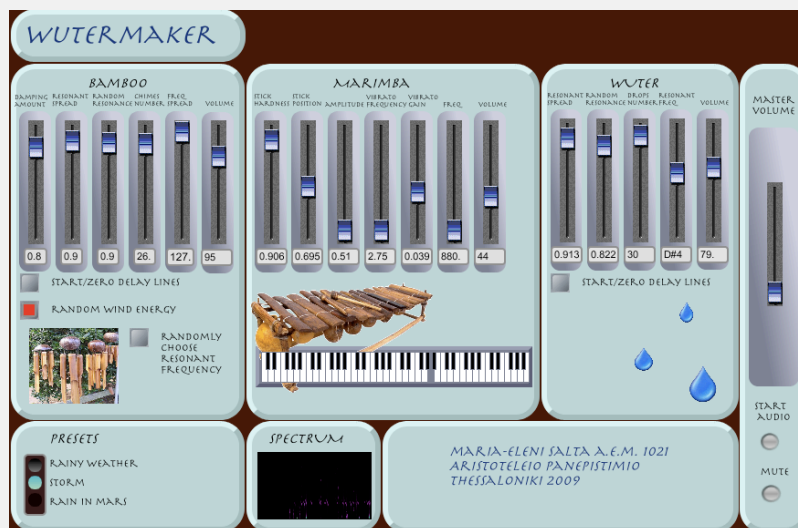


# ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΚΑΛΩΝ ΤΕΧΝΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

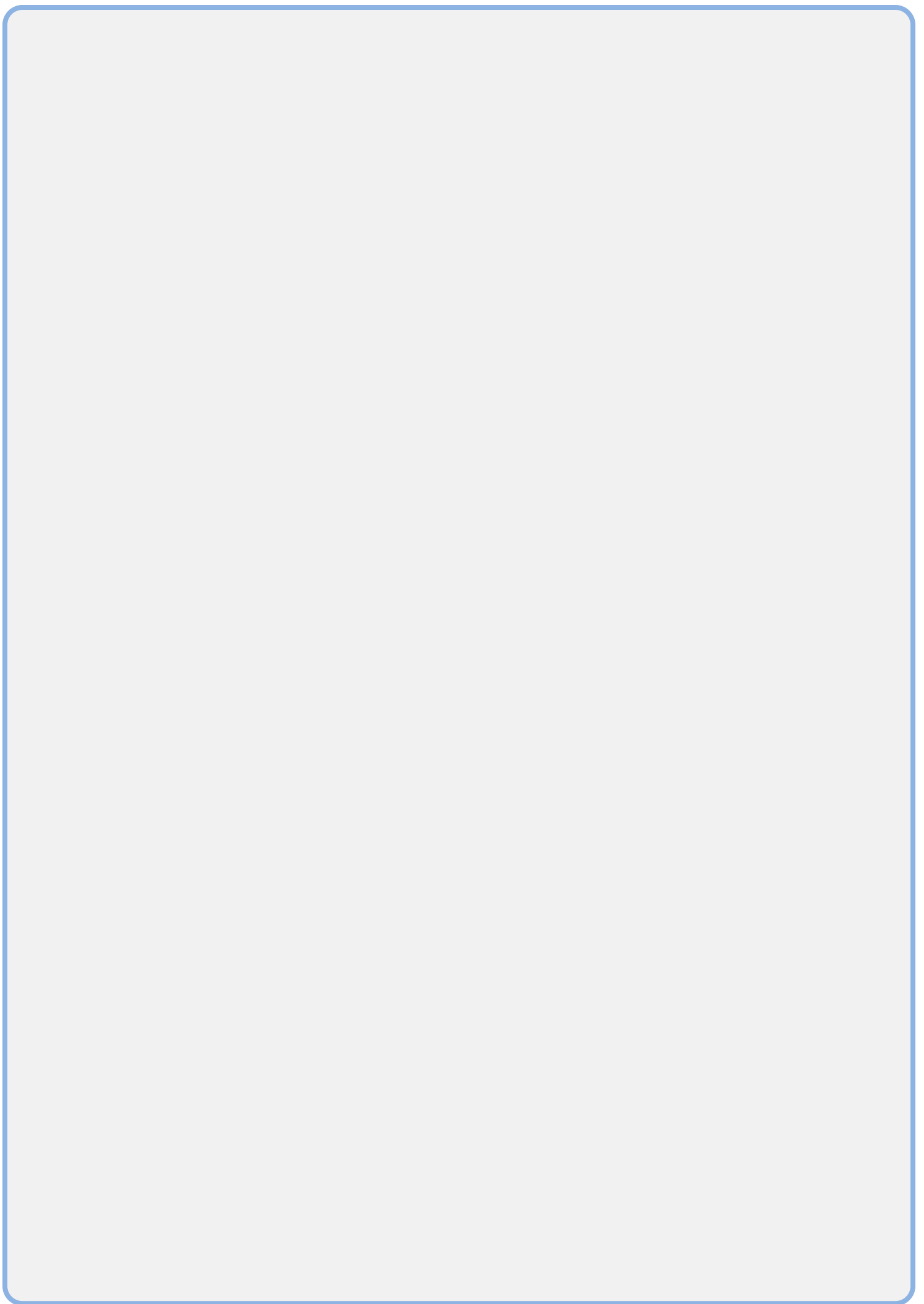
Σύνθεση ήχου μέσω φυσικής προτυποποίησης.  
Υλοποίηση κρουστού υβριδικού συνθετητή στο  
Max/MSP.



ΣΑΛΤΑ ΜΑΡΙΑ - ΕΛΕΝΗ Α.Ε.Μ. 1021

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΜΠΟΥΡΟΠΟΥΛΟΣ ΑΙΜΙΛΙΟΣ -  
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ  
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2010



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. Εισαγωγή</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Σύνθεση ήχου μέσω φυσικής προτυποποίησης</b> .....	<b>7</b>
2.1 Σύντομη ιστορική επισκόπηση .....	7
2.1.1 Το πρώτο μοντέλο .....	8
2.1.2 Ο αλγόριθμος των Hiller - Ruiz .....	9
2.1.3 Ο αλγόριθμος των McIntyre - Schumacher και Woodhouse .....	11
2.1.4 Ο αλγόριθμος των Karplus - Strong και η επέκτασή του από τους Jaffe - Smith .....	11
2.1.5 Σύνθεση με κυματοδηγούς (waveguides) .....	13
2.1.6 Σύνθεση ήχου μέσω τρόπων συντονισμού ( <i>modal synthesis</i> ) .....	15
2.1.7 Ο αλγόριθμος PhISM .....	16
2.2 Η φυσική προτυποποίηση σε ένα γενικότερο πλαίσιο .....	16
2.2.1 Στόχος φυσικής προτυποποίησης .....	16
2.2.2 Καθορισμός δομικών στοιχείων .....	17
2.2.3 Διεγέρτες, συντονιστές και διαδράσεις .....	18
2.2.4 Κατηγοριοποίηση φυσικών μοντέλων .....	19
2.2.5 Κλασική μεθοδολογία φυσικής προτυποποίησης .....	20
2.2.6 Συμπεράσματα .....	21
<b>3. Μέθοδοι σύνθεσης που χρησιμοποιήθηκαν κατά την κατασκευή του wutermaker</b> .....	<b>22</b>
3.1 Σύνθεση ήχου μέσω τρόπων συντονισμού ( <i>modal synthesis</i> ).....	22
3.1.1 Περιγραφή τρόπου λειτουργίας .....	23
3.1.2 Πλεονεκτήματα και διαφορές από τις υπόλοιπες μεθόδους φυσικής προτυποποίησης .....	25
3.1.3 Σχετικά με τα υβριδικά εικονικά όργανα .....	26
3.2 Ο αλγόριθμος PhISM (Physically Inspired Sonic Modeling) .....	27
3.2.1 PhISAM .....	28
3.2.2 PhISEM .....	30
3.3 Πίνακας μεθόδων σύνθεσης και ευρέως διαδεδομένες εφαρμογές της φυσικής προτυποποίησης ..	33
3.3.1 Πίνακας κατάταξης μεθόδων σύνθεσης μέσω φυσικής προτυποποίησης .....	33
3.3.2 Εμπορικές υλοποιήσεις .....	34
<b>4. Εικονικά κρουστά όργανα</b> .....	<b>37</b>
4.1 Κατηγοριοποίηση εικονικών οργάνων φυσικής προτυποποίησης .....	37
4.2 Παραδείγματα κρουστών εικονικών οργάνων φυσικής προτυποποίησης .....	39
4.2.1 Εργαλειοθήκη σύνθεσης ( <i>Synthesis Toolkit - STK</i> ) και <i>PeRColate</i> .....	40
4.2.2 Σύνθεση μουσικής με τον αλγόριθμο PhISM .....	43
4.2.3 Σύνθεση μουσικής με ψηφιακούς κυματοδηγούς .....	44
4.2.4 <i>Croaker</i> (2006) .....	46
4.2.5 <i>Physmism</i> (2007) .....	47
4.2.6 Πίνακας εφαρμογών κρουστών εικονικών οργάνων φυσικής προτυποποίησης .....	49
<b>5. Wutermaker. Υλοποίηση κρουστού υβριδικού συνθετητή</b> .....	<b>50</b>
5.1 Μοντέλο <i>marimba</i> ~ .....	51
5.2 Μοντέλα <i>wuter</i> ~ και <i>bamboo</i> ~ .....	54

5.2.1 <i>Bamboo~</i> . .....	56
5.2.2 <i>Wuter~</i> . .....	59
5.2.3 Σύγκριση μοντέλων <i>wuter~</i> και <i>bamboo~</i> . .....	61
5.3 Διαδράσεις. ....	63
5.4 Προσθήκες στον βασικό συνθετητή. ....	67
5.5 Διάγραμμα ροής. ....	69
5.6 Αντιστοίχιση παραμέτρων του <i>wutermaker</i> με τον ελεγκτή πρωτοκόλλου <i>midí axiom 61</i> . ....	71
5.7 Μελλοντικές κατευθύνσεις και επεκτάσεις. ....	73
<b>6. Βιβλιογραφία. ....</b>	<b>76</b>
6.1 Γραπτές πηγές. ....	76
6.2 Ηχητικά παραδείγματα. ....	84
6.3 Εικόνες. ....	84
<b>Παράρτημα Ι. Σχήματα των σημαντικότερων αλγορίθμων φυσικής προτυποποίησης. ....</b>	<b>86</b>
<b>Παράρτημα ΙΙ. <i>Cordis - Anima</i>. ....</b>	<b>88</b>
<b>Παράρτημα ΙΙΙ. Περιεχόμενα δίσκου ακτίνας (CD). ....</b>	<b>90</b>

# 1. Εισαγωγή

Μουσικά όργανα μπορούν να θεωρηθούν όλες οι τεχνικές κατασκευές οι οποίες παράγουν ήχο. Η εξέλιξή τους εξυπηρετεί δύο βασικούς σκοπούς: τη δημιουργία ήχων και τον έλεγχο αυτών. Τα μουσικά όργανα προσφέρουν λόγο ύπαρξης - ο οποίος βασίζεται σε φυσικές και ιστορικές συνδέσεις που βρίσκονται σε άμεσο συσχετισμό με την ανθρώπινη αντίληψη - στους ήχους που αυτά παράγουν. Μία από τις κατηγοριοποιήσεις τους τα κατατάσσει σε έγχορδα, πνευστά και κρουστά (Adler, 2002). Τα κρουστά όργανα αποτελούν τις αρχαιότερες διατάξεις που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος για την παραγωγή ήχου. Με τη χρήση τους στη μουσική ενισχύεται η δυναμική και τονίζεται ο ρυθμός του μουσικού κομματιού.

Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής είναι μία μηχανή κατασκευασμένη πρωτίστως από ηλεκτρονικά κυκλώματα και δευτερευόντως από ηλεκτρικά και μηχανικά συστήματα, και έχει ως σκοπό να επεξεργάζεται πληροφορίες. Η έρευνα της μουσικής πληροφορικής μπορεί να ξεφύγει από το ιστορικό πλαίσιο και να ακολουθήσει νέες κατευθύνσεις δημιουργώντας ένα τελείως καινούριο πεδίο μουσικού πειραματισμού. Κατασκευάζοντας νέα ηχοχρώματα και κάνοντάς τα διαθέσιμα στους συνθέτες με τη μορφή εικονικών οργάνων πετυχαίνει έναν από τους αρχικούς της στόχους ο οποίος δεν αποτελεί αυτοσκοπό αλλά συμπληρώνει τις δυνατότητες δημιουργίας νέων μορφών έκφρασης και αντίληψης του ήχου καθώς και πολυδιάστατων μορφών διάδρασης.

Από τη δεκαετία του 1980 μία συγκεκριμένη τάξη μεθόδων επεξεργασίας ψηφιακού σήματος για σύνθεση του ήχου έκανε την εμφάνισή της. Αυτές οι μέθοδοι στις οποίες οι εξισώσεις της μηχανικής χρησιμοποιούνται για να μοντελοποιήσουν τη δυναμική των αντικειμένων που παράγουν ήχο συμπεριλαμβανομένων και των μουσικών οργάνων αναφέρονται ως σύνθεση ήχου μέσω φυσικής προτυποποίησης (Jones, 1993). Η φυσική

προτυποποίηση συνδέει τον ήχο με ταλαντώσεις φυσικών δομών που βρίσκονται υπό συνθήκες διέγερσης. Η σύνθεση ήχου εκτελείται μέσω της αριθμητικής εξομοίωσης αυτών των ταλαντώσεων. Για την εξομοίωση απαιτείται χαρακτηρισμός των ιδιοτήτων ταλάντωσης των φυσικών δομών καθώς και περιγραφή των διαδράσεων που συμβαίνουν μεταξύ τους.

Η διαφορά της φυσικής προτυποποίησης με τις υπόλοιπες τεχνικές σύνθεσης ήχου βρίσκεται στην μέθοδο η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή του ψηφιακού ηχητικού σήματος. Συγκεκριμένα, η φυσική προτυποποίηση στοχεύει στην εξομοίωση των ιδιοτήτων της ηχητικής πηγής (τρόπος διέγερσης, συντονισμού κ.α.) ενώ οι υπόλοιπες τεχνικές επικεντρώνουν στο σήμα όπως εκλαμβάνεται από τον ακροατή (κυματομορφή, φάσμα κ.α.) (Valimaki, 1996). Ένα από τα χαρακτηριστικά της το οποίο και προκύπτει από την προηγούμενη διαφορά, αποτελεί το γεγονός ότι απαιτεί υψηλή επεξεργαστική ισχύ σε σχέση με άλλες τεχνικές σύνθεσης.

Κύριος σκοπός της παρούσης εργασίας είναι η παρουσίαση των δυνατοτήτων της σύνθεσης ήχου μέσω φυσικής προτυποποίησης. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού το πρώτο βήμα ήταν η μελέτη του ιστορικού πλαισίου της προαναφερθείσας τεχνικής σύνθεσης καθώς και των εφαρμογών της στα κρουστά εικονικά όργανα.

Στη συνέχεια, υλοποιήθηκε ένας ψηφιακός υβριδικός κρουστός συνθετητής με την τεχνική σύνθεσης ήχου την οποία διαπραγματεύεται η εργασία. Το *wutermaker*, όπως ονομάστηκε ο συνθετητής, υλοποιήθηκε στο περιβάλλον προγραμματισμού Max/MSP 5.0<sup>1</sup> της εταιρείας cycling74 σε λειτουργικό Mac Os X 10.5.8<sup>2</sup>. Η εφαρμογή του έγινε με τον ελεγκτή πρωτοκόλλου midi axiom 61 της εταιρείας m-audio. Επίσης,

---

<sup>1</sup> Το Max είναι ένα διαδραστικό περιβάλλον προγραμματισμού για σύνθεση μουσικής και ήχου. Με την προσθήκη του MSP έγινε δυνατή η ψηφιακή επεξεργασία σήματος σε πραγματικό χρόνο. [http://www.cycling74.com/downloads/max5\\_](http://www.cycling74.com/downloads/max5_)

<sup>2</sup> <http://www.apple.com>

χρησιμοποιήθηκε η διανομή αντικειμένων για το Max/MSP PeRColate<sup>3</sup> και συγκεκριμένα τα μοντέλα μαρίμπας (*marimba~*), σταγόνων βροχής (*wuter~*) και καλαμιών ανέμου μπαμπού (*bamboo~*). Επειδή τα μοντέλα που συγκροτούν το *wutermaker* είναι κρουστά ορισμένων μόνο κατηγοριών, η έρευνα στην εργασία αυτή περιορίστηκε μόνο σε αυτές τις κατηγορίες κρουστών στις οποίες ανήκουν τα μοντέλα.

Ενδιαφέροντα στοιχεία του *wutermaker* αποτελούν οι διαδράσεις που προκύπτουν μεταξύ των μοντέλων όπως για παράδειγμα η διάδραση ανάμεσα στη θέση της μπαγκέτας του αντικειμένου *marimba~* και τη διασπορά συντονισμού του αντικειμένου *bamboo~*, καθώς και οι διαδράσεις οι οποίες υφίστανται ανάμεσα στον συνθετητή και στον εκτελεστή στον οποίο παρουσιάζεται με ένα εύχρηστο και λειτουργικό γι' αυτόν γραφικό περιβάλλον. Καθώς ο κύριος σκοπός της εργασίας είναι η παρουσίαση των δυνατοτήτων της υπό μελέτη τεχνικής σύνθεσης ο συνθετητής υλοποιήθηκε σύμφωνα με αυτόν. Η υλοποίηση ενός τελειώς ολοκληρωμένου οργάνου θα ήταν πέρα από αυτόν το σκοπό.

Στην **εισαγωγή** παρουσιάζεται μία γενική ιδέα για το περιεχόμενο της εργασίας. Συνεχίζοντας, στο **δεύτερο κεφάλαιο** γίνεται μία κατηγοριοποίηση με βάση τους αλγορίθμους και τις μεθόδους οι οποίες αναπτύχθηκαν κατά την έρευνα στο υπό μελέτη πεδίο κάνοντας παράλληλα και μία σύντομη ιστορική αναδρομή της φυσικής προτυποποίησης. Επίσης στην δεύτερη ενότητα του δεύτερου κεφαλαίου αποσαφηνίζεται η έννοια της φυσικής προτυποποίησης και τονίζονται οι διαφορές της με τις υπόλοιπες τεχνικές σύνθεσης ήχου, καθώς και τα πλεονεκτήματά της έναντι σε αυτές οι οποίοι αποτελούν και τους λόγους επιλογής της υπό μελέτη τεχνικής.

---

<sup>3</sup> Το PeRColate είναι μία ανοικτού κώδικα διανομή αλγορίθμων σύνθεσης και ψηφιακής επεξεργασίας σήματος για το Max/MSP. Για περισσότερες πληροφορίες βλ. Κεφάλαιο 4 - Υποενότητα 4.2.1 Εργαλειοθήκη σύνθεσης (Synthesis Toolkit - STK) και PeRColate <http://www.music.columbia.edu/PeRColate/>

Το **τρίτο κεφάλαιο** ασχολείται αναλυτικότερα με τις μεθόδους φυσικής προτυποποίησης οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν κατά την υλοποίηση των πρωτότυπων μοντέλων του συνθετητή *wutermaker*. Συγκεκριμένα περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας της σύνθεσης ήχου μέσω τρόπων συντονισμού και του αλγορίθμου PhISM. Αναφέρονται επίσης και κάποιες από τις σημαντικότερες ευρέως διαδεδομένες εφαρμογές της φυσικής προτυποποίησης.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο**, προκειμένου να διερευνηθεί το περιβάλλον που θα φιλοξενήσει τον συνθετητή, περιγράφεται η έννοια των εικονικών οργάνων και δίνονται παραδείγματα κρουστών οργάνων υλοποιημένα με φυσική προτυποποίηση. Περιέχονται εφαρμογές στη σύνθεση μουσικής, εφαρμογές λογισμικού καθώς και εφαρμογές υλισμικού.

Στο **πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο**, ο αναγνώστης αναλύει τη μεθοδολογία και τον τρόπο υλοποίησης του *wutermaker* και σε συνδυασμό με το επισυναπτόμενο patch στο Max/MSP και με ελεγκτές πρωτοκόλλου midi δύναται να δοκιμάσει τις λειτουργίες και τις δυνατότητες του οργάνου.

Τα μουσικά παραδείγματα και τα βίντεο τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία συλλέχθηκαν σε έναν δίσκο ακτίνας (cd) και προβάλλονται με το παρακάτω εικονίδιο



στο τέλος της κάθε αντίστοιχης υποενότητας στην οποία ανήκουν.



## **2. Σύνθεση ήχου μέσω φυσικής προτυποποίησης.**

Η φυσική προτυποποίηση αποτελεί μία τεχνική σύνθεσης ήχου<sup>4</sup> η οποία βασίζεται στη φυσική των μηχανικών συστημάτων (Roads, 1996). Συγκρινόμενη με άλλες τεχνικές σύνθεσης ήχου προκύπτει ότι η τελευταία απαιτεί αυξημένη υπολογιστική ισχύ. Ενδιαφέροντα συστήματα που τελούν υπό ταλάντωση όπως τα μουσικά όργανα είναι αρκετά πολύπλοκα με την έννοια ότι η μοντελοποίηση της φυσικής αυτών των συστημάτων έχει πιο περιεκτική φύση απ' ό,τι η μοντελοποίηση του φάσματος του ήχου ή των κυματομορφών τις οποίες αυτά παράγουν.

Παρά την υπολογιστική ισχύ την οποία απαιτεί, η φυσική προτυποποίηση αποτελεί μία προσέγγιση σύνθεσης διαδεδομένη σε μεγάλο βαθμό στην ακαδημαϊκή έρευνα από τη δεκαετία του 1980. Αυτή η δημοτικότητα οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην υπόσχεση επέκτασης του ακουστικού κόσμου σε νέα πεδία αντίληψης. Πολλοί ερευνητές θεωρούν ότι τα φυσικά μοντέλα προσφέρουν καλύτερες προοπτικές από τις τεχνικές οι οποίες βασίζονται στο σήμα για τον σχεδιασμό εκφραστικών ψηφιακών οργάνων (Cadoz, 2003).

### **2.1 Σύντομη ιστορική επισκόπηση.**

Το σημείο εκκίνησης της παρακάτω ιστορικής επισκόπησης αποτελεί η χρονική στιγμή που έγινε χρήση της φυσικής προτυποποίησης με σκοπό τη σύνθεση ήχου.

---

<sup>4</sup> Ο όρος *σύνθεση ήχου* αναφέρεται στη διαδικασία παραγωγής σειρών δειγμάτων μέσω της χρήσης αλγορίθμων (Roads, 1996). Στην συνέχεια της εργασίας, όπου αναφέρεται ο όρος σύνθεση θα εννοείται ότι αφορά στη σύνθεση ήχου και όχι στη σύνθεση μουσικής. Σε όποια σημεία ο όρος σύνθεση αφορά τη σύνθεση μουσικής αυτό δηλώνεται.

Περιλαμβάνει τους κυριότερους αλγόριθμους (αλγόριθμος των Hiller - Ruiz, αλγόριθμος των McIntire - Schumacher και Woodhouse, αλγόριθμος των Karplus - Strong και η επέκτασή του από τους Jaffe - Smith, σύνθεση ήχου με κυματοδηγούς, σύνθεση ήχου μέσω τρόπων συντονισμού και αλγόριθμος PhISM) οι οποίοι υλοποιήθηκαν κατά την έρευνα της υπό μελέτης τεχνικής σύνθεσης καθώς και τις σημαντικότερες μελέτες όπως για παράδειγμα το άρθρο *Speech Synthesis* των Kelly και Lochbaum (1962) ή το άρθρο *Synthesizing Musical Sounds by Solving the Wave Equation for Vibrating Objects* των Hiller και Ruiz, οι οποίες έχουν σχέση με αυτήν.

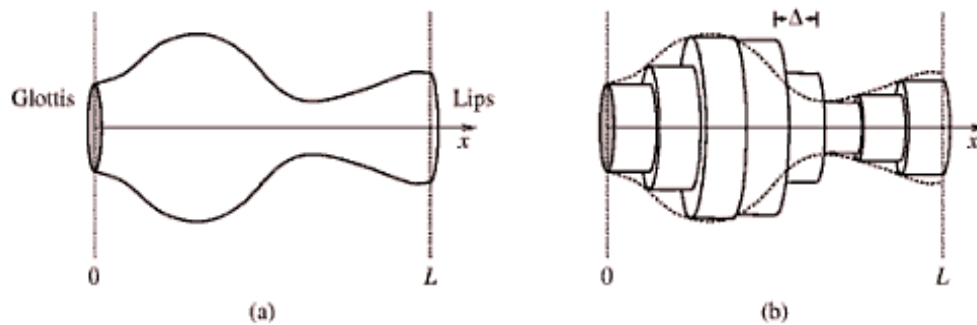
### **2.1.1 Το πρώτο μοντέλο.**

Η πρώτη φορά που φυσικά μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν για τη σύνθεση ήχου ήταν από τους John Kelly και Carol Lochbaum στα εργαστήρια τηλεφωνίας Bell το 1962 (Kelly, 1962). Η ανθρώπινη φωνητική κοιλότητα μοντελοποιήθηκε χρησιμοποιώντας ενιαίους κυλινδρικούς σωλήνες και εφαρμόζοντας το θεώρημα δειγματοληψίας του Nyquist<sup>5</sup>.

