία. Τη δεκαετία του 1870 οι αδερφοί **Kelvin** κατασκεύασαν τον πρώτο μηχανικό αναλυτή που ανέλυε έναν ήχο στους αρμονικούς που τον απαρτίζουν. Η ποιότητα της ανάλυσης όμως δεν ήταν καλή. Αυτή η μηχανή έκανε και επανασύνθεση του αρχικού ήχου από τους αρμονικούς του. (Roads 2001, σελ 243). Ο **Helmholtz** χρησιμοποίησε επίσης μηχανικά μέσα για ανάλυση (Roads 1996, σελ 545). Μετέπειτα ερευνητές εξέλιξαν αυτά τα μηχανικά μέσα με αποτέλεσμα η ανάλυση Fourier να έχει όλο και μεγαλύτερη ακρίβεια. Τη δεκαετία του 1940 επιχειρήθηκε να γίνει ψηφιακή ανάλυση Fourier, αλλά εκείνη την εποχή δεν είχε αναπτυχθεί ακόμη η ανάλογη τεχνολογία για την επεξεργασία τόσων πολλών δεδομένων. Το 1969 ο **Max Mathews** και ο **Jean-Claude Risset** κατασκεύασαν ένα σύστημα ανάλυσης φάσματος Fourier, βασισμένο σε ένα πρωτόγονο σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή (Roads 1996, σελ 547). Το 1984 ο **Peter Zinorieff** κατασκεύασε έναν αναλυτή που έκανε ανάλυση φάσματος σε πραγματικό χρόνο (Roads 1996, σελ 548). Σήμερα, υπάρχουν πολλές τεχνικές ανάλυσης που είναι παραλλαγές της ανάλυσης Fourier.



(σχήμα 1.7α) Η ανάλυση Fourier δε λαμβάνει υπ' όψη το χρόνο, αλλά μόνο τη συχνότητα (Freq) και το πλάτος (Amp) του ήχου¹⁰.



(σχήμα 1.7β) Γραφική παράσταση πλάτους – συχνότητας, η οποία προέρχεται από την εφαρμογή ανάλυσης φάσματος σε ένα χρονικό δείγμα διάρκειας 4 msec της νότας A4 του φλάουτου¹¹.

¹⁰ Miranda 1998, σελ 108.

¹¹ Παπαδέλης 200, σελ 4

1.3.2. Το φαινόμενο HAAS.

Το ανθρώπινο αυτί δεν αντιλαμβάνεται δύο ήχους που ακούγονται με μικρή χρονική διαφορά (μικρότερη των 35 msec), ως δύο, αλλά ως έναν (αυτό το κατώτατο όριο διακριτότητας των ήχων μπορεί να διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο) (Παπανικολάου 1995, σελ 18). Επίσης, αν ένας ήχος έχει πολύ μικρή διάρκεια, το αυτί δεν προλαβαίνει να προσδιορίσει τη συχνότητά και τα συστατικά του φάσματός του (αρμονικούς) και τον αντιλαμβάνεται ως “πολύ σύντομο ήχο” (click).

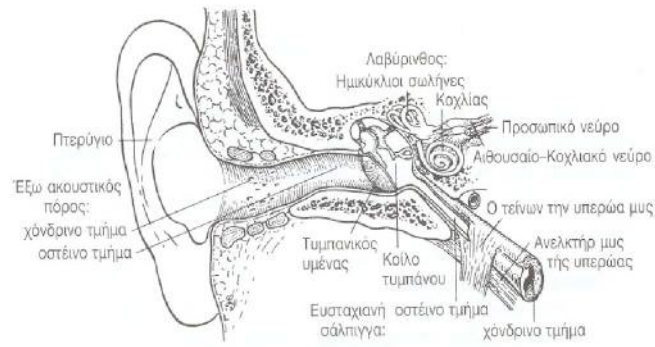
Δηλαδή, υπάρχει ένα **ακουστικό κατώφλι στο διαχωρισμό συχνοτήτων και φάσματος του ήχου**, πέρα από το οποίο οποιουδήποτε φάσματος ήχοι και αν παιχτούν, το αυτί δεν τους αναλύει λόγω αδράνειας της ακουστική μεμβράνης. Όπως αναφέρει σχετικά ο Roads: « Η ανθρώπινη ακουστική αντίληψη αγγίζει τα όριά της όταν ακούει μικρόηχους οι οποίοι παίζονται υπερβολικά γρήγορα για να γίνουν αντιληπτοί ως μεμονωμένοι ήχοι » (Roads 2001, σελ 23). Αυτό είναι φυσικό, γιατί η ακουστική μεμβράνη (τυμπανικός υμένας) (εικόνα 1.8α)¹² και τα τρία οστάρια (σφύρα, άκμονας, αναβολέας) που βρίσκονται προσκολλημένα σε αυτήν, έχουν μια κάποια μάζα και συνεπώς μια κάποια αδράνεια κίνησης (εικόνες 1.8β¹³, 1.8γ¹⁴, 1.8δ¹⁵). Όταν κάποιο ηχητικό κύμα προσκρούσει πάνω στη μεμβράνη, τη θέτει σε κίνηση. Λόγω αδράνειας όμως της μεμβράνης, χρειάζεται κάποιος απειροελάχιστος χρόνος μέχρι να διεγερθεί και να τεθεί σε παλμική δόνηση. Αυτός ο χρόνος αντίδρασης της μεμβράνης δεν είναι αντιληπτός για ήχους της καθημερινής ζωής. Στην περίπτωση όμως πολύ σύντομων ήχων 10 έως 30 msec, η μεμβράνη δε συλλαμβάνει μεμονωμένα τον κάθε μικρόηχο, αλλά τους ομαδοποιεί και έτσι έχουμε την αντίληψη ενός συνεχούς ήχου.

¹² Βιτάλ Βίκτορ, Μαθήματα Ωτορινολαρυγγολογίας, Θεσσαλονίκη, 1999, σελ 11.

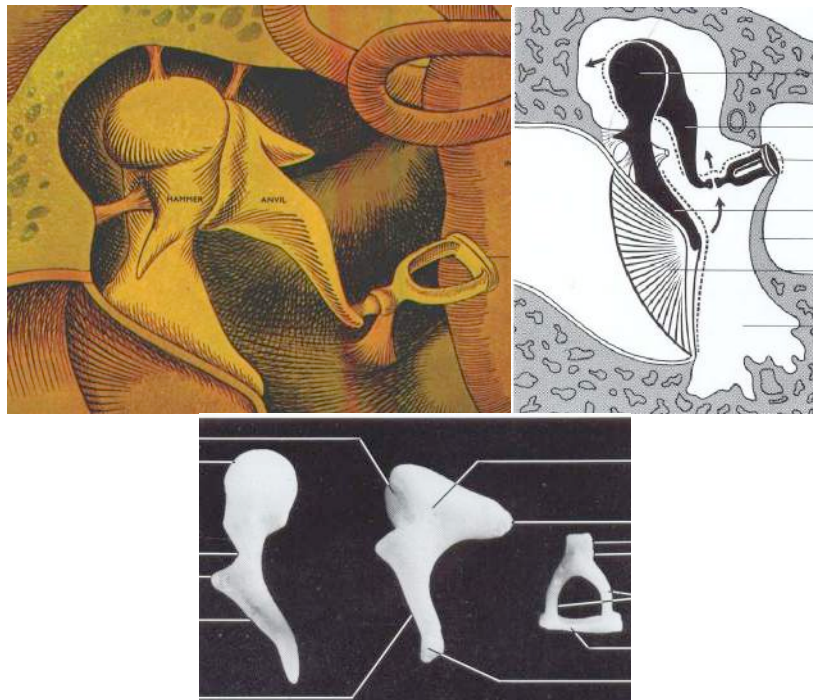
¹³ Warshofky S.S.Stevens , Sound and hearing, 1996, σελ 40.

¹⁴ Βιτάλ Βίκτορ, Μαθήματα Ωτορινολαρυγγολογίας, Θεσσαλονίκη, 1999, σελ 16.

¹⁵ Rothen, J.W – Yokochi, C, Human Anatomy, New York, 1988.



(εικόνα 1.8α) Η εσωτερική δομή του αυτιού.



(εικόνες 1.8β, 1.8γ, 1.8δ) Τα τρία οστάρια.

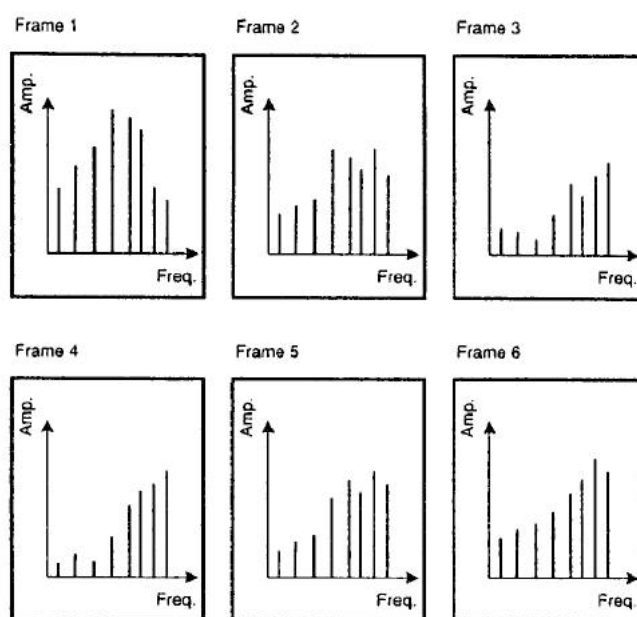
1.3.3. Ανάλυση Gabor.

Μέχρι το 1947, η απεικόνιση της εσωτερικής δομής των ήχων βασιζόταν στις μεθόδους ανάλυσης των Fourier και Helmholtz. Σύμφωνα με τη θεωρία του Gabor, κάθε ήχος είναι ένα **σύννεφο κόκκων (Grain Cloud)** και μπορεί να αναλυθεί σε **κβαντικά σωματίδια (quanta)**, όσον αφορά το χρόνο. Έτσι, η ανάλυση επικεντρώνεται στους παράγοντες του χρόνου και της συχνότητας (Miranda 1998, σελ 108). Ο Gabor έδινε μεγάλη βαρύτητα στην ανάλυση των κυματομορφών και η θεωρία του ονομάστηκε προς τιμήν του **“ανάλυση Gabor” (Gabor analysis)**.

Η ανάλυση Gabor διαφέρει κατά πολύ από την **ανάλυση Fourier**, καθώς συμπεριλαμβάνει και το στοιχείο του χρόνου. «Η ανάλυση Fourier είναι μια περιγραφή των περιοδικών κυματομορφών, χωρίς χρονικά πλαίσια. Από την άλλη

μεριά όμως, είναι από τις πιο βασικές εμπειρίες μας ότι ο ήχος έχει και χρονική διάσταση, όπως έχει και συχνοτική διάσταση» (Roads 2001, σελ 58). Ο Gabor συμπεριλαμβάνει στη θεωρία του και τη θεωρία του “φαινομένου HAAS”.

Η ανάλυση Gabor τεμαχίζει το χρόνο σε μικρά χρονικά τμήματα από 10 έως 21 msec, που ονομάζονται **παράθυρα (windows)** (η διαδικασία αυτή ονομάζεται **windowing**). Στο κάθε παράθυρο γίνεται ανάλυση με την μέθοδο ανάλυσης Fourier. Συνεπώς, είναι σαν να “φωτογραφίζουμε” (όπως τα καρέ ενός κινηματογραφικού φιλμ) ανά 10 έως 20 msec τον ήχο και σε κάθε κομμάτι του να εφαρμόζουμε ανάλυση Fourier (σχήμα 1.9) (Miranda 1998, σελ 109).



(σχήμα 1.9) Το φάσμα του ήχου αλλάζει διαμέσου του χρόνου.

Σε κάθε παράθυρο επίσης, το αντί προλαβαίνει να διακρίνει μόνο τη συχνότητα και το πλάτος του ήχου. Αυτές οι τιμές συχνότητας και πλάτους, απεικονίζονται (με χρονική διαδοχή) σε έναν πίνακα που λέγεται “**πίνακας του Gabor**” (**Gabor matrix**) (Roads 2001, σελ 59). Με αυτό τον τρόπο, ο Gabor κατόρθωσε να συμπεριλάβει και τον παράγοντα του χρόνου στην ανάλυση Fourier (βλ παράρτημα, πίνακας 1).

Φυσικά, ο αναλυμένος ήχος μπορεί να ανασυντεθεί από τα επιμέρους συστατικά του. Αυτή η διαδικασία λέγεται “**επανασύνθεση**” (**resynthesis**) και μελετήθηκε από τους: **Bacry, Grossman, Zak** (1975) και **Bastiaans** (1980, 1985) (Roads 2001, σελ 59).

1.3.4. Άλλες μέθοδοι ανάλυσης.

Ανάλυση FFT

Υπάρχουν πολλά είδη και πολλές μέθοδοι ανάλυσης Fourier. Στην περίπτωση που εξετάζεται εδώ, ενδιαφέρον παρουσιάζει η Fast Fourier Transform (FFT) και η παραλλαγή της FFT, η Short-Time Fourier Transform (STFT).

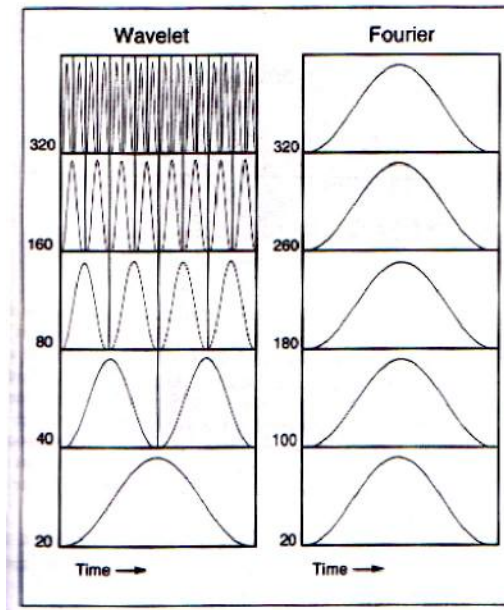
Η FFT δουλεύει ως εξής: εφαρμόζεται διαδικασία windowing (βλ ανάλυση Gabor) και με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μια χρονική διαδοχή (μεταξύ των παραθύρων). Έπειτα σε κάθε παράθυρο ο ήχος αναλύεται στα συστατικά του φάσματός του. Δηλαδή η FFT είναι μια σύγχρονη εκδοχή της ανάλυσης Fourier με τις αναγκαίες προσθήκες της ανάλυσης Gabor (Roads 1996, σελ 550-551).

Ανάλυση Wavelet.

Περαιτέρω έρευνα πάνω στην ανάλυση FFT έφερε την ανάλυση Wavelet. Η FFT έχει κάποιους περιορισμούς: Στη διαδικασία windowing, τα παράθυρα έχουν όλα την ίδια χρονική διάρκεια. Ακόμη, όλοι οι αρμονικοί τοποθετούνται γραμμικά στο φάσμα.

Η καινοτομία που εισάγει η ανάλυση Wavelet είναι η χρησιμοποίηση ενός αλγορίθμου που ρυθμίζει τη χρονική διάρκεια του κάθε παραθύρου σε σχέση με τη συχνότητα του ήχου. Επίσης, οι συχνότητες, από τις οποίες αποτελείται κάποιο παράθυρο, δεν εξελίσσονται γραμμικά (όπως στην ανάλυση FFT), αλλά λογαριθμικά και σε συνδυασμό με το χρονικό διάστημα που διαρκεί το παράθυρο. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση πολλών ζωνοδιαβατών φίλτρων των οποίων όμως το εύρος ποικίλει ανάλογα με την κεντρική συχνότητα του φίλτρου. Η μέθοδος αυτή έχει πολύ μεγάλη ακρίβεια ανάλυσης αλλά απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ.

Στις χαμηλές συχνότητες το παράθυρο καταλαμβάνει μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, ενώ στις ψηλές συχνότητες καταλαμβάνει μικρότερο. Δηλαδή η ανάλυση Wavelet με αυτό τον τρόπο πετυχαίνει την ίδια (υψηλή) ακρίβεια ανάλυσης σε όλο το συχνοτικό φάσμα, σε αντίθεση με την ανάλυση Fourier που υστερεί σημαντικά τουλάχιστον στις ψηλές συχνότητες. (σχήμα 1.10) (Roads 1996, σελ 583).



(σχήμα 1.10) Η ανάλυση Wavelet έχει την ίδια (υψηλή) ακρίβεια ανάλυσης σε όλο το συχνοτικό φάσμα, ενώ η ανάλυση Fourier υστερεί τουλάχιστον στις ψηλές συχνότητες

1.4. Ομοιότητα της τεχνικής της “κοκκώδους” σύνθεσης με την τεχνική του κινηματογράφου.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί η ομοιότητα της τεχνικής της “κοκκώδους” σύνθεσης με την **τεχνική του κινηματογράφου**. Στον κινηματογράφο προβάλλεται μια διαδοχή εικόνων (frames) με μεγάλη ταχύτητα (Miranda 1998, σελ 107). Αυτή η ταχύτητα ξεπερνά τα όρια διακριτότητας της ανθρώπινης όρασης δηλαδή το ανθρώπινο μάτι δεν είναι ικανό ν’ αντιληφθεί ξεχωριστά εικόνες που προβάλλονται με ταχύτητα μεγαλύτερη της αντιληπτικής του ικανότητας (αυτή η αδράνεια του ματιού λέγεται **μετείκασμα του οφθαλμού**).

Το αποτέλεσμα είναι η ψευδαίσθηση της κινούμενης εικόνας. « Το μάτι διατηρεί την οπτική εικόνα για ελάχιστο χρόνο [κάποιων msec] αφότου αυτή έχει αφαιρεθεί. Έχει διαπιστωθεί ότι αυτός ο χρόνος είναι ίσος με 1/20 του δευτερολέπτου. Παρόλο που δεν αντιλαμβανόμαστε τις εικόνες ως μεμονωμένες, αντιλαμβανόμαστε τις διαφορές μεταξύ τους. Ο εγκέφαλος καταλαβαίνει αυτές τις διαφορές ως κίνηση »¹⁶. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν οι 15 εικόνες/sec όμως επειδή υπήρχαν προβλήματα και ο θεατής μπορούσε να αντιληφθεί την εναλλαγή των εικόνων, γι' αυτό και η ταχύτητα μετατράπηκε στις 24 εικόνες/sec (ταχύτητα που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα). Ωστόσο, υπάρχουν και ταινίες όπου η εναλλαγή των εικόνων έχει ταχύτητα έως και τις 30 εικόνες/sec ή και μεγαλύτερη.

Όπως το μάτι, έτσι και το ανθρώπινο αυτί δεν μπορεί ν' αντιληφθεί δύο ήχους, αν αυτοί έχουν χρονική διαφορά μικρότερη των 35 msec (φαινόμενο HAAS) (βλ κεφάλαιο 1.3.2.).

Αυτές οι τεχνικές δηλαδή, βασίζονται στην “εξαπάτηση” του αισθητηρίου της όρασης (στην περίπτωση του κινηματογράφου) και της ακοής (στην περίπτωση της Granular Synthesis). Το ακουστικό αποτέλεσμα είναι μια αίσθηση ηχητικής ροής και κίνησης. Οι ήχοι αυτοί, δε μπορούν να βρεθούν στον πραγματικό-ακουστικό κόσμο (π.χ. εφφέ που χρησιμοποιούνται σε ταινίες επιστημονικής φαντασίας). Δημιουργούνται ήχοι « που μοιάζουν με “σύννεφα ήχου” που απελευθερώνουν ενέργεια καθώς κινούνται σε έναν “ηχοχώρο”»¹⁷.

¹⁶ Ηλεκτρονική εγκυκλοπαίδεια Microsoft Encarta 2002, λήμμα cinema.

¹⁷ Από το World WideWeb: http://music.dartmouth.edu/~book/MATCpages/chap.4/4.8.gran_synth.html

2. Εισαγωγή στην “κοκκώδη” σύνθεση (Granular Synthesis).

2.1. Τοποθέτηση της “κοκκώδους” σύνθεσης στην κατάταξη των κατηγοριών της ηλεκτρονικής σύνθεσης.

2.1.1. Time modeling synthesis.

Υπάρχουν πολλές κατηγορίες ηλεκτρονικής σύνθεσης. Μία από αυτές είναι (κατά ταξινόμηση E.R.Miranda) και η κατηγορία της **time modeling synthesis**, η οποία προσεγγίζει τη σύνθεση μουσικής βλέποντάς την από τη σκοπιά του χρόνου. Σύμφωνα με αυτή, ο ήχος αποτελείται από διάφορα χαρακτηριστικά που εξελίσσονται στο χρόνο και περιγράφονται από ένα πλήθος παραμέτρων. Δηλαδή, με τη βοήθεια κάποιων τεχνικών, ελέγχουμε τις κυματομορφές των ήχων κατά την εξέλιξή τους στο χρόνο (Miranda 1998, σελ 107). Στη γενική κατηγορία της time modeling synthesis, υπάγονται οι ακόλουθες τεχνικές σύνθεσης με “ηχητικά σωματίδια”.

2.1.2. Είδη – Τεχνικές σύνθεσης με ηχητικά σωματίδια.

Υπάρχουν πολλά είδη – τεχνικές που χρησιμοποιούν σωματίδια του ήχου. Αυτές είναι: (Roads 2001, σελ 119-120).

- Granular synthesis.
- Glisson synthesis.
- Grainlet synthesis.
- Trainlet synthesis.
- Pulsar synthesis.
- Graphic and sonographic synthesis of microsound.
- Particle – based formant synthesis.
- Synthesis by transient drawing.
- Particle cloning.
- Physical models of particles.
- Abstract models of particles.

Η εργασία αυτή μελετά μόνο την “κοκκώδη” σύνθεση, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι οι άλλες τεχνικές δεν παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Κάθε άλλο μάλιστα. Αλλωστε, όλες οι παραπάνω τεχνικές μοιράζονται πολλές ίδιες αρχές (π.χ. τη θεωρία των ηχητικών κόκκων).

2.1.3. Είδη – Τεχνικές της Granular synthesis.

Αλλά ακόμη και η Granular synthesis αποτελείται από πολλές τεχνικές, που διαφέρουν σημαντικά η μία από την άλλη. Αυτές είναι οι εξής: (Roads 2001, σελ 85).

- Pitch synchronous granular synthesis.
- Synchronous granular synthesis.
- Quasi synchronous granular synthesis.
- Asynchronous granular synthesis.
- Physical modeling granular synthesis.
- Granulation of sampled sounds.

Από αυτές, άλλες έχουν ανακαλυφθεί παλαιότερα και άλλες πολύ πρόσφατα. Στην παρούσα εργασία αναλύεται επίσης το τελευταίο και ίσως το πιο σύγχρονο είδος της granular synthesis, η “**granulation of sampled sounds**”. Στα Γαλλικά αντί για τον όρο “**granulation**” χρησιμοποιείται ο όρος “**brassage**” (Roads 2001, σελ 188). Στα ελληνικά ο όρος “granulation of sampled sounds” μπορεί να μεταφραστεί ως “κοκκοποίηση” ηχητικών δειγμάτων.

