ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«Δημιουργία Ευφυσούς Συστήματος
για Αυτόματη Σύνθεση Μουσικού Έργου»**

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Θ. ΧΑΛΚΙΟΠΟΥΛΟΣ

***ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ ΧΑΤΖΗΛΥΓΕΡΟΥΔΗΣ***

[ΠΑΤΡΑ 2009 ©]

*Στους γονείς μου,
Θεόδωρο και Όλγα*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή «**Τεχνητή Νοημοσύνη και Μουσική Τεχνολογία: Δημιουργία Ευφύους Συστήματος για Αυτόματη Σύνθεση Μουσικού Έργου**» εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Διατμηματικού Προγράμματος Σπουδών «**Μαθηματικά των Υπολογιστών και των Αποφάσεων**» με κατεύθυνση «**Μαθηματικές Θεμελιώσεις της Επιστήμης των Υπολογιστών και Εφαρμογές στην Τεχνητή Εξαγωγή Συμπερασμάτων και Αποφάσεων**» του Πανεπιστημίου Πατρών, κατά το ακαδημαϊκό έτος 2005-2009 υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή κ. **Ιωάννη Χατζηλυγερούδη**.

Αξίζει να σημειώσουμε ότι η συγκεκριμένη Διδακτορική Διατριβή επιχορηγήθηκε από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας του Υπουργείου Ανάπτυξης μέσω του Προγράμματος Ερευνητικού Δυναμικού **ΠΕΝΕΔ 2003** με κωδικό έργου **03ΕΔ_700** με Επιστημονικό Υπεύθυνο του Έργου τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Πανεπιστημίου Πατρών κ. **Βασίλειο Βουτσινά** ο οποίος ήταν αρχικά επιβλέπων της Διδακτορικής Διατριβής (διάστημα 2005 έως 2007).

Θα ήθελα καταρχήν από τη θέση αυτή να ευχαριστήσω θερμά τον ουσιαστικό επιβλέποντα της Διδακτορικής μου Διατριβής καθώς και Επιστημονικό Υπεύθυνο του Έργου, τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. **Βασίλειο Βουτσινά** για την αμέριστη βοήθεια του προκειμένου να ολοκληρωθεί το παρόν ερευνητικό έργο. Η μακρόχρονη και επίπονη ακαδημαϊκή καθοδήγησή του ήταν καθοριστική στην επιστημονική μύησή μου, ιδιαίτερα στο πραγματικά γοητευτικό γεμάτο νότες ερευνητικό πεδίο με το οποίο ασχοληθήκαμε τα τελευταία χρόνια. Σημαντικότερη ήταν και η συμβολή του Επίκουρου Καθηγητή κ. **Ιωάννη Χατζηλυγερούδη** για τις χρήσιμες υποδείξεις του και τις συμβουλές του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά και τον Καθηγητή κ. **Χαράλαμπο Μπότσαρη** για την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους γονείς μου για τη συμπαράστασή τους, την κατανόησή τους και την υπομονή τους σε όλη τη διάρκεια αυτής της εργασίας. Είμαι ιδιαίτερα ευγνώμων για όσα μου έχουν προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια και σίγουρα σε αυτούς χρωστάω τα πάντα. Θα ήθελα να τους ευχαριστήσω για όλες τις θυσίες που έχουν κάνει ώστε να μου δώσουν την δυνατότητα να ασχοληθώ απερίσπαστος με κάτι τόσο συναρπαστικό όσο η αναζήτηση της γνώσης.

Κωνσταντίνος Θ. Χαλκιάπουλος

Πάτρα, 2009

Η ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΟΥΣΙΑΣ

Η Διδακτορική Διατριβή αφορά στην εφαρμογή μεθόδων Τεχνητής Νοημοσύνης στην Μουσική Τεχνολογία και επικεντρώνεται γενικότερα στο πρόβλημα της αυτόματης σύνθεσης μουσικού έργου.

Συγκεκριμένα, η Διδακτορική Διατριβή αφορά στη χρήση τεχνικών εξόρυξης από δεδομένα (data mining) για την ανάπτυξη συστήματος αυτόματης συνέχισης μελωδίας (melody continuator). Ένα τέτοιο σύστημα δέχεται ως είσοδο (από τον χρήστη-μουσικό) μία μελωδία και επιστρέφει μία συνέχεια αυτής. Για τη λειτουργία αυτή, το προτεινόμενο σύστημα βασίζεται σε μία βάση γνώσης που αποτελείται από κανόνες εξόρυξης δεδομένων (data mining) για διάφορα μουσικά στυλ που έχουν εξαχθεί σε μία φάση προεπεξεργασίας.

Το προτεινόμενο σύστημα καινοτομεί στα εξής:

1. Για πρώτη φορά γίνεται διαχωρισμός **ύψους** (pitch) και **διάρκειας** (duration), ενώ σε όλα τα αντίστοιχα συστήματα της Μουσικής Τεχνολογίας αυτά αντιμετωπίζονται ως ιδιότητες της έννοιας «νότα».
2. Προτείνει ένα νέο σχήμα αναπαράστασης της μουσικής με διαφορετική μορφή για το **ύψος** και την **διάρκεια**, το οποίο επιτρέπει την άμεση εφαρμογή αλγορίθμων data mining (ταξινόμηση, ομαδοποίηση και συσχέτιση) πάνω σε μουσικά δεδομένα. Ας σημειωθεί ότι όλες σχεδόν οι υπάρχουσες προσεγγίσεις στη Μουσική Τεχνολογία χρησιμοποιούν τροποποιημένους αλγόριθμους data mining για να μπορούν να εφαρμοσθούν στα προτεινόμενα σχήματα αναπαράστασης. Το προτεινόμενο σχήμα επιτρέπει την άμεση εφαρμογή εμπορικών αλγορίθμων data mining, οι οποίοι τυγχάνουν και της μεγαλύτερης απόδοσης μέσω συνεχών βελτιώσεων.
3. Υιοθετεί ένα πρόσφατο μέτρο ομοιότητας μουσικών προτύπων, το οποίο προς έκπληξη βασίζεται σε μεθόδους Επιχειρησιακής Έρευνας. Το μέτρο αυτό, με κατάλληλη αρχικοποίηση, μπορεί να αντιμετωπίσει τα βασικά προβλήματα των συνήθων μέτρων ομοιότητας μουσικών προτύπων (στην πλειοψηφία τους απλοϊκά), όπως είναι η ανάδειξη ως ομοίων μελωδιών από μουσικές κλίμακες ελάσσονες και μείζονες.

Τέλος, ας σημειωθεί ότι το προτεινόμενο σύστημα το οποίο πήρε την ονομασία «**Πολύμνια***» (polyhymnia**) υλοποιήθηκε για δύο μουσικά στυλ: χορικά του Μπαχ και Τζαζ, για τα οποία εξήχθησαν κανόνες συσχέτισης. Το σύστημα έδωσε απρόσμενα καλά, μουσικά, αποτελέσματα που χαρακτηρίστηκαν ως προϊόντα «μουσικής έμπνευσης» από ειδικούς.

***Πολύμνια:** Η Μούσα, ήταν κόρη του Δία και της Μνημοσύνης. Δύο ρόλοι αποδίδονται στην Πολύμνια, που οφείλονται σε δύο διαφορετικές ετυμολογίες του ονόματός της. Η αρχαιότερη παράδοση τη θέλει προστάτρια των ύμνων (πολύ + ύμνος) που ψάλλονταν προς τιμή των θεών και των ηρώων. Κατά τη νεότερη όμως παράδοση, η οποία ετυμολογεί το όνομά της από το πολύ + μνεία, βοηθά στην εύκολη μάθηση και την απομνημόνευση. Έτσι, η Πολύμνια

συγγέεται σχεδόν με τη Μνημοσύνη και τα αγάλματά της που σώθηκαν μέχρι σήμερα επιβεβαιώνουν την ερμηνεία αυτή. Σε αυτά παριστάνεται πάντοτε σαν να κατέχεται από κάποια βαθιά σκέψη και ανάμνηση. Είναι μία πολύ σοβαρή γυναίκα, συλλογισμένη και στοχαστική. Συχνά κρατά το δάχτυλό της μπροστά στα χείλη και αυτό αυξάνει τη σιωπηλή έκφραση της μορφής της. Συνήθως απεικονίζεται φορώντας μακρύ μανδύα και πέπλο, και έχοντας εναποθέσει τον αγκώνα της σε ένα μαξιλάρι. Φέρνει φήμη στους συγγραφείς των οποίων οι δουλειές τούς έχουν χαρίσει αθάνατη φήμη.