Η φωνητική κοιλότητα αντιμετωπίστηκε ως ένας μονοδιάστατος ακουστικός σωλήνας με διασταυρωμένους τομείς του οποίου οι ιδιότητες μεταβάλλονται στο χρόνο με αργούς ρυθμούς. Στην ουσία το μοντέλο αποτελεί ένα κλιμακωτό φίλτρο με στοιχεία καθυστέρησης σε σημαντικά για την επιστήμη της φυσικής σημεία και με διακριτή συμπεριφορά στο χρόνο (Smith, 2007).

---

<sup>5</sup> Το θεώρημα του Nyquist καθορίζει τη σχέση ανάμεσα στο ρυθμό δειγματοληψίας ενός σήματος και στο εύρος συχνοτήτων του σήματος. Συγκεκριμένα, ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι μεγαλύτερος από το διπλάσιο της υψηλότερης συχνότητας η οποία εμφανίζεται στο σήμα (Miranda, 2002).




Εικόνα 2.1

(α) Η φωνητική κοιλότητα μοντελοποιημένη ως ένας μονοδιάστατος ακουστικός σωλήνας με διασταυρωμένους τομείς.

(β) Ένα μοντέλο οκτώ σωλήνων διακριτοποιημένο σε οκτώ τμήματα.

Ο Max Mathews χρησιμοποίησε το μοντέλο στη σύνθεση *Bicycle Built for Two* (1960) από το δίσκο ακτίνας *Music from Mathematics* σε παραγωγή του ιδίου, η οποία αποτέλεσε εκείνη την εποχή παγκόσμιο σύμβολο των αυξανόμενων δυνατοτήτων των ψηφιακών υπολογιστών<sup>6</sup> (Roads, 1996).

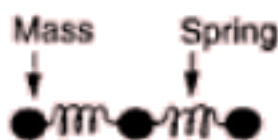
Track 1. *Bicycle Built for Two* - Max Mathews. 

### 2.1.2 Ο αλγόριθμος των Hiller - Ruiz.

Συνεχίζοντας, ένα μεγάλο μέρος των ερευνών στο πεδίο της φυσικής προτυποποίησης επικεντρώθηκε στις χορδές οι οποίες δύνανται να μοντελοποιηθούν σαν ένα αρχέτυπο σύστημα μάζας - ελατηρίου. Αυτή η συμπεριφορά εκφράζεται μαθηματικά μέσω

<sup>6</sup> Το κομμάτι συμπεριλήφθηκε στη μουσική της ταινίας “2001: A Space Odyssey” του Stanley Kubrick όταν ο υπολογιστής HAL το τραγουδάει ενθουσιάζοντας τις προηγούμενες μέρες που έζησε. Παρ’ όλα αυτά η εκδοχή του κομματιού στην ταινία εκτελέστηκε από έναν ηθοποιό (Roads, 1996).

διαφορικών εξισώσεων<sup>7</sup> οι οποίες περιγράφουν τον τρόπο λειτουργίας των ψηφιακών φίλτρων τα οποία θα χρειαστούν για τη σύνθεση. Λύνοντας τις διαφορικές εξισώσεις είτε για έγχορδα με δοξάρι είτε για νυκτά<sup>8</sup>, οι Hiller και Ruiz πραγματοποίησαν μία από τις πρώτες απόπειρες αλγορίθμου φυσικής προτυποποίησης η οποία χρησιμοποιήθηκε για την εξομοίωση μουσικού οργάνου (Hiller, 1971a, 1971b).



Εικόνα 2.2

*Αναπαράσταση συστήματος μάζας - ελατηρίου.*

Με σημείο αναφοράς την χορδή που βρίσκεται υπό ταλάντωση προκάλεσαν διέγερση σε διάφορα σημεία της και με διάφορους τρόπους. Στις αρχικές συνθήκες συμπεριλήφθηκαν η ταχύτητα του δοξαριού, η ασκούμενη πίεση και ο συντελεστής τριβής. Η χορδή μοντελοποιήθηκε με μία σειρά διακριτών μαζών ενωμένων με ελατήρια. Το γεγονός που τονίστηκε ιδιαίτερα ήταν ότι η ποιότητα του ήχου μίας χορδής υπό ταλάντωση καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο με τον οποίο γίνεται απόσβεση της ενέργειάς της.

Αυτή η μέθοδος απαιτεί αυξημένη υπολογιστική ισχύ και ακόμη και με τους σημερινούς υπολογιστές δεν είναι εύκολα υλοποιήσιμη. Οι Hiller και Ruiz ήταν οι πρώτοι που προσέγγισαν την αριθμητική επίλυση της εξίσωσης των χορδών που ταλαντώνονται με σκοπό την χρήση της στη σύνθεση. (Serafin, 2004).

---

<sup>7</sup> Διαφορική εξίσωση είναι μία μαθηματική εξίσωση η οποία συσχετίζει τις τιμές μίας άγνωστης συνάρτησης μίας ή και περισσότερων μεταβλητών και των παραγώγων της πρώτου, δευτέρου ή ανώτερου βαθμού. [http://el.wikipedia.org/wiki/Διαφορική\\_εξίσωση\\_](http://el.wikipedia.org/wiki/Διαφορική_εξίσωση)

<sup>8</sup> Η επίλυση των εξισώσεων από τους Hiller - Ruiz έγινε με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών.

### **2.1.3 Ο αλγόριθμος των McIntyre - Schumacher και Woodhouse<sup>9</sup>.**

Το 1983, οι McIntyre, Schumacher και Woodhouse ερεύνησαν μία γενική τάξη των εξαναγκασμένων ταλαντωτών (*self-sustained oscillators*), συστήματα στα οποία ο ήχος παράγεται όσο μία πηγή ενέργειας τα τροφοδοτεί (McIntyre et al. 1983). Έχοντας ως σημείο εκκίνησης την παραδοχή ότι οι εξαναγκασμένες ταλαντώσεις προκαλούν ήχο στα πνευστά, στα έγχορδα με δοξάρι και σε ηχητικούς σωλήνες, ο αλγόριθμος MSW επικεντρώνει στον λεπτομερειακό έλεγχο της συμπεριφοράς του ήχου στο πλαίσιο του χρόνου. Πιο συγκεκριμένα αφορά τη μελέτη παραγωγής και εξέλιξης των κυματομορφών και των φυσικών μηχανισμών πίσω από αυτά τα φαινόμενα.

Καινοτομία του MSW αλγορίθμου αποτελεί το γεγονός ότι ερευνήθηκαν οι φυσικές αιτίες που προκαλούν τις μεταβολές της κυματομορφής σε ένα μεγάλο εύρος μουσικών οργάνων καθώς και ότι λήφθηκαν υπ' όψιν υπολογισμοί για φαινόμενα όπως η εξομάλυνση του τονικού ύψους στα έγχορδα με δοξάρι, οι υποαρμονικοί, η διάρκεια της ατάκας κ.α.

### **2.1.4 Ο αλγόριθμος των Karplus - Strong<sup>10</sup> και η επέκτασή του από τους Jaffe - Smith.**

Το 1983 επίσης, οι Karplus και Strong πρότειναν έναν αποτελεσματικό αλγόριθμο για τη μοντελοποίηση της νυκτής χορδής και των κρουστών ο οποίος προέκυψε περισσότερο ως ατύχημα παρά ως μία σκόπιμη εφαρμογή φυσικής προτυποποίησης (Karplus, 1983). Παρατηρώντας ότι οι αυστηρά επαναλαμβανόμενοι ήχοι διακρίνονται από έλλειψη μουσικότητας, πειραματίστηκαν με αλγορίθμους με σκοπό να

---

<sup>9</sup> Βλ. Παράρτημα Ι.

<sup>10</sup> Βλ. Παράρτημα Ι.

τροποποιήσουν έναν κυκλικό κυματοπίνακα<sup>11</sup> κατά τη διάρκεια αναπαραγωγής του. Βρίσκοντας τον μέσο όρο δύο γειτονικών δειγμάτων ενός κυματοπίνακα σε κάθε κύκλο δημιουργήθηκε ένας ήχος με μεγάλες ομοιότητες με αυτόν της χορδής.

Καθώς ο αλγόριθμος δεν περιέχει πολλαπλασιασμούς παρά μόνο προσθέσεις απαιτεί ελάχιστη υπολογιστική ισχύ. Συγκεκριμένα, σε σύγκριση με την προσθετική σύνθεση, η οποία πραγματοποιήθηκε στα εργαστήρια Bell, βρέθηκε ότι η τελευταία απαιτεί τουλάχιστον τριάντα ημιτονοειδείς ταλαντωτές για την παραγωγή ενός αληθοφανούς ήχου. Αντίθετα ο αλγόριθμος νυκτής χορδής KS απαιτεί έναν ή δύο. Η μεταβλητότητα της προσθετικής, αφαιρετικής καθώς και της σύνθεσης διαμόρφωσης συχνότητας (*fm*) μπορεί να λείπει, ο χρήστης όμως ανταμείβεται από το χαμηλό χρηματικό κόστος, την ευκολία στον έλεγχο των παραμέτρων και το τελικό ηχητικό αποτέλεσμα (Karplus, 1983). Στην πορεία αποδείχθηκε ότι ο αλγόριθμος KS αποτελεί μία απλοποιημένη εκδοχή των προηγούμενων εξισώσεων του αλγορίθμου MSW.

Πρωταρχικά, ο αλγόριθμος KS αποτελείται από ένα ψηφιακό φίλτρο το οποίο αναπαριστά την χορδή και από έναν παράγοντα θορύβου ο οποίος αναπαριστά το χτύπημα. Σε μία συνεργασία με τους Karplus και Strong, οι Jaffe και Smith προσθέτοντας ολοδιαβατά (*all-pass*) φίλτρα<sup>12</sup> και βελτιώνοντας τα ήδη υπάρχοντα δημοσιοποίησαν τη δική τους επέκταση στον καινούριο αλγόριθμο (Jaffe, 1983).

Στην σύνθεση Silicon Valley Breakdown (1981) ο Jaffe, χρησιμοποιώντας τον εκτεταμένο αλγόριθμο, επικεντρώθηκε στην επέκταση των ιδιοτήτων του ηχοχρώματος του μοντέλου εγχόρδου διατηρώντας την ηχητική του ταυτότητα. Επίσης

---

<sup>11</sup> Ο κυματοπίνακας είναι ένας πίνακας με αποθηκευμένα ψηφιακά δείγματα ενός ηχογραφημένου ήχου.

<sup>12</sup> Τα φίλτρα αυτά παίρνουν το όνομά τους από το γεγονός ότι δεν επιφέρουν κανενός είδους φιλτράρισμα καθ' όσον επιτρέπουν όλες τις συχνότητες να περάσουν. Με αυτή την έννοια, ονομάζονται ίσως καταχρηστικώς φίλτρα, αλλά υπάρχει μία πολύ σημαντική λεπτομέρεια στην υλοποίηση του κυκλώματός τους: ναι μεν επιτρέπουν σε όλες τις συχνότητες να περάσουν, αλλά στην έξοδο του φίλτρου οι συχνότητες αυτές είναι αντεστραμμένες ως προς την φάση τους κατά 180 μοίρες. Με κατάλληλες τεχνικές ανατροφοδότησης (*feedback*) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να κατασκευάσουν phasers και επίσης χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην χρήση τεχνητών αντηχήσεων (*reverbs*). Π.χ. τα reverbs τύπου Gardner υλοποιούνται μέσω *allpass* φίλτρων.

χρησιμοποίησε το εικονικό όργανο για να εξομοιώσει τρόπους εκτέλεσης όπως εξαιρετικά γρήγορους ρυθμούς και αλλαγές οκτάβων αδύνατων να επιτευχθούν στα φυσικά όργανα.

*Track 2. Silicon Valley Breakdown - David Jaffe.* 

### **2.1.5 Σύνθεση με κυματοδηγούς<sup>13</sup> (waveguides).**

Ο κυματοδηγός αποτελεί ένα υπολογιστικό μοντέλο του μέσου στο οποίο διαδίδεται ένα κύμα. Σε μουσικές εφαρμογές αυτό το μέσο μπορεί να είναι μία χορδή, ένας ακουστικός σωλήνας κ.α. Οι κυματοδηγοί έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς από φυσικούς για την περιγραφή της συμπεριφοράς των κυμάτων σε χώρους συντονισμού. Στον τομέα της σύνθεσης ήχου τους εισήγαγε πρώτος ο Julius O. Smith ( Smith 1987, 1992) προτείνοντας μία καινούρια προσέγγιση στη σύνθεση ήχου μέσω φυσικής προτυποποίησης.

Ο μονοδιάστατος κυματοδηγός, μία αμφίδρομη γραμμή καθυστέρησης με ανακλάσεις στα άκρα της αποδείχθηκε ότι αποτελεί ένα αποτελεσματικό μοντέλο πολλών γραμμικών φυσικών συστημάτων συμπεριλαμβανομένων των χορδών και των ηχητικών σωλήνων. Όταν ο ψηφιακός κυματοδηγός χρησιμοποιείται ως στοιχείο σε ένα δίκτυο, καθίσταται δυνατή η δημιουργία πολυδιάστατων συστημάτων. Μη γραμμικές συμπεριφορές συχνά μπορούν να εισαχθούν σε μοντέλα κυματοδηγών επιτρέποντας τη δημιουργία ήχων πέρα από τις δυνατότητες που προσφέρουν οι αναλυτικές μέθοδοι.


Η μέθοδος σύνθεσης με ψηφιακούς κυματοδηγούς, βρίσκει τον πρόγονό της στον αλγόριθμο KS ο οποίος και αποτελεί την βάση για τη σύνθεση νυκτών χορδών (Carrillo

---

<sup>13</sup> Ο κυματοδηγός είναι μία φυσική δομή που χρησιμοποιείται για την καθοδήγηση ηχητικών κυμάτων π.χ. ένας ηχητικός σωλήνας. (Roads, 1996).

2006). Αυτή η τεχνική είναι πιο κατάλληλη για μονοδιάστατες τεχνικές κυματοδότησης και μοντελοποίηση συστημάτων εν είδει αρμονικού φάσματος όπως χορδές που ταλαντώνονται και ακουστικούς σωλήνες. Ένα από τα πλεονεκτήματά της αποτελεί το γεγονός ότι εξομοιώνει φυσικά φαινόμενα άμεσα με ψηφιακό τρόπο δηλαδή δεν χρειάζεται πρώτα η ανάπτυξη ενός συνεχούς μοντέλου και έπειτα η διακριτοποίησή του. Η σύνθεση ήχου με κυματοδηγούς αποτελεί και την πιο διαδεδομένη μέθοδο σύνθεσης μέσω φυσικής προτυποποίησης τόσο στο επίπεδο της ακαδημαϊκής έρευνας όσο και στις ευρέως διαδεδομένες εφαρμογές της (Valimaki, 1996).

Ακολουθεί ένα ηχητικό παράδειγμα σύνθεσης με κυματοδηγούς του ήχου του κλαρινέτου.

*Track 3. Παράδειγμα σύνθεσης με κυματοδηγούς - κλαρινέτο.* 

Το Πανεπιστήμιο του Στάνφορντ κατοχύρωσε την σύνθεση με ψηφιακούς κυματοδηγούς ως πατέντα και σύναψε συμβόλαιο με την Yamaha. Αποτέλεσμα αυτής της συνεργασίας αποτέλεσε ο ψηφιακός συνθετητής VL-1, η πρώτη εμπορική υλοποίηση συνθετητή φυσικής προτυποποίησης.



*Εικόνα 2.3*

*Ο συνθετητής φυσικής προτυποποίησης VL-1 της Yamaha.*



Τα βασικά πλεονεκτήματα του VL-1 είναι αφενός ότι μπορεί να αποτυπώσει αποχρώσεις εκτέλεσης όπως για παράδειγμα την τεχνική υπερφυσήματος στα πνευστά και αφετέρου ότι καθιστά δυνατή την δημιουργία υβριδικών οργάνων τα οποία δεν υφίστανται στον πραγματικό κόσμο όπως για παράδειγμα ένα φλάουτο το οποίο παίζεται χρησιμοποιώντας ένα δοξάρι. Ο συνθετητής VL-1 αποτελεί ένα καινούριο μουσικό όργανο καθώς απαιτεί την κατανόηση και μελέτη του τρόπου εκτέλεσής του. (Stanford University, 1994).

### **2.1.6 Σύνθεση ήχου μέσω τρόπων συντονισμού<sup>14</sup> (*modal synthesis*).**

Η σύνθεση ήχου μέσω τρόπων συντονισμού και ο αλγόριθμος PhISM χρησιμοποιήθηκαν κατά την διαδικασία υλοποίησης των αντικειμένων με τα οποία εφαρμόστηκε το *wutermaker* και παρουσιάζονται αναλυτικότερα στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας.

Κάθε μουσικό όργανο περιέχει ένα σύνολο δομών οι οποίες δύνανται να ταλαντώνονται μηχανικά ή ακουστικά. Αυτές οι ταλαντώσεις ελέγχονται από τον εκτελεστή του οργάνου και διεγείρουν τον περιβάλλοντα αέρα. Το όργανο καθίσταται δυνατό να αναπαρασταθεί ως ένα σύνολο δομών που ταλαντώνονται εφαρμόζοντας διαδράσεις μεταξύ τους και τροφοδοτώντας το πεδίο εκπομπής (Andrien 1989). Η σύνθεση μέσω τρόπων συντονισμού (Andrien 1989, 1991; Pai et al. 2001; Cook 2001) αποτελεί μία ξεχωριστή μέθοδο φυσικής προτυποποίησης και βασίζεται σε αυτήν ακριβώς την προϋπόθεση.

---

<sup>14</sup> Για περισσότερες λεπτομέρειες βλ. Κεφάλαιο 3, Ενότητα 3.1 Σύνθεση ήχου μέσω τρόπων συντονισμού (*modal synthesis*).

### **2.1.7 Ο αλγόριθμος PhISM<sup>15</sup>.**

Συνεχίζοντας, ο Perry Cook αναπτύσσει τον αλγόριθμο PhISM (Cook, 1997) ο οποίος είναι κατάλληλος για προτυποποίηση ιδιόφωνων κρουστών καθώς και καθημερινών μη μουσικών ήχων. Βασίζεται στην προτυποποίηση μορίων ήχου και χωρίζει τα όργανα σε δύο κατηγορίες (κρουστά με αρμονικό φάσμα και κρουστά με μη αρμονικό φάσμα) με διαφορετικό τρόπο προτυποποίησης για την κάθε μία από αυτές.

## ***2.2 Η φυσική προτυποποίηση σε ένα γενικότερο πλαίσιο.***

Η ενότητα που ακολουθεί περιγράφει τις δυνατότητες και τον τρόπο λειτουργίας της φυσικής προτυποποίησης. Τονίζονται τα πλεονεκτήματά και οι διαφοροποιήσεις της σε συγκεκριμένους τομείς έναντι άλλων τεχνικών και παραθέτονται οι νεωτερισμοί που αυτή προσέφερε στην έρευνα της μουσικής πληροφορικής.

### **2.2.1 Στόχος φυσικής προτυποποίησης.**

Η φυσική προτυποποίηση στοχεύει στην εξομοίωση του μηχανισμού παραγωγής ήχου παρά του ήχου αυτού καθεαυτού. Προσφέρει απλούστερες προοπτικές για τον έλεγχο και την παραγωγή καινούριων και ήδη υπαρχόντων ηχοχρωμάτων. Σκοπός των μοντέλων είναι η περιγραφή θεμελιωδών πτυχών των υπό μελέτη φαινομένων και συχνά χρησιμοποιούνται για ανάλυση και κατανόηση της λειτουργίας τους.

Δύο στοιχεία καθιστούν τη φυσική προτυποποίηση ενδιαφέρουσα και διαφορετική από τις υπόλοιπες τεχνικές σύνθεσης ήχου:

---

<sup>15</sup> Για περισσότερες λεπτομέρειες βλ. Κεφάλαιο 3, Ενότητα 3.2 Ο αλγόριθμος PhISM (Physically Inspired Sonic Modeling).

1. Η πολυπλοκότητα του υπό κατασκευή ηχοχρώματος καθορίζεται από τη δομή του μοντέλου και ως συνέπεια από τη δομή του αλγορίθμου ο οποίος εφαρμόζει το μοντέλο.
2. Υπάρχει σχέση ακρίβειας μεταξύ της αντίδρασης του πραγματικού οργάνου σε μία συγκεκριμένη ενέργεια και στην αντίδραση του μοντέλου του. Ο παραμετρικός έλεγχος κατά συνέπεια καθίσταται ευκολότερος.

Για την ανάπτυξη ενός μοντέλου είναι απαραίτητη η επίλυση δύο προβλημάτων:

1. Η εύρεση κατάλληλης περιγραφής των δομικών στοιχείων και
2. Ο καθορισμός της μορφής της μεταξύ τους διασύνδεσης (Borin et al. 1992).

### **2.2.2 Καθορισμός δομικών στοιχείων.**

Για την ανάλυση ενός πολύπλοκου μοντέλου, για παράδειγμα ενός μουσικού οργάνου, είναι εφικτή η διάσπαση του μοντέλου σε δομικά στοιχεία με τέτοιο τρόπο που η γενική περιγραφή μπορεί να δοθεί από τις επιμέρους περιγραφές των δομικών στοιχείων.

Τρία βασικά κριτήρια υπάρχουν για τον καθορισμό των δομικών στοιχείων:

1. Η φυσική ομοιότητα με το πραγματικό όργανο. Για παράδειγμα το βιολί μπορεί να διασπαστεί σε χορδές, σώμα, δοξάρι και γέφυρα.
2. Η λειτουργικότητα της δομής. Σε αυτήν την περίπτωση τα δομικά στοιχεία είναι ο διεγέρτης και ο συντονιστής<sup>16</sup>. Στο παράδειγμα του βιολιού ο διεγέρτης είναι το δοξάρι και ο συντονιστής το υπόλοιπο όργανο δηλαδή οι χορδές, το σώμα και η γέφυρα.

---

<sup>16</sup> Ο συντονιστής είναι μία συσκευή ή ένα σύστημα το οποίο εμφανίζει συντονισμό ή συντονιστική συμπεριφορά δηλαδή ταλαντώνεται σε κάποιες συχνότητες οι οποίες ονομάζονται συχνότητες συντονισμού και έχουν μεγαλύτερο πλάτος από τις υπόλοιπες. <http://en.wikipedia.org/wiki/Resonator>

3. Η απλότητα της περιγραφής. Με αυτό το κριτήριο τα δομικά στοιχεία χωρίζονται σε γραμμικά και μη γραμμικά συστήματα.

Στην πράξη, για τον καθορισμό των δομικών στοιχείων χρησιμοποιούνται τα τρία κριτήρια σε συνδυασμό.

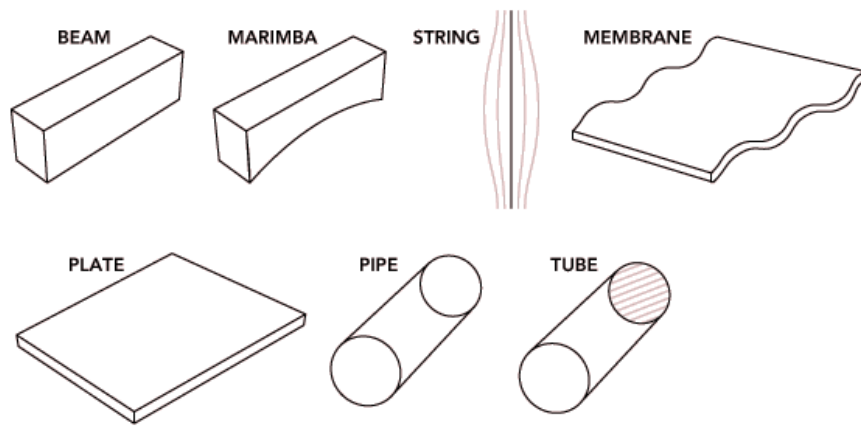
### **2.2.3 Διεγέρτες, συντονιστές και διαδράσεις.**

Η θεμελιώδης αρχή της σύνθεσης ήχου μέσω φυσικής προτυποποίησης είναι η διάδραση μεταξύ ενός διεγέρτη και ενός συντονιστή. Η διέγερση είναι μία ενέργεια η οποία προκαλεί ταλάντωση. Ο συντονισμός είναι η απάντηση του σώματος του οργάνου στην ταλάντωση που προκαλείται με τη διέγερση. Με όρους επεξεργασίας σήματος, το σώμα ενεργεί ως φίλτρο εφαρμοσμένο στο σήμα της διέγερσης.

Παραδείγματα διεγερτών είναι για τα χάλκινα πνευστά τα ανθρώπινα χείλη, για τα ξύλινα πνευστά η γλωττίδα, για τα έγχορδα με δοξάρι ή καλάμι ή πλήκτρο ή δάχτυλα και για τα κρουστά ραβδί ή μπαγκέτα ή βούρτσα ή τα χέρια. Παραδείγματα συντονιστών είναι για τα πνευστά ο ηχητικός σωλήνας, για τα έγχορδα οι χορδές και για τα κρουστά η μεμβράνη των τυμπάνων<sup>17</sup>.