2.2. Η μικροδομή του ήχου.

Στη φύση υπάρχουν ορισμένοι ήχοι που αν τους ακούσουμε προσεκτικά θ’ αντιληφτούμε ότι αποτελούνται από πολλούς μικρότερους επιμέρους ήχους. Αν αυτούς τους μικρότερους ήχους τους ακούγαμε μεμονωμένα, δε θα μπορούσαμε ίσως να αναγνωρίσουμε τον ήχο που ακούμε, εξ’ αιτίας του γεγονότος ότι είναι πολύ σύντομοι και το αυτί δεν προλαβαίνει να αντιληφθεί τα χαρακτηριστικά τους. Αυτοί οι μικρότεροι ήχοι αποτελούν τη **μικροδομή** του ήχου. Είναι κάτι το οποίο για χιλιάδες χρόνια ήταν καλά κρυμμένο, χωρίς να το έχει αντιληφθεί και περιγράψει

κανείς. Γι' αυτό και από τη στιγμή που ανακαλύφθηκε, η μικροδομή του ήχου προκάλεσε το ενδιαφέρον των συνθετών. Ηχητικά παραδείγματα από την καθημερινή ζωή όπου ακούγεται καθαρά ότι ο ήχος αποτελείται από “μικρόηχους” είναι:

- Ένα κλαδί που σπάει .
- Ένα κύμα που σκάζει στην παραλία.
- Το “κροτάλισμα” των κάρβουνων που καίγονται ή το “κροτάλισμα” της βροχής που πέφτει στη γη.
- Ο ήχος του πάγου που ραγίζει.

Επίσης, υπάρχουν και κάποια μουσικά όργανα, που παράγουν ήχο που αποτελείται από μικρόηχους. Μερικά από αυτά είναι τα παρακάτω: (Roads 2001, σελ 21).

- **Ταμπούρο** (οι χορδές που χτυπούν στη μεμβράνη του ταμπούρου προκαλούν την εντύπωση πως ο ήχος του ταμπούρου αποτελείται από μικρόηχους).
- **Σείστρο** (υπάρχουν μικρά μεταλλικά σωματίδια ή άμμος που δονούνται και δίνουν την αίσθηση των μικρόηχων).
- **Ροκάνα** (το έλασμα της ροκάνας παράγει σύντομους ήχους με μικρά κενά ανάμεσά τους).
- **Guiro ή Ξύστρα** (το ξυλάκι με το οποίο παίζεται η ξύστρα παράγει ήχους περίπου όπως παράγονται και στην ροκάνα).

2.3. “Κοκκώδης” Σύνθεση (Granular Synthesis).

Οι βάσεις της “κοκκώδους” σύνθεσης τέθηκαν από τον **Dennis Gabor** και τον **Ιάννη Ξενάκη**. Σύμφωνα με αυτούς:

Κάθε ήχος αποτελείται από χιλιάδες πολύ μικρά κομμάτια ήχου, που το καθένα τους έχει απειροελάχιστη χρονική διάρκεια. « Η “κοκκώδης” σύνθεση λειτουργεί προκαλώντας μια γρήγορη διαδοχή πολύ μικρών τμημάτων ήχου που λέγονται **ηχητικοί κόκκοι (grains)** (π.χ. διάρκειας 35 msec) τα οποία σχηματίζουν μεγαλύτερα ηχητικά συμβάντα » (Miranda 1998, σελ 107) (σχήμα 2.1).



(σχήμα 2.1) Πολλά, μικρά τμήματα ήχου σχηματίζουν μεγαλύτερα ηχητικά συμβάντα.

Στα ελληνικά, ο όρος **grain** μπορεί να μεταφραστεί αρκετά πιστά ως “ηχητικός κόκκος”¹⁸. Ομοίως, η **Granular Synthesis**, μπορεί να αποδοθεί ως “κοκκώδης σύνθεση”¹⁹.

2.4. Ηχητικός κόκκος (grain).

Ένας **ηχητικός κόκκος (grain)**, διαρκεί τυπικά από 1 έως 100 msec. Έχει αποδειχθεί ότι το αυτί όταν ακούει ήχο, χρειάζεται κάποιο στοιχειώδη χρόνο για να “προλάβει” να αποκρυπτογραφήσει τα διάφορα χαρακτηριστικά γνωρίσματά του (Roads 2001, σελ 86). Δηλαδή, για να αναλυθεί η συχνότητα, το πλάτος (=ένταση) και η χροιά του ήχου είναι απαραίτητος κάποιος χρόνος. Ο ελάχιστος απαιτούμενος χρόνος ονομάζεται **κατώφλι της ακουστικής αντίληψης** όσον αφορά το χρόνο.

Ο ηχητικός κόκκος θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι το ελάχιστο σωματίδιο, το “μόριο” του ήχου. Επίσης, ο ηχητικός κόκκος μπορεί να θεωρηθεί αυτοτελής

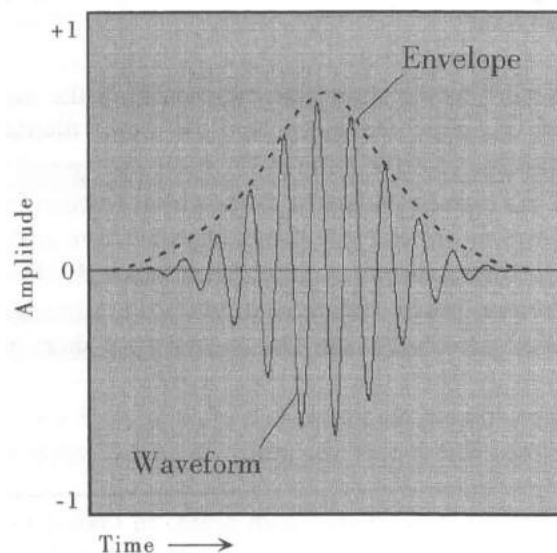
¹⁸ Granule = κόκκος, DN Stavropoulos, AS Horby, λεξικό *Oxford Learner's Dictionary*, Oxford University Press, Oxford, 1997

¹⁹ Granum = κόκκος, Στεφ.Α.Κουμανούδη, *Λεξικόν Λατινοελληνικόν*, εκδ. Σπανού, Αθήνα, 1854
Granum = κόκκος, με την έννοια: Granular<Grain<Granum = το μικρότερο δυνατό σωματίδιο-κόκκος, Ευστρ.Δ.Τσακαλώτου, *Λεξικόν Λατινοελληνικόν*, εκδ. Επικαιρότητα, Αθήνα, 1921

μουσικός ήχος, γιατί συνδυάζει όλα εκείνα τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για να τον περιγράψουν. Δηλαδή, συνδυάζει χρονικές πληροφορίες (χρόνος έναρξης <starting time>, διάρκεια <duration>, σχήμα περιβάλλουσας <envelope> και κυματομορφής <waveform>) με συχνотικές πληροφορίες (τονικό ύψος <pitch> και φάσμα του ήχου <spectrum>) (Roads 2001, σελ 87).

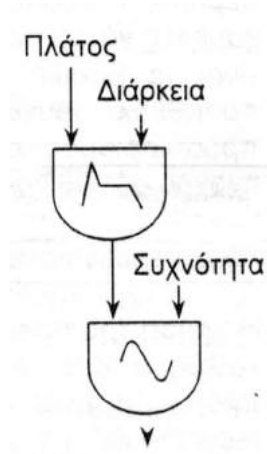
2.5. Περιβάλλουσα ηχητικού κόκκου (envelope).

Ουσιαστικά, κάθε ηχητικός κόκκος είναι μια **κυματομορφή (waveform)**, της οποίας το σχήμα διαμορφώνεται από μία **περιβάλλουσα (envelope)** (σχήμα 2.2) (Roads 2001, σελ 86-87).



(σχήμα 2.2) Η κυματομορφή παίρνει το σχήμα της περιβάλλουσας.

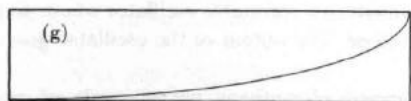
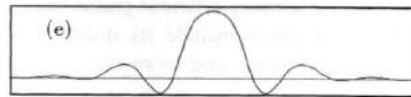
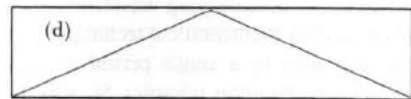
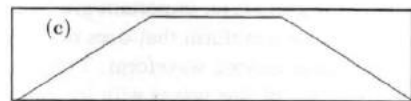
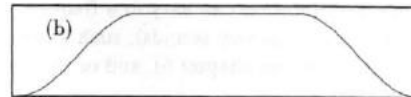
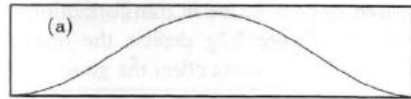
Με τον όρο περιβάλλουσα, εννοούμε μια καμπύλη, της οποίας το σχήμα εφαρμόζεται πάνω σε κάποια κυματομορφή. Δηλαδή, η περιβάλλουσα διαμορφώνει μία οποιαδήποτε παράμετρο (πλάτος, ένταση, τονικό ύψος κτλ.) του ήχου, καθώς αυτός εξελίσσεται μέσα στο χρόνο. (σχήμα 2.3) (Καμπουρόπουλος 2003, σελ 3).



(σχήμα 2.3) Η περιβάλλουσα διαμορφώνει το πλάτος του ήχου που θα παραχθεί.

Γενικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι περιβάλλουσα είναι η γραφική παράσταση του τρόπου με τον οποίο μια παράμετρος μεταβάλλεται μέσα στο

χρόνο²⁰. Υπάρχουν πολλών ειδών περιβάλλουσες και κάθε μία έχει τα δικά της χαρακτηριστικά (σχήμα 2.4)²¹. Γενικά ισχύει ότι όσο πιο ομαλή (χωρίς γωνίες) είναι μια περιβάλλουσα, τόσο πιο “μαλακή” χροιά θα έχει ο ηχητικός κόκκος.



(σχήμα 2.4) Διάφορα είδη περιβάλλουσας:

a) Gaussian ή Tukey window (Harris 1978)

(Η κορυφή (peak) αποτελεί το 30 έως 50 % της διάρκειας του ηχητικού κόκκου).

b) Quasi-gaussian

c) Τριών σταδίων (three-stage line segment)

d) Τριγωνική (triangular)

e) Ημιτονοειδής συνάρτηση

f) Exponential decay

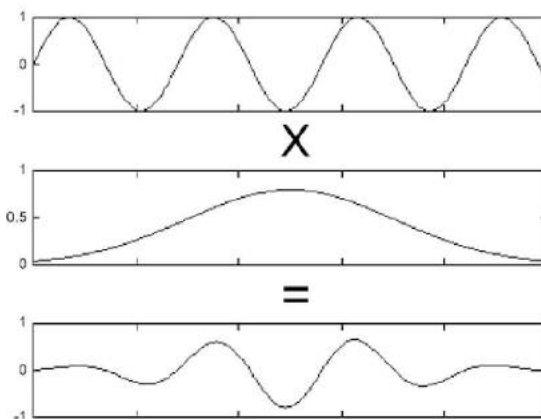
g) Reverse exponential decay

h) Narrow impulse (σε διάρκειες μικρότερες από 20 msec, ακούγεται σαν click)

²⁰ Από το World Wide Web: <http://www.soundonsound.com/sos/nov99/articles/synthsecrets.htm>

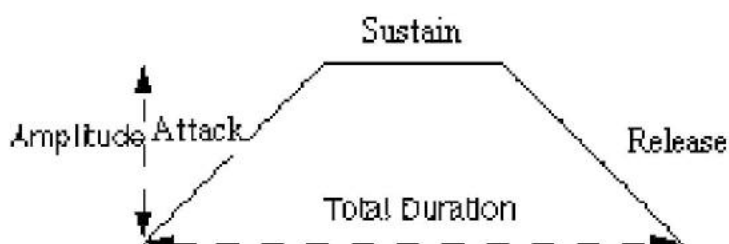
²¹ Roads 2001, σελ 89.

Το είδος της περιβάλλουσας παίζει καθοριστικό ρόλο στον τελικό ήχο που θα παραχθεί (Roads 2001, σελ 88-90). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα για το πώς ακριβώς η περιβάλλουσα διαμορφώνει την κυματομορφή είναι το παρακάτω²² (σχήμα 2.5).



(σχήμα 2.5) Δημιουργία ηχητικού κόκκου από ημιτονοειδή κυματομορφή (sinewave), στην οποία θέτουμε μια περιβάλλουσα πλάτους.

Μια περιβάλλουσα **τριών σταδίων (three-stage envelope)** ενός ηχητικού κόκκου μπορεί να παρασταθεί ως εξής: (σχήμα 2.6)²³.



(σχήμα 2.6) Περιβάλλουσα πλάτους τριών σταδίων.

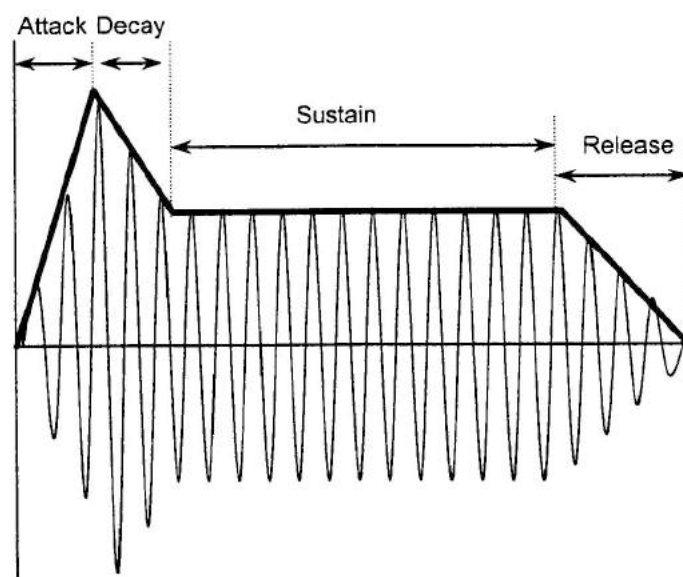
²² Από το World WideWeb: http://music.dartmouth.edu/~book/MATCpages/chap.4/4.8.gran_synth.html

²³ Από το World WideWeb: <http://homepages.kcbbs.gen.nz/gordon/granular.html>

Για το παραπάνω σχήμα (σχήμα 2.6) πρέπει να αναφερθεί ότι:

- Αν ο ηχητικός κόκκος έχει αρκετή διάρκεια, ο ακροατής θα ακούσει πρώτα έναν ήχο με αυξανόμενη ένταση (attack), έπειτα ένα στάδιο σταθερής έντασης (sustain) και τέλος μια πτώση της έντασης (release).
- Αν όμως ο ηχητικός κόκκος έχει πολύ μικρή διάρκεια, ο ακροατής θα αντιληφθεί την περιβάλλουσα περισσότερο σαν κυματομορφή και όχι σαν διαφορά εντάσεων. Σε αυτή την περίπτωση, οι χρόνοι των attack, sustain και release καθορίζουν τη χροιά της κυματομορφής ²⁴.

Μια άλλη μορφή περιβάλλουσας, είναι η περιβάλλουσα **τεσσάρων σταδίων** (four-stage envelope: **Attack, Decay, Sustain, Realease**) (σχήμα 2.7)²⁵



(σχήμα 2.7) Περιβάλλουσα τεσσάρων σταδίων.

Αν θέλουμε να αναλύσουμε επιπλέον τα επιμέρους στάδια της περιβάλλουσας τεσσάρων σταδίων, θα λέγαμε ότι:

- Ο χρόνος της ατάκας (**attack**) καθορίζει το πόσο “κρουστός” θα ακούγεται ένας ήχος.

²⁴ Από το World Wide Web: <http://homepages.kcbbs.gen.nz/gordon/granular.html>

²⁵ Καμπουρόπουλος 2003, σελ. 3.

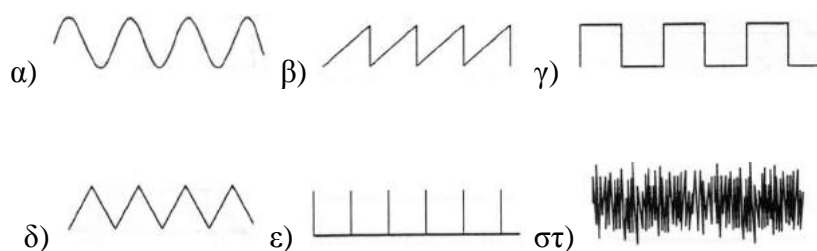
- Ο χρόνος **decay**, καθορίζει πόσο χρόνο θα διαρκέσει ο ήχος μέχρι να πέσει στο επίπεδο του **sustain**, όπου ο ήχος θα έχει σταθερή ένταση. Τέλος, το στάδιο **release**, καθορίζει το χρόνο που θα χρειαστεί για να σβήσει ο ήχος²⁶.

²⁶ Από το World Wide Web: <http://www.soundonsound.com/sos/nov99/articles/synthsecrets.htm>

2.6. Ήχοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην “κοκκώδη” σύνθεση.

Ο ήχος ή οι ήχοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή κάποιου ηχητικού κόκκου μπορούν

- Να έχουν εξαχθεί από κάποιον ήδη ηχογραφημένο ήχο (sampled sound).
 - Να έχουν συντεθεί από κάποια γεννήτρια ήχου και να είναι:
- Σταθεροί για όσο χρονικό διάστημα διαρκεί ο ηχητικός κόκκος. Π.χ. μια ημιτονοειδής κυματομορφή, μια πριονωτή κυματομορφή (sawtooth wave), μια τετράγωνη κυματομορφή (square wave), τριγωνική κυματομορφή (triangular wave), παλμοσειρά-παλμός (pulse wave = μόνο θεμέλια συχνότητα), ή ακόμη και θόρυβος (noise) (σχήμα 2.8).
 - Μη σταθεροί, δηλαδή να αλλάζουν κατά την διάρκεια του ηχητικού κόκκου.



(σχήμα 2.8) Είδη κυματομορφών α) ημιτονοειδής, β) πριονωτή, γ) τετράγωνη, δ) τριγωνική, ε) παλμοσειρά και στ) θόρυβος.

2.7. Ήχοι που μπορούν να παραχθούν με την “κοκκώδη” σύνθεση.

Η “κοκκώδης” σύνθεση είναι μια πραγματικά πανίσχυρη τεχνική ηλεκτρονικής σύνθεσης. Οι δυνατότητες που έχει στο να παράγει νέους, πρωτόγνωρους ήχους με πλούσια υφή είναι άπειρες. Οι ήχοι που παράγονται μπορούν να ομαδοποιηθούν σε κατηγορίες ανάλογα με το πώς ακούγονται. Αν θελήσουμε να τους περιγράψουμε με λόγια θα έπρεπε να καταφύγουμε σε παρομοιώσεις, γιατί δε

υπάρχουν όροι που να περιγράφουν αυτά τα ακούσματα. Θα λέγαμε λοιπόν ότι ακούγονται σαν (Roads 2001, σελ 332):

- Σύννεφα (**clouds**).
- Συγκεντρώσεις σύννεφων (**cloud formations**).
- Εξάτμιση σύννεφων (**clouds disintegration**).
- Ομιχλώδεις ήχους (**foggy sounds**).
- Χείμαρρος-ποτάμι ήχου-ηχητικές ροές (**streams of sounds**).
- Ήχους νερού που τρέχει (**gurgling water**).
- Ήχους νερού που βράζει (**boiling water**).
- Άνεμος (**wind**).
- Κάρβουνα που καίγονται (**cliking sounds**).
- Ήχους “σαν να σπάει ένα κλαδί” (**crackling sounds**).
- Εκρήξεις (**explosions**).
- Ήχους **κεραυνού- βροντής**.
- “Ήχητικό spray” (**sonic spray**).

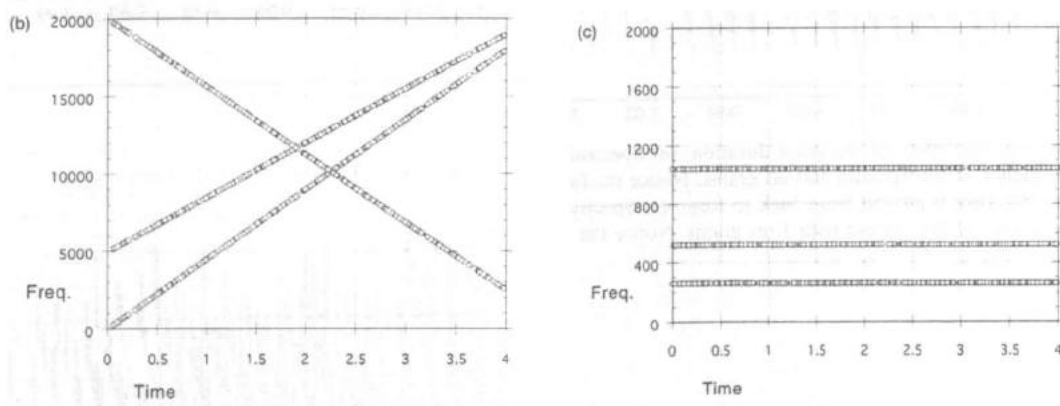
Γενικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι μικρής διάρκειας ηχητικοί κόκκοι (grains) έχουν σαν αποτέλεσμα ήχους που μοιάζουν “σαν να σπάει ένα κλαδί” (crackling sounds), ενώ μεγάλης διάρκειας ηχητικοί κόκκοι δίνουν ήχους πιο ομαλής υφής.

Όπως παρατηρεί ο Roads (Roads 1996, σελ 179), στενές ζώνες συχνοτήτων προκαλούν σύννεφα με τονικό ύψος, ενώ ευρείες ζώνες συχνοτήτων δημιουργούν ήχους που μοιάζουν πιο πολύ με ηχητικές μάζες. Επίσης, μπορούν να συνδυαστούν πολλά σύννεφα που αποτελούνται από στενές ζώνες συχνοτήτων, με κάποιο σκοπό (σχήμα 2.9)²⁷. Τέλος, ένα σύννεφο μπορεί να αποτελείται από μια λίγο – πολύ σταθερή ζώνη συχνοτήτων (σχήμα 2.10)²⁸, ή να αλλάζει συχνότητα διαρκώς (σχήμα 2.11)²⁹.

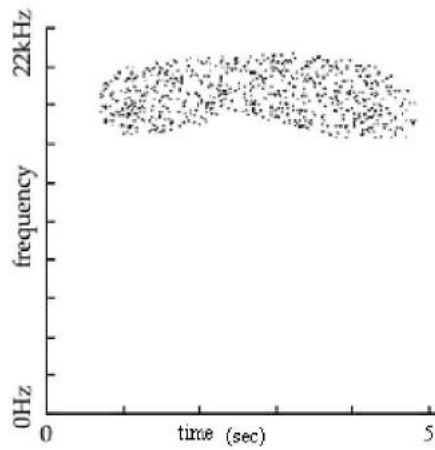
²⁷ Roads 1996, σελ 182

²⁸ Από το World WideWeb: http://music.dartmouth.edu/~book/MATCpages/chap.4/4.8.gran_synth.html

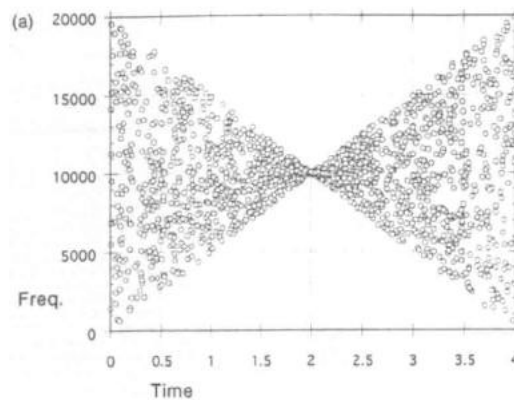
²⁹ Roads 1996, σελ 182



(σχήμα 2.9) Τρία ηχητικά σύννεφα στενής ζώνης που α) κάνουν glissando σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων β) σχηματίζουν μια “συγχορδία”.