Μια τρίτη ιδιότητα της δόθηκε κατά τους τελευταίους αιώνες της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας: Θεωρήθηκε προστάτιδα της μιμικής τέχνης.

Επίσης, η Πολύμνια είναι μερικές φορές γνωστή και ως η Μούσα της γεωμετρίας, του διαλογισμού και της γεωργίας.

[Πηγή Βικιπαίδεια]

****polyhymnia:** Είναι το όνομα Πολύμνια μεταφρασμένο στην αγγλική γλώσσα. Με βάση αυτό το όνομα δεσμεύσαμε όνομα χώρου στο διαδίκτυο (Domain Name) προκειμένου να εγκατασταθεί πλατφόρμα διαχείρισης πολυμεσικού περιεχομένου (CMS) για την δικτυακή παρουσίαση και ενημέρωση του ευφυούς συστήματος “Πολύμνια” που δημιουργήσαμε στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή. Ο συγκεκριμένος δικτυακός κόμβος βρίσκεται στη διεύθυνση <http://www.polyhymnia.gr>.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Έχει ειπωθεί ότι η ανθρώπινη ευφυΐα δεν έχει μία και μοναδική μορφή και αναγνωρίζεται από επτά μορφές ανθρώπινης ευφυΐας (Θεωρία Gardner). Αυτές οι μορφές μπορούν να χαρακτηρίσουν την *Νοημοσύνη* ως *Γλωσσική, Λογικομαθηματική, Χωρική, Αισθησιοκινητική, Μουσική, Διαπροσωπική* και *Ενδοπροσωπική*. Η Θεωρία αυτή θεμελιώνεται σε δύο Αρχές. Σύμφωνα με την πρώτη από αυτές κάθε μεμονωμένο ανθρώπινο πλάσμα διαθέτει και τις επτά μορφές ευφυΐας. Να αναφέρουμε στο σημείο αυτό ότι όλα σχεδόν τα παραδοσιακά τεστ νοημοσύνης ενδιαφέρονται μόνο για τη γλωσσική και τη λογικομαθηματική ευφυΐα και αγνοούν τις άλλες μορφές. Η δεύτερη Αρχή εκφράζει ότι δεν υπάρχουν δύο ανθρώπινα πλάσματα τα οποία να έχουν την ίδια ευφυΐα.

Προφανώς στη παρούσα διατριβή ασχολούμαστε με θέματα που άπτονται της *Λογικομαθηματικής Ευφυΐας*, άτομα δηλαδή που κατανοούν τις υποκρυπτόμενες ιδιότητες -κάθε μορφής- ενός αιτιοκρατικού λογικού συστήματος, διαθέτουν τις δεξιότητες ενός επιστήμονα και μπορούν επίσης να χειριστούν αριθμούς και ποσότητες με τον τρόπο που τις χειρίζονται ο μαθηματικοί, καθώς και της *Μουσικής Ευφυΐας* η οποία εκδηλώνεται με την ικανότητα των ατόμων να «σκέφτονται» μέσα από τη μουσική να αναγνωρίζουν ήχους, να τους θυμούνται και να τους χειρίζονται αναλόγως.

Η παρουσίαση των θεμάτων της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής οργανώνεται ως εξής:

Το **Κεφάλαιο 1** αποτελεί μια εισαγωγή για το τι είναι η Τεχνητή Νοημοσύνη ως επιστημή ευφυούς συμπεριφοράς, καθώς και ποιο είναι το αντικείμενο με το οποίο ασχολείται. Επίσης, αναφέρουμε περιληπτικά τρόπους προσέγγισης της τεχνητής νοημοσύνης, όπως είναι η συμβολική και μη-συμβολική προσέγγιση. Αναφερόμαστε με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στην αναπαράσταση γνώσης και στους αλγόριθμους αναζήτησης, μιας και σε αυτό το επίπεδο θα είναι και η προσέγγισή μας από το μουσικό τομέα. Τέλος αναφέρουμε και την ιστορική εξέλιξη της Τεχνητής Νοημοσύνης από την εποχή της γέννησής της μέχρι σήμερα.

Στο **Κεφάλαιο 2** ασχολούμαστε με τον προσδιορισμό και την κατανόηση της μουσικής ως τέχνη. Ξεκινάμε με τον προσδιορισμό του τι είναι ήχος ως φυσικό μέγεθος και ποια τα χαρακτηριστικά του, όπως το ύψος, η ένταση και η χροιά. Αναλύουμε τις διαφορές αναλογικού και ψηφιακού σήματος. Περιγράφουμε τη διαδικασία μετατροπής ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό μέσω της δειγματοληψίας και της κβαντοποίησης. Ασχολούμαστε και με τον προσδιορισμό των αρμονικών ενός ήχου με τη μορφή κυματομορφής που έχει άμεση σχέση με το ύψος και τη χροιά του. Στη συνέχεια κάνουμε μια εισαγωγή στις μουσικές κλίμακες, στους τρόπους δημιουργίας τους, καθώς και στο λεγόμενο συγκερασμό που χρησιμοποιείται στο σύγχρονο τρόπο θεώρησης των μουσικών κλιμάκων της μουσικής (τονική μουσική). Στο τελευταίο μέρος του κεφαλαίου αναφερόμαστε στην αντίληψη του ήχου (η οποία και σε επόμενα κεφάλαια θα παίξει σημαντικό ρόλο στη σύνδεση της μουσικής με την τεχνητή νοημοσύνη), όπως είναι η συμφωνία και η διαφωνία των ήχων μεταξύ τους, καθώς και η υποκειμενικότητά τους.

Στο **Κεφάλαιο 3** ξεκινάμε με τον ανθρώπινο εγκέφαλο και τον τρόπο κατανόησης της μουσικής από αυτόν. Αναφέρουμε τις μεθόδους μέτρησης των ερεθισμάτων του εγκεφάλου στα εξωτερικά ερεθίσματα που λαμβάνει προς επεξεργασία.

Στη συνέχεια ξεκινάμε με τον προσδιορισμό της δομής της μουσικής θεωρίας και συγκεκριμένα με τον ορισμό της μελωδίας, του μοτίβου (ως το βασικό πρωταρχικό δομικό στοιχείο) και τέλος με την αρμονία. Με βάση αυτούς τους κανόνες και τη μουσική εμπειρία μας αρχίζουμε να οριοθετούμε τα κοινά στοιχεία που μπορεί να έχει η Μουσική και η Τεχνητή Νοημοσύνη.

Στο **Κεφάλαιο 4** αναφέρουμε τις αρχές αντίληψης ‘Gestalt’ βάση των οποίων εισάγουμε τη μουσική στον τομέα έρευνας της Τεχνητής Νοημοσύνης. Παραθέτουμε κάποια χαρακτηριστικά μουσικά παραδείγματα με τους τρόπους προσέγγισης αυτών να συμβαδίζουν με τις αρχές αντίληψης ‘Gestalt’, όπως είναι οι αρχές της ομοιότητας, της εγγύτητας και της καλής συνέχειας. Έτσι ένα μουσικό κομμάτι το κατηγοριοποιούμε κατά την ακρόασή του ως μια μελωδική γραμμή μιας χρονικά προβλέψιμης δομής, ως συγχορδιακές διαδοχές και τέλος ως ένα σύνολο όλων των παραπάνω.