---

<sup>17</sup> Παραδείγματα διεγερτών και συντονιστών υπάρχουν αναρτημένα στην παρακάτω ιστοσελίδα <http://www.cogs.susx.ac.uk/users/nc81/courses/cm1/scfiles/11.1%20Physical%20Modelling.html> του Πανεπιστημίου του Sussex.



Εικόνα 2.4

Παραδείγματα συντονιστών. Από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω: πλήκτρο, πλήκτρο μαρίμπας, χορδή, μεμβράνη, πιάτο, σωλήνας ανοικτός - ανοικτός, σωλήνας ανοικτός - κλειστός.

Γενικά, ο διεγέρτης έχει μη γραμμική συμπεριφορά ενώ ο συντονιστής έχει γραμμική συμπεριφορά. Συστήματα γραμμικής συμπεριφοράς ανταποκρίνονται σε αναλογία με την ποσότητα της ενέργειας που εφαρμόζεται σε αυτά. Αντίθετα όταν ένα σύστημα είναι μη γραμμικό τότε περιέχει όρια τα οποία αν ξεπεραστούν το σύστημα δρα με έναν καινούριο τρόπο (Borin et al. 1992).

Οι διαδράσεις μεταξύ διεγερτών και συντονιστών σε ένα σύστημα μπορεί να είναι όμοιας ή αμφίδρομης κατεύθυνσης.

#### 2.2.4 Κατηγοριοποίηση φυσικών μοντέλων.

Τα φυσικά μοντέλα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες σε σχέση με τον τρόπο κατασκευής τους (Smith, 1996). Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα επωνομαζόμενα συσσωρευμένα μοντέλα τα οποία αποτελούνται από μάζες, ελατήρια, τιμές απόσβεσης και μη γραμμικά στοιχεία. Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από τα διανεμημένα μοντέλα τα οποία

κατασκευάζονται από γραμμές καθυστέρησης (συνήθως ψηφιακοί κυματοδηγοί) σε συνδυασμό με ψηφιακά φίλτρα και μη γραμμικά στοιχεία.

### **2.2.5 Κλασσική μεθοδολογία φυσικής προτυποποίησης.**

Στα ακουστικά όργανα ο ήχος παράγεται από αντικείμενα που τελούν υπό ταλάντωση. Οι χορδές, οι γλωττίδες και οι μεμβράνες αποτελούν κάποια από αυτά. Το πρώτο βήμα είναι να γίνει ο προσδιορισμός των φυσικών διαστάσεων και παραμέτρων αυτών των αντικειμένων. Κάποιες βασικές παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν είναι η μάζα και η ελαστικότητα.

Στη συνέχεια προσδιορίζονται οι οριακές καταστάσεις στις οποίες περιορίζεται το κάθε αντικείμενο υπό ταλάντωση καθώς και η κατάσταση ηρεμίας του.

Επόμενο βήμα είναι η αλγοριθμική περιγραφή της διέγερσης ως μία δύναμη η οποία προσκρούει με κάποιον τρόπο στο εκάστοτε αντικείμενο υπό ταλάντωση. Σημαντικό είναι να υπολογιστούν οι αντιστάσεις καθώς όπως ταξιδεύουν τα κύματα από το ένα μέρος του οργάνου στο άλλο, οι αντιστάσεις των διαφόρων μερών διαφοροποιούν την διάδοσή του.

Τέλος, παράμετροι όπως τριβή και μορφές ηχητικής ακτινοβολίας πρέπει να υπολογιστούν ως παραπάνω περιορισμοί στις συνθήκες ταλάντωσης.

Σε αυτό το σημείο η κατάληξη είναι ένα μάλλον πολύπλοκο σύστημα εξισώσεων οι οποίες αναπαριστούν ένα φυσικό μοντέλο του οργάνου (Roads, 1996).

## 2.2.6 Συμπεράσματα.

Δύο είναι οι κύριοι σκοποί της φυσικής προτυποποίησης. Ο πρώτος είναι περισσότερο επιστημονικός ενώ ο δεύτερος έχει καλλιτεχνικό χαρακτήρα. Ο επιστημονικός σκοπός, ο οποίος αποτελεί και το σημείο εκκίνησής της, συνίσταται στο γεγονός ότι η φυσική προτυποποίηση ερευνά την επέκταση κατά την οποία μαθηματικές εξισώσεις και αλγοριθμική λογική δύνανται να εξομοιώσουν μηχανισμούς παραγωγής ήχων υπαρκτών οργάνων. Βάση αυτού αποτελεί το γεγονός ότι όσο πιο κοντά στο αρχικό πρότυπο βρίσκεται το μοντέλο του, τόσο καλύτερη είναι και η κατανόηση του συστήματος.

Σχετικά με τον καλλιτεχνικό σκοπό, με την τεχνική της φυσικής προτυποποίησης καθίσταται δυνατή η κατασκευή του ήχου πραγματικών οργάνων (εκτεταμένα), οργάνων που δεν υπάρχουν στον φυσικό κόσμο καθώς (αφηρημένα) και οργάνων τα οποία αποτελούν ένα συνδυασμό των δύο παραπάνω (υβριδικά)<sup>18</sup>. Τα όργανα τα οποία δεν υφίστανται στον φυσικό κόσμο είναι δυνατό να έχουν εναλλασσόμενα γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Επίσης μία ενδιαφέρουσα δυνατότητα της φυσικής προτυποποίησης είναι το γεγονός ότι διεγέρτες και συντονιστές μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους χωρίς περιορισμούς. Για παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διεγέρτης ένα δοξάρι και για συντονιστής μία μεμβράνη τυμπάνου. Τέλος με τη φυσική προτυποποίηση η εξομοίωση της εκφραστικότητας κατά την εκτέλεση ενός οργάνου καθίσταται πλέον δυνατή.

---

<sup>18</sup> Για μια εκτενέστερη περιγραφή των τριών κατηγοριών στις οποίες κατατάσσονται τα εικονικά όργανα βλ. Κεφάλαιο 4, Ενότητα 4.1. Κατηγοριοποίηση εικονικών οργάνων φυσικής προτυποποίησης.

### **3. Μέθοδοι σύνθεσης που χρησιμοποιήθηκαν κατά την κατασκευή του *wutermaker*.**

Μία απλή αναφορά των μεθόδων που περιγράφονται σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε στη σύντομη ιστορική αναδρομή του προηγούμενου κεφαλαίου. Στις σελίδες που ακολουθούν, παρουσιάζεται μία εκτενέστερη και αναλυτικότερη περιγραφή της λειτουργίας και της μεθοδολογίας της σύνθεσης μέσω τρόπων συντονισμού καθώς και η έννοια των υβριδικών οργάνων στα οποία η παραπάνω μέθοδος σύνθεσης αποδείχτηκε αποτελεσματική και εμφανίζονται οι διαφορές της από τις υπόλοιπες μεθόδους φυσικής προτυποποίησης. Επίσης αναλύεται ο αλγόριθμος PhISM ο οποίος όπως και η σύνθεση μέσω τρόπων συντονισμού, χρησιμοποιήθηκε στην υλοποίηση του *wutermaker*.

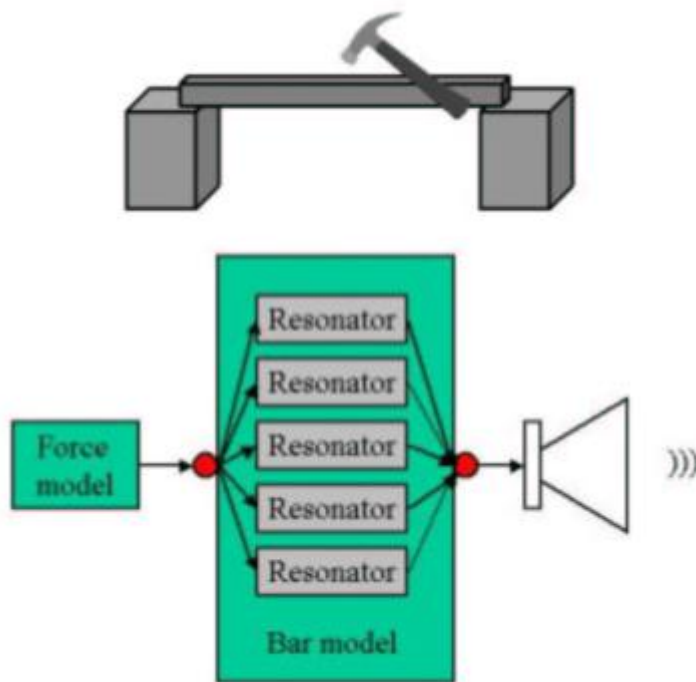
#### ***3.1 Σύνθεση ήχου μέσω τρόπων συντονισμού (modal synthesis).***

Η σύνθεση ήχου μέσω τρόπων συντονισμού είναι μία ειδική περίπτωση φυσικής προτυποποίησης η οποία σκοπό έχει την προσέγγιση του τρόπου ταλάντωσης σωμάτων. Η λέξη *modal* εδώ δεν παραπέμπει σε τροπικό αλλά σε τρόπους ταλάντωσης, συγκεκριμένα, μοντέλα που προκύπτουν από την ανάλυση μέσω τρόπων συντονισμού.



### 3.1.1 Περιγραφή τρόπου λειτουργίας.

Στη σύνθεση ήχου μέσω τρόπων συντονισμού (Andrien, 1989) οι ταλαντώσεις των δομών συντονισμού περιγράφονται με όρους αναπαράστασης του τρόπου συντονισμού τους. Τυπικά παραδείγματα δομών αποτελούν η γέφυρα του βιολιού, το σώμα του, ακουστικοί σωλήνες, μεμβράνες τυμπάνων κ.ο.κ. Όπως και στην προσέγγιση μάζας - ελατηρίου υπάρχουν δομές οι οποίες αντιστοιχούν και στην εξωτερική διέγερση.



Εικόνα 3.1

*Σύνθεση μέσω τρόπων συντονισμού του ήχου του κτύπου μίας ράβδου η οποία κρούεται από ένα σφυρί. Η δύναμη του σφυριού μοντελοποιείται ως μοντέλο ισχύος (force Model) και αποστέλλεται σε ένα σύνολο συντονιστών (resonators) το οποίο και αποτελεί το μοντέλο του τρόπου συντονισμού της ράβδου. Κάθε συντονιστής έχει συχνότητα, ποσοστό απόσβεσης και κέρδος (gain), παράμετροι οι οποίες και τον χαρακτηρίζουν. Οι έξοδοι των συντονιστών προσθέτονται και σχηματίζουν έτσι το τελικό σήμα.*

Κάθε δομή η οποία διεγείρεται μπορεί να διασπαστεί σε ένα σύνολο φυσικών τρόπων ταλάντωσης και χαρακτηρίζεται από δεδομένα τα οποία μπορεί να είναι οι συχνότητες συντονισμού και οι συντελεστές απόσβεσης του συντονισμού καθώς και το σύνολο των παραγόντων που αναπαριστούν το σχήμα της δομής η οποία ταλαντώνεται. Ο καθορισμός του σχήματος των δομών είναι εξαιρετικής σημασίας για τη σύνθεση μέσω τρόπων συντονισμού καθώς καθορίζει τον τύπο της ταλάντωσης (Djoharian, 1993). Η γενική ταλάντωση σε κάποιο χρονικό σημείο  $t$  δύναται να εκφραστεί ως ένα σύνολο συμβολής των δομών που συμμετέχουν σε αυτήν.

Στην εφαρμογή της μεθόδου αυτής από τον Andrien η στιγμιαία ταλάντωση περιγράφεται από ένα διάνυσμα  $N$  συντεταγμένων σε αντιστοιχία με  $N$  επιλεγμένα σημεία επάνω στην υπό μελέτη δομή. Αυτές οι συντεταγμένες συνδέονται με τέτοιο τρόπο ώστε τα γεωμετρικά και μηχανικά γνωρίσματά τους να αναλογούν με τα χαρακτηριστικά του οργάνου. Το σύνολο  $N$  σημείων είναι ισοδύναμο με τα αντίστοιχα  $N$  σύνολα των δεδομένων της δομής. Μία δοσμένη μορφή ταλάντωσης μπορεί να περιγραφεί με τις σχετικές μετατοπίσεις των  $N$  σημείων.

Για τις απλές δομές όπως για παράδειγμα μία χορδή χωρίς συντελεστή απόσβεσης, τα δεδομένα είναι διαθέσιμα στη θεωρία της μηχανικής με τη μορφή εξισώσεων. Για πολυπλοκότερες δομές είναι δυνατό να ληφθούν μέσω πειραματισμού με τα πραγματικά όργανα.

Η σύνθεση μέσω τρόπων συντονισμού αποτελεί και τη βάση του αλγορίθμου PhISAM ο οποίος χρησιμοποιήθηκε κατά την υλοποίηση του μοντέλου *marimba~* του συνθετητή *wutermaker* και περιγράφεται στην ενότητα 3.2. Το όργανο που μοντελοποιείται διασπάται σε δομές με δεδομένα τα οποία χαρακτηρίζουν την κάθε μία από αυτές.

### **3.1.2 Πλεονεκτήματα και διαφορές από τις υπόλοιπες μεθόδους φυσικής προτυποποίησης.**

Μία από τις διαφορές της σύνθεσης μέσω τρόπων συντονισμού με τις υπόλοιπες μεθόδους φυσικής προτυποποίησης έγκειται στο γεγονός ότι το επίπεδο της αφαίρεσης της πρώτης είναι υψηλότερο με την έννοια ότι ένα όργανο μπορεί να χτιστεί συνδυάζοντας προκατασκευασμένα στοιχεία ή δομές ακουστικής μορφής όπως μεμβράνες, σωλήνες, χορδές, γέφυρες κ.α. Συνεπάγεται ότι είναι δυνατή η ενσωμάτωση φυσικά προτυποποιημένων δικτύων σε ενότητες όπως για παράδειγμα ένα εικονικό όργανο κρουστού με δοξάρι. Στις υπόλοιπες μεθόδους υπάρχει ο έλεγχος στις μονάδες οι οποίες εμπεριέχονται σε αυτές τις ενότητες ενώ αντίθετα στη σύνθεση μέσω τρόπων συντονισμού δεν είναι δυνατή η αλλαγή της ενδότερης δομής ενός συστήματος. Αυτό βέβαια μπορεί να αποδειχθεί αναποτελεσματικό σε περίπτωση που κάποιος θέλει να διεισδύσει σε βάθος στις φυσικές αρχές που διέπουν ένα μουσικό όργανο με σκοπό την ουσιαστικότερη κατανόηση της λειτουργίας του.

Είναι δύσκολη η σύγκριση μεθόδων σύνθεσης ήχου χωρίς πρώτα να αποκτηθεί σαφήνεια στο τι πρέπει να επιτευχθεί. Κάτι που μπορεί να έχει αποτέλεσμα σε μία περίπτωση, σε κάποια άλλη είναι πιθανό να κριθεί ακατάλληλο. Συμπερασματικά, η σύνθεση μέσω τρόπων συντονισμού σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεθόδους φυσικής προτυποποίησης υπερέχει στο γεγονός ότι μειώνει την μαθηματική πολυπλοκότητα των δομών καθώς και στην ευελιξία της η οποία αποτυπώνεται στον υψηλό βαθμό διαμορφωσιμότητάς τους. Ο σχεδιαστής οργάνων μπορεί να προσθέτει ή να αφαιρεί υπομονάδες σε ένα δίκτυο για να δημιουργεί ενέργειες σύνθεσης μεταβαλλόμενες στον χρόνο (όπως π.χ. συρρίκνωση ή μεγέθυνση του μεγέθους ενός οργάνου) και υβρίδια ηχοχρώματος, συνδυάζοντας δομές από διαφορετικά όργανα.

### 3.1.3 Σχετικά με τα υβριδικά εικονικά όργανα<sup>19</sup>.

Αν και οι ψηφιακοί κυματοδηγοί και οι αλγόριθμοι απόσβεσης μάζας - ελατηρίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξομοίωση υβριδικών εικονικών οργάνων, η σύνθεση μέσω τρόπων συντονισμού είναι πιο κατάλληλη για τέτοιου είδους σχεδιασμό. Αντιθέτως η μέθοδος αυτή δύναται να εφαρμοστεί και για εκτεταμένα εικονικά όργανα.

Τα υβριδικά εικονικά όργανα παρουσιάζουν τη συγχώνευση πολλαπλών εικονικών οργάνων σε μία μονάδα. Τα υβρίδια διατηρούν τα χαρακτηριστικά ηχοχρώματα και από τις δύο πηγές, η κυριαρχία των οποίων εξαρτάται από την παραμετρική ευθυγράμμιση. Πραγματικά, τα υβρίδια διαπραγματεύονται πρωτόγνωρα ηχοχρώματα τα οποία δεν υπάρχουν στη πραγματικότητα.

Δύο σημεία στα οποία η σύνθεση μέσω τρόπων συντονισμού καθίσταται πιο κατάλληλη από τις υπόλοιπες μεθόδους φυσικής προτυποποίησης για την κατασκευή υβριδικών εικονικών οργάνων είναι τα ακόλουθα:

1. Το μοντέλο ανεξαρτητοποιείται από τις ιδιότητες χώρου του τρόπου συντονισμού. Γεγονός εξαιρετικά χρήσιμο αφού συνεχείς μεταπτώσεις από το ένα όργανο στο άλλο μειώνουν την μετάπτωση των παραμέτρων του τρόπου συντονισμού.
2. Το μοντέλο είναι άμεσα συνδεδεμένο με τα ηχητικά χαρακτηριστικά της δομής. Οι συχνότητες συντονισμού ενός τρόπου συντονισμού αποτελούν το φασματικό περιεχόμενο του παραγόμενου ήχου όταν η δομή διεγείρεται (Kojas et al. 2007).

---

<sup>19</sup> Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τα εικονικά όργανα και την κατηγοριοποίησή τους βλ. Κεφάλαιο 4, Ενότητα 4.1. Κατηγοριοποίηση εικονικών οργάνων φυσικής προτυποποίησης.

### 3.2 Ο αλγόριθμος *PhISM*<sup>20</sup> (*Physically Inspired Sonic Modeling*).

Όπως προαναφέρθηκε, ο αλγόριθμος *PhISM*, ο οποίος αναπτύχθηκε από τον Perry Cook (Cook, 1997), βασίζεται στη μοντελοποίηση μορίων ήχου και χωρίζει τα όργανα σε δύο κατηγορίες με διαφορετικό τρόπο μοντελοποίησης για την κάθε μία από αυτές.

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν κρουστά με χαρακτηριστικά συντονισμού όπως η μαρίμπα και το ξυλόφωνο. Μοντελοποιούνται με τον αλγόριθμο *PhISAM* (*Physically Informed Spectral Additive Modeling*) ο οποίος έχει ως κύριο σκοπό τη σύνθεση του φάσματος και προσφέρει αυξημένο παραμετρικό έλεγχο μοντέλων σύνθεσης μέσω τρόπων συντονισμού.

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν κρουστά με μη αρμονικό ηχητικό φάσμα στα οποία ο ήχος παράγεται από τυχαίες διαδράσεις αντικειμένων όπως η μαράκα, η σφυρίχτρα καθώς και μη μουσικοί ήχοι όπως αυτοί του περπατήματος και των σταγόνων βροχής. Η μοντελοποίησή τους γίνεται με τον αλγόριθμο *PhISEM* (*Physically Informed Stochastic Event Modeling*) του οποίου βάση αποτελεί η ψευδοτυχαία τακτοποίηση μικρών μορίων ήχου. Ο αλγόριθμος βασίζεται σε νευτωνικές εξισώσεις οι οποίες επεξηγούν την κίνηση και την πρόσκρουση των μορίων μάζας.

Ο Cook πρότεινε τον συνδυασμό διαφόρων τεχνικών σύνθεσης όπως ταλάντωση διαμόρφωσης πλάτους (*am*), διαμόρφωσης συχνότητας (*fm*), κοκκώδης σύνθεση (*granular*), σύνθεση μέσω τρόπων συντονισμού ή και φυσική προτυποποίηση με πρωταρχικό κίνητρο την επίτευξη ενός εκφραστικού ελέγχου της σύνθεσης (Cook, 1997). Κατά την επιλογή του μοντέλου, των παραμέτρων του καθώς και των τιμών αυτών των παραμέτρων λαμβάνονται υπ' όψιν οι νόμοι της φυσικής οι οποίοι διέπουν

---

<sup>20</sup> Με τον αλγόριθμο αυτόν έγινε η υλοποίηση των τριών μοντέλων του *wutermaker*. Μία σύντομη αναφορά έγινε στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας στην υποενότητα της ιστορικής αναδρομής. Αυτό το κεφάλαιο πραγματεύεται μία αναλυτικότερη προσέγγιση του αλγορίθμου.

το επιλεγμένο για μοντελοποίηση όργανο. Επεκτάσεις για πιο πολύπλοκα όργανα γίνονται με την προσθήκη φίλτρων. Η δισδιάστατη ή και τρισδιάστατη μοντελοποίηση καθίσταται δυνατή.

Ο έλεγχος του εικονικού οργάνου μπορεί να γίνει σε πραγματικό χρόνο. Απαραίτητη είναι η βασική γνώση της φυσικής κάποιων κρουστών οργάνων αλλά ο κύριος σκοπός του αλγορίθμου είναι η χρησιμοποίηση του πιο απλού μοντέλου για τη σύνθεση.

### **3.2.1 PhISAM.**

Ο αλγόριθμος PhISAM βασίζεται στη σύνθεση μέσω τρόπων συντονισμού αλλά μπορεί να γίνει κατανοητός και με τη χρήση ημιτονοειδών ταλαντωτών. Τα φίλτρα ή οι παράμετροι ελέγχου των ημιτονοειδών ταλαντωτών οδηγούνται και ελέγχονται από κανόνες που προκύπτουν με τη μέθοδο Φουριέ και από δεδομένα ανάλυσης ηχογραφημένων ήχων. Κύριος σκοπός του αλγορίθμου είναι η σύνθεση του φάσματος και ο έλεγχός του με παραμέτρους οι οποίοι έχουν φυσική σημασία. Ο αλγόριθμος είναι κατάλληλος για κρουστά με αρμονικό φάσμα όπως μαρίμπα, ξυλόφωνο, βιμπράφωνο κ.α.

Απόπειρες για μοντελοποίηση αυτών των κρουστών έχουν γίνει στο παρελθόν από τους Doutaut και Chaigne (1993), τον Serra (1986) και τον Warzynek (1989). Ενώ ο αλγόριθμος προσφέρει την ίδια ευελιξία στον έλεγχο των παραμέτρων όπως τα μοντέλα των προαναφερθέντων παράλληλα καθιστά δυνατό τον απλό έλεγχο σε παραμέτρους διέγερσης όπως το βαθμό πυκνότητας του υλικού της μπαγκέτας και σε παραμέτρους εκτέλεσης όπως η θέση της μπαγκέτας (Cook, 1997). Η γνώση η οποία προκύπτει από τη φυσική προτυποποίηση επιτρέπει την πρόσθετη μοντελοποίηση του εκτελεστή με έναν αποτελεσματικό αλγόριθμο.

Ο τρόπος ταλάντωσης των κρουστών προκύπτει από τη θεωρία ακουστικής ή από ανάλυση φυσικών συστημάτων ενώ η πρωτότυπη διέγερση μπορεί να κατασκευαστεί ηχογραφώντας διεγέρσεις σε μη συντονιστικές επιφάνειες<sup>21</sup> και μπορεί να διαμορφωθεί στα πεδία του χρόνου και της συχνότητας. Ο χαρακτήρας θορύβου ο οποίος υπάρχει στις κρουστές διεγέρσεις δύναται να μοντελοποιηθεί με ανάλυση/ανασύνθεση στοχαστικού περιεχομένου προσδίδοντας έτσι έναν χαρακτήρα τυχαιότητας στο τελικό μοντέλο.

Για την εξομοίωση της θέσης κτυπήματος μπορούν να παραχθούν απλοί κανόνες για τον έλεγχο των σχετικών επιπέδων οι οποίοι βασίζονται σε μονοδιάστατα πρότυπα του χώρου ταλάντωσης των αντικειμένων. Τα δεδομένα της θέσης κτυπήματος μπορούν επίσης να προκύψουν από ανάλυση μέσω τρόπων συντονισμού ή ανάλυση Φουριέ<sup>22</sup> αληθινών κτυπημάτων σε διάφορες θέσεις. Κάποιος βαθμός τυχαιότητας θα έπρεπε να συμπεριληφθεί στη διαδικασία ανασύνθεσης.