(σχήμα 2.10) Ηχητικό σύννεφο συγκεκριμένης ζώνης συχνοτήτων.



(σχήμα 2.11) Ηχητικό σύννεφο που αποτελείται από συχνότητες που αλλάζουν κατά τη διάρκεια του χρόνου.

2.8. Χαρακτηριστικά των ηχητικών σύννεφων.

Τα ηχητικά σύννεφα έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Το είδος του σύννεφου, με βάση το οποίο τα ηχητικά σύννεφα διακρίνονται σε:
 - Στατικά και
 - Εξελισσόμενα: μπορεί να εξελίσσονται όσον αφορά το πλάτος τους (crescendo / decrescendo), το tempo των ηχητικών κόκκων (accelerando / rallentando), τα αρμονικά χαρακτηριστικά των ηχητικών κόκκων (τονικό ύψος, συχνότητα) κτλ.

- Την πυκνότητα των ηχητικών κόκκων ανά δευτερόλεπτο (grains / sec) με κριτήριο την οποία, χαρακτηρίζονται ως
 - πυκνά (μεγάλη πυκνότητα) και
 - αραιά (μικρή πυκνότητα)

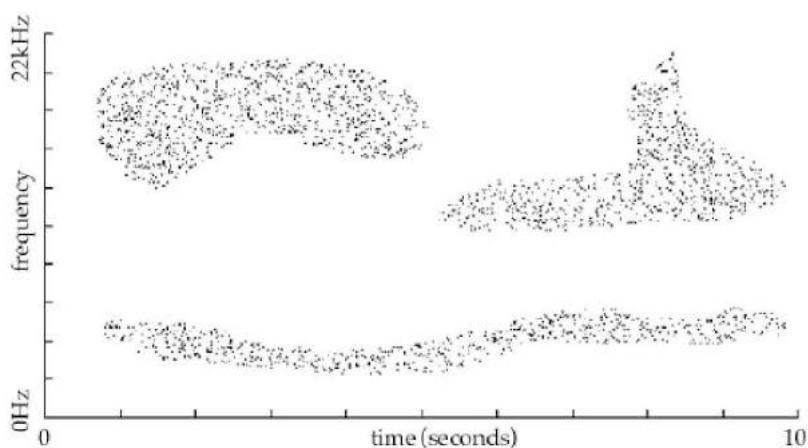
Η πυκνότητα είναι η σημαντικότερη παράμετρος ενός σύννεφου. Τα αραιά σύννεφα είναι “διάφανα” δηλαδή δεν ακούγονται σαν ηχητικές μάζες όπως τα πυκνά ηχητικά σύννεφα (Roads 2001, σελ 15).

Όπως παρατήρησε ο Varese, η πυκνότητα του σύννεφου είναι εκείνη που το κάνει κέντρο του ενδιαφέροντος. Το φέρνει σε πρώτο πλάνο (μεγάλη πυκνότητα) ή του δίνει το ρόλο της “ηχητικής επένδυσης” (το τοποθετεί στο παρασκήνιο – μικρή πυκνότητα) (Roads 2001, σελ 15-16).

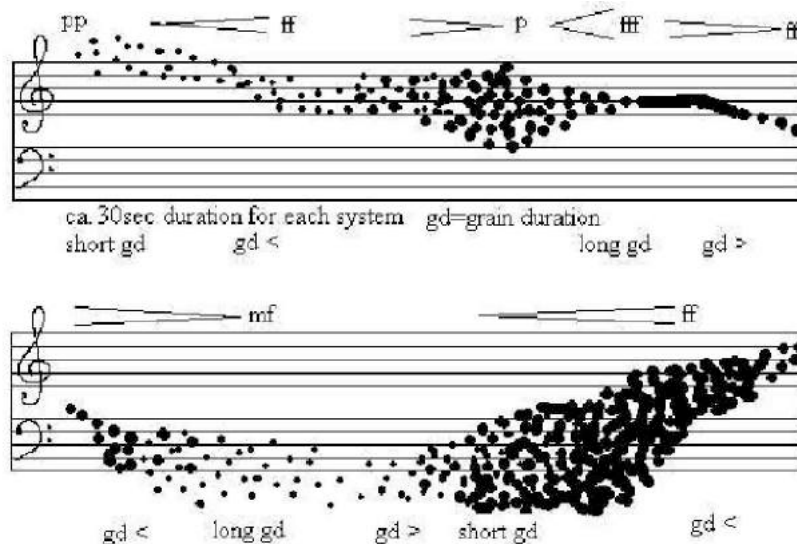
Διάφορα εφφέ που μπορούν να γίνουν με κατάλληλους χειρισμούς της πυκνότητας είναι το εφφέ της “εξάτμισης” (σταδιακή ελάττωση της πυκνότητας από μεγάλη σε μικρή) και της “συγκέντρωσης” (με την αντίστροφη διαδικασία).

2.9. “Παρτιτούρες” κοκκώδους σύνθεσης.

Υπάρχουν πολλοί συνθέτες ηλεκτρονικής μουσικής, που πριν συνθέσουν κάποιο έργο, πρώτα το σχεδιάζουν σε χαρτί (σχήματα 2.12α³⁰, 2.12β³¹). Αυτή η ιδέα ξεκίνησε από τον **Ιάννη Ξενάκη** (ο Ξενάκης μάλιστα είχε επινοήσει και μια ειδική επιφάνεια όπου ζωγράφιζε την παρτιτούρα και ο υπολογιστής μετέτρεπε τα σκίτσα αυτά σε ήχο).



(σχήμα 2.12α) Απόσπασμα “κοκκώδους” σύνθεσης της Mara Helmuth.



(σχήμα 2.12β) Απόσπασμα “κοκκώδους” σύνθεσης του Timothy Tristram Orie.

³⁰ Από το World WideWeb: http://music.dartmouth.edu/~book/MATCpages/chap.4/4.8_gran_synth.html

³¹ Orie, Timothy Tristram, Creation of a Real – Time Granular Synthesis Instrument for Live Performance: <http://www.granularsynthesis.live.com.au/mthesis/mthesis.html>

Κάθε κουκίδα απεικονίζει έναν ηχητικό κόκκο συγκεκριμένης συχνότητας και σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Παρατηρώντας την “παρτιτούρα” , ίσως μπορούμε να φανταστούμε πως θ’ ακουγόταν αυτό το κομμάτι, αν και δε γνωρίζουμε σημαντικές πληροφορίες όπως περιβάλλοντες, κυματομορφές κτλ.³²

³² Από το World WideWeb: http://music.dartmouth.edu/~book/MATCpages/chap.4/4.8.gran_synth.html

3. “Κοκκοποίηση ήχου” (Granulation of sound).

3.1. Εισαγωγή.

« Η “κοκκοποίηση” (...) δεν είναι τίποτε άλλο από μηχανικές διαδικασίες, ο σκοπός των οποίων είναι να ξεχωρίσουν τα μέρη ενός υλικού και να τα περιορίσουν σε πολύ μικρά σωματίδια » (Antoine Lavoisier 1789).

Για την “κοκκοποίηση” ήχου (στη σύγχρονη εποχή των ηλεκτρονικών υπολογιστών) χρειάζεται απαραίτητα κάποιο λογισμικό “κοκκοποίησης”. (Ο Ιάννης Ξενάκης υλοποίησε αυτή την τεχνική χωρίς τα τωρινά μέσα με τη διαδικασία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 1). Η αρχική ιδέα είναι η χρησιμοποίηση του ίδιου του ήχου (είτε ηχογραφημένου, είτε ήχου που παράγεται ζωντανά) ως αρχικό υλικό από το οποίο θα εξαχθούν οι ηχητικοί κόκκοι. Δηλαδή, οι ηχητικοί κόκκοι δεν παράγονται από **ταλαντωτές (oscillators)**, αλλά παίρνουν την κυματομορφή τους από τον εκάστοτε χρησιμοποιούμενο ήχο.

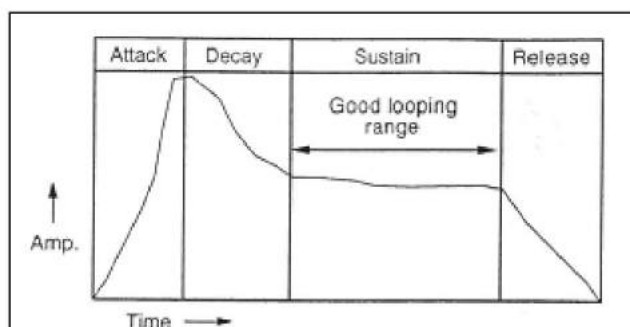
Η διαδικασία της “κοκκοποίησης” γίνεται κόβοντας τον ήχο σε πολύ μικρά τμήματα χρόνου που λέγονται “**παράθυρα**” (**windows**) και προσθέτοντας σε αυτά μια περιβάλλουσα. Αυτή η “**παραθυροποίηση**” (**windowing**) γίνεται και στην ανάλυση Gabor αλλά και σε άλλες μεθόδους ανάλυσης. Δηλαδή, η διαδικασία της “παραθυροποίησης” στις διάφορες μεθόδους ανάλυσης είναι παρόμοια με την “κοκκοποίηση” ήχου αλλά σε καθεμιά περίπτωση γίνεται για διαφορετικό λόγο. Οι τεχνικές ανάλυσης τόσο του Gabor, όσο και του Fourier έχουν σαν τελικό στόχο τους την ανάλυση του φάσματος του ήχου. Στην κοκκοποίηση (**granulation**) δεν ενδιαφέρει το φάσμα (**spectrum**), αλλά ο χρόνος (Roads 2001, σελ 188). Ο λόγος είναι επειδή η κοκκοποίηση είναι μια διαδικασία που έχει να κάνει κυρίως με τον παράγοντα του χρόνου.

Στη συνέχεια, γίνεται ανακατανομή και επεξεργασία των ηχητικών κόκκων με βάση κάποιον “**αλγόριθμο**” (βλ παρακάτω). Κάθε λογισμικό χρησιμοποιεί διαφορετικό αλγόριθμο και αυτό κάνει το κάθε λογισμικό να έχει δικό του, προσωπικό θα λέγαμε, ήχο. Έτσι, είναι φανερό ότι ο ρόλος του αλγόριθμου, ο τρόπος δηλαδή που γίνεται η ανακατανομή και επεξεργασία των ηχητικών κόκκων, είναι καθοριστικής σημασίας για τον τελικό ήχο.

3.2. Η τεχνική της “λούπας” (looping).

Πριν αναλυθεί η τεχνική της “κοκκοποίησης” σε πραγματικό χρόνο καλό θα ήταν να αναφερθεί συνοπτικά η τεχνική της “λούπας” (looping) επειδή η ίδια η “κοκκοποίηση” σχετίζεται άμεσα με αυτή. Με την τεχνική της “λούπας” μπορούμε να αυξήσουμε ή να μειώσουμε τη διάρκεια ενός ήχου – δείγματος (βλ παρακάτω). Αν πρόκειται για κάποιον τόνο ή μουσική νότα και όχι για μουσικό απόσπασμα, τότε πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή.

Όπως γνωρίζουμε, όταν κάποιος μουσικός παίζει μια νότα (σε οποιοδήποτε όργανο) ο ήχος δεν ξεκινά αμέσως. Η νότα συνήθως έχει ένα **σημείο έναρξης (attack)**, έπειτα ένα τμήμα όπου η ένταση πέφτει (**decay**), ακολουθεί το μεγαλύτερο σε διάρκεια τμήμα του ήχου, όπου η έντασή της παραμένει σταθερή (**sustain**) και τέλος η έντασή της μηδενίζεται σταδιακά μόλις ο μουσικός σταματήσει να παίζει τη νότα (**release**). Αυτές οι αλλαγές της έντασης συνήθως διαρκούν κλάσματα του δευτερολέπτου (μπορεί όμως να διαρκούν και μερικά δευτερόλεπτα) και δεν είναι αντιληπτές από τον άνθρωπο (σχήμα 3.1)³³.

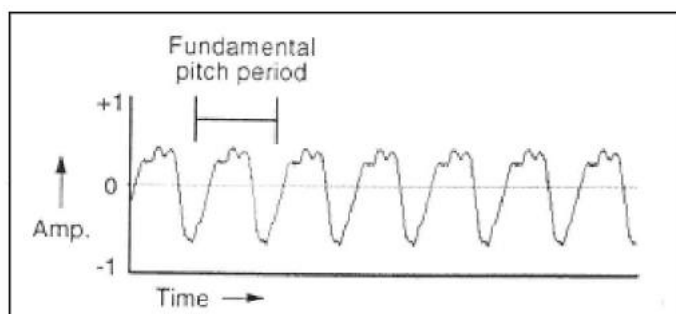


(σχήμα 3.1) Οι διάφορες διακυμάνσεις της έντασης μιας νότας.

Η μόνη περιοχή που η ένταση της νότας είναι σταθερή είναι η φάση του sustain. Αυτή είναι και η περιοχή που προσφέρεται για τη διαδικασία της “λούπας” γιατί σε αυτήν υπάρχει εκτός από σταθερή ένταση και σταθερό - αναγνωρίσιμο **τονικό ύψος (pitch)** (Roads 1996, σελ 121-122) (σχήμα 3.2)³⁴.

³³ Roads 1996, σελ 122.

³⁴ Roads 1996, σελ 122.

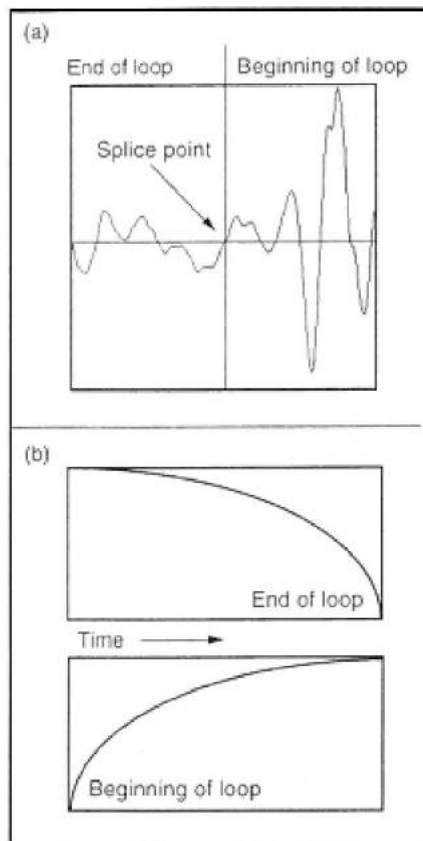


(σχήμα 3.2) Στη φάση του sustain μια νότα έχει σταθερό τονικό ύψος.

Μεγάλη προσοχή χρειάζεται στο σημείο όπου η διάρκεια του αρχικού ήχου έχει τελειώσει και ο ήχος επαναλαμβάνεται από την αρχή για να γίνει “λούπα”. Συνήθως η κυματομορφή δε συνεχίζεται ομαλά (**ασυνέχεια της κυματομορφής**) (Miranda 1998, σελ 113) και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να ακούγονται “**clicks**” ή “**pops**” (ασυνέχειες). Οι ασυνέχειες αυτές μπορούν να αποφευχθούν με δύο τρόπους (Roads 1996, σελ 122):

- Να βρεθεί ένα **κατάλληλο σημείο** όπου αν ενωθεί το τέλος της “λούπας” με την αρχή, να μην υπάρχει ασυνέχεια στην κυματομορφή. Αυτό είναι σίγουρα αρκετά δύσκολο (σχήμα 3.3a).
- Με την τεχνική του **crossfading**. Το crossfading δουλεύει ως εξής: στο τέλος της “λούπας” εξασθενεί σταδιακά η ένταση του ήχου (**fade out**) και στην αρχή της η ένταση δυναμώνει σταδιακά (**fade in**). Με άλλα λόγια, στο σημείο που υπάρχει η ασυνέχεια χαμηλώνουμε την ένταση και παίζουμε από πάνω της την αρχή του ήχου με σταδιακή αύξηση της έντασης. Έτσι το “click” δεν ακούγεται. Το χαμήλωμα και η σταδιακή αύξηση της έντασης γίνονται με τη χρήση **περιβάλλουσας** (Miranda 1998, σελ 113) (σχήμα.3.3b)³⁵.

³⁵ Roads 1996, σελ 123.



(σχήμα 3.3) a) Εύρεση κατάλληλου σημείου ένωσης του τέλους με την αρχή της “λούπας” b) fade out στο τέλος της “λούπας” και fade in στην αρχή της.

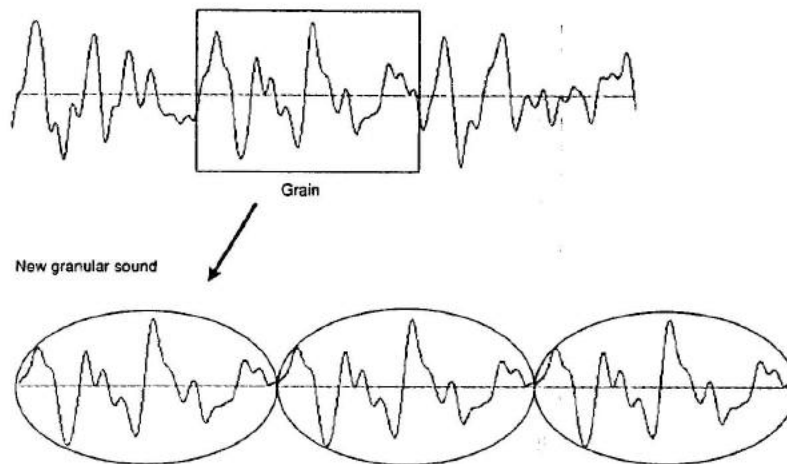
3.3. Είδη “κοκκοποίησης”.

Υπάρχουν δύο είδη “κοκκοποίησης”. Αυτά είναι:

3.3.1. “Κοκκοποίηση” ήχου - δείγματος (granulation of sampled sound).

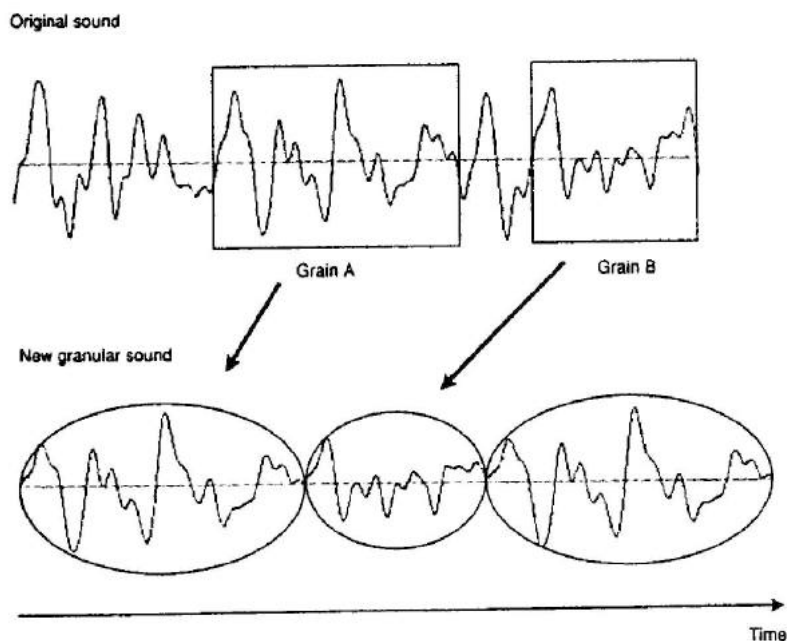
- Ο αρχικός ήχος είναι συνήθως αποθηκευμένος σε κάποιο αρχείο ήχου. Σύμφωνα με αυτή την τεχνική, επιλέγεται ένα τμήμα του αποθηκευμένου ήχου. Αυτό το τμήμα θα χρησιμεύσει για να παραχθούν χιλιάδες ηχητικοί κόκκοι που τοποθετούνται ο ένας μετά τον άλλο με διάφορους τρόπους. Ένας από αυτούς είναι

και η τεχνική της “λούπας” (**loop**) (Miranda 1998, σελ 110-111) (σχήμα 3.4³⁶, σχήμα 3.7α).



(σχήμα 3.4) Ένας ηχητικός κόκκος επαναλαμβάνεται με την τεχνική της “λούπας”(loop).

- Ακόμη, μπορούν να εξαχθούν ηχητικοί κόκκοι **από περισσότερα σημεία** του “ήχου-δείγματος” και να συγκολληθούν μαζί. (σχήμα 3.5³⁷, σχήμα 3.7β).

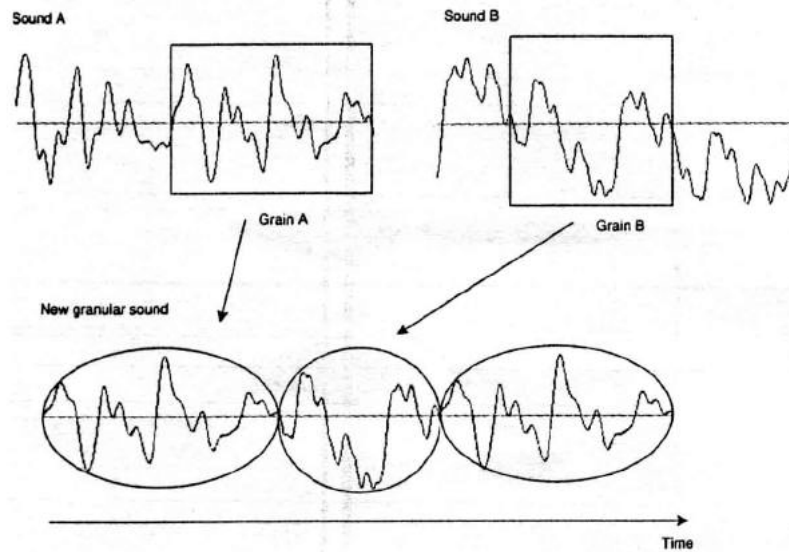


(σχήμα 3.5) Ο τελικός ήχος σχηματίζεται από δύο ηχητικούς κόκκους που προέρχονται από διαφορετικά μέρη του “ήχου-δείγματος”.