Στο **Κεφάλαιο 5** γίνεται μια διεξοδική ανάλυση του τρόπου αναπαράστασης της μουσικής, το πρώτο βασικό βήμα για την εισαγωγή των μουσικών δεδομένων στα συστήματα γνώσης που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη. Αναφερόμαστε στις υλοποιήσεις αυτών των τρόπων, καθώς και στη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται, όπως είναι η ιεραρχική και η συνισταμένη αναπαράσταση. Δίνονται αρκετά παραδείγματα τα οποία υλοποιούνται από τους τρόπους που αναφέρουμε παραπάνω. Η επόμενη μέθοδος που αξιοποιεί την αναπαράσταση των μουσικών κειμένων είναι η εύρεση-ανίχνευση των μουσικών σχημάτων με σκοπό τον προσδιορισμό της δομής του μουσικού κειμένου. Αναφέρονται οι τρόποι εύρεσης κάθετων και οριζόντιων σχημάτων καθώς και η κατηγοριοποίησή τους. Αναφέρουμε επίσης διεξοδικά την αναπαράσταση μέσω πρωτοκόλλου Midi, με την οποία διάφορα ηλεκτρονικά μουσικά όργανα αλλά και κάρτες ήχου ενσωματωμένες σε υπολογιστικά συστήματα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους και να συγχρονίζουν τη λειτουργία τους. Το γεγονός ότι το πρωτόκολλο MIDI προσφέρει μια γλώσσα μορφοποίησης με την οποία είναι δυνατή η κωδικοποίηση του είδους αλλά και των χρονικών στιγμών κατά τις οποίες θα παραχθούν διάφοροι ήχοι επιτρέπει τη αναπαράσταση μουσικών κομματιών σε μορφή «παρτιτούρας» σε ανάλογα αρχεία .MID τα οποία και αναπαράγονται από τα ηλεκτρονικά μουσικά όργανα που χρησιμοποιούνται. Τέλος θα αναφερθούμε στο MSQ Project το οποίο είναι μία ανεξάρτητη πλατφόρμα, εύκολα αναγνώσιμη και παραμετροποιήσιμη, της οποίας τα αρχεία παραγωγής “file format” είναι ικανά για αλγοριθμικό χειρισμό και αλγοριθμικής σύνθεσης τόσο καλά όσο και η διαχείριση σε πραγματικό χρόνο των οργάνων μέσω πρωτοκόλλου MIDI (midi instruments). Σε συνεργασία των παραπάνω δηλαδή του πρωτοκόλλου MIDI και του MSQ Project θα μας βοηθήσουν να δημιουργήσουμε το σχήμα μουσικής αναπαράστασης, το οποίο προτείνουμε στην παρούσα διδακτορική διατριβή και το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανάλυση εξόρυξης δεδομένων (data mining analysis) η οποία στοχεύει στη μάθηση γενικών προτύπων καθώς και για το τονικό ύψος (pitch) και τη διάρκεια (duration) σε συγκεκριμένα είδη μουσικής (music styles).

Στο **Κεφάλαιο 6** γίνεται μια διεξοδική ανάλυση του τρόπου εξόρυξης γνώσης δεδομένων. Η εξόρυξη δεδομένων (Data Mining) αποτελεί μια αναδυόμενη διαδικασία ανακάλυψης γνώσης από την εξαγωγή προηγουμένως άγνωστων, αγωγίμων (actionable) πληροφοριών από μεγάλες επιστημονικές και εμπορικές βάσεις δεδομένων. Επιβάλλεται από την εκρηκτική ανάπτυξη τέτοιων βάσεων δεδομένων. Συνήθως, μια διαδικασία εξόρυξης δεδομένων εξάγει κανόνες μέσω της επεξεργασίας υψηλών διαστάσεων κατηγορικών και/ ή αριθμητικών δεδομένων (numerical data). Η ταξινόμηση (classification), η ομαδοποίηση (clustering) και ο συσχετισμός (association) είναι οι πιο γνωστές εργασίες εξόρυξης δεδομένων. Τέλος παρουσιάζουμε αναλυτικά το προτεινόμενο σχήμα/σχέδιο (scheme) μουσικής αναπαράστασης και αναφέρουμε τα

πειραματικά αποτελέσματα που καταδεικνύουν πως το προτεινόμενο σχήμα/σχέδιο (scheme) είναι χρήσιμο και βοηθητικό για τη μουσική ανάλυση.

Στο **Κεφάλαιο 7** μελετώνται τα συστήματα γνώσης και οι τρόποι χρησιμοποίησής τους στη μουσική έρευνα. Οριοθετούμε τα προβλήματα που χρειάζονται επίλυση και κάνουμε τις αναγκαίες προσεγγίσεις σε επίπεδο σημειογραφίας, όπως είναι το επίπεδο έκφρασης και το επίπεδο δομής ενός μουσικού έργου. Επίσης, αναλύουμε τα μουσικά αποτελέσματα από τους συγκεκριμένους τρόπους προσέγγισης με βάση το ποιοτικό θεωρητικό πεδίο. Το επόμενο πεδίο που ακολουθεί στο συγκεκριμένο κεφάλαιο έχει να κάνει με την ανίχνευση μουσικών σχημάτων, ή αλλιώς τη ‘περίπτωση της εξόρυξης μουσικών δεδομένων’ (music data mining). Αναφερόμαστε αναλυτικά στο συγκεκριμένο τομέα έρευνας της τεχνητής νοημοσύνης μιας και η ταχεία ανάπτυξη των βάσεων δεδομένων μουσικής καθώς και η τρέχουσα ερευνητική δουλειά για την αναζήτηση τρόπων κατανόησης και ανάπτυξης προτύπων για διάφορα μουσικά στυλ, παρακινούν το ενδιαφέρον για δημιουργία και ανάπτυξη εφαρμογών εξόρυξης μουσικών δεδομένων. Τέλος, παρουσιάζουμε το ευφυές σύστημα το οποίο υλοποιούμε στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή και είναι αυτό που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την Αυτόματη Σύνθεση ενός Μουσικού Έργου.

Τέλος, στο **Κεφάλαιο 8** αναφέρουμε κάποια συμπεράσματα που βγαίνουν από όλη αυτή τη διαδικασία της αναλυτικής παρουσίασης των αναφορών και θεωρήσεων που κάναμε στα προηγούμενα κεφάλαια και εστιάζουμε στο σημείο που πρόκειται να συνεχίσουμε στην πορεία της μεταδιδακτορικής έρευνας.

Αξίζει να αναφερθεί ότι μαζί με τη Διδακτορική Διατριβή παραδίδεται και ηλεκτρονικό υλικό σε “**dvd**” το οποίο περιέχει τον κώδικα του ευφυούς συστήματος γραμμένο σε γλώσσα **Java**, τη βάση δεδομένων με τα πρωτογενή στοιχεία (εισαγμένα μελωδικά και ρυθμικά σχήματα από τη βάση δεδομένων αρχείων midi) καθώς και τα αντίστοιχα κομμάτια σε μορφή .midi αλλά και .msq, κατηγοριοποιημένα όλα ανά είδος μουσικής σύνθεσης (music style).

Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να ολοκληρωθεί όλο το έργο από τη δημιουργία του ευφυούς συστήματος μέχρι και τη λειτουργία του και την παραγωγή μουσικών συνθέσεων αναφέρεται σε ξεχωριστό έγγραφο (Μουσικός Εξοπλισμός) το οποίο συμπεριλαμβάνεται στο παραδοτέο “**dvd**”.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	- 3 -
Η ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΟΥΣΙΑΣ	- 7 -
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	- 9 -
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	- 13 -
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	- 17 -
«Λίγα λόγια από το συγγραφέα»	- 17 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	- 21 -
1. Τι είναι η Τεχνητή Νοημοσύνη	- 21 -
1.1. Εισαγωγή	- 21 -
1.2. Η Επιστήμη της ευφούς συμπεριφοράς	- 21 -
1.3. Γιατί ασχολούμαστε με την Τεχνητή Νοημοσύνη;	- 21 -
1.4. Τρόποι Προσέγγισης της Τεχνητής Νοημοσύνης	- 22 -
1.4.1. Συμβολική Προσέγγιση (Symbolic AI)	- 22 -
1.4.1.1. Αναπαράσταση Γνώσης	- 22 -
1.4.1.2. Αλγόριθμοι Αναζήτησης	- 23 -
1.4.2. Μη συμβολική Προσέγγιση (Sub-Symbolic AI)	- 24 -
1.5. Η Εξέλιξη της ΤΝ	- 29 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	- 31 -
2. Τι είναι η Μουσική	- 31 -
2.1. Εισαγωγή	- 31 -
2.2. Τι είναι Ήχος	- 31 -
2.3. Χαρακτηριστικά του Ήχου	- 32 -
2.4. Αναλογικό και Ψηφιακό σήμα	- 33 -
2.5. Αναλογικό σε Ψηφιακό σήμα	- 33 -
2.6. Κβαντοποίηση (Quantization)	- 35 -
2.7. Αρμονικές – Ύψος και Χροιά	- 36 -
2.8. Τι είναι Μουσική	- 37 -
2.9. Ιδιότητες της Μουσικής	- 37 -
2.10. Φυσικά χαρακτηριστικά της Μουσικής	- 37 -
2.11. Ψυχολογικά Χαρακτηριστικά της Μουσικής	- 37 -
2.12. Μουσικές Κλίμακες	- 38 -
2.13. Κλίμακες και Συγκερασμός	- 40 -
2.14. Συμφωνία και Διαφωνία	- 41 -
2.15. Υποκειμενική Μουσική και Αντικειμενική Ακουστική	- 42 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	- 43 -
3. Ανθρώπινος Εγκέφαλος και Μουσική	- 43 -
3.1. Εισαγωγή	- 43 -
3.2. Τι είναι πραγματικά μια μουσική σύνθεση;	- 43 -
3.3. Ο Μουσικός Εγκέφαλος	- 45 -
3.4. Ακούμε ή κατανοούμε τη μουσική;	- 47 -
3.4.1. Μελωδία	- 47 -
3.4.2. Μοτίβο – Πρωταρχικό Δομικό Στοιχείο της Μουσικής	- 49 -
3.4.3. Αρμονία	- 51 -
4. Τεχνητή Νοημοσύνη και Μουσική Αντίληψη	- 53 -
4.1. Αρχές Αντίληψης Gestalt	- 53 -
4.1.1. Ακούγοντας μια Μελωδική Γραμμή	- 58 -
4.1.2. Ακούγοντας ένα κομμάτι ως χρονικά προβλέψιμη δομή.	- 61 -
4.1.3. Ακούγοντας ένα κομμάτι ως συγχорδιακές διαδοχές	- 63 -

4.1.4.	Ακούγοντας ένα μουσικό κομμάτι συνολικά.....	- 66 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	.....	- 71 -
5.	Μουσική Αναπαράσταση (Representation).....	- 71 -
5.1.	Εισαγωγή	- 71 -
5.2.	Τι πρόκειται να αναπαρασταθεί;.....	- 72 -
5.2.1.	Παρτιτούρα / Απόδοση (Score / Performance).....	- 72 -
5.2.2.	Φυσιολογικό / Ψυχολογικό (Physical/ Psychologica.....	- 72 -
5.2.3.	Συμβολικό Σύστημα / Υποσύστημα (Symbolic / Sub Symbolic).....	- 72 -
5.2.4.	Ανάλυση / Δημιουργία (Analysis / Generation)	- 73 -
5.2.5.	Αναπαράσταση / Υλοποίηση (Representation/ Implementation).....	- 73 -
5.3.	Βασικό Σύστημα Αναπαράστασης - Προδιαγραφές.....	- 74 -
5.4.	Βασικό Σύστημα Αναπαράστασης – Υλοποίηση	- 75 -
5.4.1.	Παράδειγμα.....	- 75 -
5.5.	Ιεραρχική Αναπαράσταση (Hierarchical Representation).....	- 77 -
5.5.1.	Η Συνισταμένη Αναπαράσταση – Προδιαγραφές (Constituent Representation - Specification).....	- 77 -
5.5.2.	Λογική ταξινόμηση των Συστατικών (Logical Classification of Constituents).....	- 78 -
5.6.	Η Συνισταμένη Αναπαράσταση – Υλοποίηση (The Constituent Representation – Implementation).....	- 79 -
5.6.1.	Ιδιότητες και Ορισμοί (Properties and Definitions)	- 80 -
5.7.	Παραδείγματα (Examples).....	- 80 -
5.7.1.	Παράδειγμα 1 ^ο (Μελωδική Ανάλυση)	- 80 -
5.7.2.	Παράδειγμα 2 ^ο (Ρυθμική Ανάλυση)	- 81 -
5.7.3.	Παράδειγμα 3 ^ο	- 83 -
5.8.	Αναπαράσταση μέσω πρωτοκόλλου MIDI.....	- 85 -
5.9.	Αναπαράσταση μέσω του MSQ Project	- 85 -
6.	Μάθηση μέσω της Εξόρυξης Γνώσης (Learning and Data Mining)	- 87 -
6.1.	Ανεύρεση Γνώσης.....	- 87 -
6.1.1.	Ταξινόμηση (classification).....	- 91 -
6.1.2.	Ομαδοποίηση (clustering).....	- 100 -
6.1.3.	Συσχέτιση (association)	- 104 -
6.2.	Αναπαράσταση (Music Representation).....	- 108 -
6.2.1.	Αναπαράσταση – Εύρεση Μουσικών Σχημάτων (Representation – Discovering Music Patterns).....	- 111 -
6.3.	Το προτεινόμενο Σύστημα Αναπαράστασης.....	- 112 -
6.3.1.	Τονική Αναπαράσταση (Pitch Representation)	- 114 -
6.3.2.	Ρυθμική Αναπαράσταση (Duration Representation)	- 116 -
6.3.3.	Πειραματικά Αποτελέσματα.....	- 118 -
High Level Design	.....	- 119 -
6.3.4.	Συμπεράσματα	- 120 -
6.4.	Επίλογος.....	- 121 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	.....	- 123 -
7.	Συστήματα Γνώσης (Knowledge Systems)	- 123 -
7.1.	Εισαγωγή	- 123 -
7.2.	Συλλογιστική βασισμένη σε μοντέλα (model-based reasoning).....	- 124 -
7.3.	Συστήματα Γνώσης για τη Μουσική Έρευνα.....	- 125 -
7.4.	Το Προτεινόμενο Σύστημα Τεχνητής Νοημοσύνης «Αυτόματος Διαδραστικός Μουσικός Αυτοσχεδιασμός»	- 127 -
7.4.1.1.	Εισαγωγή	- 127 -
7.4.1.2.	Μέτρο Ομοιότητας Μουσικού Μοτίβου (The musical pattern similarity measure) -	129 -
7.4.1.3.	Η Αρχιτεκτονική του Συστήματος (System Architecture)	- 133 -

7.4.1.4. Πειραματική εφαρμογή σε Χορικά του Bach και μουσικές συνθέσεις Jazz-	
137 -	
7.4.1.5. Πειραματικά Συμπεράσματα	- 145 -
7.4.1.6. Μελλοντική Έρευνα	- 146 -
Πολύμνια (polyhymnia)	- 147 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	- 149 -
8. Ανακεφαλαίωση – Συμπεράσματα	- 149 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	- 153 -
Ιστορία του MIDI	- 153 -
Λειτουργία του MIDI	- 154 -
Κανάλια του MIDI	- 154 -
Sequencer	- 155 -
Μηνύματα MIDI	- 158 -
Κατηγορίες Αρχείων MIDI	- 162 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	- 153 -
MSQ Project	- 165 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	- 171 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ	- 175 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	- 195 -

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

«Λίγα λόγια από το συγγραφέα»

Η μουσική είναι χωρίς αμφιβολία μια από τις πιο ενδιαφέρουσες δραστηριότητες της Ανθρώπινης Νοημοσύνης. Από τη λογική της δόμησης και της σύνθεσης ενός μουσικού έργου μέχρι την κατανόησή του με βάση αντίστοιχες λογικές διεργασίες του εγκεφάλου, διαπιστώνουμε ότι η μουσική περνάει τα όρια της Τέχνης και συναντά τα όρια της Επιστήμης.