Η αληθοφάνεια της εκτέλεσης δύναται να προστεθεί στο μοντέλο συμπεριλαμβάνοντας τη φυσική των μπαγκετών και του εκτελεστή. Το αντικείμενο του εκτελεστή, μοντελοποιείται με τη μορφή κώδικα ο οποίος υπολογίζει αυτόματα τη θέση κτυπήματος ανάλογα με τις τελευταίες νότες που παίχτηκαν, τη διάρκειά τους, το χρόνο που πέρασε από το παίξιμό τους και το επίπεδο του εκτελεστή. Είναι δυνατή η πρόσθεση βασικών μοντέλων των ώμων και των χεριών του. Τέλος, προσθέτοντας φίλτρα για την εξομοίωση των μη γραμμικών συμπεριφορών, αυξάνεται η υπολογιστική ισχύς του μοντέλου.

---

<sup>21</sup> Η επίσης με ανάλυση φίλτρων LPC ή με ντετερμινιστική/στοχαστική αποσύνθεση βασισμένη στη μέθοδο Φουριέ.

<sup>22</sup> Η ανάλυση Φουριέ είναι ένα πεδίο των εφαρμοσμένων μαθηματικών το οποίο προέκυψε από την προσπάθεια αναπαράστασης μίας συνάρτησης ως αθροίσματος απλούστερων, περιοδικών τριγωνομετρικών συναρτήσεων. Επομένως κεντρική ιδέα στην ανάλυση Φουριέ είναι η προσπάθεια για κατανόηση των ιδιοτήτων μίας συνάρτησης (η οποία μπορεί να αναπαριστά π.χ. ένα σήμα) μέσω διάσπασής της σε γνωστά, στοιχειώδη μέρη (*αποσύνθεση*). Η ανάστροφη διαδικασία, η κατασκευή μίας συνάρτησης από γνωστές, βασικές συναρτήσεις, ονομάζεται *σύνθεση*. [http://el.wikipedia.org/wiki/Ανάλυση\\_Φουριέ](http://el.wikipedia.org/wiki/Ανάλυση_Φουριέ)

### 3.2.2 PhISEM.

Στον αλγόριθμο PhISEM παράγονται μία ποικιλία ήχων από τη διάδραση ενός ή περισσοτέρων μορίων μέσα σε ένα αντικείμενο το οποίο μπορεί να χαρακτηρίζεται ή και να μη χαρακτηρίζεται από συντονισμό (Scavone, 2004 - 2008).

Ο αλγόριθμος, αποτελεί έναν αλγόριθμο ψηφιακής επεξεργασίας σήματος ο οποίος επινοήθηκε για τη σύνθεση αυτών των ήχων που κοινό τους χαρακτηριστικό είναι ότι δημιουργούνται από τυχαία μοριακά συστήματα. Βάση του αποτελεί ο στοχαστικός<sup>23</sup> υπολογισμός προσκρούσεων ανεξάρτητων αντικειμένων και η εφαρμογή συντονισμών σε απλούς ήχους πρόσκρουσης (Cook, 1997).

Στην καρδιά του αλγορίθμου PhISEM βρίσκονται μοντέλα μορίων τα οποία χαρακτηρίζονται από βασικές Νευτωνικές εξισώσεις που κυβερνούν την κίνηση και τις προσκρούσεις των σημειακών μαζών. Η αριθμητική επίλυση αυτών των εξισώσεων οδηγεί στην επίλυση των μοντέλων (Cook, 2001). Τα μοριακά μοντέλα είναι και η βάση της Cordis - Anima, μίας γλώσσας για την εφαρμογή εξομοιώσεων ήχου (Cordis) και κινούμενων αντικειμένων (Anima)<sup>24</sup>.

Ο PhISEM είναι κατάλληλος για όργανα όπως η σφυρίχτρα του διαιτητή, η μαράκα ή και άλλα συστήματα τα οποία έχουν ως κύριο χαρακτηριστικό τυχαίες διαδράσεις αντικειμένων που παράγουν ήχο. Ο αλγόριθμος καλύπτει και ένα φάσμα ήχων που δεν ανήκουν στα μουσικά όργανα όπως τα καλάμια ανέμου μπαμπού, το περπάτημα, οι σταγόνες βροχής κ.α. Κοινό στοιχείο στους ήχους αυτούς αποτελεί το γεγονός ότι ο ήχος παράγεται και τροποποιείται από χαρακτηριστικά διακριτά γεγονότα.

Ένας μεγάλος αριθμός εξομοιώσεων με διάφορες τιμές αριθμών μορίων και τιμές απόσβεσης εφαρμόστηκε από τον Cook και συλλέχθηκαν στοιχεία για τις πιθανότητες

---

<sup>23</sup> Στο στοχαστικό υπολογισμό το αποτέλεσμα χαρακτηρίζεται από ένα βαθμό τυχαιότητας ενώ οι αρχικές συνθήκες παραμένουν γνωστές.

<sup>24</sup> Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την Cordis - Anima βλ. Παράρτημα II.



της σύγκρουσης των μορίων, τη συνολική μείωση της ενέργειας του ήχου κ.α. Ένα από τα συμπεράσματα αποτελεί το γεγονός ότι ο ήχος παράγεται μόνο από τα μόρια που χτυπούν στα τοιχώματα που τα περικλείουν επειδή οι συγκρούσεις μεταξύ των μορίων δεν προσφέρουν αρκετά στον εκπεμπόμενο ήχο.

Ο αλγόριθμος PhISEM που προέκυψε, μειώνει τη συμπεριφορά μοριακών συστημάτων σε μία στατιστική διαδικασία στην οποία οι παράμετροι αντιστοιχούν άμεσα με τις παραμέτρους που συλλέχθηκαν στις εξομοιώσεις (Cook, 2003).

Η ενέργεια του συστήματος η οποία αναπαριστά την ολική κινητική ενέργεια μειώνεται εκθετικά<sup>25</sup>. Αυτή η μείωση γίνεται με αστραπιαία ταχύτητα σε συστήματα με μεγάλο ρυθμό απόσβεσης (Lakatos et al. 2000).

Στις συγκρούσεις των μορίων οι οποίες παράγουν ήχο εμφανίζεται κατανομή Poisson<sup>26</sup>, με μεγαλύτερο χρόνο αναμονής για μικρό αριθμό αντικειμένων ενώ αντίθετα ο χρόνος αναμονής μειώνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των αντικειμένων. Το μοντέλο το οποίο υλοποιείται με τον αλγόριθμο PhISEM πλησιάζει στον ιδανικό το οποίο μπορεί να επιτευχθεί με αυτή την τεχνική όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των μορίων.

Τα γεγονότα ηχητικής παραγωγής μοντελοποιούνται ως σύντομες εκθετικές μειώσεις λευκού θορύβου και οι συντονισμοί που συμβαίνουν στο σύστημα μοντελοποιούνται με τη χρήση biquad φίλτρων συντονισμού<sup>27</sup> (Cook, 2001).

Αν και τα πρωτότυπα μοντέλα τα οποία μελετήθηκαν περιείχαν μόρια περικλειόμενα από μία σφαιρική επιφάνεια, ο αλγόριθμος επεκτείνεται αποτελεσματικά και σε άλλα συστήματα με πολλαπλά ανεξάρτητα αντικείμενα ηχητικής παραγωγής. Τα μοντέλα PhISEM προσφέρουν έλεγχο σε διάφορες φυσικές παραμέτρους όπως ο αριθμός των συγκρουόμενων αντικειμένων, ιδιότητες απόσβεσης, συχνότητα συντονισμού.

---

<sup>25</sup> Δηλαδή μειώνεται με ρυθμό ανάλογο με την τιμή της.

<sup>26</sup> Διακριτή κατανομή πιθανότητας η οποία εκφράζει την πιθανότητα αριθμού γεγονότων που συμβαίνουν σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα αν είναι γνωστός ο μέσος όρος τους και ανεξάρτητα με τη χρονική στιγμή που συνέβηκε το τελευταίο από αυτά. [http://en.wikipedia.org/wiki/Poisson\\_distribution](http://en.wikipedia.org/wiki/Poisson_distribution)

<sup>27</sup> Επαναλαμβανόμενο γραμμικό φίλτρο δεύτερης τάξεως.



*Εικόνα 3.2*

*Ελεγκτές που χρησιμοποιήθηκαν για τα μοντέλα του PhISEM.*

Συνεχίζοντας την έρευνα ο Cook και οι συνεργάτες του οδηγήθηκαν στην ανακάλυψη καινούριων ελεγκτών για τα μοντέλα οι οποίοι με τη σειρά τους, τους οδήγησαν σε νέους αλγορίθμους. Η εικόνα απεικονίζει κάποιους από αυτούς τους ελεγκτές.

Ακολουθούν ηχητικά παραδείγματα μοντέλων αλγορίθμου PhISEM καθημερινών ήχων αλλά και κάποιων κρουστών μουσικών οργάνων.

*Track 4. PhISEM - Ήχοι μαράκα, σέκερε, καμπάσα.* 🗣️

*Track 5. PhISEM - Ήχοι ντεφιού και κουδουνιών.* 🗣️

*Track 6. PhISEM - Ήχος καλαμιών ανέμου.* 🗣️

*Track 7. PhISEM - Ήχος κερμάτων σε κούπα.* 🗣️

### **3.3 Πίνακας μεθόδων σύνθεσης και ευρέως διαδεδομένες εφαρμογές της φυσικής προτυποποίησης.**

Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμη η προσθήκη ενός κεφαλαίου το οποίο περιέχει τις κυριότερες μεθόδους σύνθεσης φυσικής προτυποποίησης συνοψίζοντάς τες σε έναν πίνακα και αναφέροντας τα κύρια χαρακτηριστικά τους. Μέρος της ενότητας αυτής αποτελεί και μία υποενότητα η οποία αναφέρεται στις ευρέως διαδεδομένες εφαρμογές της σύνθεσης ήχου μέσω φυσικής προτυποποίησης.

#### **3.3.1 Πίνακας κατάταξης μεθόδων σύνθεσης μέσω φυσικής προτυποποίησης.**

<b>Μέθοδος σύνθεσης</b>	<b>Συγγραφέας</b>	<b>Έτος υλοποίησης</b>	<b>Κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά</b>
Μάζα - ελατήριο - απόσβεση	Hiller - Ruiz	1971	Μοντέλα μαζών - ελατηρίων. Αυξημένη υπολογιστική ισχύς.
Αλγόριθμος MSW	McInture - Schumacher - Woodhouse	1983	Μοντελοποίηση αντικειμένων ως σειρά εξισώσεων. Απλοποιημένα μοντέλα.
Αλγόριθμος KS	Karplus - Strong	1983	Μοντέλα βασισμένα σε γραμμές καθυστέρησης.
Επεκτάσεις KS αλγορίθμου	Jaffe - Smith	1983	Προσθήκες και επεκτάσεις στα μοντέλα του αλγορίθμου KS.

Μέθοδος σύνθεσης	Συγγραφέας	Έτος υλοποίησης	Κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά
Ψηφιακοί κυματοδηγοί	Smith	1985	Αποδοτικά μοντέλα σε σχέση με την υπολογιστική τους ισχύ που συμπεριφέρονται ως φυσικά συστήματα.
Σύνθεση μέσω τρόπων συντονισμού	Andrien	1989	Αναπαράσταση μοντέλων ως σύνολο δομών που ταλαντώνονται.
Αλγόριθμος PHISM	Cook	1997	Μοντέλα βασισμένα σε μοριακές συγκρούσεις.

Εικόνα 3.3

Πίνακας χρονολογικής κατάταξης των μεθόδων σύνθεσης μέσω φυσικής προτυποποίησης.

### 3.3.2 Εμπορικές υλοποιήσεις.

Το πρώτο πιάνο έκανε την εμφάνισή του το 1698 από τον Cristofori ο οποίος και το κατασκεύασε. Στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα εισήχθησαν η δεύτερη και η τρίτη γενιά πιάνων οι οποίες περιλαμβάνουν τα ηλεκτρακουστικά πιάνα και τους ήχους πιάνων που υλοποιήθηκαν με την τεχνική της δειγματοληψίας (*sampling*) αντίστοιχα. Το Pianoteq της Modartt ανήκει στην τέταρτη γενιά πιάνων καθώς ξεφεύγει από τους περιορισμούς της τρίτης γενιάς.

Το Pianoteq είναι ένας εικονικός συνθετητής πιάνου υλοποιημένος με σύνθεση ήχου μέσω φυσικής προτυποποίησης στον οποίο ο εκτελεστής έχει τον πλήρη έλεγχο της ηχητικής πηγής και παράλληλα αποτελεί μία από τις πρώτες εμπορικές υλοποιήσεις της φυσικής προτυποποίησης. Ο εκτελεστής έχει τη δυνατότητα να επέμβει σε όλο το

φάσμα των αρμοδιοτήτων ενός χορδιστή, ενός εκτελεστή και ενός κατασκευαστή πιάνων. Η παρούσα έκδοση είναι η 3.5 ενώ η πρώτη έκδοση κυκλοφόρησε το 2006. Έχει μέγεθος μόνο 20 MB σε αντίθεση με τα πιάνα τρίτης γενιάς των οποίων το μέγεθος κάποιες φορές έφτανε μέχρι και τα 200 GB. Εκτός από τους ήχους πιάνου προσφέρονται και έτοιμες καταχωρήσεις (*presets*) με ήχους από βιμπράφωνο, τσέμπαλο και ηλεκτρικό πιάνο (Modartt, 2010).

Συνεχίζοντας, το Modalys (πρώην Mosaic) είναι ένα εικονικό εργαστήριο σύνθεσης ήχου σχεδιασμένο από τους Jean-Marie Andrien και Joseph Morrison. Στο Modalys επιτρέπεται η συγκέντρωση και η συναρμολόγηση δομών του τρόπου συντονισμού των αντικειμένων σε μουσικά όργανα χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο της σύνθεσης μέσω τρόπου συντονισμού. Συμπερασματικά το μοντέλο ορίζεται ως μία συλλογή από μηχανικές και ακουστικές δομές συντονισμού οι οποίες ταλαντώνονται και διαδρούν κάτω από ποικίλες συνθήκες διέγερσης.

Το Modalys προσφέρει έναν αριθμό από έτοιμες προκατασκευασμένες δομές όπως χορδές, στήλες αέρα, μεταλλικές πλάκες, μεμβράνες. Επίσης προσφέρει δομές για την εξομοίωση δράσεων όπως για παράδειγμα τριβή, κρούση και νύξη. Τα όργανα κατ' επέκτασιν προγραμματίζονται συνδέοντας αυτές τις δομές μεταξύ τους. Στην ορολογία του Modalys οι δομές ονομάζονται αντικείμενα (*objects*) και οι διαδράσεις μεταξύ των αντικειμένων αναφέρονται ως συνδέσεις (*connections*). Μία σύνδεση μεταξύ δύο αντικειμένων επίσης λειτουργεί ως διεπαφή μεταξύ του χρήστη και του οργάνου. Για παράδειγμα η σύνδεση μεταξύ ενός δοξαριού και μίας χορδής προσφέρει τα μέσα για τον έλεγχο από τον χρήστη των παραμέτρων που κινούν την διάδραση όπως πίεση, ταχύτητα κ.α. (Ellis et al. 2005).

Το Brass της Arturia είναι ένας συνθετητής λογισμικού τριών πνευστών οργάνων : σαξοφώνου, τρομπονιού και τρομπέτας. Χρησιμοποιεί παραμέτρους όπως υλικό

οργάνου και επιστομίου και επίσης περιλαμβάνει ένα μοντέλο με ελέγξιμες παραμέτρους από τον χρήστη του χώρου στον οποίο βρίσκονται οι εκτελεστές (Arturia, 2010).

Μία ακόμη εταιρεία η οποία επένδυσε σε εμπορικές υλοποιήσεις της σύνθεσης μέσω φυσικής προτυποποίησης είναι η Applied Acoustics. Στο δυναμικό της μετράει δύο εφαρμογές, τον συνθετητή Tassman και το ηλεκτρικό πιάνο Lounge Lizard. Ο Tassman αποτελεί έναν συνδυασμό αναλογικής σύνθεσης και σύνθεσης μέσω φυσικής προτυποποίησης. Το συνθετικό του περιβάλλον περιλαμβάνει δομές είτε φυσικής προτυποποίησης είτε αναλογικής σύνθεσης οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους για την κατασκευή οργάνων. Το Lounge Lizard, ένας εικονικός συνθετητής για ήχους ηλεκτρικού πιάνου, έχει παρόμοιο γραφικό περιβάλλον με αυτό του Tassman με τη βασική διαφορά ότι δεν προσφέρει πρόσβαση στη συνθετική διαδικασία αλλά μόνο σε παραμέτρους ελέγχου των χαρακτηριστικών των οργάνων (Cahill, 2004).

Τέλος, η ιστοτική τοποθεσία <http://www.xoxos.net> προσφέρει έναν αριθμό φυσικών μοντέλων σε μορφή VST, υλοποιημένα με το περιβάλλον σύνθεσης Synthedit. Παραδείγματα τέτοιων μοντέλων είναι το boing, μοντέλο εγχόρδου με δοξάρι και το cylinder33, ένα μοντέλο τυμπάνου υλοποιημένο με κυματοδηγούς.

Ένα πλεονέκτημα της φυσικής προτυποποίησης όπως φαίνεται από την μελέτη των ευρέως διαδεδομένων εφαρμογών της, αποτελεί το γεγονός ότι ένα φυσικό μοντέλο μπορεί να παιχτεί με την ίδια εκφραστικότητα με την οποία θα γινόταν η εκτέλεση ενός πραγματικού οργάνου, χωρίς να χρειάζεται η εκπαίδευση χρόνων. Κατά συνέπεια, μειώνεται την εξειδίκευση και αυξάνεται το εύρος κοινού το οποίο ασχολείται με τη μουσική και τη μουσική τεχνολογία.

## 4. Εικονικά κρουστά όργανα.

Η χρήση του όρου *εικονικός* έχει εφαρμοστεί σε διάφορα πεδία με διαφορετικές ερμηνείες για το κάθε ένα από αυτά. Στη φιλοσοφία αναφέρεται σε *αυτό που δεν είναι αληθινό αλλά μπορεί να εμφανίζει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του πρωτοτύπου*. Στο πεδίο της επιστήμης της πληροφορικής, ο όρος έχει εφαρμοστεί με διάφορες ερμηνείες. Χρησιμοποιείται για συστήματα λογισμικού τα οποία συμπεριφέρονται ως συστήματα υλισμικού (εικονική μηχανή, εικονική μνήμη, εικονικό μουσικό όργανο), για εξομοιώσεις της πραγματικότητας (εικονική πραγματικότητα) ή ακόμα και για εξομοιώσεις σε περιβάλλον παιχνιδιών όπου εμφανίζεται για να περιγράψει προκατασκευασμένους κόσμους (εικονικός κόσμος)<sup>28</sup>. Ωστόσο εδώ χρησιμοποιείται μία προέκταση του όρου που στα αγγλικά αποδίδεται με τη λέξη *cyberinstruments* και στα ελληνικά με τη λέξη *εικονικά όργανα*.

### 4.1 Κατηγοριοποίηση εικονικών οργάνων φυσικής προτυποποίησης.

Το άρθρο *Cyberinstruments via Physical Modeling Synthesis: Compositional Applications* (Kojs et al. 2007), πραγματεύεται τη φυσική προτυποποίηση ως ένα μέσο καλλιτεχνικής δημιουργίας καθώς ασχολείται με τις εφαρμογές της στη μουσική σύνθεση. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι *...Ένα φυσικό μοντέλο είναι μία εξομοίωση στον υπολογιστή ενός ηχητικού αντικειμένου (είτε αυτό είναι ένα μουσικό όργανο, ένα περιβαλλοντικό φαινόμενο ή ένα καθημερινό αντικείμενο) βασισμένο στην κατανόηση και*

---

<sup>28</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Virtual>

την εφαρμογή του μηχανισμού παραγωγής ήχου.... ...Η φυσική προτυποποίηση εξομοιώνει τη μηχανική της παραγωγής ήχου, ενώ άλλες τεχνικές (π.χ. προσθετική, αφαιρετική και σύνθεση διαμόρφωσης συχνότητας) επικεντρώνουν στη μοντελοποίηση των ακουστικών ιδιοτήτων του σήματος όπως εκλαμβάνεται από τον ακροατή...

Εξετάζοντας το πως τα εικονικά όργανα φυσικής προτυποποίησης χρησιμοποιήθηκαν στη μουσική σύνθεση οι Kojs, Serafin και Chafe (Kojs et al. 2007) τα κατατάσσουν σε τρεις κατηγορίες συνδέοντας και την κάθε κατηγορία με μία μέθοδο φυσικής προτυποποίησης :

1. **Εκτεταμένα** (*extended*). Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι εξομοιώσεις από ήδη υπάρχοντα μουσικά όργανα ή ηχητικά αντικείμενα. Εκτός από την καθαρή αντιγραφή δηλαδή την σύνθεση ενός πανομοιότυπου οργάνου με το αρχικό, επιτρέπεται η αύξηση των παραμέτρων του οργάνου πέρα από τους φυσικούς του περιορισμούς. Μοντελοποιούνται συνήθως με ψηφιακή σύνθεση κυματοδηγού.
2. **Υβριδικά** (*hybrid*). Τα υβριδικά όργανα συνδυάζουν τις ιδιότητες δύο ή και παραπάνω ήδη υπαρχόντων οργάνων. Παραδείγματα υβριδίων είναι το blotar και το ublotar (συλλογή PeRColate) τα οποία συνδυάζουν τις ιδιότητες του φλάουτου και της κιθάρας. Η εξομοίωσή τους γίνεται με σύνθεση μέσω τρόπων συντονισμού.
3. **Αφηρημένα** (*abstract*). Στην τρίτη και τελευταία κατηγορία ανήκουν τα αφηρημένα εικονικά όργανα τα οποία αποτελούν δομές εμπνευσμένες από τους νόμους της φυσικής οι οποίες δεν υπάρχουν στον πραγματικό κόσμο. Η μοντελοποίησή τους γίνεται μέσω μίας αλγοριθμικής προσέγγισης μάζας - ελατηρίου - απόσβεσης (*mass - spring - damper*).



Αναφέρεται βέβαια και το γεγονός ότι υπάρχουν και κάποια εικονικά όργανα τα οποία δεν ανήκουν σε καμία από αυτές τις κατηγορίες.

Το *wutermaker* θα μπορούσε να καταχωρηθεί ως υβριδικό εικονικό όργανο καθώς συνδυάζει τα ηχητικά χαρακτηριστικά ενός μουσικού οργάνου και δύο καθημερινών ήχων.

<b>Κατηγορία εικονικών οργάνων</b>	<b>Κύριο χαρακτηριστικό</b>	<b>Καταλληλότερος τρόπος μοντελοποίησης</b>
Εκτεταμένα	Μοντέλα από υπάρχοντα μουσικά όργανα	Σύνθεση με κυματοδηγούς
Υβριδικά	Συνδυασμός δύο ή περισσότερων υπαρχόντων μουσικών οργάνων	Σύνθεση μέσω τρόπων συντονισμού
Αφηρημένα	Μουσικά όργανα που δεν υφίστανται στον πραγματικό κόσμο	Αλγόριθμος μάζας - ελατηρίου - απόσβεσης

*Εικόνα 4.1*

*Πίνακας κατηγοριοποίησης εικονικών οργάνων.*

## **4.2 Παραδείγματα κρουστών εικονικών οργάνων φυσικής προτυποποίησης.**

Οι έρευνες της φυσικής προτυποποίησης καθώς και της ακουστικής των μουσικών οργάνων έχουν επικεντρωθεί κυρίως στα έγχορδα και στα πνευστά όργανα (Rossing et al. 2004). Μία από τις αιτίες του γεγονότος αυτού αποτελεί και η δυσκολία

μοντελοποίησης των κρουστών οργάνων η οποία έγκειται κυρίως στον υψηλό βαθμό μη γραμμικής συμπεριφοράς που αυτά έχουν.

#### **4.2.1 Εργαλειοθήκη σύνθεσης (Synthesis Toolkit - STK) και PeRColate.**

Η εργαλειοθήκη σύνθεσης STK είναι ένα ανοικτού κώδικα περιβάλλον προγραμματισμού σε C++ το οποίο αναπτύχθηκε από τον Perry Cook και τον Gary Scavone (Cook, 1996). Η πρώτη έκδοση κυκλοφόρησε το 1996. Είναι διαθέσιμη για όλες τις πλατφόρμες λογισμικού και έχει μεταφερθεί σε αρκετά συστήματα σύνθεσης ήχου όπως τα Vanilla Sound Server, RTCMix, Csound, MaxMsp (PeRColate), και Super Collider.

Περιέχει ένα σύνολο παραδειγμάτων τεχνικών σύνθεσης για παιδαγωγικούς, ερευνητικούς, συνθετικούς και σκοπούς καλλιτεχνικής εκτέλεσης. Οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν είναι η προσθετική (*additive*), η αφαιρετική (*subtractive*), διαμόρφωση συχνότητας (*fm*), φυσική προτυποποίηση, δειγματοληψία (*sampling*), σύνθεση μέσω τρόπων συντονισμού και ο αλγόριθμος PhISM.

Στον πυρήνα της χρησιμοποιεί τις παραδοσιακές γεννήτριες μονάδας όπως εμφανίστηκαν από τον Max Matthews στη γλώσσα Music N. Περιβάλλουσες, φίλτρα, γεννήτριες θορύβου, μη γραμμικότητα και χειριστές εισόδου/εξόδου δεδομένων αποτελούν τα θεμελιώδη δομικά στοιχεία για τον αλγόριθμο σύνθεσης.