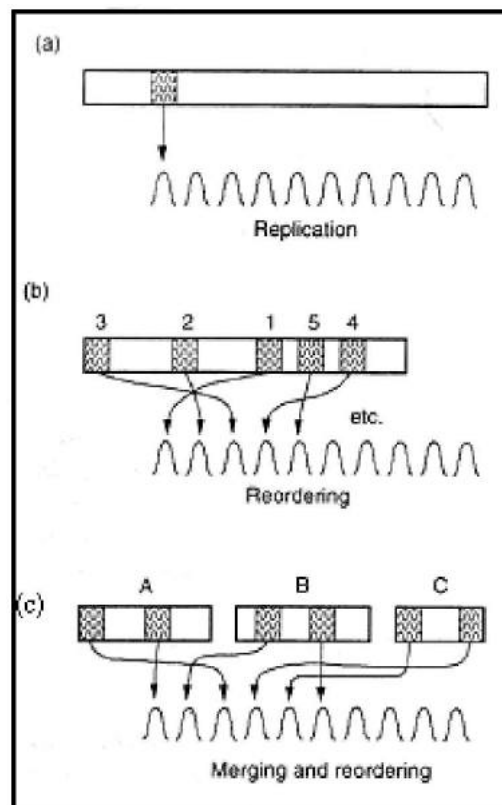
³⁶ Miranda 1998, σελ 111.

³⁷ Miranda 1998, σελ 112.

- Τέλος, η πιο σύνθετη περίπτωση είναι να εξαχθούν και να συγκολληθούν ηχητικοί κόκκοι από πολλούς “ήχους-δείγματα” (σχήμα 3.6³⁸, σχήμα 3.7c).



(σχήμα 3.6) Ο τελικός ήχος σχηματίζεται από δύο ηχητικούς κόκκους που προέρχονται από δύο διαφορετικούς ήχους.



(σχήμα 3.7)³⁹ Εξαγωγή ηχητικού κόκκου από: a) ένα σημείο του “ήχου-δείγματος”, b) από πολλά σημεία του “ήχου-δείγματος”, c) από πολλούς ήχους.

³⁸ Miranda 1998, σελ 112.

³⁹ Roads 1996, σελ 183.

Έπειτα, η επεξεργασία που θα υποστούν οι ηχητικοί κόκκοι γενικά μπορεί να περιγραφεί ως: « διάφορες τροποποιήσεις (...) και επανατοποθέτηση των ηχητικών κόκκων με άλλη σειρά στο χρόνο και μικρορυθμό » (Roads 2001, σελ 98).

Η **περιβάλλουσα** είναι πολύ σημαντική στην “κοκκοποίηση” ηχογραφημένου ήχου κυρίως γιατί με αυτή αποφεύγονται οι **ασυνέχειες στην κυματομορφή** των συγκολλημένων κόκκων (σχήμα 3.8) Αυτό εξασφαλίζεται χάρη στο σχήμα της περιβάλλουσας. Οι ομαλές, χωρίς γωνίες περιβάλλουσες εξυπηρετούν καλύτερα αυτό το σκοπό (Miranda 1998, σελ 113).



(σχήμα 3.8) Συγκολλημένοι ηχητικοί κόκκοι που έχουν ασυνέχειες στην κυματομορφή γιατί δεν τους έχει επιβληθεί περιβάλλουσα.

3.3.2. “Κοκκοποίηση” εξωτερικής πηγής ήχου.

Με αυτή την τεχνική επεξεργαζόμαστε τον ήχο μιας εξωτερικής πηγής ήχου, όπως για παράδειγμα ενός μουσικού οργάνου. Ο ήχος του οργάνου εισέρχεται στην κάρτα ήχου του υπολογιστή μέσω ενός **μικροφώνου** ή (αν πρόκειται για ηλεκτρικό-ηλεκτρονικό μουσικό όργανο) μέσω της εξόδου του οργάνου (**line out**). Το σήμα από το μουσικό όργανο ψηφιοποιείται από τον “**μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό**” (**Analog to Digital converter-ADC**) και τροφοδοτεί το λογισμικό “κοκκοποίησης”.

Στην “κοκκοποίηση” εξωτερικής πηγής ήχου με ταυτόχρονη αλλαγή της ταχύτητας αναπαραγωγής του εισερχόμενου ήχου δε μπορεί να γίνει **σύμπτυξη του εισερχόμενου ήχου** επειδή ο μουσικός παίζει ζωντανά εκείνη τη στιγμή. Ενώ στην “κοκκοποίηση” ήχου – δείγματος (sampled sound granulation) μπορούν να γίνουν time-stretching και time-shrinking επειδή ο ήχος είναι ηχογραφημένος και δεν παράγεται ζωντανά (Roads 2001, σελ 192).

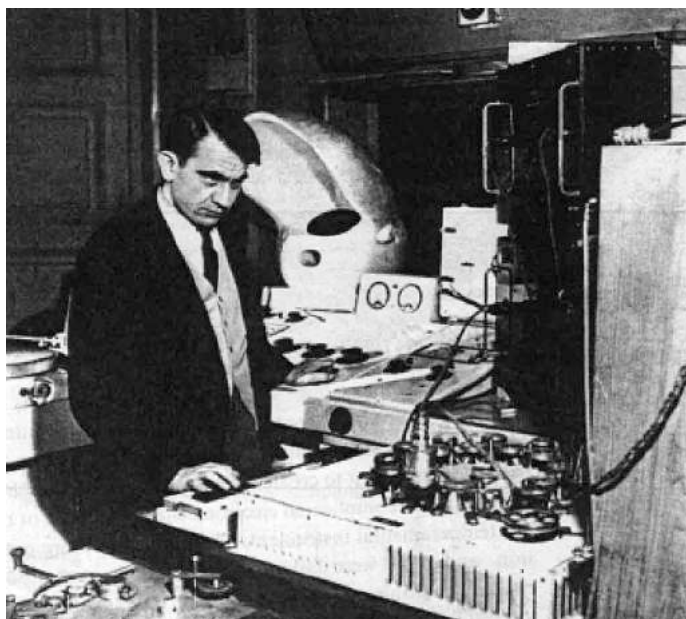
3.4. “Κοκκοποίηση” ήχου–δείγματος: Αλλαγή της χρονικής διάρκειας ενός ήχου, κρατώντας σταθερό το τονικό του ύψος και το αντίστροφο.

3.4.1. Ιστορική επισκόπηση.

Από την εποχή των **αναλογικών μαγνητοφώνων** με μπομπίνες ήταν γνωστό ότι αν η ταχύτητα αναπαραγωγής ενός ήχου αυξηθεί (δηλαδή αν ο ήχος παιχτεί πιο γρήγορα) το τονικό του ύψος ανεβαίνει. Επίσης, αφού ο ήχος παίζεται γρηγορότερα, είναι φυσικό να μειώνεται η διάρκειά του. Από την άλλη μεριά, αν η ταχύτητα αναπαραγωγής μειωθεί (δηλαδή αν ο ήχος παιχτεί πιο αργά) το τονικό του ύψος χαμηλώνει. Αφού ο ήχος παίζεται πιο αργά, τότε η διάρκειά του μεγαλώνει (Roads 2001, σελ 195). Αυτό ακόμη και στο παρελθόν ήταν κάτι απλό να γίνει. Η ταχύτητα αναπαραγωγής της ταινίας άλλαζε (είτε πιο γρήγορη, είτε πιο αργή) αν άλλαζε η ταχύτητα της μηχανής που περιστρέφει τις μπομπίνες (εικόνα 3.9)⁴⁰. Σήμερα, αυτό το ρόλο τον έχει αναλάβει κατάλληλο λογισμικό που αλλάζει την ταχύτητα αναπαραγωγής σε πραγματικό χρόνο. Στα μαγνητόφωνα απαιτούνταν κάποιος ελάχιστος χρόνος μετάβασης από τη μία ταχύτητα στην άλλη (στην πραγματικότητα η αλλαγή της ταχύτητας γινόταν με σταδιακό γλίστρημα - glissando ανάμεσα στις δύο ταχύτητες) (Roads 2001, σελ 195).

Συνοψίζοντας, η γενική ιδέα για το πώς μπορεί να αλλάξει το τονικό ύψος (pitch) ενός ήχου είτε προς τα πάνω, είτε προς τα κάτω ήταν από παλιά γνωστή. Ταυτόχρονα όμως ο ήχος άλλαζε και στο πεδίο του χρόνου δηλαδή άλλαζε και η διάρκειά του.

⁴⁰ Roads 1996, σελ 119.



(εικόνα 3.9) Ο Pierres Schaeffer χειρίζεται ένα μαγνητόφωνο που έχει τη δυνατότητα ρύθμισης της ταχύτητας αναπαραγωγής της μαγνητοταινίας.

3.4.2. Εισαγωγή.

Με τον όρο **Pitch shifting** (**μετατόπιση τονικού ύψους**) εννοούμε το ανέβασμα ή το χαμήλωμα του τονικού ύψους ενός ήχου (Roads 2001, σελ 195). Αναφερόμαστε σε τονικό ύψος όταν ο ήχος έχει ευδιάκριτο τονικό ύψος. Υπάρχουν όμως και ήχοι που δεν έχουν ευδιάκριτο τονικό ύψος. Γι' αυτούς χρησιμοποιούμε αντί για τονικό ύψος απλώς τον όρο “φάσμα”.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, επιτεύχθηκε η αλλαγή τονικού ύψους χωρίς αλλαγή στη διάρκεια του ήχου και το αντίθετο (αλλαγή στη διάρκεια, χωρίς αλλαγή του τονικού ύψους) (Roads 1996, σελ 440). Η επέκταση της διάρκειας του ήχου στο χρόνο λέγεται “**χρονική επέκταση**” (**time expansion**). Αντίστοιχα, η σύμπτυξη της διάρκειας του ήχου στο χρόνο λέγεται “**χρονική σύμπτυξη**” (**time compression**) (Roads 2001, σελ 197). Για να γίνουν τα παραπάνω εφφέ υπάρχουν πολλές μέθοδοι. Μερικές από αυτές είναι: με “κοκκοποίηση” (granulation) (είτε με ηλεκτρομηχανικά είτε με ψηφιακά μέσα), με harmonizer, με phase vocoder κ.ά. (Roads 1996, σελ 441-445).

Στην εργασία αυτή αναλύεται η μέθοδος της “κοκκοποίησης” ήχου-δείγματος (**granulation of sampled sound**) η οποία και έχει ένα πολύ καλής ποιότητας αποτέλεσμα.

Στην ακόλουθη ανάλυση κρίθηκε καλύτερο οι μεταβολές στη χρονική διάρκεια να αναφέρονται σε διπλασιασμό ή υποδιπλασιασμό της. Επίσης, οι μεταβολές στο τονικό ύψος (pitch sifting) κρίθηκε καλύτερο να αναφέρονται σε ανέβασμα ή χαμήλωμα οκτάβας. Ο λόγος επιλογής αυτών των συμβάσεων είναι γιατί αυτές είναι σχετικά απλούστερες να αναλυθούν χωρίς πολύπλοκες μαθηματικές πράξεις. Φυσικά μπορεί να γίνει οποιουδήποτε ποσοστού επέκταση / σύμπτυξη στο χρόνο καθώς και οποιουδήποτε διαστήματος ανέβασμα / χαμήλωμα του τονικού ύψους. Όλες αυτές οι αλλαγές γίνονται με τη βοήθεια αλγορίθμων.

Παρακάτω θα επιχειρηθεί μια σχετικά σύντομη περιγραφή του τρόπου με τον οποίο γίνεται χρονική σύμπτυξη / επιμήκυνση χωρίς ταυτόχρονο ανέβασμα / χαμήλωμα του τονικού ύψους και το αντίθετο (ανέβασμα / χαμήλωμα του τονικού ύψους χωρίς χρονική σύμπτυξη / επιμήκυνση). Δε θα αναφερθούν πολλές λεπτομέρειες ούτε θα επιχειρηθεί μια “μαθηματική” ερμηνεία αυτών των φαινομένων καθώς αυτή η περιγραφή απευθύνεται περισσότερο σε μουσικούς. Αυτό που ενδιαφέρει τον μουσικό είναι το συνολικό ακουστικό – μουσικό αποτέλεσμα, δηλαδή ο τελικός ήχος.

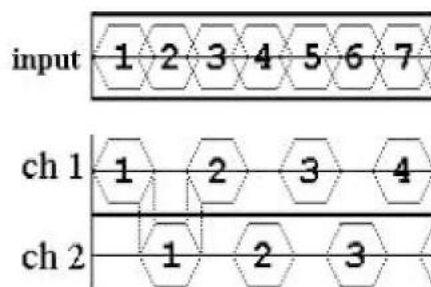
Υπάρχουν πολλές μελέτες σημαντικών ερευνητών αυτού του τομέα όπου ο ενδιαφερόμενος μπορεί να ανατρέξει για μια πιο “μαθηματική” προσέγγιση του φαινομένου. Ο πρωτεργάτης της “real time granulation of sampled sound” με κατάλληλους χειρισμούς του χρόνου και του τονικού ύψους είναι ο **Barry Truax**.

3.4.3. Χρονική επέκταση (time expansion) / σύμπτυξη (time compression) ενός ήχου, χωρίς αλλαγή στο τονικό του ύψος.

Όπως ειπώθηκε στην εισαγωγή, αυτό που δεν είχε κατορθωθεί με μηχανικά μέσα ήταν η αλλαγή της χρονικής διάρκειας ενός ήχου, χωρίς ταυτόχρονη αλλαγή στο τονικό ύψος του. Αυτό έγινε εφικτό με την τεχνολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η τεχνική που ασχολείται η παρούσα εργασία είναι αυτή της “κοκκοποίησης”.

- Διπλασιασμός της χρονικής διάρκειας ενός ήχου.⁴¹

Για να γίνει διπλασιασμός της χρονικής διάρκειας ενός ήχου χωρίς αλλαγή στο τονικό του ύψος, ο αλγόριθμος κοκκοποίησης του λογισμικού “τεμαχίζει” (διαδικασία **windowing**, βλ. ανάλυση Gabor) το ηχητικό απόσπασμα σε ηχητικούς κόκκους (Roads 1996, σελ 441). Μέχρι στιγμής δεν αλλοιώνεται το παραμικρό από τον ήχο – δείγμα. Έπειτα **αντιγράφει** κάθε ηχητικό κόκκο μετά τον εαυτό του, έτσι ώστε δύο διαδοχικοί ηχητικοί κόκκοι να είναι ίδιοι (Roads 2001, σελ 197) (σχήμα 3.10).

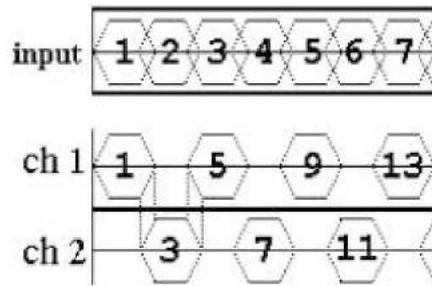


(σχήμα 3.10) Ο κάθε ηχητικός κόκκος διπλασιάζεται.

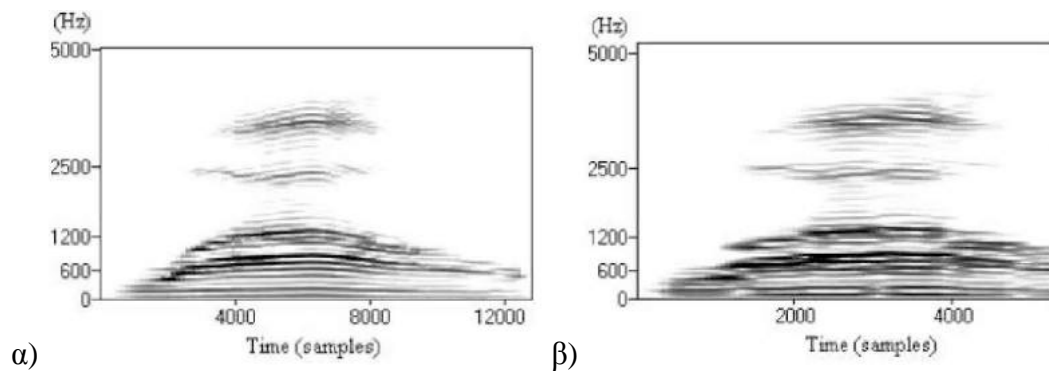
- Υποδιπλασιασμός της χρονικής διάρκειας ενός ήχου.

Αντίστοιχα, για να υποδιπλασιαστεί η χρονική διάρκεια ενός ήχου χωρίς αλλαγή στο τονικό ύψος του, μετά τον τεμαχισμό του ήχου σε ηχητικούς κόκκους, ο αλγόριθμος **διαγράφει** το δεύτερο για κάθε δύο διαδοχικούς ηχητικούς κόκκους (Roads 2001, σελ 197). Και στις δύο περιπτώσεις αλλάζει η χρονική διάρκεια του ήχου χωρίς να αλλάζει το τονικό ύψος (συχνότητα) αφού το φασματικό περιεχόμενο των ηχητικών κόκκων παραμένει το ίδιο με το αρχικό (σχήμα 3.11) (σχήματα 3.12α, 3.12β).

⁴¹ Οι εικόνες του κεφαλαίου προέρχονται από το άρθρο του Takebumi Itagaki, Sound Compression / interpolation by Granulation, από το World Wide Web: <http://www.brunel.ac.uk/%7Eeesttti/papers/aes108p.html>



(σχήμα 3.11) Διαγραφή του δεύτερου, ανά δύο, ηχητικών κόκκων.



(σχήμα 3.12) α) αρχική ομιλία β) ομιλία που έχει υποστεί “χρονική σύμπτυξη” (παρατηρώντας το φάσμα του ήχου βλέπουμε ότι αυτό πραγματικά δεν αλλάζει).

3.4.4. Αλλαγή του τονικού ύψους ενός ήχου (Pitch shifting), χωρίς αλλαγή στη χρονική του διάρκεια.

Η διαδικασία που ακολουθείται για να πετύχουμε το ανέβασμα του τονικού ύψους ενός ήχου – δείγματος κατά μία οκτάβα χωρίς αλλαγή της διάρκειάς του είναι πιο περίπλοκη.

- **Ανέβασμα του τονικού ύψους ενός ήχου (διπλασιασμός).**

Ο αλγόριθμος του λογισμικού διπλασιάζει τη “**συχνότητα δειγματοληψίας**” (**sampling rate**) με την οποία αναπαράγεται ο ήχος (έτσι πετυχαίνεται το ανέβασμα του τονικού ύψους αλλά ταυτόχρονα υποδιπλασιάζεται και η διάρκεια του ήχου). Στη συνέχεια “**τεμαχίζει**” τον ήχο σε ηχητικούς κόκκους (διαδικασία windowing) και

αντιγράφει κάθε ηχητικό κόκκο μετά τον εαυτό του (έτσι διπλασιάζεται η διάρκεια και τελικά έχουμε αποκατάσταση της αρχικής διάρκειας του ήχου) (Roads 2001, σελ 197).

- **Χαμήλωμα του τονικού ύψους ενός ήχου κατά μία οκτάβα.**

Αντίστοιχα, για να χαμηλώσουμε το τονικό ύψος ενός ήχου – δείγματος κατά μία οκτάβα χωρίς να αλλάξει η διάρκειά του, ο αλγόριθμος μειώνει στο μισό τη συχνότητα δειγματοληψίας (έτσι πετυχαίνεται το χαμήλωμα του τονικού ύψους αλλά ταυτόχρονα διπλασιάζεται και η διάρκεια του ήχου). Έπειτα, μετά τη διαδικασία windowing, **διαγράφει** το δεύτερο για κάθε δύο διαδοχικούς ηχητικούς κόκκους (έτσι υποδιπλασιάζεται η διάρκεια και τελικά έχουμε αποκατάσταση της αρχικής διάρκειας του ήχου) (Roads 2001, σελ 197).

Για να μην υπάρχουν **παραμορφώσεις (distortions)**, οι ηχητικοί κόκκοι πρέπει να διαρκούν από 10 έως 30 msec

Είναι αναμενόμενο ότι με το ανέβασμα / χαμήλωμα του τονικού ύψους δε μεταβάλλεται μόνο η θεμέλια συχνότητα (fundamental frequency) αλλά και όλο το φάσμα (spectrum) του ήχου (δηλαδή οι αρμονικοί).

Αλλαγές οποιουδήποτε άλλου ποσοστού (εκτός από οκτάβα για το τονικό ύψος και διπλασιασμός / υποδιπλασιασμός για την ταχύτητα) είναι εφικτές με κατάλληλη αναλογία αλλαγής της συχνότητας δειγματοληψίας και αντιγραφής / διαγραφής ηχητικών κόκκων (Roads 2001, σελ 197).

3.5. Παράμετροι ελέγχου κατά τη διαδικασία της “κοκκοποίησης”.

Σε γενικές γραμμές, ένα λογισμικό “κοκκοποίησης” περιλαμβάνει τις παρακάτω παραμέτρους ελέγχου:

- **Τμήμα του “ήχου-δείγματος”** το οποίο θα χρησιμοποιηθεί.
- **Ταχύτητα** με την οποία αναπαράγεται ο “ήχος-δείγμα”. Αν η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη από την κανονική, το τονικό ύψος του ήχου-δείγματος ανεβαίνει. Αν είναι μικρότερη, το τονικό ύψος κατεβαίνει.

- **Συχνότητα, πλάτος, διάρκεια, σχήμα περιβάλλουσας** και τοποθέτηση στη **στερεοφωνική εικόνα (panning)** των κόκκων που θα παραχθούν.
- **Πυκνότητα (density)** των ηχητικών κόκκων ανά δευτερόλεπτο (**grains/sec**).
- Διάφορα **εφφέ** (ανάλογα με τις δυνατότητες του κάθε λογισμικού) όπως φίλτρα (filters), αντήχηση (reverberation), χρονική καθυστέρηση (delay) κτλ. (Roads 2001, σελ 188).

Όσον αφορά τα ηχητικά σύννεφα, πρέπει να ρυθμιστούν και άλλοι παράμετροι όπως:

- **Χρόνος έναρξης και διάρκεια** του σύννεφου.
- **Εύρος συχνοτήτων** του σύννεφου (= όρια ψηλής και χαμηλής συχνότητας).
- **Περιβάλλουσα** όλου του σύννεφου κτλ.

3.6. Τρόποι ελέγχου των παραμέτρων της “κοκκοποίησης”.

Ο αριθμός των παραμέτρων που χρειάζονται έλεγχο για έναν ηχητικό κόκκο είναι μεγάλος. Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν ότι για ένα ηχητικό σύννεφο που αποτελείται από πολλές χιλιάδες ηχητικούς κόκκους, ο αριθμός των παραμέτρων που χρειάζονται ρύθμιση είναι τόσο μεγάλος, ώστε είναι αδύνατο να ρυθμιστούν μία-μία ξεχωριστά. (Miranda 1998, σελ 113).