Με τη μελέτη των προτύπων αυτής της δραστηριότητας οι ερευνητές προσπαθούν να αποκρυπτογραφήσουν τα εσωτερικά μυστήρια και της μουσικής και της νοημοσύνης. Σύμφωνα με μια άλλη άποψη όμως, ο τελικός στόχος της Τεχνητής Νοημοσύνης και της μουσικής έρευνας είναι να κάνουν τους υπολογιστές να συμπεριφέρονται ως εξειδικευμένοι μουσικοί. Αυτοί οι εκπαιδευμένοι ηλεκτρονικοί μουσικοί πρέπει να είναι σε θέση να εκτελούν ιδιαίτερα εξειδικευμένους στόχους, όπως είναι η σύνθεση, η ανάλυση, ο αυτοσχεδιασμός, το παίξιμο οργάνου κλπ., αλλά και άλλους λιγότερο εξειδικευμένους στόχους.

Σε αυτή λοιπόν την περίπτωση η 'τεχνητή μουσική μηχανή' (music machine) θα πρέπει να κατανοεί σε ένα βασικό επίπεδο τα καθαρώς ανθρώπινα αισθήματα, όπως η θλίψη και η χαρά. Άραγε οι υπολογιστές θα μπορέσουν ποτέ να επιδείξουν τέτοια περίπλοκη συμπεριφορά; Οι πιο αισιόδοξοι και ενθουσιώδεις το πιστεύουν αυτό.

Όπως συμβαίνει και σε άλλους τομείς της έρευνας της ΤΝ, οι υπολογιστές έχουν προγραμματιστεί μέχρι τώρα να μιμούνται τους περισσότερο εξειδικευμένους στόχους, ανεξάρτητα όμως ο ένας από τον άλλον. Η τρέχουσα ερευνητική προσπάθεια ψάχνει τρόπους για την ενσωμάτωση και τη δυνατότητα εκτέλεσης ποικίλων τέτοιων στόχων. Για παράδειγμα, θα μπορούσαμε να αναφέρουμε τους μηχανισμούς από τα συστήματα ανάλυσης μουσικών κειμένων, καθώς και συστήματα μηχανισμών σύνθεσης. Αν αθροίζαμε τους μηχανισμούς από τα συστήματα ανάλυσης μουσικών κειμένων και συστήματα μηχανισμών σύνθεσης, θα μπορούσαμε να δημιουργήσουμε σύστημα μηχανισμών που θα επιτρέψει στον υπολογιστή να συνθέσει αυτόνομα τη μουσική στο ύψος των αναλυθέντων κομματιών.

Είναι *αμφίβολο* εάν οι μουσικοί θέλουν να πιστέψουν στη δυνατότητα μιας τέτοιας πανίσχυρης μουσικής μηχανής. Οι μουσικοί εξάλλου θα συνεχίσουν τον καθορισμό της *μουσικότητας-μελωδικότητας* μακριά από τα αυτοματοποιημένα συστήματα για τους ίδιους λόγους που οι επιστήμονες θα συνεχίσουν την τεχνητή νοημοσύνη. Εντούτοις, η τεχνητή νοημοσύνη βοηθά τους μουσικούς να χειριστούν και να εφαρμόσουν καλύτερα τη διαθέσιμη σύγχρονη τεχνολογία για την παραγωγή μουσικής και για τη διατύπωση νέων μουσικών θεωριών.

Κωνσταντίνος Θ. Χαλκιάπουλος
Πάτρα 2009

Ραφαήλ, *Η σχολή των Αθηνών*, 1509, Βατικανό.

...ή γὰρ ἁρμονία συμφωνία ἐστίν, συμφωνία δ ὁμολογία
τις—ὁμολογίαν δ ἐκ διαφορομένων, ἕως ἂν διαφέρωνται,
ἀδύνατον εἶναι· διαφορόμενον δ αὖ καὶ μὴ ὁμολογοῦν ἀδύ-
νατον ἁρμόσαι—ὥσπερ γε καὶ ὁ ρυθμὸς ἐκ τοῦ ταχέος καὶ
βραδέος, ἐκ διενηνεγμένων πρότερον, ὕστερον δ ὁμολογη-
σάντων γέγονε. τὴν δ ὁμολογίαν πᾶσι τούτοις, ὥσπερ
ἐκεῖ ἡ ἰατρικὴ, ἐνταῦθα ἡ μουσικὴ ἐντίθησιν, ἔρωτα καὶ
ὁμόνοιαν ἀλλήλων ἐμποιήσασα· καὶ ἔστιν αὖ μουσικὴ περὶ
ἁρμονίαν καὶ ρυθμὸν ἐρωτικῶν ἐπιστήμη.

Πλάτωνος Συμπόσιον- λόγος Ερμούμαχου (Stephanus:187b4-187c5)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. Τι είναι η Τεχνητή Νοημοσύνη

1.1. Εισαγωγή

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence or **AI**) κοντεύει ήδη τα 50 χρόνια ζωής. Είναι ένα από τα πιο νέα ερευνητικά πεδία. Μπορούμε να προσδιορίσουμε τη γέννησή της περί το **1956** στη συνάντηση μερικών επιφανών της εποχής εκείνης επιστημόνων, όπως ο **John McCarthy**, ο **Marvin Minsky**, ο **Claude Shannon** και αρκετοί άλλοι. Η μελέτη της νοημοσύνης είναι ένα από τα πιο παλιά θέματα προς διερεύνηση. Για περισσότερο από 2000 χρόνια οι φιλόσοφοι προσπάθησαν να ερμηνεύσουν το μηχανισμό της μάθησης, της απομνημόνευσης, της αντίληψης, της όρασης της ακοής, του συλλογισμού και πολλών άλλων τέτοιων ευφύων συμπεριφορών και διεργασιών.

1.2. Η Επιστήμη της ευφυούς συμπεριφοράς

Με έναν απλό ορισμό θα μπορούσαμε να ορίσουμε την Τεχνητή Νοημοσύνη ως το σύνολο των επιστημονικών μελετών και προσομοιώσεων μιας ευφυούς συμπεριφοράς (και κατ' επέκταση της ανθρώπινης). Είναι ένα πεδίο της επιστήμης της πληροφορικής, αλλά και ένας αμαλγαματικός/διεπιστημονικός χώρος που στοχεύει στη διερεύνηση πολλών και διαφορετικών πλευρών της ανθρώπινης (ή μη) σκέψης και συμπεριφοράς. Για παράδειγμα, σε μια ακαδημαϊκή συζήτηση της **TN** θα περιμένουμε να συναντήσουμε βιολόγους, ψυχολόγους, γλωσσολόγους, φιλόσοφους, μαθηματικούς και άλλους ερευνητές - συμπεριλαμβανομένων και των μουσικών - που ενδιαφέρονται για τις επιστημονικές πτυχές της **TN** και την επίδραση της στους τομείς τους.

1.3. Γιατί ασχολούμαστε με την Τεχνητή Νοημοσύνη;

Το κίνητρο πίσω από την **TN** για την πλειοψηφία των ερευνητών εστιάζεται μεταξύ δύο συμπληρωματικών απόψεων. Από τη μία πλευρά έχουμε τον τομέα της **γνωστικής επιστήμης** (cognitive science). Η γνωσιοεπιστήμη πραγματεύεται γνωσιακές διεργασίες όσες από αυτές σχετίζονται με την **αντίληψη** και τη **γνώση**. Δηλαδή οι γνωσιοεπιστήμονες επιδιώκουν να κατανοήσουν διεργασίες όπως η αντίληψη, η σκέψη, η μνήμη, η κατανόηση της γλώσσας, η μάθηση και άλλα ψυχονοητικά φαινόμενα. Από την άλλη πλευρά έχουμε τους μηχανικούς ηλεκτρονικών συστημάτων που σκοπός τους είναι να κατασκευάσουν **ευφυή υπολογιστικά συστήματα** (intelligent machines). Κατασκευάζουν δηλαδή τέτοια συστήματα που να μπορούν να εκτελούν διεργασίες που κανονικά θα απαιτούσαν την ανθρώπινη παρουσία. Ένα παράδειγμα τέτοιας διεργασίας είναι η αντίδραση και η αλληλεπίδραση στην προφορική γλώσσα (αναφέρουμε παρακάτω σύγχρονες εφαρμογές που έχουν υλοποιηθεί σε κάθε τομέα της επιστήμης).