Από τον χρήστη απαιτείται η βασική κατανόηση της γλώσσας C και C++. Επίσης προσφέρεται έλεγχος σε πραγματικό χρόνο μέσω του Skini (*Synthesis toolkit interactive network interface*) πρωτοκόλλου, μία επέκταση του γνωστού Midi κατασκευασμένη για την STK. Βελτιώσεις και προσθήκες γίνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα (Scavone, 2005).

Για την υλοποίηση του *wutermaker* χρησιμοποιήθηκε μία έκδοση της STK για το Max/MSP. Το PeRColate αποτελεί μία ανοικτού κώδικα διανομή αλγορίθμων σύνθεσης και επεξεργασίας ήχου οι οποίοι μπορούν να συνδεθούν για τη δημιουργία συμβατικών και μη οργάνων. Στην ουσία είναι μία μεταφορά της εργαλειοθήκης STK για το Max/MSP και το Nato. Παρέχει μία ποικιλία αντικειμένων σύνθεσης περιλαμβανομένης της φυσικής μοντελοποίησης, της σύνθεσης μέσω τρόπων συντονισμού και του αλγορίθμου PhISM. Από την πρώτη του κυκλοφορία έχουν συμπεριληφθεί πολλά αντικείμενα τα οποία δεν περιλαμβάνονται στην εργαλειοθήκη STK. Η παρούσα έκδοση είναι η 0.95.

Στον παρακάτω πίνακα παραθέτονται τα αντικείμενα που περιλαμβάνει το PeRColate και συγκεκριμένα αυτά τα οποία σχετίζονται με την παρούσα εργασία. Στη δεξιά στήλη δίνεται μία σύντομη περιγραφή του εκάστοτε μοντέλου.

<b>Αντικείμενο</b>	<b>Περιγραφή</b>
<i>agogo~</i>	Μοντέλο σύνθεσης μέσω τρόπων συντονισμού του αγκόγκο.
<i>bamboo~</i>	Μοντέλο καλαμιών αέρα μπαμπού.
<i>blotar~</i>	Υβριδικό μοντέλο φλάουτου/ηλεκτρικής κιθάρας.
<i>bowedbar~</i>	Μοντέλο ράβδου κρουστού με δοξάρι.
<i>bowed~</i>	Μοντέλο εγχόρδου με δοξάρι.
<i>brass~</i>	Γενικό φυσικό μοντέλο χάλκινου πνευστού.
<i>cabasa~</i>	Μοντέλο καμπάσας.
<i>clar~</i>	Φυσικό μοντέλο κλαρινέτου.
<i>flute~</i>	Φυσικό μοντέλο φλάουτου.

<b>Αντικείμενο</b>	<b>Περιγραφή</b>
<i>guiro~</i>	Μοντέλο γκίρο.
<i>mandolin~</i>	Φυσικό μοντέλο μαντολίνου.
<i>marimba~</i>	Μοντέλο σύνθεσης μέσω τρόπω συντονισμού της μαρίμπας.
<i>metashaker~</i>	Διεπαφή για τα κύρια μοντέλα του PhISM.
<i>plucked~</i>	Μοντέλο νυκτής χορδής.
<i>sekere~</i>	Μοντέλο του σέκερε.
<i>shaker~</i>	Μοντέλο σέικερ μαράκας.
<i>sleigh~</i>	Μοντέλο μικρών κουδουνιών.
<i>tamb~</i>	Μοντέλο ντεφιού.
<i>vibraphone~</i>	Μοντέλο βιμπράφωνου (σύνθεση μέσω τρόπων συντονισμού).
<i>wuter~</i>	Μοντέλο σταγόνων βροχής.

Εικόνα 4.2

Πίνακας αντικειμένων της διανομής *PeRColate* με σύντομη περιγραφή για το κάθε ένα.

#### 4.2.2 Σύνθεση μουσικής με τον αλγόριθμο PhISM.

Ο Juan Reyes έγραψε το κομμάτι *Wadi Musa* (2001) για κένας (*qenas*, φλάουτα από τις Άνδεις), τσέλο, μοντέλο κλαρινέτου και στοχαστικά μοντέλα μαράκας επεκτείνοντας το μοντέλο PhISEM μαράκας του Cook με τη χρησιμοποίηση του προγράμματος Common Lisp Music (*CLM*) το οποίο διαβάζει και εκτελεί την παρτιτούρα ενώ έχουν προκαθοριστεί κάποιες παράμετροι. Η πολυρυθμία ήταν το αποτέλεσμα συνδυασμών του ρυθμού κίνησης της μαράκας, της ποσότητας κίνησης και των εναλλαγών του μεγέθους της.

Ο Dan Trueman χρησιμοποίησε τα μοντέλα του PhISEM στα έργα του: *Lobster Quadrille* (1999) στο οποίο ελέγχει τα μοντέλα καθώς και προηχογραφημένους ήχους με τη Bow - Sensor - Speaker - Array (*BoSSA*)<sup>29</sup>. Αλλάζοντας την κατεύθυνση, τη συχνότητα και άλλες παραμέτρους ηχογραφημένων δειγμάτων ενός ποιήματος από το έργο *Η Αλίκη στη Χώρα των Θαυμάτων* και εμπλέκοντας τους με τους ήχους των μοντέλων PhISEM δημιουργεί ένα ενδιαφέρον ηχητικό αποτέλεσμα με έντονο το αίσθημα της κυκλικότητας στο χώρο. Στο *Wind in Hands, Water in Feet* για χορευτές και ηλεκτρονικά τα ηχοχρώματα καλαμιών ανέμου μπαμπού επεκτείνονται για να εξομοιώσουν ήχους νερών. Οι χορευτές εξοπλισμένοι με αισθητήρες στα πόδια ενεργοποιούν το όργανο διαδρώντας με το εικονικό νερό. Το αποτέλεσμα είναι ένα μουσικοχορευτικό δρώμενο στο οποίο οι χορευτές φαίνονται να χορεύουν επάνω σε νερό.

Το έργο *Revelations* (2005) του Kojs για κυκλικά παιχνίδια, πιάτα συντονισμού και ηλεκτρονικά εξερευνεί τη διάδραση μεταξύ των φυσικών παιχνιδιών και των κρουστών


---


<sup>29</sup> Η Bossa είναι μία εφαρμογή υλισμικού και λογισμικού εξομοίωσης με φυσική προτυποποίηση του ήχου και του παιχνιδιού του βιολιού η οποία περιλαμβάνει μηχανισμούς αισθητήρων για παράδειγμα του δοξαριού. Η υλοποίησή της έγινε από τους Dan Trueman και Perry Cook (Trueman, 1999).


εικονικών οργάνων. Μεταλλικές και πλαστικές μπάλες καθώς και γυάλινες μπίλιες χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο μαράκας, γκίρο και μελωδικών στήλων μπαμπού. Μοντέλα του Perry Cook και του Georg Essl σχεδιασμένα στο Max/MSP καθώς και ένα μοντέλο σχεδιασμένο από την Stefania Serafin εφαρμόστηκαν σε αυτή τη σύνθεση. Αποτέλεσμα της διάδρασης μεταξύ φυσικών αντικειμένων και εικονικών οργάνων είναι μία ανάμειξη αναλογικοψηφιακών δομών συντονισμού (Kojs et al. 2007). Η σύνθεση αυτή έχει έντονο ρυθμικό χαρακτήρα.

Track 8. *Wadi Musa* - Juan Reyes. 

Track 9. *Lobster Quadrille* - Dan Trueman. 

Track 10. *Revelations (a)* - Juraj Kojs. 

Track 11. *Revelations (b)* - Juraj Kojs. 

Track 12. *Revelations (c)* - Juraj Kojs. 

### 4.2.3 Σύνθεση μουσικής με ψηφιακούς κυματοδηγούς.

Ο Matthew Burtner στα έργα *S-Morphe-S* (2002), και *That Which is Bodiless is Reflected in Bodies* (2004) χρησιμοποίησε μοντέλα κυματοδηγών σχεδιασμένα από την Stefania Serafin. Στο *S-Morphe-S* εξερευνάται ο συνδυασμός ενός σοπράνο σαξοφώνου με ένα μοντέλο θιβετιανού μπωλ (*Tibetan bowl*). Το σαξόφωνο χρησιμοποιείται για την κρούση και το φύσημα στο μοντέλο του μπωλ. Το αποτέλεσμα είναι ένα υβριδικό όργανο με τα χαρακτηριστικά εκτέλεσης του σαξοφώνου και με το σώμα του μπωλ. Το σχήμα και το υλικό του μπωλ διαφοροποιούνται συνεχώς στο χρόνο δημιουργώντας ένα συνεχές μεταμορφώσιμο σώμα. Το έργο ξεκινά με συνεχείς κρατημένους ήχους του μπωλ και εξελίσσεται σε ένα ντουέτο μπωλ και σαξοφώνου στο οποίο το μπωλ αυξάνει

τον ηχητικό χώρο καθώς χρησιμοποιείται ως κοιλότητα συντονισμού για το σήμα του σαξοφώνου. Ο συνθέτης πλάτυνε την ηχητική ταυτότητα του οργάνου επανασηματοποιώντας τη φυσική δομή της περιβάλλουσάς του.

Στο *That Which is Bodiless is Reflected in Bodies* ο Burtner επικεντρώθηκε στη διερεύνηση του χτύπου (χαρακτηριστικό γνώρισμα του θιβετιανού μπωλ). Το φυσικό μοντέλο του μπωλ εφαρμόστηκε ως οκτακάναλο όργανο. Ο ακροατής τοποθετείται μέσα στο μοντέλο έχοντας οκτώ ηχεία γύρω του το κάθε ένα από τα οποία αναπαριστά και ένα κόμβο συντονισμού επάνω στο σκεύος το οποίο χωρίζεται σε οκτώ ισομεγέθη τμήματα. Στην ουσία ο ακροατής βρίσκεται μέσα σε μία γιγάντια συσκευή η οποία αλλάζει συνεχώς σχήματα και διαστάσεις.

Τέλος, ο Hans Tutschku χρησιμοποίησε το Genesis<sup>30</sup> στη σύνθεσή του *Resorption - Coupure* (2002) όπου ένα αντικείμενο το οποίο μοιάζει με δοξάρι, αντικείμενα πρόσκρουσης και σφυριά διεγείρουν αφηρημένως καθορισμένες δομές συντονισμού. Κατασκεύασε το κομμάτι με συνειδητές διαφοροποιήσεις μεταξύ αντιληπτής αναγνωρισιμότητας και μη αναγνωρισιμότητας των ηχητικών αντικειμένων. Αυτή η διαδικασία αποτυπώνεται στη χρήση των αφηρημένων εικονικών οργάνων και των φυσικών ήχων. Η σύνθεση διαπραγματεύεται δύο όψεις του χρόνου: τη συνέχεια και τη διακοπή. Κατά τη διάρκεια του κομματιού το γεγονός της διακοπής επαναλαμβάνεται με συνέχεια.

Track 13. *That Which is Bodiless is Reflected in Bodies* - Matthew Burtner. 

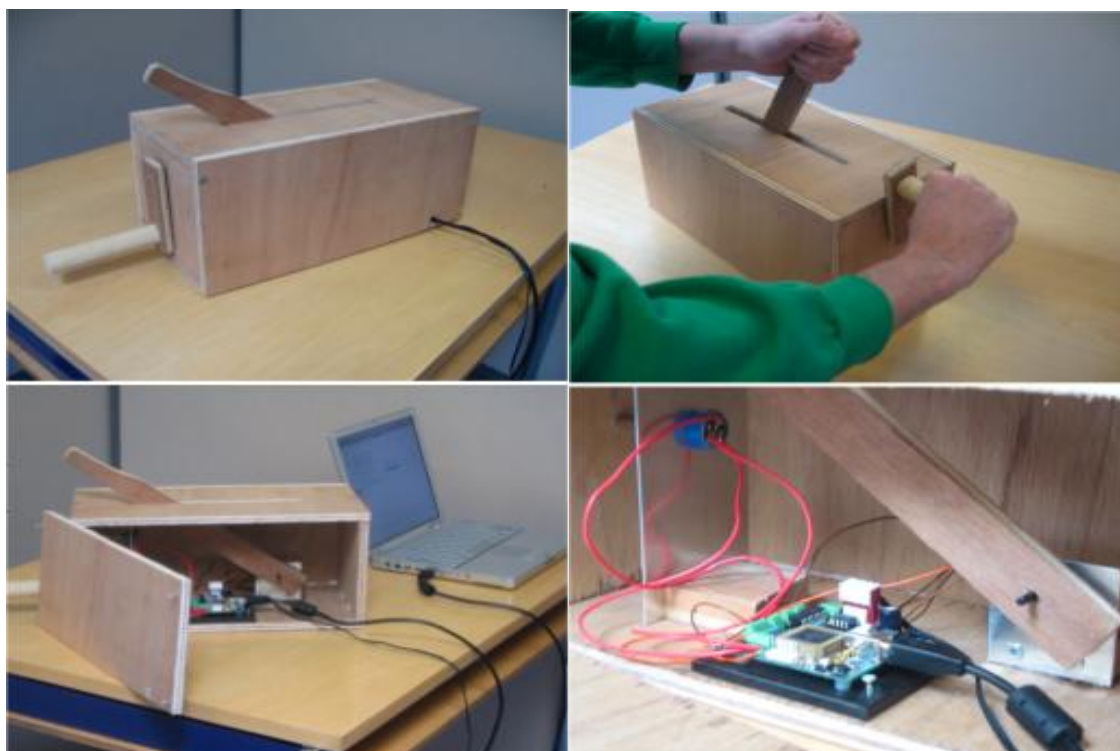
Track 14. *Resorption - Coupure* - Hans Tutschku. 

---

<sup>30</sup> Βλ. Παράρτημα III.

#### 4.2.4 Croaker (2006).

Στην αρχή του 20ού αιώνα ο Ιταλός συνθέτης και ζωγράφος Luigi Russolo έφτιαξε μία νέα οικογένεια οργάνων με την ονομασία *intonarumori*. Κάθε όργανο αποτελείται από ένα παραλληλεπίπεδο ηχητικό κουτί με ένα μεγάφωνο στο μπροστινό μέρος και με μία μεταλλική χορδή στο εσωτερικό του η οποία διεγείρεται από έναν τροχό. Ο εκτελεστής για να κινήσει τον τροχό χρησιμοποιεί έναν στρόφαλο ενώ ο βαθμός τεντώματος της χορδής ρυθμίζεται με ένα μοχλό (Manning, 1993).



Εικόνα 4.3

*Από πάνω προς τα κάτω και από αριστερά προς τα δεξιά: Μία όψη του οργάνου, μία όψη του μικροελεγκτή και των αισθητήρων στο εσωτερικό του οργάνου, χρήση του οργάνου και εικόνα των συνδέσεων των αισθητήρων με το μοχλό και το στρόφαλο.*

Το Croaker κατασκευάστηκε σε μία προσπάθεια αναδημιουργίας των οργάνων *intonarumori* και με σκοπό την χρήση ως μουσικό όργανο και ως διεπαφή για σύνθεση



ήχου σε πραγματικό χρόνο (Serafin et al. 2006). Όπως και τα πρωτότυπα όργανα έτσι και το Croaker κατασκευάστηκε από ξύλο.

Όπως φαίνεται και στην εικόνα το Croaker έχει ως ελεγκτές έναν στρόφαλο και έναν μοχλό. Η εκτέλεσή του είναι απλή και γίνεται γυρίζοντας το στρόφαλο με το δεξί χέρι και ελέγχοντας τη θέση του μοχλού με το αριστερό. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου του εύρους συχνοτήτων μέσω ενός ολισθαίνοντος ρυθμιστή (*slider*).

Η εξομοίωση της χορδής του εσωτερικού των *intonarumori* υλοποιήθηκε με σύνθεση μέσω τρόπων συντονισμού ενώ τα διαφορετικά είδη διεγερτών μοντελοποιήθηκαν με τον αλγόριθμο PhISM. Διάφοροι ήχοι προκύπτουν από την χρήση του Croaker όπως κρουστοί ήχοι, ήχοι γέλιου, σπασίματος, ξυσίματος κ.α.

#### **4.2.5 Physmism (2007).**

Το Physmism αποτελεί μία διεπαφή που δημιουργήθηκε με σκοπό τη διερεύνηση των δυνατοτήτων βελτίωσης της δημιουργικής χρήσης της φυσικής προτυποποίησης (Bottcher et al. 2007). Αποτελείται από τέσσερα μοντέλα κατασκευασμένα με διαφορετική τεχνική φυσικής προτυποποίησης για το κάθε ένα:

1. Μοντέλο αναταραχής (Μονοδιάστατος κυματοδηγός, μη γραμμική διέγερση).
2. Στοχαστικό μοντέλο (Αλγόριθμος PhISM, τυχαία στοχαστική διέγερση).
3. Μοντέλο τριβής (Μονοδιάστατος κυματοδηγός, πολύπλοκη μη γραμμική διέγερση).
4. Μοντέλο κτυπήματος (Δυσδιάστατος κυματοδηγός, απλή μη γραμμική διέγερση).

Τα μοντέλα εφαρμόζονται πρακτικά σε μία συσκευή (βλ. Εικόνα 4.3) με ελεγκτές διαφόρων μορφών όπου και γίνεται συνδυασμός των διαφόρων τεχνικών και μοντέλων αλλάζοντας τις σχέσεις εισόδου/εξόδου μεταξύ τους.



*Εικόνα 4.4  
Physmism.*

#### 4.2.6 Πίνακας εφαρμογών κρουστών εικονικών οργάνων φυσικής προτυποποίησης.

Εφαρμογή	Έτος υλοποίησης	Κύριο χαρακτηριστικό
Εργαλειοθήκη σύνθεσης STK/Percolate	2006	Μοντέλα κρουστών οργάνων υλοποιημένα με τον αλγόριθμο PhISM
Σύνθεση μουσικής με τον αλγόριθμο PhISM	Διάφορα έτη	Πολυρυθμίες, διαδράσεις μεταξύ οργάνων
Σύνθεση μουσικής με κυματοδηγούς	Διάφορα έτη	Υβριδικά, αφηρημένα όργανα, τοποθέτηση του ακροατή στο χώρο
Croaker	2006	Αναδημιουργία των οργάνων intonarumori
Physmism	2007	Διεπαφή όπου συνδυάζονται τεχνικές και μοντέλα

Εικόνα 4.5

*Πίνακας εφαρμογών κρουστών οργάνων φυσικής προτυποποίησης.*

## 5. *Wutermaker*. Υλοποίηση κρουστού υβριδικού συνθετητή.

Ο συνθετητής *wutermaker* κατασκευάστηκε στο Max/MSP ως μία προσπάθεια συνδυασμού ενός μοντέλου μαρίμπας, ενός μοντέλου ήχου καλαμιών ανέμου μπαμπού και ενός μοντέλου ήχου σταγόνων βροχής. Ο συνδυασμός αυτός έγκειται κυρίως στις διαδράσεις μεταξύ των επιμέρους παραμέτρων των μοντέλων. Τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν ανήκουν στη διανομή PeRColate<sup>31</sup> των P. Cook και D. Trueman και συγκεκριμένα είναι τα μοντέλα μαρίμπας (*marimba~*), καλαμιών ανέμου μπαμπού (*bamboo~*) και σταγόνων βροχής (*wuter~*).

Η ονομασία του *wutermaker* προήλθε, αφενός από το αντικείμενο *wuter~* αλλά και λόγω των διαδράσεων που προκαλούνται μεταξύ των τριών αυτών μοντέλων οι οποίες έχουν αναλογικό κυρίως χαρακτήρα.

Η επιλογή του υβριδικού οργάνου προέκυψε από το γεγονός ότι καινούρια ηχοχρώματα δύνανται να δημιουργηθούν από ήδη γνωστά ηχοχρώματα μουσικών οργάνων. Ο συνδυασμός των ηχοχρωμάτων μη μουσικών ήχων και ενός μουσικού οργάνου έκανε τη διαδικασία υλοποίησης του *wutermaker* ακόμη πιο ενδιαφέρουσα.

Κατά την υλοποίηση του συνθετητή διάφορα προβλήματα επήλθαν στην επιφάνεια όπως το ότι τα μοντέλα βρίσκονται ακόμη σε ένα στάδιο το οποίο χαιρεί βελτίωσης. Το γεγονός αυτό προκύπτει από το ότι η σύνθεση ήχου μέσω φυσικής προτυποποίησης εφαρμόστηκε σχετικά πρόσφατα στα πεδία των μουσικών εφαρμογών και της σύνθεσης

---

<sup>31</sup> Βλ. κεφάλαιο 4, Υποενότητα 4.2.1. Εργαλειοθήκη σύνθεσης (*Synthesis Toolkit - STK*) και Percolate.

ήχου<sup>32</sup> καθώς και το ότι η οικογένεια των κρουστών μοντελοποιείται πιο δύσκολα απ' ότι οι υπόλοιπες οικογένειες οργάνων<sup>33</sup>.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου παρουσιάζεται μία ανάλυση των ιδιοτήτων και των παραμέτρων του κάθε μοντέλου ξεχωριστά αλλά και μία άποψη ολόκληρου του συνθετητή. Μία βασική αρχή η οποία λήφθηκε υπ' όψιν κατά την ανάλυση, αποτελεί το γεγονός ότι η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο προκαλείται ο ήχος στα μοντέλα στον πραγματικό κόσμο, βοηθά στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο έγινε η σύνθεση του ήχου τους στον ψηφιακό κόσμο. Επίσης περιγράφεται η διαδικασία υλοποίησης του *wutermaker* μέσω της μεθοδολογίας η οποία ακολουθήθηκε αλλά και μέσω των διαφορετικών επιπέδων τα οποία υπάρχουν στον συνθετητή.

## **5.1 Μοντέλο *marimba*~<sup>34</sup>.**

Η λέξη *μαρίμπα* προέρχεται από τη λέξη Μπαντού *ίμπα* που σημαίνει *τραγούδι*. Η μαρίμπα, ένα μεγάλο ορχηστρικό ξυλόφωνο με βαθύ στρογγυλό ήχο, έχει αφρικανική προέλευση. Εισήχθη στην Κεντρική και Νότια Αμερική το 17ο αιώνα, την εποχή που άρχισε το δουλεμπόριο. Στις αρχές του 20ου αιώνα έγινε δημοφιλής στις ΗΠΑ, όπου εξελίχθηκε στη μορφή που τη χρησιμοποιούν σήμερα οι ορχήστρες. Τα αφρικάνικα όργανα έχουν για αντηχεία μεγάλες κούφιες κολοκύθες. Στη σύγχρονη ορχηστρική μαρίμπα όμως, αυτές έχουν αντικατασταθεί από ηχητικούς σωλήνες. Το όργανο της ορχήστρας έχει έκταση πάνω από 4 οκτάβες και διάταξη πληκτροφόρου οργάνου. Οι ράβδοι κατασκευάζονται από ροδόξυλο ή συνθετικό υλικό. Όλα τα πλήκτρα της σύγχρονης μαρίμπας βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, για να διευκολύνουν τον εκτελεστή -

---

<sup>32</sup> Βλ. κεφάλαιο 2, Υποενότητα 2.1.1. Το πρώτο μοντέλο.

<sup>33</sup> Βλ. κεφάλαιο 4, Ενότητα 4.2. Παραδείγματα κρουστών εικονικών οργάνων φυσικής μοντελοποίησης.

<sup>34</sup> Τα ιστορικά στοιχεία καθώς και τα στοιχεία του τρόπου λειτουργίας του μουσικού οργάνου της μαρίμπας αποσπάρθηκαν από την ιστοσελίδα <http://www.thessalsoniki.gr/b3.html>

που παίζει μόνος του με δύο μπαγκέτες σε κάθε χέρι - να εκτελεί τετράφωνες συγχορδίες. Στην Κούβα, το όργανο κατασκευάζεται επίσης και ως μεταλλόφωνο, με μεταλλικές ράβδους.



*Εικόνα 5.1*

*Το μουσικό όργανο της μαρίμπας.*

Τρόπος λειτουργίας μαρίμπας: Η κάθε ράβδος της μαρίμπας κουρδίζεται ξεχωριστά με το πλάνισμα του ξύλου από την κάτω πλευρά, ώστε να δημιουργηθεί μια αβαθής κοιλότητα. Κάθε ηχητικός σωλήνας κουρδίζεται στο ίδιο τονικό ύψος με τη ράβδο, της οποίας τον ήχο ενισχύει. Για τελειότερο ήχο, είναι σημαντικό ο εκτελεστής να χτυπά τη ράβδο στο κέντρο της, όπου οι παλμικές κινήσεις που δημιουργούνται έχουν το μέγιστο δυνατό πλάτος. Παλμικές κινήσεις δεν δημιουργούνται στους δύο δεσμούς - τα άκρα της ράβδου που εφάπτονται στα σημεία στήριξης.