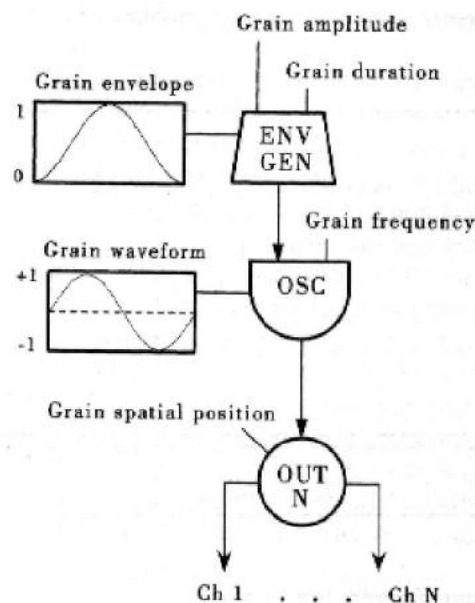
Έπρεπε λοιπόν να εφευρεθούν τρόποι για υψηλού επιπέδου οργάνωση και ομαδοποίηση των παραμέτρων αυτών. Αυτοί είναι διάφοροι αλγόριθμοι ομαδοποίησης παραμέτρων (τιμές συχνότητας, πλάτους, διάρκειας κτλ) ή αλγόριθμοι που να θέτουν τυχαίες αξίες (random values). Γενικά, “**αλγόριθμος**” (**algorithm**) ονομάζεται « μια διαδικασία που δίνει λεπτομερείς οδηγίες που καθορίζουν πώς να γίνει μια εργασία » (Tanenbaum, 2003). Ο τρόπος ελέγχου των παραμέτρων διαφέρει ανάλογα με τον αλγόριθμο που χρησιμοποιεί το κάθε λογισμικό. Μια ελάχιστη αλλαγή στον τρόπο που κάποιος αλγόριθμος οργανώνει μια παράμετρο των ηχητικών κόκκων προκαλεί σημαντικές αλλαγές στο φάσμα του ήχου. Για παράδειγμα:

| | | |
|--------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Μικρή πυκνότητα → | Λίγοι ηχητικοί κόκκοι→ | Απλός ήχος (περισσότερο ασυνεχής) |
| Μεγάλη πυκνότητα → | Πολλοί ηχητικοί κόκκοι → | Σύνθετο φάσμα |

Έχουν χρησιμοποιηθεί όμως και άλλοι, πρωτότυποι τρόποι ελέγχου όπως: κυψελοειδή αυτόματα (cellular automata), population modeling, πιθανότητες, γεωμετρικά fractals κτλ⁴².

3.7. Δομή λειτουργίας των λογισμικών “κοκκώδους” σύνθεσης.

Η απλούστερη δομή λειτουργίας ενός λογισμικού που χρησιμοποιεί την τεχνική της “κοκκώδους” σύνθεσης είναι η εξής: (σχήμα 3.13)⁴³.



(σχήμα 3.13) Η δομή λειτουργίας των λογισμικών Granular Synthesis.

Η καρδιά του συστήματος, ο **ταλαντωτής (oscillator)** παράγει μια **κυματομορφή (waveform)**. Για τον ταλαντωτή χρειάζεται να οριστεί η συχνότητα της **κυματομορφής (frequency)** και το **πλάτος της (amplitude)**, το οποίο με τη σειρά του ορίζεται από μια **περιβάλλουσα (envelope)**. Αυτή την περιβάλλουσα

⁴² Από το World Wide Web: <http://www.sfu.ca/%Edkeller/EcoGranSynth/EGSpaper.html>

⁴³ Roads 2001, σελ 91.

ρυθμίζει η γεννήτρια περιβάλλουσας (envelope generator). Τέλος, ο ηχητικός κόκκος πρέπει να τοποθετηθεί στο πεδίο της στερεοφωνικής εικόνας (panning) (Roads 2001, σελ 90).

Στην κατηγορία της “κοκκοποίησης” ηχητικών δειγμάτων (Granulation of sampled sounds) αντί για τη μονάδα του ταλαντωτή έχουμε το σήμα (= τον ήχο) που προορίζεται για “κοκκοποίηση”. Όλες οι άλλες μονάδες της δομής του λογισμικού λειτουργούν κατά τον ίδιο τρόπο.

3.8. Σύγκριση μεθόδων σε πραγματικό και μη-πραγματικό χρόνο.

Σαν μια συνολική αποτίμηση των τεχνικών της “κοκκοποίησης” ήχου θα μπορούσαμε να πούμε ότι η “κοκκοποίηση” ηχογραφημένου ήχου έχει μεγαλύτερες δυνατότητες σαν τεχνική από την “κοκκοποίηση” σε πραγματικό χρόνο. Ο λόγος είναι επειδή μπορεί πολύ εύκολα να γίνει οποιαδήποτε επεξεργασία αφού ο ήχος είναι ηχογραφημένος. Αντίθετα, η “κοκκοποίηση” σε πραγματικό χρόνο, μας δίνει λιγότερες δυνατότητες επεξεργασίας κυρίως επειδή ο αρχικός ήχος παράγεται εκείνη τη στιγμή. Έτσι δεν έχουμε το πλεονέκτημα της δοκιμής και του πειραματισμού που έχουμε σε κάποιον ηχογραφημένο ήχο. Επίσης δεν έχουμε τα πλεονεκτήματα που θα είχαμε σε κάποιο studio (πρόβα, μικρομοντάζ, επεξεργασία, άνεση χρόνου, μίξη, ακρόαση ανά πάσα στιγμή κτλ) (Roads 2001, σελ 192). Τα πάντα πρέπει να γίνουν τη στιγμή που ο εκτελεστής του μουσικού οργάνου παίζει και αυτό περιορίζει σημαντικά τη δυνατότητά μας να παρέμβουμε και να αλλάξουμε το αρχικό σήμα. Από την άλλη μεριά όμως, με την “κοκκοποίηση” σε πραγματικό χρόνο έχουμε την ικανοποίηση να “πλάθουμε” τον ήχο με τα χέρια μας, πράγμα που είναι πολύ ενδιαφέρον από μουσικής πλευράς.

Η διαδικασία της “κοκκοποίησης” μπορεί να αλλοιώσει τον αρχικό ήχο από ελάχιστα, μέχρι σε τέτοιο βαθμό ώστε να μην είναι πλέον αναγνωρίσιμος.

4. Σχολιασμός της “κοκκώδους” σύνθεσης.

4.1. Κριτική νέων τεχνικών ηλεκτρονικής σύνθεσης (Granular Synthesis).

Η ηλεκτρονική μουσική και ειδικότερα η “κοκκώδης” σύνθεση έχουν υποστεί σκληρή κριτική από τους πολέμιούς τους. Πολλοί υποστηρίζουν ότι η Granular synthesis και οι τεχνικές σύνθεσης με ηχητικά σωματίδια πιο πολύ θόρυβος είναι παρά μουσική. Αν ανατρέξουμε όμως στην ιστορία της μουσικής, κάθε φορά που γινόταν μια μεγάλη καινοτομία στη μουσική, υπήρχαν μνημειώδεις αντιδράσεις από τους “συντηρητικούς” μουσικολόγους και ατελείωτες αντιπαραθέσεις με τους “προοδευτικούς” μουσικολόγους. Όπως αναφέρει ο Roads: « Η ιστορία της μουσικής δείχνει μια συνεχή πάλη ανάμεσα σε προοδευτικές και συντηρητικές τάσεις » (Roads 2001, σελ 345).

Ας μη βάζουμε καλύτερα όρια για το τι είναι τελικά μουσική αφού μόλις καταλαγιάζουν οι αντιδράσεις έπειτα από λίγο καιρό, η τόσο αμφισβητούμενη καινοτομία θεωρείται πια μέρος της μουσικής και δεν την αμφισβητεί κανείς. Ποιος μπορεί σήμερα να πει ότι το δωδεκάφθογγο σύστημα του Σένμπεργκ ή η ατονική (atonal) σύνθεση δεν είναι μουσική; Και όμως όταν έγιναν αυτές οι καινοτομίες πολλοί (και μάλιστα πολύ σοβαροί μελετητές) μιλούσαν για θόρυβο, ασέβεια στη μνήμη των μεγάλων δημιουργών, ακόμη και για καταστροφή της αισθητικής της μουσικής.

4.2. Σύνθεση μουσικής με “κοκκώδη” σύνθεση.

Αν εξετάσουμε ως προς τη **δομή** ένα κομμάτι ηλεκτροακουστικής μουσικής που έχει συντεθεί με ηχητικά σωματίδια, έχουμε να παρατηρήσουμε ότι: στην οργανική μουσική η λογική με την οποία συνθέτει κάποιος συνθέτης είναι σκεφτόμενος τη δομή του κομματιού **“από πάνω προς τα κάτω”** (π.χ. συμφωνία, σονάτα). Δηλαδή από συνθετότερες δομές προς τις απλούστερες. Αντίθετα, στην ηλεκτροακουστική μουσική που έχει συντεθεί με ηχητικά σωματίδια, ο συνθέτης

δημιουργεί το κομμάτι σκεφτόμενος “**από κάτω προς τα πάνω**”. Δηλαδή από τους μικρόηχους δομεί μεγαλύτερα ηχητικά συμβάντα.

Ο Μάκης Σολωμός προλογίζοντας το άρθρο του Ιάννη Ξενάκη “ηχητικά σύμπαντα” παρατηρεί σχετικά ότι τα επίπεδα της μουσικής είναι δύο: με τον όρο “**μακροδομή**” εννοούμε τη μορφή [δηλαδή τη δομή] της μουσικής με την παραδοσιακή ορολογία, ενώ όταν αναφερόμαστε στη “**μικροδομή**” του ήχου εννοούμε τον ίδιο τον ήχο, το υλικό από το οποίο αποτελείται (Σολωμός 2001, σελ XXII). Είναι φανερό ότι ο Ξενάκης είχε στο μυαλό του ακριβώς αυτό: ότι ένα κομμάτι μουσικής μπορεί να έχει δημιουργηθεί είτε “από πάνω προς τα κάτω” (με βάση τη μακροδομή) είτε “από κάτω προς τα πάνω” (με βάση τη μικροδομή).

4.3. Επίλογος.

Φυσικά για να παραχθεί κάποιος ενδιαφέρον ήχος ή ακόμη περισσότερο για να συντεθεί ένα κομμάτι ηλεκτροακουστικής μουσικής που να έχει κάποια καλλιτεχνική αξία χρειάζονται πολλά πράγματα πέρα από το να παίζει κανείς με τους ήχους που συνθέτονται από τα διάφορα λογισμικά. Χρειάζονται βαθιές γνώσεις πάνω στην τεχνική της “κοκκώδους” σύνθεσης και οργάνωση των ιδεών.

Από τη μικρή ενασχόλησή μου με την τεχνική της “κοκκώδους” σύνθεσης έχω πραγματικά εκπλαγεί ανακαλύπτοντας το πόσο πολλοί συνθέτες ασχολούνται με αυτή. Υπάρχουν σίγουρα πολλές εκατοντάδες συνθέσεις με “κοκκώδη” σύνθεση. Όλο και περισσότερα έργα εκδίδονται από μεγάλες δισκογραφικές εταιρίες, από εταιρίες που συγκροτήθηκαν από τους ίδιους τους συνθέτες ή από τα ιδρύματα για τα οποία εργάζονται. Πολλά έργα επίσης πωλούνται στο διαδίκτυο (internet). Υπάρχει σαφώς μια εξέλιξη και αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο.

Αυτά που έχουμε ανακαλύψει όσον αφορά τη μικροδομή του ήχου και το πώς μπορούμε να την χρησιμοποιήσουμε στη μουσική, είναι μόνο η αρχή.

Κλείνοντας αυτή τη μελέτη για τη Granular Synthesis, ας μου επιτραπεί να αναφέρω ορισμένες φράσεις, διάσημων ανθρώπων σχετικά με το ζήτημα των ηχητικών σωματιδίων:

« Στο μέλλον (...) ο συνθέτης (...) θα βρεθεί αντιμέτωπος όχι μόνο με το συνολικό πεδίο των ήχων, αλλά επίσης και με το συνολικό πεδίο του χρόνου. Το “κλάσμα” του δευτερολέπτου (...) θα είναι πιθανώς η βασική μονάδα για τη μέτρηση του χρόνου » (Cage ,1937)⁴⁴.

« Η επιστήμη χρειάστηκε χιλιάδες χρόνια για να ανακαλύψει ότι η μικροδομή της ύλης (...) ακόμη και του χρόνου είναι ασυνεχής και κβαντική » (Hawking και Penrose, 1996).

« Κάτω από το επίπεδο της νότας βρίσκεται το βασίλειο του “μικρόηχου”, των σωματιδίων που αποτελούν τον ήχο (...) Τα σωματίδια του μικρόηχου παρέμεναν αόρατα για αιώνες. Οι πρόσφατες τεχνολογικές ανακαλύψεις μας επιτρέπουν να εξερευνήσουμε τις ομορφιές αυτού του πρωτύτερου αόρατου κόσμου » (Roads, 2001).

« Με τη βοήθεια των ηλεκτρονικών υπολογιστών, ο συνθέτης γίνεται ένα είδος πιλότου (...) που ταξιδεύει στο χώρο του ήχου, διαμέσου ηχητικών αστερισμών και γαλαξιών ». (Γάλλης Ξενάκης, 1992).

⁴⁴ Roads 2001, σελ 329.

ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΕΡΟΣ

1. Εισαγωγή

Σε αυτή την ενότητα θα επιχειρηθεί η πρακτική εφαρμογή των περισσότερων από τις θεωρητικές αναλύσεις που παρουσιάστηκαν έως το σημείο αυτό με σκοπό τη δημιουργία ήχου - μουσικής.

Η πρακτική εφαρμογή θα γίνει με την ανάλυση προγραμμάτων λογισμικού (software) που έχουν επιλεγεί σύμφωνα με ορισμένα κριτήρια όπως:

- Να είναι εύκολο να τα προμηθευτεί ο ενδιαφερόμενος από το διαδίκτυο (**internet**).
- Να διανέμονται **δωρεάν** (τουλάχιστον η αρχική τους έκδοση- pc version).
- Να “τρέχουν” σε έναν **ηλεκτρονικό υπολογιστή (PC)** με μια σχετικά καλής ποιότητας κάρτα ήχου.
- Να περιλαμβάνουν **όλες τις παραμέτρους της “κοκκώδους”** σύνθεσης, χωρίς να υστερούν στην ποιότητα του τελικού ήχου.
- Να είναι σχετικά **εύχρηστα** για τον κάθε χρήστη που θα αφιερώσει κάποιο χρόνο για να ανακαλύψει τις δυνατότητές τους.
- Να είναι **φιλικά προς το χρήστη**, δηλαδή να υπάρχει αλληλεπίδραση μαζί του μέσω γραφικών (graphic interface).
- Να υπάρχει μια σχετική πορεία μετάβασης στην εκμάθησή τους, από το ευκολότερο σε κάποιο πιο σύνθετο και τέλος σε κάπως πιο δύσκολο λογισμικό.
- Να είναι πλήρως συμβατά με το **πρωτόκολλο M.I.D.I. (Musical Instruments Digital Interface, πρωτόκολλο ψηφιακής διασύνδεσης μουσικών οργάνων)**.

Αυτή η εργασία δε βασίστηκε στην ανάλυση συνθετότερων προγραμμάτων όπως η **Csound** η **Jmusic** και η **MAX** επειδή αυτά τα λογισμικά απαιτούν εξειδικευμένες γνώσεις μουσικού προγραμματισμού και πολύχρονη εκμάθηση. Αυτές οι γνώσεις δε θα μπορούσαν να αποκτηθούν στα πλαίσια μιας μελέτης της “κοκκώδους” σύνθεσης που γίνεται με σκοπό μια διπλωματική εργασία.

Επίσης, τα τελευταία χρόνια υπάρχουν πολλοί προγραμματιστές που έχουν κυκλοφορήσει λογισμικά “κοκκοποίησης” που όχι μόνο δεν υστερούν σε σχέση με τα προγράμματα μουσικού προγραμματισμού, αλλά έχουν πραγματικά πάρα πολλές δυνατότητες.

2. Λογισμικά “κοκκώδους” σύνθεσης.

2.1. Εισαγωγή.

Τα λογισμικά που εκπληρώνουν όλες τις παραπάνω προϋποθέσεις και αναλύονται (από το απλούστερο προς το συνθετότερο) είναι τα παρακάτω:

- **A** → “**Granulator**” του Nicolas Fournel
- **B** → “**GranuLab**” του Rasmus Ekman
- **Γ** → “**Crusher-x live**” του Joerg Stelkens.

Ας επισημανθεί ότι ο σκοπός αυτού του κεφαλαίου δεν είναι να αποτελέσει ένα εγχειρίδιο εκμάθησης των λογισμικών, αλλά να παρουσιάσει τις κυριότερες δυνατότητές τους (όσον αφορά το πεδίο της “κοκκοποίησης” ήχου – δείγματος σε πραγματικό χρόνο), να τα αξιολογήσει και να τα συγκρίνει. Κατά τη γνώμη μου, όλα αυτά τα λογισμικά έχουν τη δική τους αξία γιατί το καθένα έχει δυνατότητες που δεν έχει κάποιο άλλο. Ακόμη, όλα έχουν θετικά και αρνητικά στοιχεία ή κάνουν την ίδια επεξεργασία με διαφορετικό τρόπο ή με διαφορετική ποιότητα του τελικού ήχου. Συνεπώς, δε μπορούμε να προτιμήσουμε κάποιο σύνθετο λογισμικό σε βάρος κάποιου απλού γιατί δεν υπάρχει ακόμη το “απόλυτο” λογισμικό χωρίς κανένα ελάττωμα, μιας και η “κοκκώδης” σύνθεση είναι μια κατηγορία ηλεκτρονικής σύνθεσης που πρόκειται να εξελιχθεί πολύ στο μέλλον. Λεπτομερείς πληροφορίες για τη λειτουργία των λογισμικών υπάρχουν στα αντίστοιχα **Help menus** που τα συνοδεύουν.

A. Granulator

Το κυρίως παράθυρο του προγράμματος:



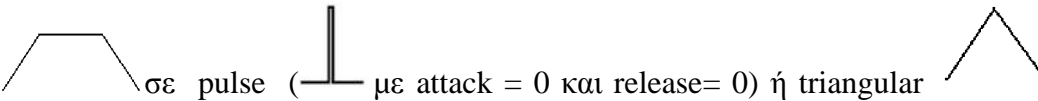


1. Εισαγωγή.

Πρόκειται για ένα σχετικά απλό πρόγραμμα “κοκκοποίησης” ήχου – δείγματος σε πραγματικό χρόνο. Διανέμεται στο διαδίκτυο από τη διεύθυνση: www.nicolasfournel.com/granulator.htm

Το Granulator είναι αρκετά κατανοητό ως προς τη δομή του. Οι παράμετροι ελέγχου του είναι κατανεμημένοι σε θεματικές ενότητες – τομείς (Oscillator, Events, Filter, Envelope, Amplifier, Delay). Σε γενικές γραμμές, όλες οι παράμετροι ρυθμίζονται από **περιστρεφόμενα ποτενσιόμετρα (knobs)**. Κάτω από κάθε μία παράμετρο υπάρχει ένα knob που ρυθμίζει το ποσοστό τυχαιότητας (**randomness**) αυτής της παραμέτρου.

2. Γενικές ιδιότητες του προγράμματος:

- Το κουμπί “**Save**” αποθηκεύει απλώς το project (δηλαδή τις ρυθμίσεις των knobs) και όχι τον ήχο. Αντίστοιχα, το κουμπί “**Load**” ανακαλεί το project. Για να αποθηκευτεί ο ήχος σε αρχείο μορφής WAV, πατάμε το κουμπί Record. Το knob “**Offset**” ορίζει το σημείο έναρξης του ήχου που θα γίνει “λούπα”.
- Για να φορτωθεί έναν ήχο – δείγμα κάνουμε διπλό κλικ στο παράθυρο “**Waveform**”.
- Η περιβάλλουσα (**Envelope**) μπορεί να αλλάξει από:

σε pulse ( με attack = 0 και release = 0) ή triangular 
(με attack = 127 και release = 127).

3. Θετικά στοιχεία του λογισμικού Granulator.

- Η κάθε παράμετρος έχει ρύθμιση “**Random**” .
- Οι τιμές των knobs κυμαίνονται από **0** έως **127**, που παραπέμπουν στις εντολές του πρωτοκόλλου **M.I.D.I.**
- Έχει τμήμα κατωδιαβατού φίλτρου (**Lowpass Filter**) με κλίση (**Slope**) **24 db / οκτάβα**. Επίσης, υπάρχει και **συντονισμός (Resonance)** του φίλτρου.
- Έχει τμήμα καθυστέρησης του ήχου (**Delay**) με δυνατότητα επανατροφοδότησης (**Feedback**) της καθυστέρησης.
- Παράγει τελικό, στερεοφωνικό ήχο με ποιότητα CD, δηλαδή με συχνότητα δειγματοληψίας **44.1 kHz** και ανάλυση **16-bit** .
- Στο πάνω μέρος του παραθύρου υπάρχει ένδειξη για το βαθμό επιβάρυνσης του επεξεργαστή (**CPU load**) σε ποσοστό επί τοις 100.
- Αναπαράγει τους ήχους – δείγματα πριν τους φορτώσει.
- Έχει παράθυρο γραφικής απεικόνισης της κυματομορφής του ήχου – δείγματος.

4. Αρνητικά στοιχεία του λογισμικού Granulator.

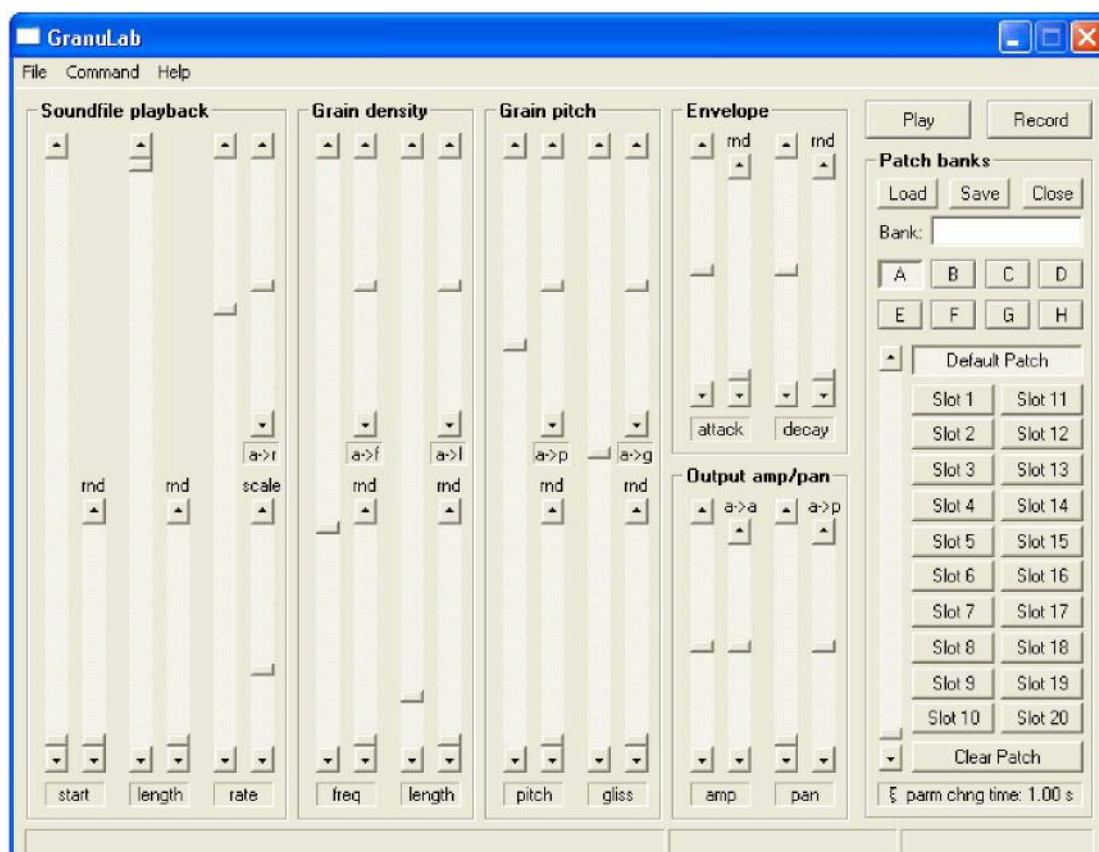
- Δεν υπάρχει η δυνατότητα να επιλεγεί ένα οποιοδήποτε μέρος του ήχου – δείγματος. Μπορεί να οριστεί μόνο η αρχή, ενώ το τέλος της “λούπας” πρέπει υποχρεωτικά να συμπίπτει με το τέλος του ήχου – δείγματος.
- Δε μπορούν να επιλεγούν διάφορα σχήματα περιβάλλουσας.
- Δε μπορεί να αποθηκεύει τις ρυθμίσεις σαν συνέχεια η μία της άλλης.
- Δεν υπάρχει η δυνατότητα να “φορτωθούν” πολλοί sampled sounds ταυτόχρονα (όπως στο Crusher-x).
- Δεν υπάρχει η δυνατότητα πληκτρολόγησης τιμών στα knobs.
- Δε μπορεί να γίνει αναίρεση μιας αλλαγής κάποιας παραμέτρου (Undo).