Οι λόγοι για την δημιουργία τέτοιου ευφυούς συστήματος ποικίλλουν. Παραδείγματος χάριν, η κυρίαρχη εισχώρηση του υπολογιστή σε μια τεχνολογικά προηγμένη κοινωνία έχει ως αποτέλεσμα όλο και περισσότεροι άνθρωποι να χρησιμοποιούν υπολογιστές. Αν όμως οι μηχανές θα μπορούν να καταλαβαίνουν την προφορική γλώσσα, δεν θα απαιτούνται πια άτομα με ειδική κατάρτιση (όπως είναι οι προγραμματιστές) για τη χρήση αυτών των μηχανών.

1.4. Τρόποι Προσέγγισης της Τεχνητής Νοημοσύνης

1.4.1. Συμβολική Προσέγγιση (Symbolic AI)

Μια γενική διάκριση που μπορούμε να κάνουμε στον κόσμο της ΤΝ γίνεται μεταξύ των **συμβολικών** (Symbolic AI) και των **μη-συμβολικών** (Sub-Symbolic AI) συστημάτων.

Η **συμβολική ΤΝ** είναι βασισμένη στην αρχή ενός υπολογιστικού προτύπου που ρητά αντιπροσωπεύει τις φάσεις επίλυσης του προβλήματος. Προσομοιώνει δηλαδή τον τρόπο σκέψης του ανθρώπου χρησιμοποιώντας ως δομικές μονάδες τα σύμβολα. Ένα σύμβολο μπορεί να αναπαριστά μια έννοια ή μια σχέση ανάμεσα σε έννοιες. Οριοθετώντας το πρόβλημα λοιπόν, χρησιμοποιώντας **αλγόριθμους αναζήτησης-εύρεσης** και περιγράφοντας τρόπους **αναπαράστασης της γνώσης** δημιουργείται η παρακάτω εξίσωση:

$$\textbf{T.N.} = \textbf{Αναπαράσταση Γνώσης (Representation)} + \textbf{Αλγόριθμοι Αναζήτησης (Searching)}$$

Με άλλα λόγια το πρόγραμμα λαμβάνει υπόψη το λεξιλόγιο των συμβόλων, τα οποία χρησιμοποιούνται για να αντιπροσωπεύσουν τα αντικείμενα ή/και τις έννοιες. Έχει δηλαδή ένα μοντέλο του κόσμου πάνω στο οποίο λειτουργεί (όπως ένας γεωγραφικός χάρτης). Με αυτό το πλαίσιο ο προγραμματιστής γνωρίζει τι σημαίνουν τα συγκεκριμένα επιλεγμένα σύμβολα σε σχέση με τον εικονικό κόσμο, με βάση τον οποίο το συγκεκριμένο πρόγραμμα λειτουργεί. Έτσι μπορεί να πάρει το λεξιλόγιο των συμβόλων και με βάση αυτό να καταλάβει με ποιο τρόπο το πρόγραμμα επιτυγχάνει τα αποτελέσματα.

Υπάρχουν αρκετές προγραμματιστικές γλώσσες, όπως οι **‘Lisp’** και **‘Prolog’**, καθώς και υπολογιστικές γλώσσες κατασκευασμένες γι’ αυτό το σκοπό, όπως είναι οι **‘Xerox Lisp Machines Series’**, οι οποίες είναι ειδικά σχεδιασμένες για τη **συμβολική αναπαράσταση**.

1.4.1.1. Αναπαράσταση Γνώσης

Ειδικότερα, η αναπαράσταση της γνώσης (**representation**) είναι μια ειδική περιοχή της ΤΝ που ασχολείται με το πώς μπορεί καλύτερα και αποδοτικότερα να παρασταθεί γνώση γύρω από ένα ερευνητικό πεδίο. Η υλοποίηση του πεδίου αυτού γίνεται σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή με σκοπό τη λύση προβλημάτων που προκύπτουν κατά την έρευνά του.

Ως ορισμό του τι ακριβώς είναι η **Αναπαράσταση Γνώσης (Knowledge Representation)**, θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι ένα σύνολο συντακτικών και σημασιολογικών παραδοχών, οι οποίες καθιστούν δυνατή την περιγραφή ενός κόσμου. Μια μέθοδος αναπαράστασης της γνώσης έχει το **συντακτικό (syntax)** και τη **σημασιολογία (semantics)**.

Η αναγκαιότητα εισαγωγής της γνώσης σε συστήματα **TN** διαπιστώθηκε όταν οι προσπάθειες για την δημιουργία ευφύων συστημάτων προς λύση κάποιων προβλημάτων στάθηκαν άκαρπες. Ενδεικτικό παράδειγμα ήταν η προσπάθεια των **‘Ernst and Newel’** το **1969** που κατέληξε στο σύστημα **GPS** (*General Problem Solver*). Τα συμπεράσματα από αυτή την προσπάθεια ήταν ότι: **α)** γενικές, και ισχυρές μέθοδοι δεν είναι αρκετές για την εμφάνιση ευφυούς συμπεριφοράς και **β)** είναι απαραίτητη η ύπαρξη ικανής ποσότητας εξειδικευμένης γνώσης ακόμη και για την εκδήλωση απλής ευφυούς συμπεριφοράς. Αποτέλεσμα αυτών ήταν η αναγκαία ενσωμάτωση εξειδικευμένης γνώσης σε συστήματα **TN**, άρα και το συνακόλουθο πρόβλημα της **αναπαράστασής** της.

Η φυσική γλώσσα είναι ακατάλληλη για την αναπαράσταση της γνώσης λόγω της **πολυσημαντικότητας** (*ambiguity*) και της ερμηνείας με βάση τα συμφραζόμενα (*context*). Για τα συστήματα όμως της **TN** πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας μονοσήμαντος και τυποποιημένος συμβολισμός. Έτσι και κάθε μέθοδος αναπαράστασης της γνώσης έχει ένα διαφορετικό μηχανισμό εξαγωγής συμπερασμάτων. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε τα δύο δομικά βασικά δομικά στοιχεία, το πρώτο είναι μια **βάση γνώσης (ΒΓ)** και το δεύτερο ένας **μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων (ΜΕΣ)**.

1.4.1.2. Αλγόριθμοι Αναζήτησης

Οι αλγόριθμοι αναζήτησης αποτελούν ένα από τα βασικά δομικά στοιχεία της τεχνητής νοημοσύνης. Αναφέρουμε περιληπτικά κάποια από τα χαρακτηριστικά αυτών των αλγορίθμων:

- **Αποδοτικότητα** (efficiency) σε μνήμη και χρόνο
- **Πολυπλοκότητα** (complexity)
- **Πληρότητα** (completeness)
- **Ευκολία υλοποίησης** (implementation)

Επίσης, οι αλγόριθμοι χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την τεχνική εύρεσης του ζητούμενου. Έχουμε λοιπόν τους λεγόμενους «**τυφλούς**» ή αλλιώς αλγόριθμους **Εξαντλητικής Αναζήτησης** (*Exhaustive Search*). Τέτοιοι είναι οι:

- **‘DFS’** (Αναζήτηση κατά Βάθος),
- **‘BFS’** (Αναζήτηση κατά Πλάτος),
- **‘IDS’** (Επαναληπτική Εκβάθυνση),
- **‘BiS’** (Επέκταση και Οριοθέτηση) και πολλοί άλλοι.