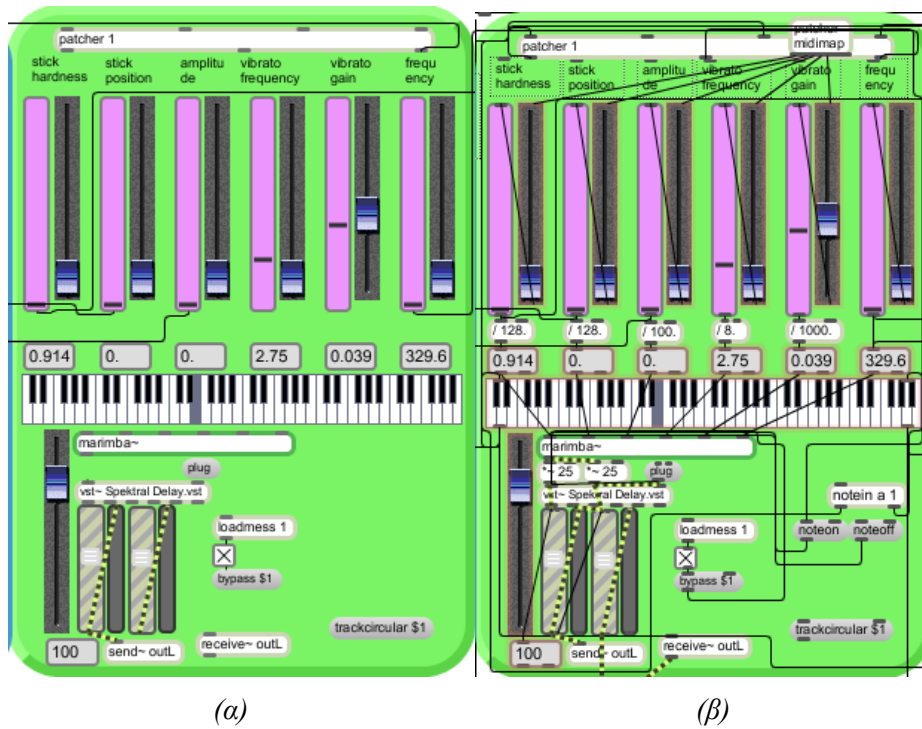
Το μοντέλο της μαρίμπας έχει υλοποιηθεί με τον αλγόριθμο PhISAM σε ένα συνδυασμό σύνθεσης μέσω τρόπων συντονισμού, προσθετικής σύνθεσης του φάσματος και εφαρμογής φίλτρων<sup>35</sup>. Ο αλγόριθμος εφαρμόζεται αποτελεσματικά στα μελωδικά

---

<sup>35</sup> Βλ. Κεφάλαιο 3, Υποενότητα 3.2.1. PhISAM.

κρουστά καθώς και σε όργανα με χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά των μελωδικών κρουστών. Οι παράμετροι ελέγχου του μοντέλου έχουν ως εξής:

1. **Πυκνότητα υλικού μπαγκέτας** - *Stick hardness* (εύρος 0 - 0.992). Η πυκνότητα του υλικού της μπαγκέτας δείχνει το πόσο σκληρή θα είναι η μπαγκέτα χρήσης. Κατά συνέπεια όσο μεγαλύτερες τιμές παίρνει αυτή η παράμετρος τόσο μεγαλύτερη είναι η ατάκα στην περιβάλλουσα του ήχου που προκύπτει.
2. **Θέση μπαγκέτας** - *Stick position* (εύρος 0 - 1.5547). Η θέση της μπαγκέτας ορίζει την γωνία την οποία σχηματίζει η μπαγκέτα και το πλήκτρο της μαρίμπας. Όσο μεγαλύτερες τιμές παίρνει αυτή η παράμετρος τόσο η γωνία πλησιάζει τις 90 μοίρες.
3. **Πλάτος κύματος** - *Amplitude* (εύρος 0 - 0.99). Το πλάτος κύματος ορίζει ότι δηλώνει και η ονομασία του. Όσο μικρότερη η τιμή τόσο μικρότερο και το πλάτος κύματος του παραγόμενου ήχου.
4. **Συχνότητα βιμπράτο** - *Vibrato frequency* (εύρος 0 - 12.375). Συνεχίζοντας, παρατηρούνται δύο παράμετροι ελέγχου του βιμπράτο. Η πρώτη καθορίζει τη συχνότητά του.
5. **Κέρδος βιμπράτο** - *Vibrato gain* (εύρος 0 - 0.099). Η δεύτερη σχετική με το βιμπράτο παράμετρος δείχνει την ένταση με την οποία αυτό εκτελείται.
6. **Συχνότητα** - *Frequency* (εύρος 100 - 3097). Τέλος υπάρχει η δυνατότητα επιλογής της συχνότητας συντονισμού της μαρίμπας με ένα εύρος που κυμαίνεται σε συχνότητες από 100 Hz έως 3097Hz.



Εικόνα 5.2

- (α) Λειτουργία επιδιόρθωσης (patching mode) του μοντέλου *marimba~*.  
 (β) Λειτουργία επιμέλειας (edit mode) του μοντέλου *marimba~*.

## 5.2 Μοντέλα *wuter~* και *bamboo~*.

Μία από τις δυνατότητες του αλγορίθμου PhISEM είναι η σύνθεση μη μουσικών κρουστών ήχων όπως αυτοί που προκαλούνται είτε από τις σταγόνες βροχής<sup>36</sup> είτε από προσκρούσεις καλαμιών μπαμπού λόγω του ανέμου.

Τα δύο αυτά μοντέλα υλοποιήθηκαν με τον αλγόριθμο PhISEM και έχουν ως κοινό στοιχείο ότι ο ήχος τους προκαλείται από τυχαίες διαδράσεις μικρών αντικειμένων. Ο αρχικός αλγόριθμος PhISEM συνιστά ότι τα αντικείμενα αυτά περικλείονται από μία

<sup>36</sup> Η επιφάνεια στην οποία οι σταγόνες βροχής προσκρούουν έχει τη δυνατότητα να συντεθεί μέσω φυσικής προτυποποίησης. Οι παράμετροι σε αυτή την περίπτωση θα μπορούσαν να είναι το εμβαδόν της επιφάνειας, το υλικό της ή ακόμη και η πυκνότητα του υλικού της. Στη συλλογή PeRColate η διαδικασία της σύνθεσης του ήχου των σταγόνων έχει γίνει θεωρώντας ότι η επιφάνεια παραμένει η ίδια σε κάθε περίπτωση. Μοντελοποιώντας την επιφάνεια θα είχε ως αποτέλεσμα ένα καινούριο όργανο ή κάποιες προσθήκες στο ήδη υπάρχον *wuter~*.



σφαιρική επιφάνεια η οποία προσθέτει ενέργεια στην ήδη υπάρχουσα και στις περισσότερες περιπτώσεις δε διακρίνονται από συντονισμό.

Τα παραπάνω μοντέλα ξεφεύγουν από τις αρχές αυτές. Στο *bamboo~* δεν υπάρχει σφαιρική επιφάνεια η οποία περικλείει τα αντικείμενα καθώς αυτά βρίσκονται ελεύθερα στον αέρα και προσκρούουν μόνο μεταξύ τους. Στην περίπτωση του *wuter~* αντίθετα, τα αντικείμενα δεν προσκρούουν καθόλου το ένα με το άλλο μόνο σε μία επιφάνεια η οποία δε δύναται να προσθέσει ενέργεια στο σύστημα<sup>37</sup>. Η παραγωγή της ενέργειας στο *bamboo~* σχετίζεται άμεσα με την ένταση του ανέμου ενώ στο *wuter~* με την ένταση της βροχής. Επίσης οι δύο αυτοί ήχοι διανέμουν αδύναμης ισχύος συντονισμούς ίδιας συχνότητας, συμπεριφορά που εξομοιώνεται με την προσθήκη σχετικά λίγων φίλτρων συντονισμού στον βασικό αλγόριθμο (Cook, 2001).

Για τον ήχο των σταγόνων, προστέθηκαν τρία φίλτρα συντονισμού των οποίων οι παράμετροι διαφοροποιούνται στο χρόνο. Μόνο το ένα φίλτρο από αυτά αναδιανέμεται στο πεδίο της συχνότητας για κάθε πρόσκρουση η οποία συμβαίνει. Πρόσθετα, μία ξεχωριστή περιβάλλουσα πλάτους καθορίζεται για την κάθε σταγόνα.

Μία επέκταση των καλαμιών μπαμπού θα μπορούσε να είναι η μετατροπή του υλικού τους από ξύλο σε μέταλλο. Σε αυτή την περίπτωση απαιτούνται περισσότερα φίλτρα συντονισμού ή αλλιώς μπορεί να γίνει αντικατάστασή τους με ζευγάρια διαμόρφωσης συχνότητας σε μη αρμονικές αναλογίες συχνότητας. Σε γενικότερο πλαίσιο, το μοντέλο *bamboo~* διαφοροποιείται από τα υπόλοιπα μοντέλα PhISEM σε δύο σημαντικά σημεία:

---

<sup>37</sup> Βλ. Υποσημείωση 30.

1. Ο μέσος όρος μίας κατανομής συχνοτήτων αποτελεί την παράμετρο συντονισμού. Κάθε φορά που μία σύγκρουση συμβαίνει μία νέα συχνότητα δεσμεύεται τυχαία +/- 20 τοις εκατό γύρω από την κεντρική.
2. Ο αριθμός των αντικειμένων εκφράζει το στατιστικό αριθμό κυλίνδρων μπαμπού (Lakatos et al. 2000).

### 5.2.1 *Bamboo~*.

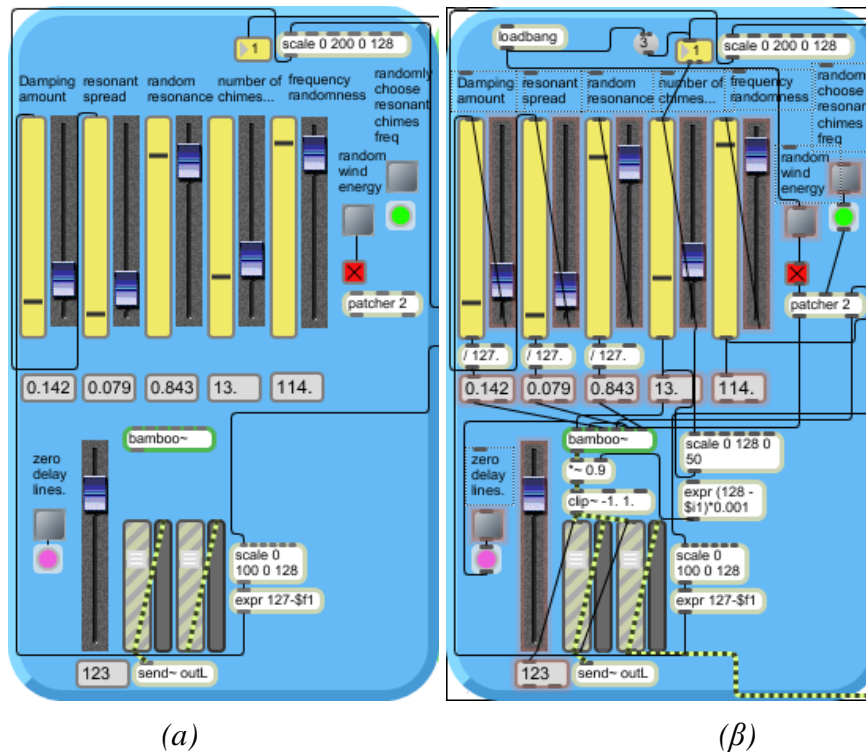
Κατά τη διαδικασία υλοποίησης του *wutermaker* οι παράμετροι ελέγχου του *bamboo~* διαμορφώθηκαν ως εξής:

1. **Ποσοστό απόσβεσης** - *Damping amount* (εύρος 0 - 1). Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό απόσβεσης, το οποίο εκφράζει το πόσο γρήγορα η ενέργεια του συστήματος θα αποσβεθεί, τόσο ο ήχος γίνεται πιο δυνατός και πιο σκληρός δηλαδή έχει μεγαλύτερη ατάκα. Πλησιάζοντας στο 0, ο ήχος γίνεται πιο απαλός με πιο ομαλή περιβάλλουσα.
2. **Διασπορά συντονισμού** - *Resonant spread* (εύρος 0 - 1). Η διασπορά συντονισμού δείχνει σε ποιο σημείο των καλαμιών εκτελείται η πρόσκρουση μεταξύ τους. Συγκεκριμένα όταν η παράμετρος αυτή βρίσκεται στο 1 τότε τα καλάμια προσκρούουν στα σημεία με τη μεγαλύτερη διάμετρο του σωλήνα τους. Κατ' επέκτασιν ο ήχος γίνεται βαθύτερος. Αντίθετα, προς το 0 ο ήχος γίνεται οξύτερος καθώς οι προσκρούσεις συμβαίνουν στα σημεία των καλαμιών όπου η διάμετρος του σωλήνα τους είναι μικρότερη.

3. **Τυχειότητα συντονισμού** - *Random resonance* (εύρος 0 - 1). Συνεχίζοντας, η επόμενη παράμετρος η τυχειότητα συντονισμού, εκφράζει το κατά πόσο η επιλογή των συχνοτήτων συντονισμού γίνεται τυχαία ή όχι. Όταν η τιμή είναι στο 0 τα καλάμια συντονίζουν στην ίδια συχνότητα ενώ όταν η τιμή φτάνει στο 1 η συχνότητα επιλέγεται με μεγάλο βαθμό τυχειότητας φτάνοντας έτσι σε ένα ηχητικό αποτέλεσμα στο οποίο κάνουν την εμφάνισή τους πολλές διαφορετικές συχνότητες.
4. **Αριθμός καλάμιών/κυλίνδρων** - *Number of chimes* (εύρος 0 - 49). Ο αριθμός καλάμιών/κυλίνδρων όπως δηλώνει και η ονομασία του, δείχνει την ποσότητα των αντικειμένων. Στο αρχικό μοντέλο *bamboo* η παράμετρος αυτή είχε τη δυνατότητα να πάρει οποιαδήποτε τιμή μέχρι το άπειρο. Οι τιμές της στο *wutermaker* περιορίστηκαν καθώς κατά τη διαδικασία δημιουργήθηκε η ανάγκη της αληθοφάνειας οπότε και η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει είναι το 49. Είναι δύσκολο να βρεθεί ένα σύνολο καλάμιών μπαμπού με πάνω από 50 καλάμια. Θα ήταν ενδιαφέρον βέβαια το ηχητικό αποτέλεσμα 100 ή και περισσότερων καλάμιών αλλά σε αυτή την περίπτωση θα έπρεπε ο αλγόριθμος PhISEM ή ακόμη και κάποιος καινούριος αλγόριθμος να δημιουργεί ήχους με περισσότερη λεπτομέρεια στη διαφοροποίηση των ηχητικών τους χαρακτηριστικών γεγονός που στην παρούσα χρονική στιγμή δεν έχει συμβεί ακόμη.
5. **Εύρος τυχειότητας επιλογής συχνοτήτων συντονισμού** - *Frequency randomness* (εύρος 0 - 127). Το εύρος τυχειότητας της επιλογής συχνοτήτων συντονισμού αποτυπώνει την επιλογή του εύρους συχνοτήτων συντονισμού. Η παράμετρος κυμαίνεται από 0 έως 127 όπου στο 0 υπάρχει η επιλογή μίας

συχνότητας. Όσο η παράμετρος παίρνει μεγαλύτερες τιμές τόσο περισσότερες συχνότητες είναι διαθέσιμες για επιλογή από τον αλγόριθμο. Η αρχική τιμή ήταν καθορισμένη στο 50 αλλά μετά την προσθήκη ενός ολισθαίνοντος ρυθμιστή έγινε δυνατή η επιλογή ενός μεγαλύτερου ή μικρότερου εύρους συχνοτήτων.

6. **Τυχαία αιολική ενέργεια** - *Random wind energy* (διακόπτης on - off). Η τυχαία ενέργεια του ανέμου δεν αποτελεί τίποτε παραπάνω από έναν διακόπτη που απλά κλείνει και ανοίγει το σύστημα καθώς τα καλάμια μπαμπού στην πραγματικότητα ενεργοποιούνται με την αιολική ενέργεια.
7. **Τυχαία επιλογή συχνότητας συντονισμού** - *Randomly choose resonant chimes frequency* (διακόπτης ώθησης). Συνεχίζοντας εμφανίζεται άλλος ένας διακόπτης σε μορφή όμως τέτοια που δίνει μόνο ώθηση (δηλαδή παίρνει τιμή 1). Η τυχαία επιλογή της συχνότητας συντονισμού όπως δηλώνει και η ονομασία της επιλέγει μία συχνότητα στην οποία τα καλάμια θα συντονίσουν. Δεν πρέπει να συγχέεται αυτή η παράμετρος με τις παραμέτρους της τυχειότητας συντονισμού και του εύρους επιλογής των συχνοτήτων συντονισμού καθώς σε αυτή την περίπτωση υπάρχει η επιλογή μίας και μόνο συχνότητας από τον αλγόριθμο.
8. **Μηδενικές γραμμές καθυστέρησης** - *Zero delay lines* (διακόπτης ώθησης). Τέλος, η επιλογή των μηδενικών γραμμών καθυστέρησης αποτελεί μία μορφή αναστοιχειοθέτησης δηλαδή το σύστημα επανέρχεται σε μία αρχική μορφή η οποία επιλέγεται τυχαία.



Εικόνα 5.3

(α) Λειτουργία επιδιόρθωσης (patching mode) του μοντέλου bamboo~.

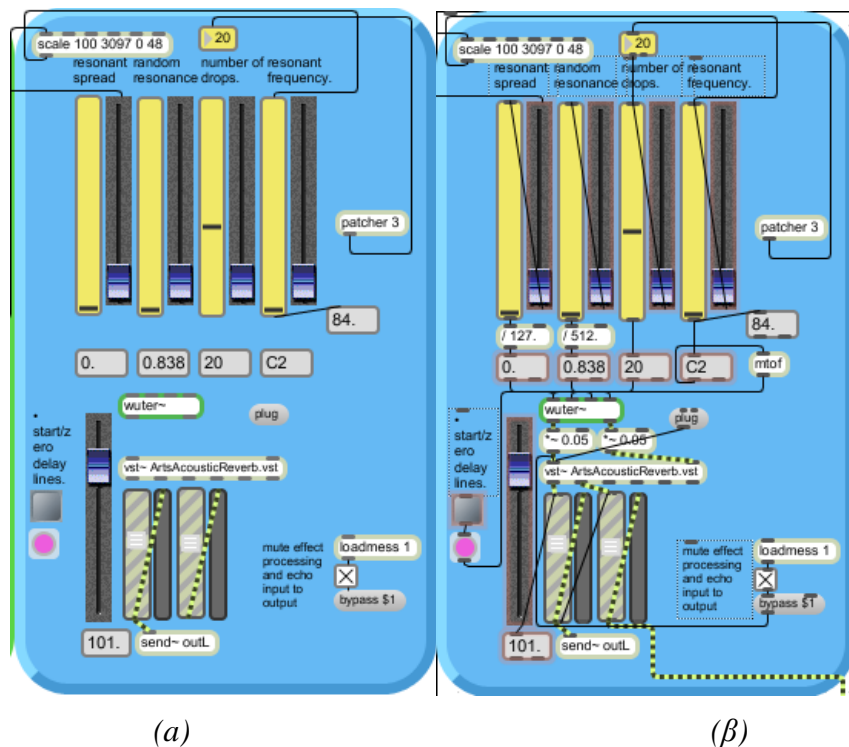
(β) Λειτουργία επιμέλειας (edit mode) του μοντέλου bamboo~.

## 5.2.2 Wuter~.

Όπως διαπιστώνεται, οι τρεις πρώτες παράμετροι του *wuter~* καθώς και η τελευταία είναι ακριβώς ίδιες με παραμέτρους που ήδη το *bamboo~* περιλαμβάνει οπότε μία λεπτομερής ανάλυσή τους δεν καθίσταται αναγκαία σε αυτό το κεφάλαιο. Θα αναφερθεί μόνο το γεγονός ότι όπου στο *bamboo~* υπάρχει η λέξη καλάμι, στο *wuter~* μπορεί να αντικατασταθεί με τη λέξη σταγόνα. Επίσης το εύρος των αριθμών σταγόνων διαφοροποιείται καθώς η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει είναι 25. Ένας από τους λόγους αυτής της ιδιαιτερότητας υπήρξε το γεγονός ότι το *wuter~* περιέχει μία αδυναμία οπότε και μία από τις λύσεις που δόθηκαν σε αυτό το πρόβλημα ήταν η μείωση του εύρους των αντικειμένων σε όσο το δυνατό μικρότερο.

Οι παράμετροι ελέγχου του *wuter~* έχουν ως εξής:

1. Διασπορά συντονισμού - *Resonant spread* (εύρος 0 - 1).
2. Τυχειότητα συντονισμού - *Random resonance* (εύρος 0 - 1).
3. Αριθμός σταγόνων - *Number of drops* (εύρος 0 - 25).
4. Συχνότητα συντονισμού - *Resonant frequency* (εύρος 48 - 94). Στο *wuter~* παρατηρείται το γεγονός ότι ενώ προστέθηκε τυχειότητα κατά την επιλογή των συχνοτήτων συντονισμού, υπάρχει και η δυνατότητα ξεκάθαρης επιλογής συχνότητας.
5. Μηδενικές γραμμές καθυστέρησης - *Zero delay lines* (διακόπτης ώθησης).



Εικόνα 5.4

- (α) Λειτουργία επιδιόρθωσης (*patching mode*) του μοντέλου *wuter~*.
- (β) Λειτουργία επιμέλειας (*edit mode*) του μοντέλου *wuter~*.

### 5.2.3 Σύγκριση μοντέλων *wuter~* και *bamboo~*.

Για την καλύτερη κατανόηση του συνθετητή *wutermaker*, κρίνεται σκόπιμη η σύγκριση των μοντέλων που έχουν υλοποιηθεί με τον αλγόριθμο PhISEM και η παράθεση κυρίως των διαφορών τους καθώς οι σημαντικότερες ομοιότητες έχουν αναφερθεί ήδη στην εισαγωγή της ενότητας.

Για να αυξηθεί ο βαθμός της αποτελεσματικότητας, η σύγκριση των αντικειμένων έγινε σε δύο διαστάσεις. Η πρώτη είναι αυτή της πραγματικότητας δηλαδή η σχετική με την μορφή που κατέχει το κάθε αντικείμενο στον πραγματικό κόσμο. Η δεύτερη είναι η σύγκριση στον ψηφιακό κόσμο δηλαδή ως αντικείμενα στο Max/MSP.

Στο επίπεδο της πραγματικότητας, τα καλάμια ανέμου μπαμπού έχουν σχήμα κυλινδρικό με κενό στο εσωτερικό του κάθε κυλίνδρου. Οι προσκρούσεις με τις οποίες προκαλείται ο ήχος γίνονται κάθε φορά σε διαφορετικό σημείο. Τέλος, το υλικό κατασκευής των καλάμιών όπως δηλώνει και η ονομασία τους είναι το φυτό μπαμπού.

Οι σταγόνες βροχής συγκροτούνται από νερό, έχουν το γνωστό κωνικό σχήμα της σταγόνας και ο ήχος προκαλείται με την πρόσκρουση της σταγόνας σε κάποια επιφάνεια<sup>38</sup> της οποίας οι διαστάσεις και το υλικό ποικίλουν. Η βασική διαφορά των δύο αντικειμένων και αυτή η οποία είναι και περισσότερο ενδιαφέρουσα για την παρούσα εργασία είναι ο τρόπος με τον οποίο παράγεται ο ήχος στην κάθε περίπτωση, γεγονός που συνεπάγεται και διαφορετικό αλγόριθμο για το κάθε αντικείμενο.

Στο επίπεδο του ψηφιακού κόσμου δηλαδή στον τρόπο με τον οποίο υλοποιήθηκε το κάθε μοντέλο, η σύγκριση έγινε κυρίως στις παραμέτρους των μοντέλων.

Σύμφωνα με τον πίνακα της Εικόνας 5.3 από τις εννέα παραμέτρους που εμφανίζονται και στα δύο μοντέλα, οι τέσσερις είναι κοινές, τέσσερις εμφανίζονται μόνο στο *bamboo~*, ενώ μία μόλις εμφανίζεται μόνο στο *wuter~*. Οι κοινές παράμετροι

---

<sup>38</sup> Βλ. Υποσημείωση 32.

δηλαδή η διασπορά συντονισμού, η τυχαιότητα συντονισμού, ο αριθμός αντικειμένων και η παράμετρος των μηδενικών γραμμών καθυστέρησης θεωρούνται βασικές για τη λειτουργία των μοντέλων και εκφράζονται με εύρος τιμών. Από τις παραμέτρους που εμφανίζονται μόνο στο *bamboo~*, οι τρεις (ποσοστό απόσβεσης, τυχαία αιολική ενέργεια και τυχαία επιλογή συχνότητας συντονισμού) προϋπήρχαν της υλοποίησης του *wutermaker*. Η παράμετρος του εύρους τυχαιότητας επιλογής συχνοτήτων συντονισμού η οποία προστέθηκε αργότερα, αποτελεί μία απεικόνιση εύρους τιμών η οποία ελέγχει το ποσοστό της τυχαιότητας της παραμέτρου τυχαίας επιλογής συχνότητας συντονισμού.