5. Κριτική του λογισμικού Granulator.

Πολύ εύχρηστο πρόγραμμα που με ευκολία μπορεί κανείς να το χειριστεί. Δε μπορεί να γίνει ρύθμιση με ακρίβεια μερικών παραμέτρων όπως το τέλος της “λούπας” και αυτό είναι πολύ δεσμευτικό και αναμφίβολα σημαντικό μειονέκτημα. Επίσης, ο τομέας που εισάγεται ο ήχος – δείγμα δε θα έπρεπε να επιγράφεται ως **“Oscillator”** (ταλαντωτής) γιατί ο ταλαντωτής παράγει μόνο του συνθετικό ήχο. Εδώ ο ήχος όχι μόνο δεν είναι συνθετικός, αλλά ούτε παράγεται, αφού τον “φορτώνουμε” έτοιμο. Καλό θα ήταν ο τομέας αυτός να επιγράφεται ως: **“soundfile playback”** ή **“sampler”**.

B. GranuLab.

Το κυρίως παράθυρο του προγράμματος:



1. Εισαγωγή.

Το GranuLab είναι πιο σύνθετο λογισμικό από το Granulator. Είναι και αυτό πρόγραμμα “κοκκοποίησης” ήχου – δείγματος σε πραγματικό χρόνο και διανέμεται στο διαδίκτυο από τη διεύθυνση: <http://hem.passagen.se/rasmuse/Granny.htm>

Οι παράμετροι είναι ομαδοποιημένοι και εδώ σε θεματικές ενότητες – τομείς (Soundfile playback, Grain density, Grain pitch, Envelope, Output amp / pan και Patch banks). Ο εισερχόμενος ήχος – δείγμα γίνεται “λούπα”.

Όλες οι παράμετροι ρυθμίζονται από **συρόμενα ποτενσιόμετρα (Faders)**. Τα μεγάλα faders είναι οι κύριες παράμετροι ελέγχου. Δίπλα από σχεδόν κάθε παράμετρο υπάρχει ένα fader που ρυθμίζει το ποσοστό τυχαιότητας (**randomness**)

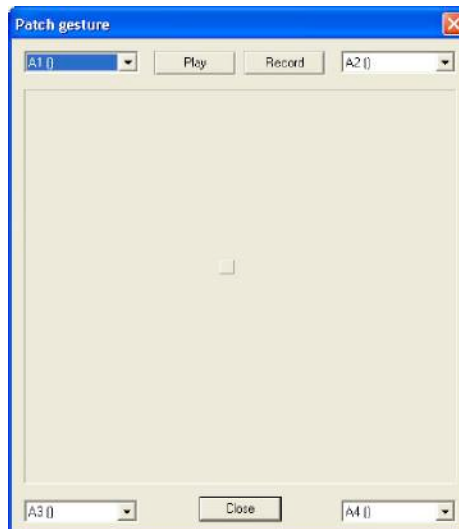
αυτής της παραμέτρου ή / και ένα fader **Amplitude Modulation “a→x”** (όπου x = η κάθε παράμετρος) για διαμόρφωση της τιμής του μεγάλου fader από το πλάτος του ήχου – δείγματος. Όταν φορτώνεται ο ήχος, ο αλγόριθμος του προγράμματος αναλύει την περιβάλλουσα πλάτους του. Στη συνέχεια, αυτή η περιβάλλουσα πλάτους, μπορεί να ελέγξει πολλές παραμέτρους. Στην ουσία, το “a→x” αναφέρεται στο πόσο θα επηρεάζει το πλάτος του εισερχόμενου ήχου την κάθε παράμετρο δηλ. είναι σαν να καθορίζει το ποσοστό της μίξης ανάμεσα στον αρχικό και τον τροποποιημένο ήχο.

2. Γενικές ιδιότητες του προγράμματος:

- “Φορτώνει” **16 bit WAV** ήχους.
- Η πυκνότητα (**Density**) καθορίζεται από τη συχνότητα του κάθε κόκκου και τη διάρκειά του.
- Για κάθε grain η **περιβάλλουσα** ρυθμίζει το ποσοστό επί τις εκατό του μήκους του grain που κάνει fade in (attack) και fade out (decay). Δηλαδή:

| | |
|--------------------------|---------------------|
| 100 % (μέγιστη τιμή) → | Πιο ομαλό fade out. |
| 0.39 % (ελάχιστη τιμή) → | Γρήγορο fade out. |

- Το “**Panning**” (**Pan**) ορίζει ποσοστό επί τις εκατό της τυχαιότητας (randomness) του panning.
- Το “**Portamento fader** ” καθορίζει το χρόνο που θα χρειαστεί για να ακουστεί η αλλαγή μιας παραμέτρου. Αν ο χρόνος αυτός είναι μεγάλος, η αλλαγή γίνεται σταδιακά.
- Το “**Patch gesture window**” (σχήμα 1) (menu: Command / Open gesture window). Πρόκειται για ένα τρισδιάστατο πεδίο όπου μπορούν να επιλεγούν έως τέσσερα Patches και κουνώντας το ποντίκι συμβαίνει ένα ξεχωριστό εφέ: Μπορούμε να έχουμε μετάβαση από το ένα Patch στο άλλο σε real time. Ακόμη, μπορούμε να ηχογραφήσουμε τον τελικό ήχο με το κουμπί **Record**.



(σχήμα 1) Το “Patch gesture window”

3. Θετικά στοιχεία του λογισμικού GranuLab.

- Real time-expansion / compression χωρίς ταυτόχρονη αλλαγή του τονικού ύψους του ήχου (menu: Soundfile Playback / Rate) και το αντίθετο (real-time pitch sifting χωρίς ταυτόχρονη αλλαγή στην ταχύτητα του ήχου – menu: Grain pitch / Pitch).
- Το “**Gesture window**” που διαθέτει (menu: Command / Open Gesture Window) είναι ένα πολύτιμο εργαλείο που δεν υπάρχει σε παρόμοιο πρόγραμμα Granulation.
- Το εφέ του “**glissando**” δεν υπάρχει σε άλλο, παρόμοιο λογισμικό.
- Το fader “**a→x**” (**Amplitude Modulation**) υπάρχει μόνο στο GranuLab.
- Αποθηκεύει όλες τις αλλαγές των παραμέτρων σε “**Patches**” και “**Banks**” (Εως 160 αλλαγές όλων των faders). Η αποθήκευση γίνεται πατώντας Shift + Click πάνω στα Slots. (Οι Patches και Banks αποθηκεύουν μόνο ρυθμίσεις και όχι ήχους).
- Δυνατότητα επαναφοράς στον αρχικό ήχο με το κουμπί “**Default Patch**”.
- Υπάρχει η δυνατότητα όταν πατάμε το κουμπί “**stop**”, ο ήχος να κάνει fade out (menu: Command / Grain Generation Options / **Soft Stop Play**).
- Το λογισμικό είναι πλήρως ελεγχόμενο από το πρωτόκολλο M.I.D.I.

- Υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής της συχνότητας δειγματοληψίας (sampling rate) και της καθυστέρησης (latency) έως 48 kHz και 0.02 sec αντίστοιχα (Menu: Command / **I/O options**).

4. Αρνητικά στοιχεία του λογισμικού GranuLab.

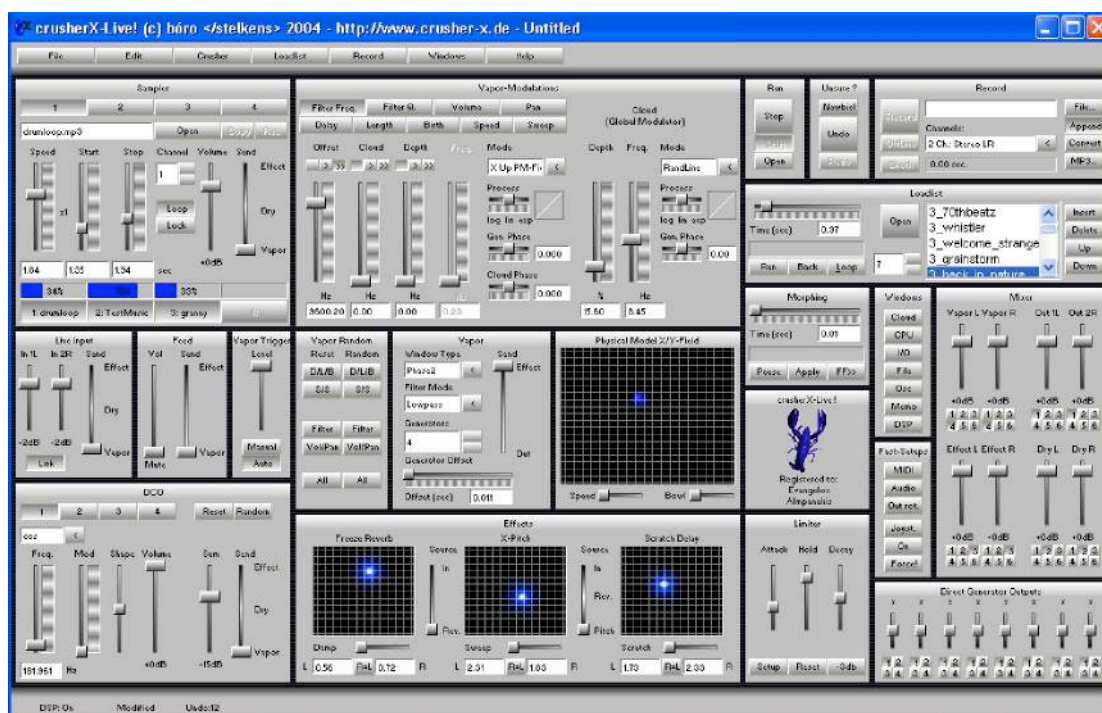
- Δε δέχεται μεγάλη πυκνότητα ηχητικών κόκκων (Density). Αν ορίσουμε μεγάλη πυκνότητα ο επεξεργαστής υπερφορτώνεται και το πρόγραμμα “κολλάει” (“ξεκολλάει” πατώντας το πλήκτρο “Q”, πράγμα το οποίο δεν δουλεύει πάντα). Αν όμως η επεξεργασία που κάνουμε δε γίνεται σε πραγματικό χρόνο, τότε υπάρχουν λιγότερες πιθανότητες να κολλήσει το πρόγραμμα.
- Δεν υπάρχει η δυνατότητα να “φορτωθούν” πολλοί sampled sounds ταυτόχρονα (όπως το Crusher-x).
- Η περιβάλλουσα (envelope) εκτός από attack και decay δεν έχει ενδιάμεσα στάδια διαμόρφωσης.
- Δε μπορούν να επιλεγούν διάφορα σχήματα περιβάλλουσας.
- Δεν υπάρχουν τομείς Filter, Delay, Feedback και διάφορα άλλα εφφέ (όπως το Granulator και το Crusher-x).
- Δεν υπάρχει η δυνατότητα πληκτρολόγησης τιμών στα faders .
- Δε μπορεί να γίνει αναίρεση μιας αλλαγής κάποιας παραμέτρου (Undo).

5. Κριτική του λογισμικού GranuLab.

Πρόκειται για ένα λογισμικό με πολλές δυνατότητες. Αυτές που ξεχωρίζουν είναι το **Real time-expansion / compression χωρίς αλλαγή του τονικού ύψους του ήχου** και το αντίθετο **real-time pitch sifting χωρίς αλλαγή στην ταχύτητα του ήχου**. Επίσης, πολύ σημαντικό είναι το **“Patch Gesture Window”**. Τέλος, το μεγάλο μέγεθος των faders είναι θετικό στοιχείο γιατί όσο πιο μεγάλο είναι ένα fader, τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια έχει.

Γ. Crusher-x

Το κυρίως παράθυρο του Crusher-x:



1. Εισαγωγή.

Το Crusher-x είναι ένα πανίσχυρο, πολυκάναλο πρόγραμμα “κοκκοποίησης” ήχου – δείγματος σε πραγματικό χρόνο και διανέμεται στο διαδίκτυο από τη διεύθυνση: <http://www.crusher-x.de/>

Το κυρίως παράθυρό του είναι χωρισμένο σε τομείς εισαγωγής (Sampler, Live Input⁴⁵), παραγωγής (DCO), επεξεργασίας ήχου (Vapor-Modulations, Vapor, Vapor Random, Vapor Trigger, Feed, Physical Model X/Y-Field, Effects, Limiter) και βοηθητικούς τομείς (Mixer, Direct Generator Outputs, Morphing, Record⁴⁶, Loadlist, Windows, Fast-Setups).

Όλες οι παράμετροι ρυθμίζονται από **συρόμενα ποτενσιόμετρα (Faders)** ή **κουμπιά (Buttons)**.

⁴⁵ Ο τομέας Live Input στην demo version είναι απενεργοποιημένος.

⁴⁶ Ο τομέας Record στην demo version είναι απενεργοποιημένος.

Όλοι οι τομείς εισαγωγής και παραγωγής μπορούν να δρομολογηθούν στους τομείς επεξεργασίας ήχου με ποτενσιόμετρα που ονομάζονται **send faders**.

2. Γενικά θετικά στοιχεία του προγράμματος.

- Ο χρόνος “αντίδρασης” από τη στιγμή που θα γίνει μια αλλαγή στα ποτενσιόμετρα μέχρι αυτή να ακουστεί κυμαίνεται από 1 msec έως 27 min (τομέας **Morphing**). Στην περίπτωση που οριστεί μεγάλη χρονική αξία “αντίδρασης” του προγράμματος, η αλλαγή γίνεται σταδιακά, δημιουργώντας ένα εφφέ τύπου **Fade in**.
- Έξοδος ήχου (**output**) έως 10 κανάλια!
- Σχεδόν κάθε παράμετρος ελέγχεται από M.I.D.I. ή Joystick (περίπου 80 παράμετροι).
- Το **Mixer** ομαδοποιεί τα faders.
- Υποστηρίζει **ASIO**⁴⁷ **drivers**, και τα πρωτόκολλα **VST**⁴⁸ και **Direct-x**⁴⁹.
- Μεγάλος αριθμός **Undo / Redo**.
- Υπάρχει **Loadlist**, η οποία είναι απαραίτητη για τη δημιουργία ενός κομματιού με συνέχεια (κάτι αντίστοιχο υπάρχει και στο GranuLab).
- Τα Faders μπορούν να κουνηθούν και με το ροδάκι του ποντικιού. Επίσης, στα δεξιά σχεδόν κάθε fader υπάρχει ένας τροχός που κουνιέται με το ποντίκι για μεγαλύτερη ακρίβεια του αντίστοιχου fader.
- Υπάρχει **compressor / limiter** και συνολική περιβάλλουσα με attack / hold / decay για την αποφυγή υπερφόρτωσης του επεξεργαστή (overload).
- Οι μονάδες μπορούν να ελεγχθούν και με **Joystick**.
- Δυνατότητα μετατροπής του τελικού ήχου από WAV σε μορφή **MP3** και από Stereo σε Mono .

⁴⁷ Οι ASIO drivers παρέχουν γενικά καλύτερη ποιότητα ήχου και πολύ μικρή καθυστέρηση (latency).

⁴⁸ Συνδέει το λογισμικό το host σαν soft-synth με κάποιο πρόγραμμα τύπου sequencer (Cubase, Logic).

⁴⁹ Drivers των Windows. Σχετικά χαμηλή ποιότητα ήχου και μεγάλο latency.

3. Τομέας εισαγωγής ήχου – δείγματος (Sampler).

Θετικά.

- Φορτώνει ταυτόχρονα έως και **τέσσερα Samples WAV ή MP3** με έλεγχο στο καθένα της ταχύτητας αναπαραγωγής καθώς και της αρχής και τέλους της “λούπας”.
- Τα Samples έχουν το καθένα διαφορετικό fader έντασης και δρομολόγησης (send) στους τομείς Vapor ή Effect.

4. Τομέας ταλαντωτών (DCO)

Θετικά

- Υπάρχουν τέσσερις ταλαντωτές **DCO (Digitally Controlled Oscillators)**. Ο καθένας μπορεί να έχει κυματομορφή (**waveform**) τύπου **sin / cos / saw / triangle / rect** ή **random**.
- Υπάρχει η δυνατότητα **αλλαγής της φάσης της κυματομορφής** (shape fader). Επίσης, υπάρχει fader που ρυθμίζει το πόσο θα επηρεάζεται το τονικό ύψος του ταλαντωτή από τον άλλο ταλαντωτή (modulation fader).
- Κάθε ταλαντωτής έχει ξεχωριστό fader έντασης
- Υπάρχει η δυνατότητα αναίρεσης (**reset**) και επιλογής τυχαίων παραμέτρων (**random**).

5. Τομέας εφφέ (Effects).

Στον τομέα αυτό παρατηρούμε πεδία 2 διαστάσεων (**X/Y fields**) για μεγαλύτερη ευκολία προγραμματισμού.

- Εφφέ **Reverb**: Οι διαστάσεις X/Y αντιστοιχούν στις διαστάσεις L/R του χώρου.
- Εφφέ **Pitch Shifter**: Με το συγκεκριμένο εφφέ γίνεται ανέβασμα τονικού ύψους (με ταυτόχρονη αλλαγή της ταχύτητας αναπαραγωγής) **σε κάθε κανάλι L/R ξεχωριστά.**
- Εφφέ **Scratch Delay**: Πρόκειται για ένα εφφέ τύπου Scratch.

6. Τομέας αλγορίθμου.

6.1. Τομέας παραγωγής των ηχητικών κόκκων (Vapor).

Στον αλγόριθμο μπορούμε να ορίσουμε πόσες γεννήτριες (**Generators**) θα παράγουν τους ηχητικούς κόκκους. Για την κάθε μία γεννήτρια μπορούν να οριστούν επίσης περιβάλλουσα των ηχητικών κόκκων και όλα τα διαθέσιμα είδη φίλτρων (Lowpass, Highpass, Bandpass, Bandstop, Bypass = απενεργοποίηση του φίλτρου). Το είδος της περιβάλλουσας φαίνεται στο Cloud Window (βλ παρακάτω). Επίσης, μπορεί να γίνει αποσυγχρονισμός των γεννητριών με αλλαγή της φάσης (Generator Offset) των γεννητριών, δηλαδή οι γεννήτριες να μη παράγουν ηχητικούς κόκκους ταυτόχρονα αλλά η μία μετά την άλλη με χρονική διαφορά από 0 έως 1 sec.

6.2. Τομέας ελέγχου και διαχείρισης των ηχητικών κόκκων (Vapor Modulations).

Σε αυτό τον τομέα το Crusher-x πραγματικά υπερέχει καθώς οι ρυθμίσεις που μπορούν να γίνουν είναι λεπτομερέστερες και καθορίζουν ακόμη και την πιο μικρή παράμετρο του τελικού ήχου.

Ρυθμίσεις που αφορούν μόνο τους ηχητικούς κόκκους.

Γενικά, υπάρχουν πολλά εφφέ, το καθένα από τα οποία έχει διάφορες ρυθμίσεις για το πόσο μεγάλη θα είναι η ακρίβεια διαμόρφωσης των παραμέτρων (**Modulation Depth**) και το πόσο θα επηρεάσει το εφφέ τη συχνότητα και τον συνολικό ήχο του σύννεφου (**Cloud Modulation Depth**).

Εφφέ Delay → Από εδώ ορίζεται η χρονική καθυστέρηση που θα έχουν οι ηχητικοί κόκκοι.

Εφφέ Length → Ορίζεται το μήκος των grains.

Εφφέ Birth → Ορίζεται ο χρόνος που μεσολαβεί για την παραγωγή των grains.

Εφφέ Speed → Τονικό ύψος των grains (μπορεί να γίνει pitch shift έως και τέσσερις φορές πάνω ή κάτω από το αρχικό τονικό ύψος)

Εφφέ Sweep → Ορίζει το “glissando” στο εφφέ speed.

Filter → Ο τύπος του φίλτρου ορίζεται από τον τομέα Vapor.

Filter Bandwidth → Ρυθμίζει το εύρος το φίλτρου.

Volume → Ορίζει την ένταση των γεννητριών.

Pan → Ρυθμίζει τη θέση των ηχητικών κόκκων στο στερεοφωνικό πεδίο.

Ρυθμίσεις που αφορούν το ηχητικό σύννεφο.

Cloud Modulation → Υπάρχει ξεχωριστός ταλαντωτής για το τελικό ηχητικό σύννεφο. Ο ταλαντωτής μπορεί να έχει διάφορες κυματομορφές και να μιξάρεται με τους άλλους ήχους με το **Cloud fader**.

Τέλος, υπάρχει ένα πεδίο δύο διαστάσεων (**Physical Model X/Y field**) για έλεγχο διαφόρων παραμέτρων που δρομολογούνται στο X/Y field από τα pop-up menus που βρίσκονται στους τομείς Vapor και Vapor-Modulations.

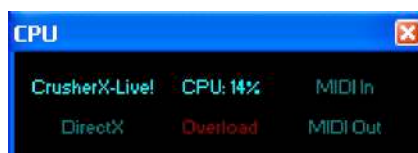
6.3. Επίλογος.