Από την άλλη έχουμε τους **ευριστικούς αλγόριθμους** όπως είναι οι:

- ‘**Beam Search**’ (Δέσμης)
- ‘**Hill Climbing**’ (Αναρρίχηση Λόφου),
- ‘**BFS**’ (Αναζήτηση Πρώτα του Καλύτερου Κόμβου)
- ‘**A***’ (Συνδιασμός των πιο πάνω)

1.4.2. Μη συμβολική Προσέγγιση (Sub-Symbolic AI)

Το άλλο είδος συστημάτων της **TN** ανήκει στη **μη συμβολική** προσέγγιση. Η αντιπροσωπευτικότερη τεχνική είναι τα **νευρωνικά δίκτυα** (*Neural Networks*). Τα νευρωνικά δίκτυα δεν είναι τίποτα άλλο παρά συστήματα που εξομοιώνουν τη γενική δομή και λειτουργία του εγκεφάλου (μια αόριστη προσέγγιση).

Ο εγκέφαλος αποτελείται από τους **νευρώνες** (δομικές μονάδες), το **σώμα** ή αλλιώς τον **πυρήνα** του νευρώνα, τους **δενδρίτες** (σημεία εισόδου που λαμβάνουν σήματα από τους γειτονικούς νευρώνες και τέλος τον **άξονα** (η έξοδος του νευρώνα και το μέσο σύνδεσής του με άλλους νευρώνες). Να συμπληρώσουμε ότι σε κάθε δενδρίτη υπάρχει ένα απειροελάχιστο κενό που ονομάζεται **σύναψη** (η ικανότητα μάθησης και μνήμης που παρουσιάζει ο εγκέφαλος οφείλεται στην ικανότητα των συνάψεων να μεταβάλλουν την αγωγιμότητά τους).

Οι **συνάψεις** μέσω χημικών διαδικασιών επιταχύνουν ή επιβραδύνουν την ροή ηλεκτρονίων προς το **σώμα** του νευρώνα. Τα ηλεκτρικά σήματα που εισέρχονται στο **σώμα** συνδυάζονται και αν το αποτέλεσμα ξεπερνά κάποια τιμή κατωφλίου το σήμα διαδίδεται μέσω του **άξονα** προς τους άλλους νευρώνες.

Για να είμαστε πιο σαφείς και κατανοητοί, ας ξεκινήσουμε με τον ορισμό του νευρώνα. **Νευρώνας** καλείται μια μονάδα επεξεργασίας πληροφορίας, η οποία βέβαια είναι και θεμελιώδης για τη λειτουργία ενός νευρωνικού δικτύου. Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει το μοντέλο ενός νευρώνα, ο οποίος σχηματίζει τη βάση για το

σχεδιασμό των τεχνητών νευρωνικών δικτύων: Τα νευρωνικά μοντέλα χαρακτηρίζονται από τρία βασικά στοιχεία :

- Ένα σύνολο από συνάψεις ή συνδετικούς συνδέσμους, καθένας από τους οποίους χαρακτηρίζεται από ένα βάρος. Συγκεκριμένα, ένα σήμα x_j στην είσοδο της συνάψης j συνδεδεμένη με τον νευρώνα k πολλαπλασιάζεται με το συναπτικό βάρος w_{kj} . Σχετικά με τους υποδείκτες, ο πρώτος υποδείκτης αναφέρεται στο νευρώνα υπό εξέταση και ο δεύτερος υποδείκτης αναφέρεται στο τέλος της εισόδου της συνάψης στην οποία αναφέρεται το βάρος. Αντίθετα με μία συνάψη στον εγκέφαλο, το συναπτικό βάρος ενός τεχνητού νευρώνα μπορεί να βρίσκεται σε ένα πεδίο που περιέχει αρνητικές, καθώς επίσης και θετικές τιμές.
- Ένας αθροιστής για την άθροιση των σημάτων εισόδου, βεβαρυμμένων από τις αντίστοιχες συνάψεις του νευρώνα.
- Μια συνάρτηση ενεργοποίησης για τον περιορισμό του πλάτους της εξόδου ενός νευρώνα.

Το νευρωνικό μοντέλο περιλαμβάνει μια εξωτερικά εφαρμοζόμενη **μεροληψία** (*bias*). Η μεροληψία έχει επίδραση στην αύξηση ή τη μείωση της καθαρής εισόδου της συνάρτησης ενεργοποίησης, εξαρτώμενη από το πότε είναι θετική ή αρνητική αντίστοιχα.

Με μαθηματικούς όρους, μπορεί να περιγραφεί ένας νευρώνας k γράφοντας το παρακάτω ζεύγος εξισώσεων:

$$u_k = \sum_{j=1}^m w_{jk} x_j$$

και

$$y_k = \phi(u_k + b_k)$$

Όπου $x_1, x_2, \dots, x_m$ είναι τα σήματα εισόδου, $w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{km}$ είναι τα συναπτικά βάρη του νευρώνα k , u_k είναι η έξοδος του γραμμικού συσχετιστή λόγω των σημάτων εισόδου, b_k είναι η μεροληψία, $\phi(\cdot)$ είναι η συνάρτηση ενεργοποίησης και y_k είναι το σήμα εξόδου του νευρώνα.

Για να καταλάβουμε την πολυπλοκότητα του θέματος αρκεί να αναφέρουμε ότι ο εγκέφαλος ενός νεογέννητου ανθρώπου έχει 100 δισ. νευρώνες κάθε ένας από τους οποίους συνδέεται με περίπου 1000 άλλους νευρώνες. Η σύνδεση γίνεται μέσω του άξονα στον οποίο καταλήγει ένας δενδρίτης. Σε κάθε τέτοια σύνδεση υπάρχει και μια σύναψη, οπότε υπάρχουν περίπου 100 τρισεκ. συνάψεις. Άρα δεν μπορούμε να μιλάμε για αντιγραφή αυτής της δομής. Κάθε νευρώνας είναι ένα κελί που με διάφορες βιοχημικές αντιδράσεις μπορεί να λαμβάνει, να επεξεργάζεται και να μεταδίδει πληροφορίες. Ένα νευρωνικό δέντρο είναι συνδεδεμένο με εκατοντάδες γειτονικούς νευρώνες. Όταν ένας από αυτούς πυροδοτηθεί, τότε μία αρνητική ή θετική τιμή λαμβάνεται σε καθένα από αυτά τα δέντρα.

Στην πραγματικότητα τα μοντέλα κατασκευάζονται με μερικούς χιλιάδες νευρώνες και έχουν το πολύ 1 εκατ. συνάψεις και παρουσιάζουν πολύ περιορισμένη λειτουργικότητα.

Αν και ο χρόνος απόκρισης των βιολογικών νευρώνων είναι της τάξης των msec, εντούτοις ο εγκέφαλος είναι σε θέση να λαμβάνει αποφάσεις εκπληκτικά γρήγορα. Κατά μια άποψη αυτό οφείλεται στο ότι υπολογιστική ικανότητα του εγκεφάλου και η πληροφορία που περιέχει είναι διαμοιρασμένη σε όλο τον όγκο. Δηλαδή πρόκειται για ένα παράλληλο και καταναεμημένο σύστημα.

	processing elements	element size	energy use	processing speed	style of computation	fault tolerant	learns	intelligent, conscious
	10 ¹⁴ synapses	10 ⁻⁶ m	30 W	100 Hz	parallel, distributed	yes	yes	usually
	10 ⁸ transistors	10 ⁻⁶ m	30 W (CPU)	10 ⁹ Hz	serial, centralized	no	a little	not (yet)

Ο τεχνητός νευρωνικός υπολογισμός απαιτεί έναν αριθμό από νευρώνες συνδεδεμένους μεταξύ τους για την επίτευξη ενός νευρωνικού δικτύου. Οι νευρώνες αυτοί είναι χωρισμένοι σε επίπεδα. Κάθε νευρώνας σε αυτό το δίκτυο είναι μία επεξεργαστική μονάδα, η οποία δέχεται μία ή περισσότερες τιμές εισόδου (*input*) και παράγει μία τιμή εξόδου (*output*). Όπως αναφέραμε και παραπάνω, σε κάθε νευρώνα και σε κάθε τιμή εισόδου αναλογεί κάποιο βάρος, το οποίο τροποποιεί τη δύναμη κάθε εισόδου. Ο νευρώνας αθροίζει όλες της τιμές εισόδου (*input*) και υπολογίζει την τιμή εξόδου, την οποία και θα μεταδώσει. Το παρακάτω διάγραμμα φανερώνει αναλυτικά αυτά που αναφέραμε παραπάνω.