Τέλος, η παράμετρος η οποία εμφανίζεται μόνο στο *wuter~* δηλαδή η συχνότητα συντονισμού, δίνει την επιλογή του άμεσου ελέγχου της συχνότητας συντονισμού των σταγόνων της βροχής, λειτουργία η οποία στο *bamboo~* περιορίζεται στον έμμεσο έλεγχο των συχνοτήτων μέσω ενός βαθμού τυχαιότητας. Παρατηρώντας την μορφή που κατέχει το κάθε μοντέλο στον πραγματικό κόσμο και λαμβάνοντας υπ' όψιν τα ηχητικά χαρακτηριστικά του, εξηγείται εύκολα η διαφοροποίηση στον τρόπο που το κάθε μοντέλο ελέγχει τις συχνότητες συντονισμού. Τα καλάμια ανέμου μπαμπού δε θα ήταν δυνατό να συντονίσουν σε μία και μόνο συχνότητα ενώ στις σταγόνες της βροχής υπάρχουν περιπτώσεις όπου αυτό θα μπορούσε να συμβεί. Λαμβάνεται βέβαια υπ' όψιν και το γεγονός ότι τα αντικείμενα της συλλογής PeRColate είναι κατασκευασμένα με κύριο στοιχείο αναφοράς τον ήχο που το κάθε μουσικό όργανο ή καθημερινός ήχος παράγει στον πραγματικό κόσμο.



Παράμετρος	Είδος	<i>Bamboo~</i>	<i>Wuter~</i>
Ποσοστό απόσβεσης	Εύρος τιμών	✓	
Διασπορά συντονισμού	Εύρος τιμών	✓	✓
Τυχαιότητα συντονισμού	Εύρος τιμών	✓	✓
Αριθμός αντικειμένων	Εύρος τιμών	✓	✓
Εύρος τυχαιότητας επιλογής συχνοτήτων συντονισμού	Εύρος τιμών	✓	
Τυχαία αιολική ενέργεια	Διακόπτης	✓	
Τυχαία επιλογή συχνότητας συντονισμού	Διακόπτης	✓	
Συχνότητα συντονισμού	Εύρος τιμών		✓
Μηδενικές γραμμές καθυστέρησης	Διακόπτης	✓	✓

Εικόνα 5.5

Πίνακας ποσοτικής και ποιοτικής σύγκρισης των παραμέτρων των μοντέλων *wuter~* και *bamboo~*.

### 5.3 Διαδράσεις.

Κατά την υλοποίηση του *wutermaker* δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στις διαδράσεις μεταξύ των αρχικών μοντέλων καθώς χρησιμοποιήθηκαν για να προβάλλουν τη διαφοροποίησή του από αυτά. Ο αρχικός σκοπός στην εφαρμογή των διαδράσεων ήταν η δημιουργία

ενός οργάνου με χαρακτήρα εμφάνισης εικονικής βροχής και ανέμου στο ηχητικό πεδίο, με σημείο εκκίνησης την εκτέλεση του βασικού μοντέλου της μαρίμπας. Κατ' επέκτασιν οι διαδράσεις έχουν κυρίως ποσοτικό και αναλογικό χαρακτήρα.

Η μαρίμπα αντιμετωπίστηκε ως το βασικό όργανο εκτέλεσης λόγω του ότι αποτελεί το μόνο καθαρά μουσικό όργανο καθώς τα δύο υπόλοιπα μοντέλα είναι καθημερινοί ήχοι. Οι διαδράσεις όπως συνεπάγεται έχουν ως σημείο εκκίνησης την εκτέλεση της μαρίμπας.

Η **πρώτη διάδραση** που εφαρμόστηκε ήταν η σχετική με την ευαισθησία δυναμικής (*velocity*) των πλήκτρων του ελεγκτή πρωτοκόλλου midi και τον αριθμό καλαμιών αλλά και σταγόνων. Η αρχική ιδέα ήταν ο αριθμός σταγόνων και καλαμιών να είναι ίσος και όσο δυνατότερα χτυπάει κάποιος τα πλήκτρα του ελεγκτή και κατ' επέκτασιν τις νότες της μαρίμπας, τόσο μεγαλύτερος να είναι ο αριθμός των αντικειμένων που προκύπτουν. Η διάδραση αυτή εφαρμόστηκε με επιτυχία για τον αριθμό των καλαμιών στο *bamboo~* αλλά εμφανίστηκε μία προβληματική συμπεριφορά στο *wuter~* λόγω της προαναφερθείσας αδυναμίας η οποία και σχετίζεται με τον αριθμό των σταγόνων. Η λύση που προτάθηκε ήταν η εφαρμογή μίας **δεύτερης διάδρασης** μεταξύ του αριθμού σταγόνων και του τονικού ύψους της μαρίμπας. Για την υλοποίηση αυτή, το εικονικό κλαβιέ διασπάστηκε σε έξι ίσα μέρη από τα οποία το καθένα δίνει έναν καθορισμένο αριθμό σταγόνων. Συγκεκριμένα, η πρώτη οκτάβα δίνει 0 σταγόνες, η δεύτερη 5, η τρίτη 10, η τέταρτη 15, η πέμπτη 20 και τέλος η έκτη 25 σταγόνες. Παρατηρείται εδώ η μεγαλύτερου βαθμού διακριτοποίηση που εφαρμόστηκε στον αριθμό των σταγόνων ώστε να επιλυθεί το πρόβλημα.

Η **επόμενη διάδραση** αφορά το πλάτος κύματος της μαρίμπας το οποίο όσο μεγαλύτερη τιμή αποκτά τόσο το ποσοστό απόσβεσης του *bamboo~* μεγαλώνει. Σε

αυτή την περίπτωση δε δημιουργήθηκε κάποιο πρόβλημα και διαπιστώθηκε ότι ο αρχικός σκοπός καλύπτεται.

**Στη συνέχεια** χρησιμοποιήθηκε η πυκνότητα του υλικού της μπαγκέτας για να ελέγξει τη διασπορά συντονισμού του *wuter~*. Ως συνέπεια, όσο πιο σκληρή η χρησιμοποιούμενη μπαγκέτα τόσο πιο βαθύς ο ήχος των σταγόνων της βροχής καθώς οι σταγόνες αποκτούν μεγαλύτερη διάμετρο.

**Η επόμενη διάδραση** αφορά τη θέση της μπαγκέτας η οποία εφαρμόστηκε ώστε να ελέγχει τη διασπορά συντονισμού αυτή τη φορά του *bamboo~*. Όπως και στην προηγούμενη διάδραση, όσο πιο κοντά στις 90 μοίρες πλησιάζει η γωνία μπαγκέτας και πλήκτρου μαρίμπας, τόσο μεγαλύτερη διάμετρο αποκτά το σημείο σύγκρουσης των καλαμιών μπαμπού και κατά συνέπεια τόσο πιο βαθύς ο ήχος τους.

**Τέλος** η συχνότητα της μαρίμπας εναρμονίστηκε με τη συχνότητα συντονισμού των σταγόνων βροχής για ένα πιο αρμονικό ηχητικό αποτέλεσμα.

Εκτός όμως από τις άμεσες, δηλαδή τις εσωτερικές διαδράσεις ανάμεσα στα μοντέλα και στον ελεγκτή πρωτοκόλλου midi, δημιουργούνται και έμμεσες διαδράσεις οι οποίες ξεκινούν από το χρήστη. Η **πρώτη** είναι η διάδραση μεταξύ του χρήστη και του *wutermaker* η οποία υλοποιείται μέσω του ελεγκτή πρωτοκόλλου midi. Η **δεύτερη** είναι η διάδραση μεταξύ του χρήστη και της σύνθεσης ήχου μέσω φυσικής προτυποποίησης.

Όλες οι άμεσες διαδράσεις έχουν αναλογικό χαρακτήρα εκτός από τη διάδραση ανάμεσα στο πλάτος κύματος της μαρίμπας και του ποσοστού απόσβεσης των καλαμιών ανέμου, παράμετροι οι οποίες έχουν αντιστρόφως ανάλογη σχέση μεταξύ τους. Επίσης, όλες οι άμεσες διαδράσεις εκτός από τη διάδραση ανάμεσα στο τονικό ύψος της μαρίμπας και στον αριθμό σταγόνων βροχής η οποία είναι και διακριτοποιημένη, είναι συνεχείς.

Σε αυτό το σημείο μία παρατήρηση θα μπορούσε να ήταν ότι οι τρεις τελευταίες άμεσες διαδράσεις δε σχετίζονται τόσο άμεσα με το σκοπό που περιγράφηκε στην αρχή όσο οι τρεις πρώτες. Το γεγονός αυτό προέκυψε κατά τους πειραματισμούς καθώς δεν υπάρχει κάποια άλλη παράμετρος στα μοντέλα *wuter~* και *bamboo~* που να δηλώνει την ποσοτική διαφορά του ανέμου και της βροχής στο ηχητικό πεδίο. Εφαρμόστηκε λοιπόν όποια διάδραση θα μπορούσε να είναι πιο κοντά στον αρχικό σκοπό.

Επίσης οι παράμετροι ελέγχου του βιμπράτο της μαρίμπας δεν χρησιμοποιήθηκαν στις διαδράσεις. Στα μελωδικά κρουστά όργανα όπως η μαρίμπα, οι εναλλαγές της ισχύος και της συχνότητας του βιμπράτο γίνονται ελάχιστα αντιληπτές από τον ακροατή. Η χρήση αυτών έγινε μόνο στην καταχώρηση *rain in space*<sup>39</sup> όπου όλες οι παράμετροι λαμβάνουν τιμές εκτός του εύρους που θα μπορούσε να έχει στην πραγματικότητα η μαρίμπα, τα καλάμια μπαμπού και οι σταγόνες βροχής.

Τέλος, ελέγχοντας την κατεύθυνση της κάθε διάδρασης αλλά και τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους, παρατηρείται το γεγονός ότι από τις έξι διαδράσεις, οι πέντε ξεκινούν από το μοντέλο *marimba~* ενώ μία ξεκινάει από τον ελεγκτή πρωτοκόλλου midi. Διαδράσεις ανάμεσα στα μοντέλα PhISEM δεν υπάρχουν.

<b>Διάδραση</b>	<b>Από</b>	<b>Προς</b>	<b>Φύση διάδρασης</b>
Ευαισθησία δυναμικής πλήκτρων ελεγκτή πρωτοκόλλου midi - αριθμός καλάμιών ανέμου	Ελεγκτής πρωτοκόλλου midi	<i>Bamboo~</i>	Άμεση, συνεχής, αναλογική
Τονικό ύψος μαρίμπας - αριθμός σταγόνων βροχής	<i>Marimba~</i>	<i>Wuter~</i>	Άμεση, διακριτή, αναλογική

<sup>39</sup> Για την παρουσίαση των καταχωρήσεων και των χαρακτηριστικών τους βλ. Κεφάλαιο 5 - Ενότητα 5.4 Προσθήκες στον βασικό συνθετή.

<b>Διάδραση</b>	<b>Από</b>	<b>Προς</b>	<b>Φύση διάδρασης</b>
Πλάτος κύματος μαρίμπας - ποσοστό απόσβεσης καλαμιών ανέμου	<i>Marimba~</i>	<i>Bamboo~</i>	Άμεση, συνεχής, αντιστρόφως ανάλογη
Πυκνότητα υλικού μπαγκέτας μαρίμπας - διασπορά συντονισμού σταγόνων βροχής	<i>Marimba~</i>	<i>Wuter~</i>	Άμεση, συνεχής, αναλογική
Θέση μπαγκέτας μαρίμπας - διασπορά συντονισμού καλαμιών ανέμου	<i>Marimba~</i>	<i>Bamboo~</i>	Άμεση, συνεχής, αναλογική
Συχνότητα μαρίμπας - συχνότητα συντονισμού σταγόνων βροχής	<i>Marimba~</i>	<i>Wuter~</i>	Άμεση, συνεχής, αναλογική
Εκτελεστής - <i>wutermaker</i>	Εκτελεστής	<i>Wutermaker</i>	Έμμεση
Εκτελεστής - σύνθεση ήχου μέσω φυσικής προτυποποίησης	Εκτελεστής	Σύνθεση ήχου μέσω φυσικής προτυποποίησης	Έμμεση

Εικόνα 5.6

Πίνακας διαδράσεων του *wutermaker*.

#### **5.4 Προσθήκες στον βασικό συνθετητή.**

Σε αυτό το σημείο έχουν παρουσιαστεί οι βασικές λειτουργίες του συνθετητή *wutermaker*. Οι προσθήκες που έγιναν έχουν ως σκοπό την διευκόλυνση του εκτελεστή

αυξάνοντας τις δυνατότητες για πειραματισμό αφενός με την προσθήκη καινούριου γραφικού περιβάλλοντος και αφετέρου με τη χρήση καταχωρήσεων αλλά και εφέ όπως τεχνητής αντήχησης (*reverb*) και τεχνητής καθυστέρησης (*delay*).

Οι δύο πρώτες καταχωρήσεις *rainy weather* και *storm* αφορούν την ποσότητα της βροχής και του ανέμου που προκύπτει από τις τιμές που εφαρμόστηκαν στις παραμέτρους του *wutermaker*. Κατά συνέπεια στην καταχώρηση *storm* η ποσότητα βροχής και ανέμου είναι μεγαλύτερη από αυτήν της καταχώρησης *rainy weather*. Οι τιμές οι οποίες χρησιμοποιούνται δεν ξεπερνούν το δοσμένο εύρος τιμών της κάθε παραμέτρου. Αντίθετα η τελευταία καταχώρηση *rain in space* χρησιμοποιεί τιμές εκτός του εύρους τιμών των παραμέτρων και όπως δηλώνει η ονομασία της εξομοιώνει το ηχητικό αποτέλεσμα το οποίο θα είχε η πρόκληση βροχής στο διάστημα.

Στο *wutermaker* προστέθηκαν επίσης ένα εφέ τεχνητής αντήχησης, το ArtsAcoustic Reverb της εταιρείας ArtsAcoustic και ένα εφέ τεχνητής καθυστέρησης, το Spectral Delay της εταιρείας Native Instruments.

Για να αυξηθεί ο βαθμός διάδρασης μεταξύ του χρήστη και του *wutermaker* καθώς και το επίπεδο ευχρηστίας του συνθετητή, εισήχθη μία νέα μορφή γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής (*graphical user interface - GUI*) η οποία υλοποιήθηκε στο Max/MSP με τις δυνατότητες που αυτό προσφέρει αλλά και τους περιορισμούς τους οποίους επιβάλλει. Σκοπός ήταν η παραχώρηση της δυνατότητας επαφής με τη σύνθεση ήχου μέσω φυσικής προτυποποίησης είτε σε αρχάριους είτε σε προχωρημένους εκτελεστές. Για αυτό τον λόγο, έγινε προσπάθεια ομοιότητας του γραφικού περιβάλλοντος με τη μορφή γραφικού περιβάλλοντος την οποία έχουν οι περισσότερες ευρέως διαδεδομένες εφαρμογές συνθετητών.



Εικόνα 5.7

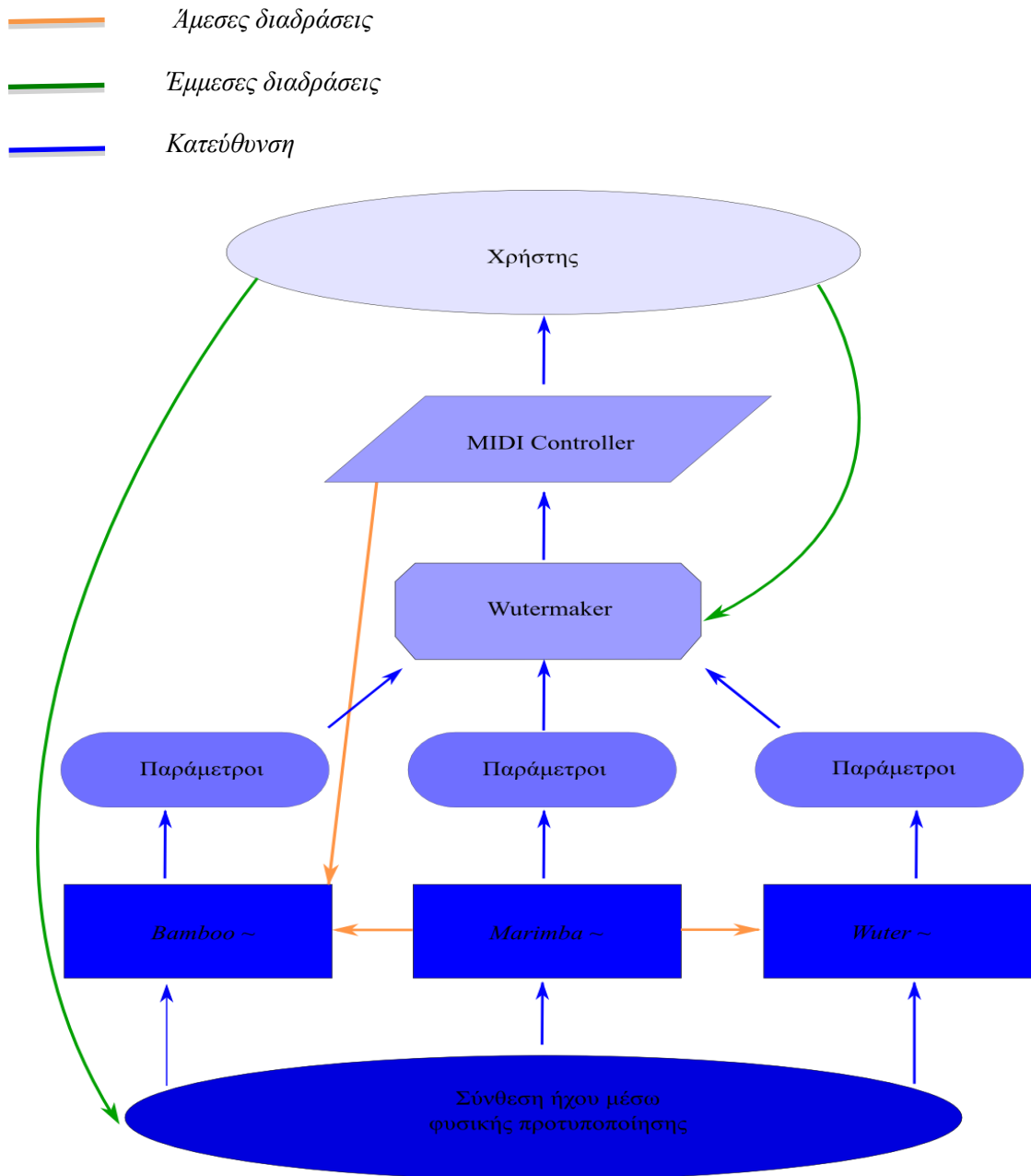
Γραφικό περιβάλλον διεπαφής (GUI) του συνθετητή wutermaker.

## 5.5 Διάγραμμα ροής.

Στο διάγραμμα ροής απεικονίζεται η διαδικασία με την οποία ο χρήστης του *wutermaker* έρχεται σε επαφή με τη σύνθεση μέσω φυσικής προτυποποίησης. Τα τρία μοντέλα του PeRColate παραμετροποιήθηκαν, γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση των δυνατοτήτων τους με την πρόσθεση των νέων παραμέτρων και τη βελτίωση των ήδη υπαρχόντων. Οι άμεσες διαδράσεις οι οποίες υλοποιήθηκαν στο Max/MSP απεικονίζονται με πορτοκαλί χρώμα ενώ οι έμμεσες διαδράσεις οι οποίες ξεκινούν από το χρήστη απεικονίζονται με πράσινο χρώμα. Η κατεύθυνσή των διαδράσεων ορίζεται από τη φορά του βέλους στην κάθε περίπτωση. Συνοπτικά υπάρχουν διαδράσεις από τη *marimba*~ προς το *wuter*~ και προς το *bamboo*~ αλλά και από τον ελεγκτή πρωτοκόλλου midi προς το *bamboo*~. Προσθέτοντας τις διαδράσεις

στην παραμετροποίηση των μοντέλων δημιουργείται ο συνθετητής *wutermaker* με τον οποίο ο χρήστης έρχεται σε επαφή μέσω του ελεγκτή πρωτοκόλλου midi.

Στο σχήμα επίσης φαίνονται τα διαφορετικά επίπεδα υλοποίησης του *wutermaker* και απεικονίζονται μέσω των διαφορετικών αποχρώσεων του μπλε χρώματος των μονάδων που συγκροτούν το διάγραμμα ροής.



Εικόνα 5.8

Διάγραμμα ροής της διαδικασίας χρήσης του *wutermaker*.



## 5.6 Αντιστοίχιση παραμέτρων του *wutermaker* με τον ελεγκτή πρωτοκόλλου *mid*i *axiom 61*.

Κατά την υλοποίηση του *wutermaker* έγινε προσπάθεια δημιουργίας ενός εύχρηστου διαδραστικού περιβάλλοντος και απλού προς τον χρήστη. Το μοντέλο *axiom 61* της εταιρείας *m-audio* αποτελεί έναν σύγχρονο ελεγκτή πρωτοκόλλου *mid*i με αρκετές δυνατότητες οι οποίες χαρακτηρίζονται κυρίως από την ευκολία χρήσης τους.



Εικόνα 5.9

Ελεγκτής πρωτοκόλλου *mid*i μοντέλο *axiom-61* της εταιρείας *m-audio*.

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα το συγκεκριμένο μοντέλο περιέχει 9 ολισθαίνοντες ρυθμιστές (*sliders*), 8 ρυθμιστές κυκλικής επιλογής (*knobs*), 8 επιφάνειες πίεσης (*pads*) καθώς και ελεγκτές τονικού ύψους (*pitch bend*) και διαμόρφωσης (*modulation*).

Η αντιστοίχιση έγινε ως εξής:

1. Ολισθαίνοντες ρυθμιστές. (αρίθμηση από D9 έως D17)
  - D9. Ποσοστό απόσβεσης *bamboo*~.
  - D10. Διασπορά συντονισμού *bamboo*~.
  - D11. Τυχαιότητα συντονισμού *bamboo*~.

- D12. Αριθμός καλαμιών/κυλίνδρων *bamboo*~.
- D13. Εύρος τυχαιότητας επιλογής συχνοτήτων συντονισμού *bamboo*~.
- D14. Διασπορά συντονισμού *wuter*~.
- D15. Τυχαιότητα συντονισμού *wuter*~.
- D16. Αριθμός σταγόνων *wuter*~.
- D17. Συχνότητα συντονισμού *wuter*~.

2. Ρυθμιστές κυκλικής επιλογής. (αρίθμηση από B1 έως B8)

- B1. Πυκνότητα υλικού μπαγκέτας *marimba*~.
- B2. Θέση μπαγκέτας *marimba*~.
- B3. Πλάτος κύματος *marimba*~.
- B4. Συχνότητα βιμπράτο *marimba*~.
- B5. Ένταση *bamboo*~.
- B6. Ένταση *wuter*~.
- B7. Ένταση *marimba*~.
- B8. Συνολική ένταση (*master volume*).

3. Ελεγκτής τονικού ύψους. A18. Συχνότητα *marimba*~.

4. Ελεγκτής διαμόρφωσης. A19. Κέρδος βιμπράτο *marimba*~.

5. Επιφάνειες πίεσης. (αρίθμηση C23 έως C30)

- C23. Τυχαία αιολική ενέργεια *bamboo*~.
- C24. Τυχαία επιλογή συχνότητας συντονισμού *bamboo*~.

- C25. Μηδενικές γραμμές καθυστέρησης *bamboo~*.
- C26. Μηδενικές γραμμές καθυστέρησης *wuter~*.
- C27. Καταχώρηση *rainy weather*.
- C28. Καταχώρηση *storm*.
- C29. Start audio (έναρξη του patch).
- C30. Mute (διακοπή του patch).

### **5.7 Μελλοντικές κατευθύνσεις και επεκτάσεις.**

Ένα πρώτο βήμα το οποίο καθίσταται αναγκαίο για την ανάπτυξη του πεδίου έρευνας της παρούσης εργασίας, θα ήταν η διανομή μίας νέας έκδοσης του PeRColate η οποία δεν θα περιέχει τόσες αδυναμίες όσες η παρούσα έκδοση 0.95. Με την ανάπτυξη καινούριων μοντέλων και με την προσθήκη νέων παραμέτρων στα ήδη υπάρχοντα καθίσταται δυνατή η εφαρμογή ακόμη περισσότερων διαδράσεων με αποτέλεσμα την ανακάλυψη καινούριων ηχοχρωμάτων με καλλιτεχνικό και ερευνητικό ενδιαφέρον.

Ακόμη μία πρόταση αποτελεί η προσθήκη επεκτάσεων στον βασικό συνθετητή όπως για παράδειγμα η χρήση πολυφωνίας μέσω του αντικειμένου *poly~* του Max/MSP. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι η προβληματική συμπεριφορά στην παράμετρο αριθμό σταγόνων του *wuter~* δεν αντιμετωπίστηκε αποτελεσματικά. Εάν η προβληματική συμπεριφορά δε διορθωθεί από τους δημιουργούς του PeRColate, προτείνεται η αναζήτηση ενός πιο εφευρετικού και αποτελεσματικού τρόπου αντιμετώπισης. Περισσότερες διαδράσεις και παράμετροι θα μπορούσαν να προστεθούν στον βασικό συνθετητή, καθώς και διαφορετικά και περισσότερα εφέ.