Όπως βλέπουμε, τα εφφέ καλύπτουν πλήρως τις απαιτήσεις και μάλιστα με ρυθμίσεις σε διάφορα επίπεδα της δομής του σύννεφου (από τον παραμικρό ηχητικό κόκκο, μέχρι ρυθμίσεις για μεγαλύτερες ομάδες ηχητικών κόκκων και τελικά ρυθμίσεις για το ίδιο το σύννεφο). Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί δεν αρκεί να υπάρχει απλώς η πρόσβαση και στο πιο απειροελάχιστο σωματίδιο του ήχου, αλλά πρέπει ταυτόχρονα αυτά τα απειροελάχιστα σωματίδια να οργανώνονται με κάποιο τρόπο σε όλο και μεγαλύτερες δομές. Να σχηματίζουν δηλαδή όλο και μεγαλύτερα ηχητικά συμβάντα με τελικό επίπεδο οργάνωσης το ίδιο το ηχητικό σύννεφο. Αυτό το σύστημα οργάνωσης από χαμηλότερες δομές προς τις υψηλότερες είναι απαραίτητο ώστε ο ήχος να έχει μια εσωτερική εξέλιξη και κάποιο ενδιαφέρον.

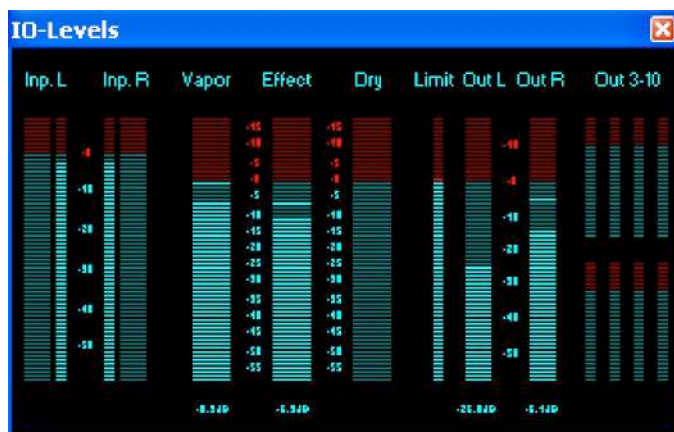
7. Παράθυρα του Crusher-x.

Τα παράθυρα που υπάρχουν είναι:

CPU → Δείχνει το ποσοστό επιβάρυνσης του επεξεργαστή από το πρόγραμμα.



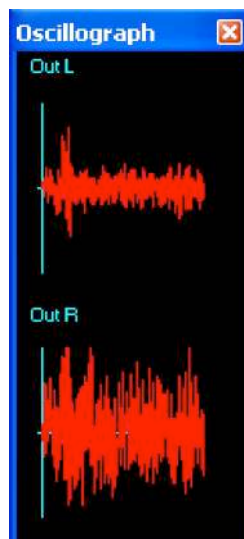
I/O → Δείχνει τις στάθμες των διαφόρων τομέων του προγράμματος.



File → Δείχνει τις στάθμες των εισερχόμενων ήχων – δειγμάτων.



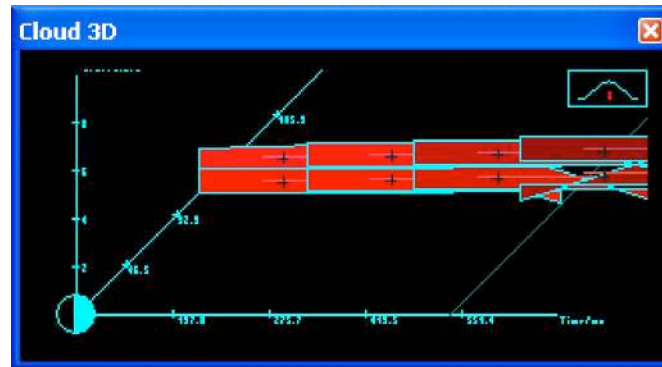
Oscillograph → Δείχνει την τελική κυματομορφή σε δύο κανάλια.



Cloud 3D →

- Άξονας X → παριστάνονται οι παράμετροι Length, Birth.
- Άξονας Z → παριστάνεται η καθυστέρηση (Delay).
- Αριθμός παραθύρων → ο αριθμός των γεννητριών.
- Χρώμα των παραθύρων → παριστάνεται η παράμετρος speed (μπλε = 1%, άσπρο = 200%, κόκκινο = 100%).
- + ή - → sweep προς τα κάτω ή προς τα πάνω.
- Η φωτεινότητα (Brightness) των παραθύρων παριστάνει τη συχνότητα του φίλτρου.

- Το ύψος των παραθύρων παριστάνει την ένταση των ηχητικών κόκκων.
- Το τριγωνάκι δεξιά ή αριστερά δείχνει τη θέση στη στερεοφωνική εικόνα (panning).



8. Κριτική του λογισμικού Crusher-x.

Το Crusher-x έχει μοναδικές δυνατότητες επεξεργασίας. Το interface του με μια ματιά φαίνεται δύσκολο στην εκμάθηση, όμως αν αναλογιστούμε πόσο περίπλοκες διεργασίες ελέγχει, τότε δε θα το χαρακτηρίζαμε έτσι. Στο λογισμικό ξεχωρίζουν η είσοδος ήχου για επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο, ο τομέας της παραγωγής και ελέγχου των ηχητικών κόκκων και τα πολύ ποιοτικά εφέ.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στο παράρτημα παρουσιάζονται ορισμένα θέματα που έχουν έμμεση σχέση με την εργασία αυτή. Περιγράφεται μία πολύ σημαντική προϋπόθεση για την επεξεργασία του ήχου με ηλεκτρονικό υπολογιστή: **η ψηφιοποίηση του ήχου**. Επίσης, αναφέρεται συνοπτικά μία από τις διαδικασίες που ακολουθούνται σήμερα για να γίνει ανέβασμα / χαμήλωμα του τονικού ύψους ενός ήχου, με αλλαγή της χρονικής του διάρκειας.

1. Ψηφιοποίηση του ήχου.

1.1. Εισαγωγή.

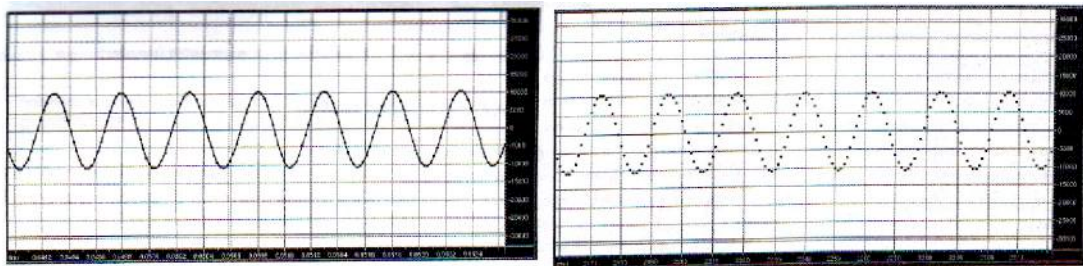
Αναλογικό – ακουστικό σήμα (analog signal) ονομάζεται ο ήχος, όπως καταγράφεται π.χ. από ένα μικρόφωνο. Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές (H/Y) όμως είναι ψηφιακά μηχανήματα που αντιλαμβάνονται μόνο διακρίσεις ανάμεσα στα ψηφία 1 (= περνάει ρεύμα) και 0 (= δεν περνάει ρεύμα) (δυναδικό σύστημα). Για να εισάγουμε ένα ψηφιακό σήμα στον H/Y για επεξεργασία πρέπει το σήμα αυτό να μετατραπεί σε **ψηφιακό (digital signal)**. Αυτή η μετατροπή γίνεται στην **κάρτα ήχου (soundcard)** του H/Y όπου υπάρχουν δύο μετατροπείς: ο **ADC (Analog-to-Digital Converter)** “μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό” και ο **DCA (Digital-to-Analog Converter)** “μετατροπέας ψηφιακού σήματος σε αναλογικό” (Miranda 1998, σελ 1-3). Ο πρώτος μετατροπέας κάνει δυνατή την εισαγωγή του ήχου στον H/Y και ο δεύτερος επιτρέπει την αποκωδικοποίηση του ψηφιακού σήματος σε αναλογικό ήχο που παίζεται από τα ηχεία (Roads 1996, σελ 24).

Ψηφιοποίηση λέγεται η διαδικασία μετατροπής του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Η ψηφιοποίηση γίνεται με τη διαδικασία της δειγματοληψίας (sampling).

1.2. Δειγματοληψία (sampling).

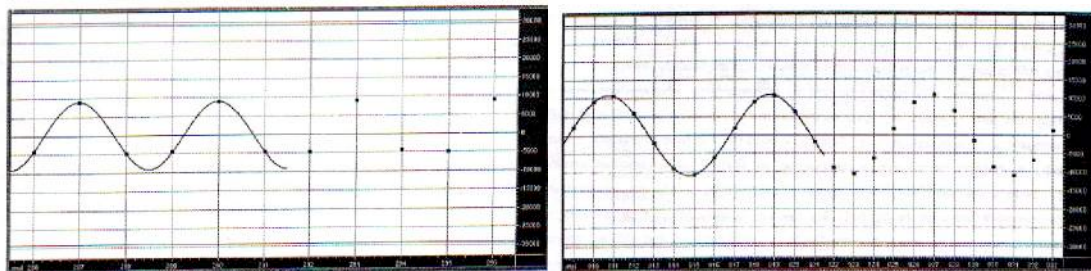
- Συχνότητα δειγματοληψίας (sampling frequency)⁵⁰.

Στη δειγματοληψία, λαμβάνονται τιμές πλάτους του ηχητικού κύματος. Ο αριθμός των τιμών αυτών ρυθμίζεται από τη **συχνότητα δειγματοληψίας (sampling frequency)**. Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα δειγματοληψίας, τόσο περισσότερες τιμές πλάτους παίρνουμε από το κύμα, άρα έχουμε πιστότερη ψηφιοποίηση του σήματος (σχήμα 1.1). Αν έχουμε πολλές τιμές πλάτους η απόδοση του αρχικού κύματος είναι πολύ πιστή. Με τη δειγματοληψία γίνεται κβαντισμός του χρόνου (**time quantization**) (Παπαδέλης 2001, σελ 10).



(σχήμα 1.1) Απεικόνιση ενός τόνου 2 kHz: α) αναλογική β) ψηφιακή.

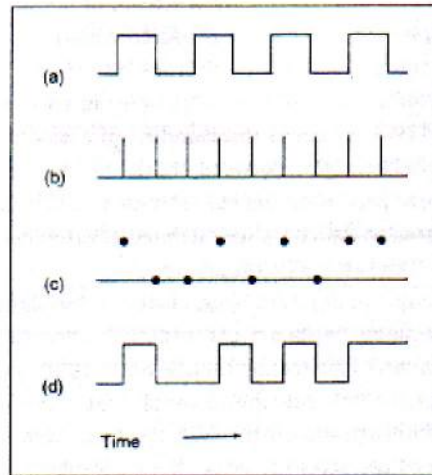
Από την άλλη μεριά, αν η συχνότητα δειγματοληψίας είναι πολύ μικρή (σχήμα 1.2), τότε η κυματομορφή του ήχου παραμορφώνεται (σχήμα 1.3)⁵¹.



(σχήμα 1.2) Διαδικασία ψηφιοποίησης ενός τόνου 2 kHz με συχνότητα δειγματοληψίας: α) 6 kHz β) 16 kHz .

⁵⁰ Οι εικόνες προέρχονται από: **Παπαδέλης, Γ**, σημειώσεις του μαθήματος Πληροφορική και Μουσικολογία II, του Α.Π.Θ., θεσ/νίκη, 2001, σελ 9-11.

⁵¹ Roads 1996, σελ 28.



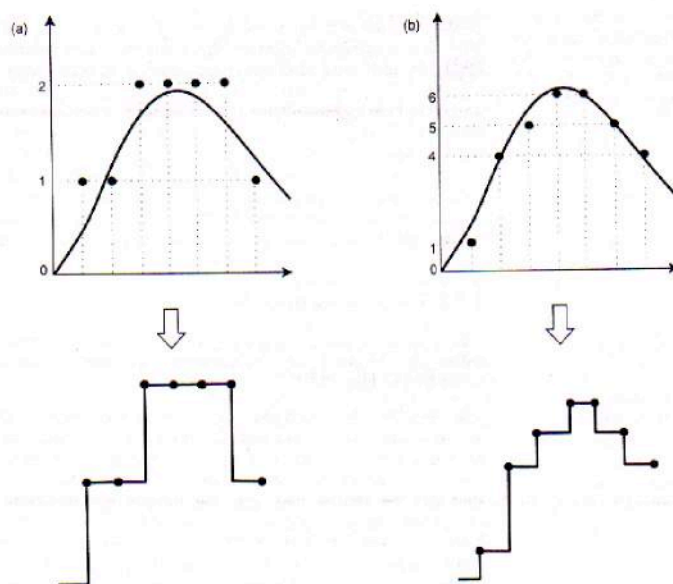
(σχήμα 1.3) a) Η αρχική κυματομορφή b) η συχνότητα δειγματοληψίας παριστάνεται για οπτικούς λόγους με κάθετες γραμμές c) τα δείγματα που προκύπτουν d) η ανασυντεθημένη κυματομορφή δε μοιάζει με την αρχική, γιατί έχει υποστεί παραμόρφωση.

- **Το θεώρημα Nyquist.**

Το θεώρημα Nyquist αναφέρει ότι η συχνότητα δειγματοληψίας πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια από την ψηλότερη συχνότητα του σήματος. Άρα αφού η υψηλότερη ακουστή συχνότητα είναι για τον άνθρωπο τα 20 kHz περίπου, η ιδανική συχνότητα δειγματοληψίας θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 40 kHz (Παπαδέλης 2001, σελ 10). Αλλιώς έχουμε απώλειες τιμών και παραμόρφωση του σήματος (Miranda 1998, σελ 5). Στα CD του εμπορίου, η συχνότητα δειγματοληψίας που χρησιμοποιείται είναι **44.1 kHz** δηλαδή **44100 δείγματα / sec** (αυτή χρησιμοποιήθηκε σε όλα τα ακουστικά παραδείγματα που συνοδεύουν αυτή την εργασία).

1.3. Κβαντισμός πλάτους (quantization)⁵².

Το πλάτος του σήματος υποδιαιρείται σε συγκεκριμένα επίπεδα πλάτους. Το καθένα επίπεδο πλάτους αναπαριστάται από κάποιον αριθμό στο **δυναμικό σύστημα**. Στο δυναμικό σύστημα όμως ένα μέγεθος μπορεί να πάρει αριθμό τιμών που προκύπτουν από την ύψωση του 2 σε δύναμη ίση με τον αριθμό bits (π.χ. 4, 8, 16, 32, 64 κτλ). Για τις διαβαθμίσεις του πλάτους λοιπόν έχουμε κωδικοποίηση παίρνοντας μόνο αυτές τις διαθέσιμες τιμές. Οι υποδιαιρέσεις στρογγυλοποιούνται στο πλησιέστερο επίπεδο πλάτους (σχήμα 1.4)⁵³.



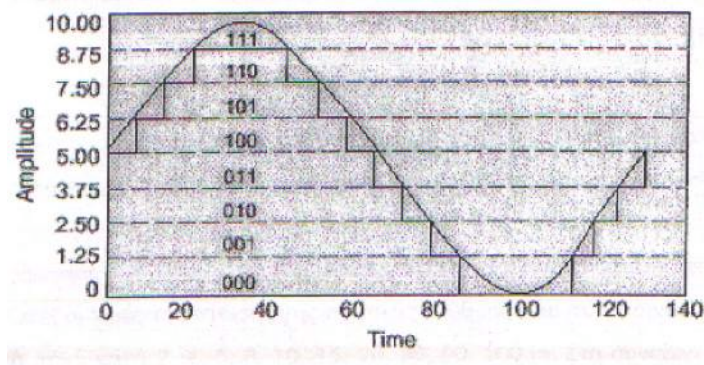
(σχήμα 1.4) Στρογγυλοποίηση των διαβαθμίσεων του πλάτους ενός αναλογικού σήματος: a) στρογγυλοποιήσεις με 3 επίπεδα κβάντισης b) στρογγυλοποιήσεις με 5 επίπεδα κβάντισης.

Έτσι, με όσο περισσότερες τιμές κωδικοποιούμε το πλάτος ενός σήματος, τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια έχουμε στην αναπαράστασή του και τελικά τόσο καλύτερη ποιότητα του ήχου (σχήμα 1.5)⁵⁴. Ο χρησιμοποιούμενος σήμερα κβαντισμός πλάτους στα CD του εμπορίου είναι **16 bit** δηλ. έχει $2^{16} = 65536$ **επίπεδα κβάντισης πλάτους**.

⁵² Παπαδέλης 2001, σελ 12-13.

⁵³ Miranda 1998, σελ 5

⁵⁴ Από το Wolrd Wide Web: www.ni.com/pdf/instrupd/appnotes/an007.pdf



(σχήμα 1.5) Ψηφιοποίηση αναλογικού σήματος με κβαντισμό πλάτους 3 bit ($2^3=8$ επίπεδα κβάντισης).

Χαμηλός κβαντισμός πλάτους (λιγότερα από 12 bit) κρίνεται ανεπαρκής και υστερεί στην ποιότητα του ήχου (παραμόρφωση). Το αποτέλεσμα είναι να ακούγεται θόρυβος. Αυτός ο θόρυβος λέγεται **quantization noise**. Οι χαμηλές τιμές κβαντισμού λοιπόν δίνουν ήχο με μικρό όγκο “σήματος προς θόρυβο” (**signal-to-noise ratio**).

1.4. Επίλογος.

Φυσικά όσο καλύτερη είναι η ψηφιοποίηση και ο κβαντισμός πλάτους του ήχου, τόσο περισσότερα δεδομένα παράγονται. Η αποθήκευσή τους είναι ένα σοβαρό πρόβλημα. Σήμερα πλέον στην ψηφιοποίηση του ήχου έχει καθιερωθεί η **ποιότητα CD** δηλ. δειγματοληψία **44.1 kHz** και ανάλυση **16 bit** (Roads 2001, σελ 28).

Ωστόσο, αυτές οι διαδικασίες που περιγράφονται σε αυτό το κεφάλαιο, δεν είναι τόσο απλές, όσο παρουσιάζονται. Στην πράξη παρουσιάστηκαν πολλά προβλήματα με τη δειγματοληψία και τον κβαντισμό πλάτους (αναδίπλωση συχνοτήτων, χρησιμοποίηση φίλτρων, διαφορές φάσεων της κυματομορφής κτλ), που δε θα αναλυθούν εδώ καθώς δεν αποτελούν τον κύριο στόχο της εργασίας.

2. Ανέβασμα / χαμήλωμα του τονικού ύψους ενός ήχου, με αλλαγή της χρονικής του διάρκειας.

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφαλαίο 3.4.1, το ανέβασμα / χαμήλωμα του τονικού ύψους ενός ήχου, με αλλαγή της χρονικής του διάρκειας ήταν κάτι σχετικά απλό στο παρελθόν. Παρακάτω αναφέρεται ένας από τους τρόπους που χρησιμοποιείται σήμερα.

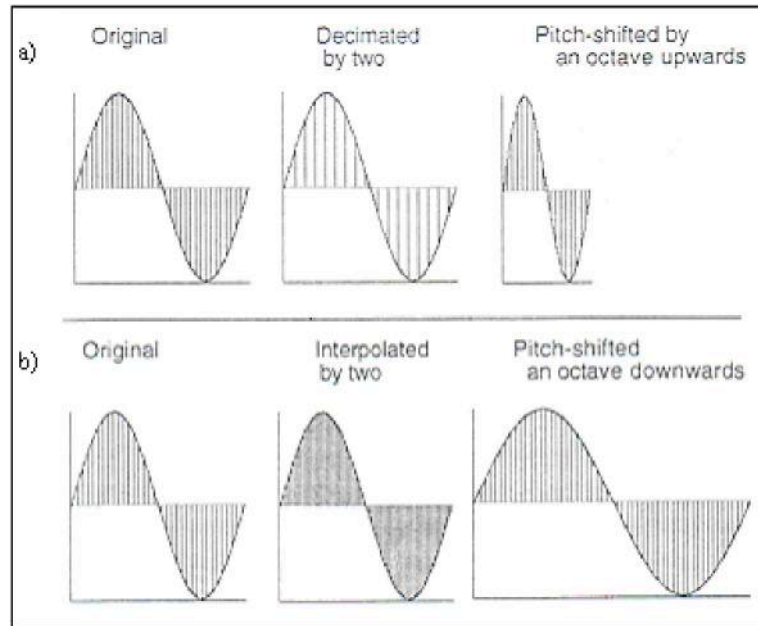
- Ανέβασμα του τονικού ύψους ενός ήχου.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1α⁵⁵, στο αρχικό σήμα ο αλγόριθμος του λογισμικού υποδιπλασιάζει τη “**συχνότητα δειγματοληψίας**” (**sampling rate**), ενώ η συχνότητα παραμένει η ίδια. (Δηλαδή ξανακάνει δειγματοληψία με τα μισά όμως δείγματα). Έπειτα διπλασιάζει την ταχύτητα αναπαραγωγής του ήχου και πετυχαίνει **ανέβασμα του τονικού ύψους κατά μία οκτάβα**. Δηλαδή ανέβασμα του τονικού ύψους κατά μία οκτάβα πετυχαίνεται με χαμηλότερη συχνότητα δειγματοληψίας (Roads 1996, σελ 124-126).

- Χαμήλωμα του τονικού ύψους ενός ήχου.