Στις παρατηρήσεις επίσης συμπεριλαμβάνονται και οι περιορισμοί τους οποίους θέτει το πρωτόκολλο midi σε σχέση με τη σύνθεση ήχου. Συνδυάζοντας νέα πρωτόκολλα όπως το OSC (*Open Sound Control*) με τη φυσική προτυποποίηση, νέα μοντέλα, ελεγκτές και κατ' επέκτασιν εφαρμογές, θα κάνουν την εμφάνισή τους σε αυτό το πεδίο.

Μία ενδιαφέρουσα προοπτική της φυσικής προτυποποίησης είναι η δυνατότητα εξομοίωσης υπαρκτών μουσικών οργάνων. Παρολαυτά, αν αναπτυχθεί ένα ακριβές και πολύπλοκο μοντέλο και η εξομοίωση δεν προχωρά πέρα από το πρωτότυπο όργανο, τότε υπάρχει ο κίνδυνος μείωσης των δυνατοτήτων αυτής της τεχνικής. Επίσης, πολλές από τις υπάρχουσες εφαρμογές φυσικής προτυποποίησης οι οποίες χρησιμοποιούν πολύπλοκα φυσικά μοντέλα, είναι ενδιαφέρουσες από τη σκοπιά του ερευνητή. Τις περισσότερες φορές όμως αποδεικνύονται λιγότερο ενδιαφέρουσες για έναν ηλεκτρονικό μουσικό ο οποίος ως κύριο σκοπό του έχει την καλλιτεχνική δημιουργία.

Κατά την εκπόνηση της παρούσης εργασίας έγινε προσπάθεια αύξησης του εύρους του κοινού το οποίο θα μπορούσε να έρθει σε επαφή με τη σύνθεση ήχου μέσω φυσικής προτυποποίησης. Ο συνθετητής *wutermaker* εισάγει τους αρχάριους χρήστες στις βασικές αρχές και τους νόμους οι οποίοι διέπουν την υπό μελέτη τεχνική σύνθεσης, ενώ στους προχωρημένους δίνει τη δυνατότητα δημιουργικής εξερεύνησης των δυνατοτήτων της φυσικής προτυποποίησης μέσω της αναζήτησης επεκτάσεων και προσθηκών αλλά και μέσω του απλού πειραματισμού.

Έχοντας ως βάση τα προλεγόμενα αυτής της ενότητας διαπιστώνεται ότι ο σκοπός ο οποίος τέθηκε στην εισαγωγή της εργασίας εκπληρώθηκε. Με τον συνθετητή *wutermaker* εκτελείται μία βασική εισαγωγή στη σύνθεση ήχου μέσω φυσικής προτυποποίησης και παρουσιάζονται οι δυνατότητές της.

Τέλος, δε χωρά αμφιβολία ότι η καθιέρωση ισχυρότερων σχέσεων μεταξύ των μουσικών και των επιστημόνων και η παρουσίαση πιο εναλλακτικών και ενδιαφέρουσων εφαρμογών διεπαφής σύνθεσης ήχου μέσω φυσικής προτυποποίησης θα αυξήσει τη δημιουργική της χρήση.

## 6. Βιβλιογραφία.

### 6.1 Γραπτές πηγές.

1. Adler, Samuel. (2002). *The Study of Orchestration*. WW Norton & Co Inc (Np).
2. Andrien, Jean-Marie (1989). *Dynamic Modeling of Vibrating Structures for Sound Synthesis, Modal Synthesis*. In Proceedings of the AES 7<sup>th</sup> International Conference, Toronto, Canada, 14-17 May 1989.
3. Andrien, Jean-Marie. (1991). *The missing link: Modal Synthesis*. From De Poli, Giovanni; Picialli, Aldo and Roads, Curtis (1991). *Representations of Musical Signals*, 269-297, Cambridge, MA: MIT Press.
4. Borin, Gianpaolo; De Poli, Giovanni and Sarti, Augusto. (1992). *Algorithms and Structures for Synthesis Using Physical Models*. Computer Music Journal, 16(4), 30-42.
5. Bottcher, Niels; Gelineck, Steven and Serafin, Stefania. (2007). *Phyismism: A Control Interface for Creative Exploration of Physical Models*. In Proceedings of the 2007 Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME07), New York, USA

6. Cadoz, Claude; Luciani, Annie and Florens, Jean Loup. (1993). *CORDIS-ANIMA: A Modelling and Simulation System for Sound and Image Synthesis – The General Formalism*. Computer Music Journal, 17(4), 19-29.
7. Cadoz, Claude; Luciani, Annie; Florens, Jean Loup; Roads, Curtis and Chadabe, Françoise. (1984). *Responsive Input Devices and Sound Synthesis by Stimulation of Instrumental Mechanisms: The Cordis System*. Computer Music Journal, 8(3), 60-73.
8. Cadoz, Claude and Castagne, Nicolas. (2003). *Ten Criteria for Evaluating Physical Modeling Schemes for Music Creation*. In Proceedings of the International Conference on Digital Audio Effects (DAFX-03), London, UK, 8-11 September, 2003.
9. Cahill, Margaret. (2004). *Applied Ecoustics Tassman 3.0 and Applied Acoustics Lounge Lizard (review)*. Computer Music Journal, 28(3), 91-94.
10. Carillo, Alfonso Antonio Perez. (2006). *Gesture Based Synthesis of Bowed String Instruments*. PhD Thesis in Department of Technology, Universitat Pompeu Fabra, Barcelona.
11. Cook, Perry R. (1997). *Physically Informed Sonic Modeling (PhISM): Synthesis of Percussive Sounds*. Computer Music Journal, 21(3), 38-49.

12. Cook, Perry R. (1996). *Synthesis Toolkit in C++, version 1.0*. In Proceedings of the International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH), New Orleans, Louisiana, USA, 4-9 August 1996.
13. Cook, Perry and Lakatos, Stephen. (2003). *Using DSP-Based Parametric Physical Synthesis Models to Study Human Sound Perception*. In Proceedings of the IEEE Workshop of Signal Processing to Audio and Acoustics. New Paltz, NY, 19-22 October, 2003.
14. Cook, Perry R. and Scavone, Gary P. (1999). *The Synthesis Toolkit (STK)*. In Proceedings of the International Computer Music Conference, Beijing, China, 22-28 October 1999.
15. Cook, Perry. (2007). *Din of an "iquity": Analysis and Synthesis of Environmental Sounds*. In Proceedings of the International Conference on Auditory Display, Montreal, Canada, 26-29 June, 2007.
16. Cook, Perry, (2001). *Real Sound Synthesis for Interactive Applications*. A K Peters. Ltd. USA.
17. Djoharian, Pirouz. (1993). *Generating Models for Modal Synthesis*. Computer Music Journal, 17(1), 57-65.



18. Ellis, Nicholas; Bensoam, Joel and Causee Rene. (2005). *Modalys Demonstration*. In Proceedings of the International Computer Music Conference, Barcelona, Spain, 2005, 5-9 September, 2005.
19. Hiller, Lejaren and Ruiz, Pierre. (1971). *Synthesizing Musical Sounds by Solving the Wave Equation for Vibrating Objects, Part 1*. Journal of the Audio Engineering Society, 19(6), 462-470.
20. Hiller, Lejaren and Ruiz, Pierre. (1971). *Synthesizing Musical Sounds by Solving the Wave Equation for Vibrating Objects, Part 2*. Journal of the Audio Engineering Society, 19(7), 545-551.
21. Jaffe David A. and Smith Julius O. (1983). *Extensions of the Karplus-Strong Plucked-String Algorithm*. Computer Music Journal, 7(2), 56-69.
22. Jones, Randall Evan. (2003). *Intimate Control for Physical Modeling Synthesis*. PhD Thesis in the Department of Computer Science, B. Sc. University of Wisconsin -Madison.
23. Karplus Kevin and Strong Alex. (1983). *Digital Synthesis of Plucked Strings and Drum Timbres*. Computer Music Journal, 7(2), 43-55.
24. Kelly, John L. and Lochbaum, Carol C. (1962). *Speech Synthesis*. In Proceedings of the Fourth International Congress on Acoustics, Copenhagen, Denmark, 21-28 August 1962.

25. Kojs, Juraj; Serafin, Stefania and Chafe, Chris. (2007). *Cyberinstruments via Physical Modeling Synthesis: Compositional Applications*. Leonardo Music Journal, 17.
26. Kontogeorgakopoulos, Alexandros and Cadoz, Claude (2007). *Cordis Anima Physical Modeling and Simulation System Analysis*. In Proceedings of Fourth Sound and Music Computing Conference, Lefkada, Greece, 11-13 July 2007.
27. Kontogeorgakopoulos, Alexandros; Tzevelekos, Panagiotis; Cadoz, Claude and Kouroupetroglou, Georgios (2008). *Using the Cordis-Anima Formalism for the Physical Modeling of the Greek Zournas Shawm*. In Proceedings of the International Computer Music Conference, Belfast, Northern Ireland, 24-29 August 2008.
28. Lakatos, Stephen; Cook, Perry R. and Scavone, Garry P. (2000). *Selective Attention to the Parameters of a Physically Informed Sonic Model*. Journal of the Acoustical Society of America, 107, 31-36.
29. Manning, Peter. 1993. *Electronic and Computer Music*. Oxford, England. Oxford University Press.
30. McIntire Michael E. ; Schumacher Robert T. and Woodhouse James. (1983). *On the Oscillations of Musical Instruments*. Journal of the Acoustical Society of America, 74(5), 1325-1345.

31. Menzies, Dylan. (2009). *Phya and Vfoley, Physically Motivated Audio for Virtual Environments*. In Proceedings of the AES International Conference, London, UK, 11-13 February, 2009.
32. Miranda, Eduardo Reck. (2002). *Computer Sound Design. Synthesis Techniques ang programming*. Focal Press, Oxford, United Kingdom.
33. Modartt. (2010). *Pianoteq - The Virtual Piano*. Retrieved January 10, 2010, from the World Wide Web: <http://www.pianoteq.com/>
34. Morrison, Joseph Derek and Andrien, Jean-Marie. (1993). *MOSAIC: A Framework for Modal Synthesis*. Computer Music Journal, 17(1), 45-56.
35. Nomer, Dennis. (1998). *Physical modeling*. Retrieved January 10, 2010, from the World Wide Web: <http://enlightenedsystems.com/vl/physmodl.htm/>
36. Pai, Dinesh K and Doel, Kees van den. (2003). *Modal Synthesis for Vibrating Objects*. Audio Anecdotes. Tools, Tips and Techniques for Digital Audio. A K Peters. Ltd. USA.
37. Pai, Dinesh K; Doel, Kees van den; James, Doug L.; Lang, Jochen; Lloyd, John E.; Richmond, Joshua L. and Yau, Som H. (2001). *Scanning Physical Interaction Behavior of 3D Objects*. In Proceedings of the International Conference on

- Computer Graphics and Interactive Techniques, Los Angeles, California, USA, 12-17 August, 2001.
38. Reyes, Juan. (2003). *Composing for the Physical Model of the Maraca*. Retrieved January 10, 2010, from the World Wide Web: <https://ccrma-www.stanford.edu/~juanig/articles/wadi-icmc/wadi-icmc.html/>
39. Roads, Curtis. (1996). *Computer Music Tutorial*. Massachusetts Institute of Technology.
40. Rossing, Thomas; Yoo, Junehee and Morrison, Andrew. (2004). *Acoustics of Percussion Instruments: An Update*. *Journal of Acoustic Science and Technology*, 25, 406-412.
41. Scavone, Gary. (2004-2008). *Physical Modeling*. Retrieved January 10, 2010, from the World Wide Web: <http://www.music.mcgill.ca/~gary/307/week12/physical.html/>
42. Scavone, Gary P. and Cook, Perry R. (2005). *Rtmidi, Rtaudio, and a Synthesis Toolkit (STK) Update*. In Proceedings of the International Computer Music Conference, Barcelona, Spain, 5-9 September 2005.
43. Serafin, Stefania; Gotzen, Amalia de and Gelineck, Niels Bottcher Steven. (2006). *Synthesis and Control of Everyday Sounds Reconstructing Russolo's*

- Intonarumori*. In Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME2006), Paris, France, 4-8 June, 2006.
44. Serafin, Stefania. (2004). *The Sound of Friction: Real-Time Models, Playability and Musical Applications*. PhD Thesis in Stanford University Department of Music.
45. Smith, Julius O. (2007). *Physical Audio Signal Processing for Virtual Music Instruments and Audio Effects*. Online Publication. CCRMA, Stanford, California USA.
46. Smith, Julius O. (1996). *Physical Modeling Synthesis Update*. Computer Music Journal, 20(2), 44-56.
47. Smith, Julius O. (1992). *Physical Modeling Using Digital Waveguides*. Computer Music Journal, 16(4), 74-91.
48. Smith, Julius O. (1987). *Waveguide Filter Tutorial*. Computer Music Journal, 12(1), 19-28.
49. Stanford University. (1994). *Music Synthesis Approaches Sound Quality of Real Instruments*. Retrieved January 10, 2010, from the World Wide Web:  
<http://news.stanford.edu/pr/94/940607Arc4222.html>

50. Trueman, Dan and Cook, Perry. *BoSSA: The Deconstructed Violin Reconstructed*. *Journal of New Music Research*, 29(2), 121-130.

51. Valimake, Vesa and Takala, Tapio. (1996). *Virtual Musical Instruments* –

## **6.2 Ηχητικά παραδείγματα.**

1. Ηχητικά παραδείγματα 1,2 και 8 έως 14. <http://www.cybermusik.net/>
2. Ηχητικά παραδείγματα 3 έως 7. Cook, 2001.

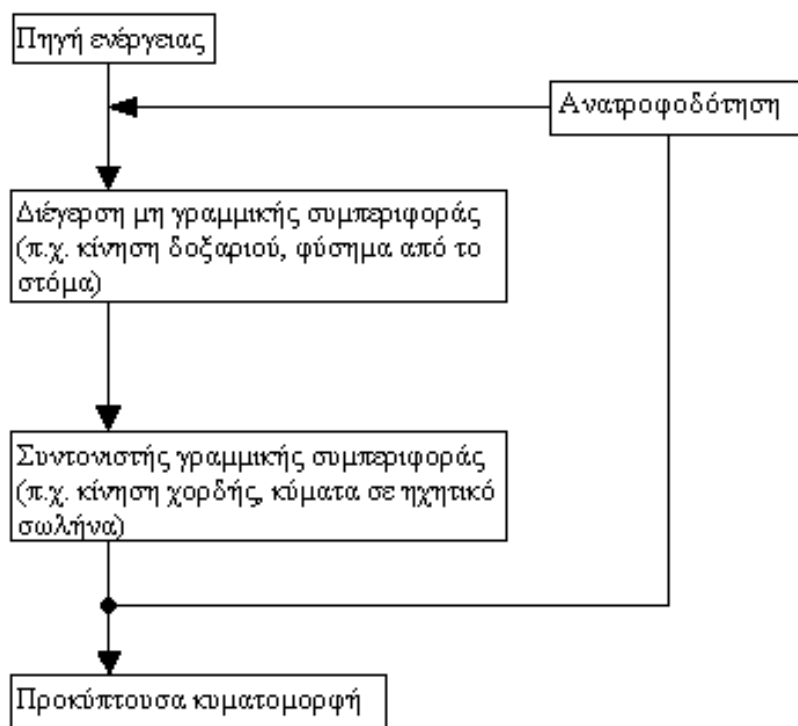
## **6.3 Εικόνες.**

1. Εικόνα 2.1 <http://io.debian.net/~tar/debian/musickit/MusicKit-5.5.2/Applications/PhysicalModels/Documentation/PRCGreece92.pdf>
2. Εικόνα 2.2 Roads, 1996.
3. Εικόνα 2.3  
<http://www.yamaha.com/yamahavgn/CDA/ContentDetail/ModelSeriesDetail.html?CNTID=201&CTID=207150>
4. Εικόνα 2.4 <http://www.ableton.com/collision>
5. Εικόνα 3.1 Pai, 2003.
6. Εικόνα 3.2 <http://soundlab.cs.princeton.edu/research/controllers/shakers/>
7. Εικόνα 4.3 Serafin et al. 2006.
8. Εικόνα 4.4 Bottcher et al. 2007.

9. Εικόνα 5.1 <http://www.eumus.edu.uy/eme/cursos/acusticaIPA/afinacion-escalas/marimba.jpg>

10.Εικόνα 5.9 [http://www.m-audio.com/products/en\\_us/Axiom61.html](http://www.m-audio.com/products/en_us/Axiom61.html)

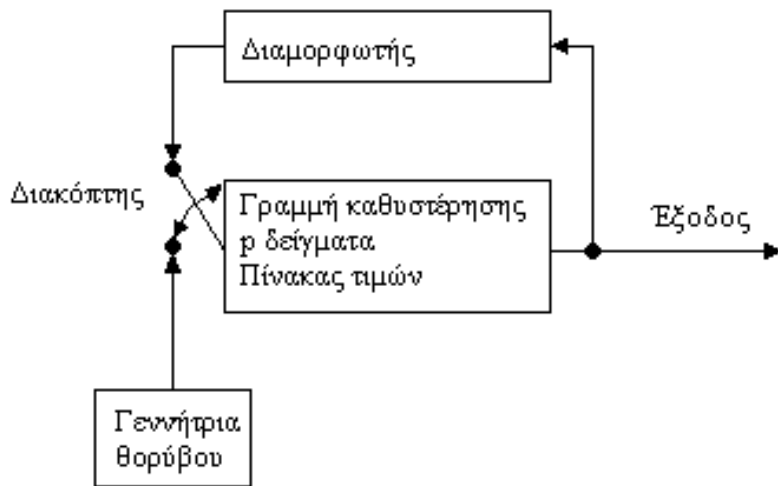
## Παράρτημα Ι. Σχήματα των σημαντικότερων αλγορίθμων φυσικής προτυποποίησης.



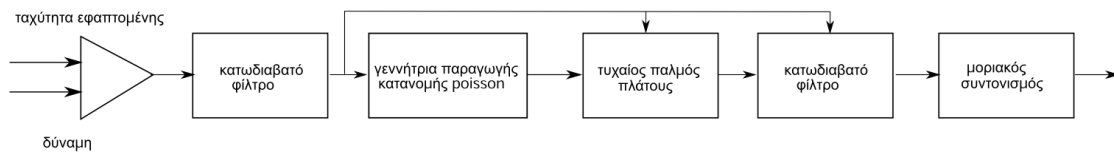
Εικόνα II.1

Αλγόριθμος McIntire - Schumacher - Woodhouse.





Εικόνα II.2  
 Αλγόριθμος Karplus - Strong.



Εικόνα II.3  
 Αλγόριθμος PhISEM.

## Παράρτημα II. Cordis - Anima.

### II.1 Cordis - Anima, Genesis.

Ο αλγόριθμος απόσβεσης μάζας - ελατηρίου ανταποκρίνεται καλύτερα στην εξομοίωση των αφηρημένων εικονικών οργάνων. Το Genesis είναι ένα σύστημα φυσικής προτυποποίησης στο οποίο συνδυάζονται μάζες, ελατήρια και τιμές απόσβεσης και διαδρούν σε πραγματικό χρόνο. Αναπτύχθηκε από μία ομάδα ερευνητών με επικεφαλή τον Claude Cadoz το 1978 στο ACROE (*Association pour la Creation dans les Outils d'Expression*) στη Γαλλία. Επίσης το Genesis αποτελεί ένα περιβάλλον οπτικής διεπαφής για την Cordis - Anima μία γλώσσα την οποία ανέπτυξε το ACROE για την εφαρμογή εξομοιώσεων ήχου (*Cordis*) και κινούμενων αντικειμένων (*Anima*).

Η ανθρώπινη αντίληψη χρησιμοποιεί τις τρεις από τις πέντε αισθήσεις, την ακοή, την όραση και την αφή. Η λειτουργία της Cordis στηρίζεται σε δύο βασικούς παράγοντες, ένα μετατροπέα ο οποίος εφαρμόζεται στα τρία κανάλια των αισθήσεων και έναν εξομοιωτή οργάνου ο οποίος ελέγχει τη σχέση μεταξύ των μεγεθών διαφόρων αισθήσεων (Cadoz et al. 1984).

Τα στοιχεία μάζας, ελατηρίων και τιμών απόσβεσης μπορούν να ενωθούν σε ένα γραμμικό δίκτυο. Στην επίσημη ιστοσελίδα της Cordis αναφέρεται ότι *...H CA είναι μία μηχανή εξομοίωσης για δυναμικά φαινόμενα. Δυναμικές συμπεριφορές όπως μηχανική κίνηση και παραμόρφωση καθίστανται δυνατό να εξομοιωθούν ακουστικά, οπτικά και κινησιολογικά μέσω ενός δυναμικώς ανατροφοδοτούμενου συστήματος κινησιολογίας...* Η CA είναι σχεδιασμένη για να επικοινωνεί μέσω plugins με εξωτερικά προγράμματα.

### **III.2 Κατασκευή μοντέλων.**

Η CA αποτελεί ένα ψηφιακό σύστημα εξομοίωσης το οποίο μπορεί να δράσει και σε πραγματικό χρόνο (Kontogeorgakopoulos, 2005). Τα μοντέλα σχεδιάζονται συναρμολογώντας στοιχειώδη φυσικά μέρη και μπορεί να αναπαριστούν φυσικά αντικείμενα τα οποία διαδρούν μεταξύ τους: δισδιάστατα ή και τρισδιάστατα αντικείμενα π.χ. μουσικά όργανα. Η κατασκευή των οργάνων στην Cordis γίνεται με την χρησιμοποίηση δύο τύπων ατόμων: υλικό (*matter*) και δεσμός (*link*).

Υλικό θεωρείται ό,τι υπάρχει σε τρισδιάστατο χώρο και η κατάστασή του υπολογίζεται σύμφωνα με τις δυνάμεις που ασκούνται από το περιβάλλον του. Ο δεσμός χρησιμοποιείται για την ένωση κομματιών υλικού και δεν καταλαμβάνει φυσικό χώρο.

Άτομα υλικού και δεσμών συνδέονται από δύο δικάναλες θύρες. Το πρώτο κανάλι χρησιμοποιείται για επικοινωνία σχετική με τα διανύσματα δύναμης και το δεύτερο για επικοινωνία σχετική με τα διανύσματα μετατόπισης. Τα μοντέλα στην Cordis αποτελούν συνδυασμό από άτομα υλικού συνδεδεμένα με άτομα δεσμών.

Υπάρχουν τρία είδη δεσμών στην Cordis: δεσμός ελατηρίου, δεσμός προστριβής και δεσμός υπό προϋποθέσεις. Ο δεσμός ελατηρίου και ο δεσμός προστριβής εφαρμόζουν τα στοιχεία ελατηρίου και τιμών απόσβεσης αντίστοιχα ενώ ο δεσμός υπό προϋποθέσεις εφαρμόζει ένα συνδυασμό στοιχείων ελατηρίου και προστριβής με συνέπεια να επιτρέπει τον καθορισμό μη γραμμικών διαδράσεων στο σύστημα.

Η CA αποτελεί μία από τις πιο παλιές εφαρμογές για ψηφιακή σύνθεση ήχου μέσω φυσικής προτυποποίησης. Η Cordis και το Genesis λειτουργούν μόνο σε υπολογιστές Silicon Graphics με λειτουργικά συστήματα Irix (Kontogeorgakopoulos et al. 2007).

## Παράρτημα III. Περιεχόμενα δίσκου ακτίνας (CD).

Track 1||*Bicycle Built for Two* - Max Mathews. (<http://www.cybermusik.net/>)

Track 2||*Silicon Valley Breakdown* - David Jaffe. (<http://www.cybermusik.net/>)

Track 3||*Παράδειγμα σύνθεσης με κυματοδηγούς - κλαρινέτο*. (Cook, 2001)

Track 4||*PhISEM - Ήχοι μαράκας, σέκερε, καμπάσα*. (Cook, 2001)

Track 5||*PhISEM - Ήχοι ντεφισιού και κουδουνιών*. (Cook, 2001)

Track 6||*PhISEM - Ήχος καλαμιών ανέμου*. (Cook, 2001)

Track 7||*PhISEM - Ήχος κερμάτων σε κούπα*. (Cook, 2001)

Track 8||*Wadi Musa* - Juan Reyes. (<http://www.cybermusik.net/>)

Track 9||*Lobster Quadrille* - Dan Trueman. (<http://www.cybermusik.net/>)

Track 10||*Revelations (a)* - Juraj Kojs. (<http://www.cybermusik.net/>)

Track 11||*Revelations (b)* - Juraj Kojs. (<http://www.cybermusik.net/>)

Track 12||*Revelations (c)* - Juraj Kojs. (<http://www.cybermusik.net/>)

Track 13||*That Which is Bodiless is Reflected in Bodies* - Matthew Burtner.

(<http://www.cybermusik.net/>)

Track 14||*Resorption - Coupure* - Hans Tutschku. (<http://www.cybermusik.net/>)