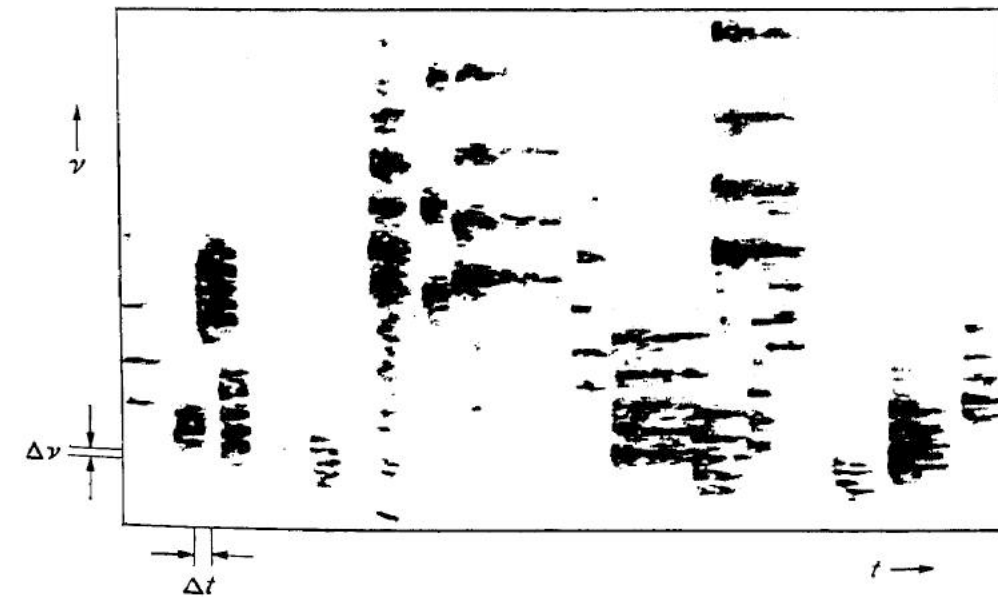
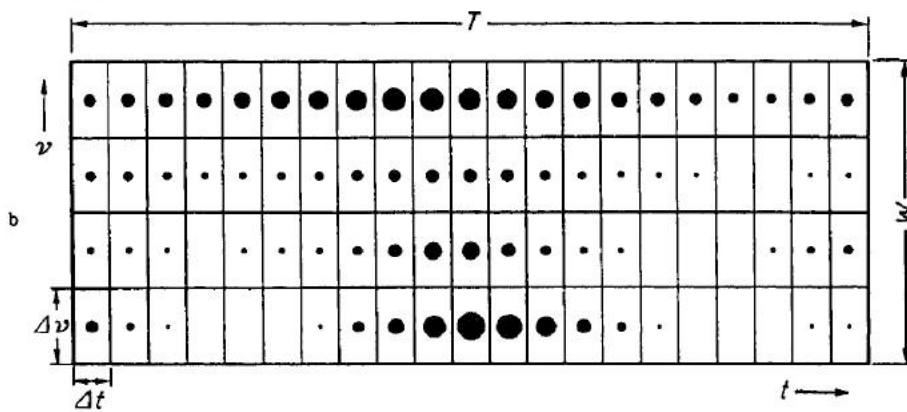
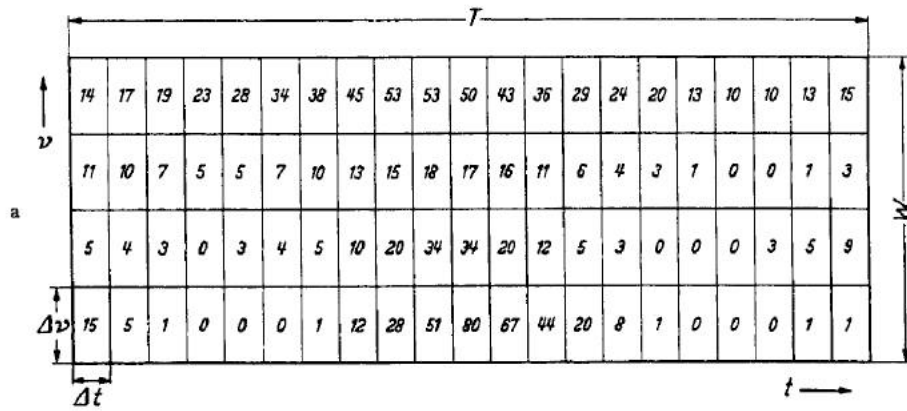
Επίσης, (σχήμα 2.1β), χαμήλωμα του τονικού ύψους κατά μία οκτάβα, γίνεται με την αντίστροφη διαδικασία: ο αλγόριθμος του λογισμικού ξανακάνει δειγματοληψία του ήχου – δείγματος με διπλάσια αυτή τη φορά δείγματα. Μέχρι στιγμής η συχνότητα παραμένει η ίδια. Μετά υποδιπλασιάζει την ταχύτητα αναπαραγωγής και πετυχαίνει **χαμήλωμα του τονικού ύψους κατά μία οκτάβα**. Δηλαδή χαμήλωμα του τονικού ύψους κατά μία οκτάβα πετυχαίνεται με υψηλότερη συχνότητα δειγματοληψίας (Roads 1996, σελ 124-126).

⁵⁵ Roads 1996, σελ 126.



(σχήμα 2.1) Ο τρόπος που ο αλγόριθμος ανεβάζει και χαμηλώνει το τονικό ύψος κατά μία οκτάβα, χωρίς αλλαγή της ταχύτητας του ήχου – δείγματος.

Πίνακας 1



Γλωσσάριο

Στο γλωσσάριο παρουσιάζονται συνοπτικά ορισμένοι ορισμοί εννοιών με στόχο αυτοί οι ορισμοί να αποτελέσουν τη βάση για τον ενδιαφερόμενο που δεν έχει ασχοληθεί με την ηλεκτρονική μουσική και δεν έχει εξοικείωση με αυτό το αντικείμενο .

Algorithm (αλγόριθμος): (Υπολ) Πρόκειται για μια ακολουθία πράξεων, οι οποίες πρέπει να εκτελεστούν σταδιακά και σε πεπερασμένο χρονικό διάστημα από το υπολογιστικό σύστημα, κατά τη διαδικασία επίλυσης κάποιου προβλήματος. [Ο αλγόριθμος] πρέπει να καθορίζεται λεπτομερώς, με ακρίβεια, σαφήνεια και με συγκεκριμένη σειρά. (Λεξικό Τεχνολογίας και Επιστημών, εκδόσεις Σταφυλίδη, Αθήνα).

Loop (βρόγχος): (Πληρ) Στον κώδικά ενός λογισμικού προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή ο βρόγχος είναι ένα σύνολο από εντολές οι οποίες επαναλαμβάνονται όσες φορές το επιβάλει μια προκαθορισμένη συνθήκη.
(Μουσ) Ένα ηχητικό απόσπασμα που επαναλαμβάνεται όσες φορές το επιβάλει μια προκαθορισμένη συνθήκη.
(Λεξικό Τεχνολογίας και Επιστημών, εκδόσεις Σταφυλίδη, Αθήνα).

Real time (πραγματικός χρόνος): Όρος ο οποίος χρησιμοποιείται στην τεχνολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών σε περιπτώσεις που η ταχύτητα επεξεργασίας είναι αρκετά υψηλή ώστε ο χρόνος που μεσολαβεί μέχρι το τέλος της επεξεργασίας να μη γίνεται αντιληπτός από την ανθρώπινη αντίληψη.
(Λεξικό Τεχνολογίας και Επιστημών, εκδόσεις Σταφυλίδη, Αθήνα).

Περιβάλλουσα: Η καμπύλη που οροθετεί την αρχή και το τέλος ενός ήχου αναπαριστώντας την ανάπτυξή της έντασής του στο χρόνο.
(Μ.Σολωμός, Ιάννης Ξενάκης, Κείμενα περί μουσικής και αρχιτεκτονικής, εκδ Ψυχογιός, Αθήνα, 2001).

Περιεχόμενα του συνοδευτικού CD:

Το CD που βρίσκεται στο πίσω μέρος της εργασίας έχει την εξής δομή:

- Ο φάκελος Files περιέχει τα λογισμικά: **Crusher-x V 3.21**, **Granulab V1.0**, **Granulator V 1.1**. Οδηγίες εγκατάστασης των προγραμμάτων και άλλες πληροφορίες βρίσκονται στα αρχεία με το όνομα readme.
- Ο φάκελος Audio περιέχει διάφορα ηχητικά παραδείγματα:

Ηχητικά παραδείγματα που υπάρχουν στο CD.

Τα ηχητικά παραδείγματα 1 και 4-23 καθώς και τα σχόλια που τα συνοδεύουν, προέρχονται από το συνοδευτικό CD που υπάρχει στο βιβλίο του Curtis Roads, Microsound. Τα παραδείγματα που πάρθηκαν από το βιβλίο Microsound είναι τα εξής: 1-5, 7-12, 14, 15, 17-20, 46-50 και 65.

Τα ηχητικά παραδείγματα 2 και 3 προέρχονται από το CD: Xenakis, Electronic Music, εκδ Electronic Music Foundation, 1997.

Τα ηχητικά παραδείγματα 26 έως 28 προέρχονται από το World Wide Web.

Ιστορικά παραδείγματα:

1. Τρία αποσπάσματα από το έργο **Analogique A** και **B** για ορχήστρα εγχόρδων και αναλογική granular synthesis του Ιάννη Ξενάκη. Το κομμάτι συντέθηκε το 1958-1959 και αποτελείται από το τμήμα A για ορχήστρα εγχόρδων και το τμήμα B για μαγνητοταινία. (α) τμήμα μαγνητοταινίας. (β) τμήμα μαγνητοταινίας με όργανα σε ένα πυκνό συνθετικά μέρος. (γ) τμήμα μαγνητοταινίας με όργανα σε ένα αραιό συνθετικά μέρος. [1:03]
2. **Concret PH** του Ιάννη Ξενάκη (1958). [2:42]
3. **Orient-Occident** του Ιάννη Ξενάκη (1960). [10:56]
4. **Klang-1** (Curtis Roads, 1974), η πρώτη απόπειρα granular synthesis με ηλεκτρονικό υπολογιστή. [0:48]

5. Απόσπασμα από το έργο **Prototype** (Curtis Roads, 1975), η πρώτη μελέτη πάνω στην αυτόματη granular synthesis. [0:26]

Τα ηχητικά σωματίδια στη μουσική σύνθεση.

6. Απόσπασμα από το έργο **nscor** (Curtis Roads, 1980). Σε αυτό το απόσπασμα [4:30-5:40] υπάρχει μια “κοκκώδης έκρηξη” ακολουθούμενη από ένα τμήμα με κοκκώδη σύννεφα θορύβου σε διαφορετικές συχνότητες. [1:14]
7. Απόσπασμα από το έργο **Field** (Curtis Roads, 1981). Σε αυτό το απόσπασμα [3:37-4:02] υπάρχει μια “κοκκώδης έκρηξη”. [0:28]
8. Απόσπασμα από το έργο **Half-life** (Curtis Roads, 1999). Αυτό το απόσπασμα [0:00-1:29] από το πρώτο μέρος, το οποίο επιγράφεται με τον τίτλο Sonal Atoms, αποτελείται από έναν χείμαρρο παλμών που έχουν υποστεί “κοκκοποίηση” και έπειτα έχουν μονταριστεί σε μικροδομικό επίπεδο. [1:09]
9. Απόσπασμα από το έργο **Tenth vortex** (Curtis Roads, 2000). Αυτό το απόσπασμα [0:00-1:29] αποτελείται από ένα συνεχώς εξελισσόμενο σύννεφο ηχητικών κόκκων που έχουν παραχθεί τροφοδοτώντας το λογισμικό του Curtis Roads “Q granulator” με έναν χείμαρρο συνθετικών παλμών. [1:28]
10. Απόσπασμα από το έργο **Eleventh vortex** (Curtis Roads, 2001). Στην αρχή του αποσπάσματος [0:00-1:30] υπάρχουν πολλοί χείμαρροι σύγχρονων παλμών, κάθε ένας σε διαφορετικό tempo. Σε αυτό το κομμάτι, σε περίπου 40 δευτερόλεπτα, ο “χοντρός” χείμαρρος των σωματιδίων λεπταίνει σε μεμονωμένα σωματίδια. [1:05]
11. Απόσπασμα από το έργο **Sculptor** (Curtis Roads, 2001). Το αρχικό υλικό του έργου ήταν ένα κομμάτι για κρουστά του Tortoise. Ο Curtis Roads κοκκοποίησε και φίλτραρε το υλικό με το λογισμικό “Q granulator”. Μερικές από τις επεξεργασίες που εφάρμοσε σε αυτό το έργο είναι: μείωση και αύξηση του πλάτους των ηχητικών σωματιδίων και των ηχητικών σύννεφων και μικρομοντάζ σε πολλά επίπεδα. [1:31]
12. Απόσπασμα από το έργο **Agon** (Horacio Vaggione, 1998). Το έργο Agon είναι ένα από μία σειρά έργων του Horacio Vaggione που εξερευνά την ιδέα της σύνθεσης σε πολλαπλά χρονικά επίπεδα. Οι αρχικές ηχητικές πηγές ήταν κρουστά ακουστικά όργανα, ο ήχος των οποίων κατακεραμάστηκε σε ηχητικά σωματίδια και επαναδομήθηκε από τον συνθέτη με την τεχνική του μικρομοντάζ. [1:08]

13. Απόσπασμα από το έργο **Life in the Universe** (Ken Fields, 1997). Σε αυτό το απόσπασμα [0:00-1:36] ακούγεται η “κοκκοποιημένη” φωνή του φυσικού Steven Hawking. [1:42]

Πειράματα πάνω στην σύνθεση με ηχητικά σωματίδια.

14. Ένας μελωδικός χείμαρρος ηχητικών κόκκων, η πυκνότητα του οποίου αυξάνει προοδευτικά σε διάστημα 40 δευτερολέπτων. Το εύρος συχνοτήτων μέσα στο οποίο οι ηχητικοί κόκκοι είναι διασκορπισμένοι, είναι μεταξύ 5000 και 80 Hz. Το τονικό τους ύψος είναι τυχαίο (αλλά κυμαίνεται μέσα σε αυτό το εύρος). Η διάρκεια των ηχητικών κόκκων επίσης μειώνεται όσο εξελίσσεται ο χρόνος, από 310 σε 1 msec. Έχει προστεθεί αντήχηση. [0:42]
15. Συγχρονισμένο ηχητικό σύννεφο με μεγάλο εύρος και πυκνότητα 15 ηχητικών κόκκων ανά δευτερόλεπτο. Ακολουθεί ένα μη συγχρονισμένο ηχητικό σύννεφο με τα ίδια χαρακτηριστικά. Έχει προστεθεί αντήχηση. [0:30]
16. Πυκνό ηχητικό σύννεφο. Αρχικά έχουμε: πυκνότητα 600 ηχητικοί κόκκοι ανά δευτερόλεπτο και συχνοτικό εύρος από 13 kHz έως 40 Hz. Στο τέλος έχουμε πυκνότητα ενός ηχητικού κόκκου ανά δευτερόλεπτο και συχνότητα 200 Hz. Η διάρκεια των κόκκων είναι τυχαία μεταξύ 12 και 1 msec. [0:11]
17. Αραιό ηχητικό σύννεφο ευρείας ζώνης συχνοτήτων που αποτελείται από πολύ μικρής διάρκειας ηχητικούς κόκκους. Η διάρκειά τους κυμαίνεται από 1 msec έως 500μsec. Έχει προστεθεί αντήχηση. [0:11]
18. Χείμαρρος ηχητικών κόκκων διάρκειας 30 msec που παίζονται με κάποιο ρυθμικό σχήμα. Έχει προστεθεί αντήχηση. [0:25]
19. Granular synthesis σε πραγματικό χρόνο (real time) που παράγεται από το **Creatovox synthesizer** (2000-2001). Το έργο παίζεται από τον συνθέτη Bebe Barron. Έχει προστεθεί αντήχηση τη στιγμή της ηχογράφησης. Το μικρομοντάζ έγινε από τον Curtis Roads. [1:18]

Κοκκοποίηση (Granulation).

20. (α) αρχική φράση. (β) κοκκοποίηση που γίνεται με την συσσώρευση πολλών αντιγράφων του αρχικού ήχου ελαφρώς καθυστερημένα το ένα σε σχέση με το άλλο. (γ) κοκκοποίηση με μεγάλης διάρκειας ηχητικούς κόκκους. (δ) κοκκοποίηση με ηχητικούς κόκκους μεσαίας διάρκειας και πυκνότητας. (ε) κοκκοποίηση που αρχίζει με ηχητικούς κόκκους μικρής διάρκειας και υψηλής πυκνότητας και καταλήγει με ηχητικούς κόκκους μεγάλης διάρκειας και χαμηλής πυκνότητας. (στ) αντήχηση που προκαλείται από την κοκκοποίηση (graverberation). [1:34]
21. Ηχοχρωματικός εμπλουτισμός με κατάλληλο χειρισμό της περιβάλλουσας των ηχητικών κόκκων. (α) φράση του Edgard Varese. (β) αλλαγή στην τοποθέτηση των formants που γίνεται με πολλούς ηχητικούς κόκκους που καλύπτει ο ένας τον άλλο. (γ) μικρής διάρκειας ηχητικοί κόκκοι κάνουν τη φράση θορυβώδη [0:44]

Αλλαγή στο τονικό ύψος (pitch shifting).

22. (α) αρχική φράση που έχει υποστεί κοκκοποίηση με ηχητικούς κόκκους διάρκειας 150 msec, το τονικό ύψος του καθενός αλλάζει έως και 40 % πάνω ή κάτω. (β) η ίδια φράση με 50 msec ηχητικούς κόκκους και μεγαλύτερης έκτασης αλλαγή του τονικού ύψους. (γ) η φράση με ηχητικούς κόκκους που καλύπτουν ο ένας τον άλλον 10 φορές μέσα σε ένα μικρό εύρος. (δ) η φράση με ηχητικούς κόκκους που καλύπτουν ο ένας τον άλλον 10 φορές μέσα σε ένα μεγάλο εύρος, δημιουργώντας ένα εφέ τύπου chorus. [0:25]

Χρονική επέκταση / σύμπτυξη με την τεχνική της κοκκοποίησης.

23. Το παράδειγμα επεξεργάστηκε με το λογισμικό του Roads, Cloud Generator. (α) αρχική φράση του Ιάννη Ξενάκη. (β) χρονική επέκταση στο διπλάσιο της αρχικής διάρκειας με πυκνότητα ηχητικών κόκκων αυξανόμενη σταδιακά από 10 σε 50 κόκκους ανά δευτερόλεπτο, ενώ η διάρκεια των ηχητικών κόκκων μειώνεται σταδιακά από 100 σε 50 msec. (γ) χρονική σύμπτυξη στο μισό της αρχικής διάρκειας. Η διάρκεια των ηχητικών κόκκων είναι σταθερή στα 75 msec και η

πυκνότητα είναι 50 ηχητικοί κόκκοι ανά δευτερόλεπτο. Και στα δύο παραδείγματα οι ηχητικοί κόκκοι διασκορπίστηκαν τυχαία στο στερεοφωνικό πεδίο. [0:36]

Formant shifting με την τεχνική της granular synthesis.

24. Το αρχικό τονικό ύψος και η διάρκεια του ήχου παραμένουν σταθερά. (α) αρχική φράση. (β) Formant shift 3 ημιτόνια ψηλότερα. (γ) Formant shift 12 ημιτόνια ψηλότερα. (δ) Formant shift 3 ημιτόνια χαμηλότερα. (ε) Formant shift 12 ημιτόνια χαμηλότερα. [0:27]

Τροποποιήσεις.

25. (α) αρχική φράση. (β) “θρυμματισμός” που προκαλείται με την τεχνική της διαγραφής όλο και περισσότερων χαρακτηριστικών της συχνότητας καθώς περνάει ο χρόνος. [0:15]

Κομμάτια ηλεκτρονικής μουσικής από το World Wide Web.

26. Απόσπασμα από το έργο του Curtis Roads, **Clang-tint** (1991-1994). Από το World Wide Web, <http://www.create.ucsb.edu/%7Eclang> [0:53]

27. **Ice** του Kenji Yasaka (2002). Στο έργο αυτό ο συνθέτης χρησιμοποίησε τον ήχο πάγου που σπάει. Από το World Wide Web, <http://ringo.sfc.keio.ac.jp/~yasaka/mymusic.html> [9:29]

28. **Soundtrack1** του Kenji Yasaka (2003). Από το World Wide Web, <http://ringo.sfc.keio.ac.jp/~yasaka/mymusic.html> [5:20]

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

Ξένη:

- **Miranda, Eduardo Reck (1998)**, Computer Sound Synthesis for the Electronic Musitian, Focal Press.
- **Miranda, Eduardo Reck (2002)**, Computer Sound Design, Focal Press.
- **Roads, Curtis (1996)**, The Computer Music Tutorial, The MIT press.
- **Roads, Curtis (2001)**, Microsound, Cambridge, The MIT press, Massachusetts.
- **Tanenbaum, A.S.(2003)**, Η αρχιτεκτονική των υπολογιστών, εκδ Κλειδάριθμος, Αθήνα.

Άρθρα:

- **Fujinaga, Ichiro**, Genetic Algorithms as a Method for Granular Synthesis Regulation, Baltimore. Retrieved 24 Ιανουαρίου 2004 from the World Wide Web: http://gigue.peabody.jhu.edu/~ich/research/ICMC94_paper.html
- **Gordon** (1996), Granular Synthesis. Retrieved 24 Ιανουαρίου 2004 from the World Wide Web: <http://homepages.kcbbs.gen.nz/gordon/granular.html>
- **Keller, Damián** (1997), Truax Barry, Ecologically-based Granular Synthesis ICMC, Michigan. Retrieved 24 Ιανουαρίου 2004 from the World Wide Web : <http://www.sfu.ca/%7Edkeller/EcoGranSynth/EGSpaper.html>
- **Kuehnl, Eric**, Granular Synthesis. Retrieved 17 Δεκεμβρίου 2004 from the World Wide Web: <http://shoko.calarts.edu/~eric/gs.html>
- **Oppenheim, Daniel** (2001), Composing with Computers, Yorktown. Retrieved 2 Φεβρουαρίου 2004 from the World Wide Web: <http://website.lineone.net/~edandalex/compbook.htm>
- **Takebumi, Itagaki** (2000), Sound compression/interpollation by granulation, Glasgow, Scotland. Retrieved 4 Φεβρουαρίου 2004 from the World Wide Web: <http://www.brunel.ac.uk/%7Eeesttti/papers/aes108p.html>

- **Tristram, Opie-Timothy (2003)**, Creation of a Real – Time Granular Synthesis Instrument for Live Performance, Queensland , thesis master. Retrieved 2 Φεβρουαρίου 2004 from the World Wide Web: <http://www.granularsynthesis.live.com.au/mthesis/mthesis.html>

Ελληνική:

- **Αδαμ, Δημήτρης (2002)**, Προγραμματίζοντας σε MIDI, εκδ σύγχρονη μουσική, Αθήνα.
- **Καμπουρόπουλος Αιμίλιος (2003)**, σημειώσεις του μαθήματος: Ηλεκτρονική σύνθεση ήχου και μουσικής, του Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
- **Παπαδέλης, Γεώργιος (2001)**, σημειώσεις του μαθήματος Πληροφορική και Μουσικολογία II, του Α.Π.Θ., θεσ/νίκη.
- **Παπανικολάου, Γεώργιος (1995)**, σημειώσεις του μαθήματος: Μουσική Ακουστική II, του Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
- **Σολωμός, Μάκης (2001)**, Ιάννης Ξενάκης Κείμενα περί μουσικής και αρχιτεκτονικής, εκδ Ψυχογιός, Αθήνα.

Λεξικά-Εγκυκλοπαίδειες:

- **Microsoft Encarta 2000**, Ηλεκτρονική εγκυκλοπαίδεια.

Περιοδικά - Εφημερίδες:

- **Sound on sound** (1999), Synth secrets, Envelopes, Gates & Triggers. Retrieved 20 Φεβρουαρίου 2004 from the World Wide Web: <http://www.soundonsound.com/sos/nov99/articles/synthsecrets.htm>
- Εφημερίδα **Καθημερινή**, ένθετο “**επτά ημέρες**”, Αφιέρωμα στον Ιάνη Ξενάκη, 2 Φεβρουαρίου 2003.

LINKS:

- Granular Synthesis Resource Site, A Basic Guide to Granular Synthesis: <http://www.granularsynthesis.live.com.au/index2.html>
- Granular Synthesis Software, Bibliography & Discography: <http://www.granularsynthesis.live.com.au/disc.html>
- Roads, Curtis: <http://www.create.ucsb.edu/%7Eclang/>
- Smith College, Digital Sound and Music Processing: <http://www.cs.smith.edu/~jfrankli/354s03/musicpage.html>
- Truax, Barry, Granulation of sampled sound: <http://www.sfu.ca/~truax/gsample.html>
- <http://www.granularsynthesis.info/start/content/>
- <http://individual.utoronto.ca/mullmusik/javagran/links.html>