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ΤΝΔ, *artificial neural networks*) είναι συστήματα επεξεργασίας δεδομένων που αποτελούνται από ένα πλήθος τεχνητών νευρώνων οργανωμένων σε δομές παρόμοιες με αυτές του ανθρώπινου εγκεφάλου. Συνήθως είναι οργανωμένοι σε στρώματα (*layers*). Το πρώτο επίπεδο ονομάζεται *επίπεδο εισόδου* (*input layer*) και χρησιμοποιείται για την εισαγωγή δεδομένων. Τα στοιχεία του δηλαδή δεν είναι νευρώνες, γιατί δεν εκτελούν κάποιον υπολογισμό (δεν έχουν βάρη και συνάρτηση ενεργοποίησης). Στη συνέχεια μπορούν να υπάρχουν (προαιρετικά) ένα ή περισσότερα *ενδιάμεσα ή κρυφά επίπεδα* (*hidden layers*). Τέλος ακολουθεί ένα *επίπεδο εξόδου* (*output layer*).

Οι νευρώνες των διαφόρων στρωμάτων μπορούν:

- να είναι *πλήρως συνδεδεμένοι* (*fully connected*) δηλαδή συνδεδεμένοι με όλους τους νευρώνες του επόμενου επιπέδου.
- Αλλιώς είναι *μερικώς συνδεδεμένοι* (*partially connected*).
- Όταν δύο επίπεδα δεν συνδέονται τότε μιλάμε για δίκτυα με *απλή τροφοδότηση* (*feedforward*).
- Στην αντίθετη περίπτωση, όπως και όταν υπάρχουν συνδέσεις μεταξύ των νευρώνων του ιδίου επιπέδου, τότε μιλάμε για δίκτυα με *ανατροφοδότηση* (*feedback or recurrent*).

Έστω ένα πλήρες συνδεδεμένο δίκτυο ΤΝΔ απλής τροφοδότησης. Ο νευρώνας 5, δέχεται τρία σήματα εισόδου από τους τρεις νευρώνες {1,2,3} του επιπέδου εισόδου. Τα σήματα τροποποιούνται με την w , σε w_{15} , w_{25} , w_{35} και αθροίζονται από τον αθροιστή του 5. Στο συνολικό σήμα εφαρμόζεται η συνάρτηση ενεργοποίησης του 5 και το αποτέλεσμα οδηγείται στο 8,9.

Τα ΤΝΔ πραγματοποιούν 2 βασικές λειτουργίες: τη *μάθηση* και την *ανάκληση*.

- *Μάθηση (learning)* είναι η διαδικασία τροποποίησης των w , ώστε για συγκεκριμένο διάνυσμα εισόδου να παραχθεί συγκεκριμένο διάνυσμα εξόδου. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται και *εκπαίδευση (training)*.
- *Ανάκληση (recall)* είναι η διαδικασία υπολογισμού ενός διανύσματος εξόδου για συγκεκριμένο διάνυσμα εισόδου και συγκεκριμένα βάρη.

1.5. Η Εξέλιξη της ΤΝ

Ξεκινώντας με τους ‘συλλογισμούς’ του Αριστοτέλη (384-322 π.Χ.), οι οποίοι παρείχαν πρότυπα εκφράσεων που έδιναν πάντα σωστά συμπεράσματα από σωστές υποθέσεις, φτάνουμε στο 1854 με τον **George Boole** να θέτει τις βάσεις της **προτασιακής λογικής** (*symbolic AI*). Το 1879 ο **Gottlieb Frege** πρότεινε ένα σύστημα αυτοματοποιημένης συλλογιστικής και έθεσε τις βάσεις του **κατηγορηματικού λογισμού** (*predicate calculus*). Το 1943 ο **McCulloch** και ο **Pitts** πρότειναν για πρώτη φορά ένα πρότυπο μοντέλο τεχνητών νευρώνων που είχε τη δυνατότητα να μαθαίνει και να υπολογίζει κάθε υπολογίσιμη συνάρτηση, ενώ οι **Minsky** και **Edmonds** υλοποίησαν στη συνέχεια το πρώτο νευρωνικό δίκτυο ‘**SNARC**’ το 1951, το οποίο αποτελείτο από 40 νευρώνες και χρησιμοποιούσε 3.000 λυχνίες.

Το **1956**, όπως αναφέραμε και παραπάνω, διοργανώθηκε το πρώτο συνέδριο που ήταν καθοριστικό για τη γέννηση της **ΤΝ**. Διοργανώθηκε στο Dartmouth και αφορούσε τη θεωρία αυτομάτων, τα νευρωνικά δίκτυα και τη μελέτη της ευφυΐας. Ένα από τα πιο σημαντικά αποτελέσματα του συνεδρίου ήταν και η αποδοχή του ονόματος που πρότεινε ο **McCarthy** για τη νέα τότε ερευνητική περιοχή ‘**Τεχνητή Νοημοσύνη**’.

Το **1958** ορίστηκε η συναρτησιακή γλώσσα **LISP** και το 1958 ο **Friedberg** πρότεινε μια τεχνική, τη **μηχανική εξέλιξη** (*machine evolution*) που τώρα πλέον αναφέρεται με τον όρο ‘**γενετικός αλγόριθμος**’ (*genetic algorithms*).

Τη δεκαετία του ‘60 είχαμε τις πρώτες υλοποιήσεις προγραμμάτων, όπως το **ANALOGY** και το **ELIZA**.

Τη **δεκαετία του ’70** αναπτύχθηκαν συστήματα που περιείχαν την απαιτούμενη γνώση, ώστε να συμπεριφέρονται όπως οι άνθρωποι που είναι ειδικοί σε διάφορα θέματα, τα οποία ονομάστηκαν **Έμπειρα Συστήματα** (*Expert Systems*) ή **Συστήματα Γνώσης** (*Knowledge Systems*). Επίσης, την εποχή εκείνη προτάθηκε η γλώσσα προγραμματισμού **Prolog**. Στα μέσα της δεκαετίας του ’80 επανεμφανίστηκαν τα νευρωνικά δίκτυα.

Στις μέρες μας είχαμε σημαντικές εξελίξεις σε εφαρμογές της **Τ.Ν.**, όπως είναι η **ρομποτική**, η **μηχανική όραση**, η **μηχανική μάθηση** και ο **σχεδιασμός** (*planning*). Αυτή τη στιγμή υπάρχουν συστήματα αναγνώρισης φωνής (**Pegasus**), έμπειρα συστήματα πραγματικού χρόνου (π.χ. συστήματα **MARVEL**) που επεξεργάζονται τα δεδομένα που μεταδίδονται από διαστημόπλοια. Επίσης, υπάρχουν ρομποτικά συστήματα που οδηγούν αυτοκίνητα χρησιμοποιώντας κάμερες και ειδικούς ανιχνευτές κίνησης, συστήματα που διεξάγουν ιατρικές διαγνώσεις μέσω ειδικών βάσεων γνώσης και πολλά άλλα.

Τελευταίο θα αναφέρουμε τον τομέα της Μουσικής Επιστήμης - Τέχνης, καθώς είναι ο τομέας που σε συνεργασία με τα Έμπειρα Συστήματα (*expert systems*) αναλύεται διεξοδικά στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή προκειμένου να οριοθετήσει βασικές αρχές ανάπτυξης ευφών συστημάτων για την χρησιμοποίησή τους στη Μουσική Σύνθεση. Η Τεχνητή Νοημοσύνη έχει ήδη προσφέρει πολλά στη μουσική έρευνα, όπως έξυπνα μουσικά προγράμματα για τους επαγγελματίες μουσικούς, αλλά και συνεχώς θα προσφέρει σε έναν τομέα που έχουμε πολλά να ανακαλύψουμε αλλά και να κατανοήσουμε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. Τι είναι η Μουσική

2.1. Εισαγωγή

Η **μουσική** με μια πρώτη ματιά είναι ένα **ακουστικό γεγονός**. Πριν ασχοληθούμε όμως με το τι είναι η μουσική σημασιολογικά, ας ξεκινήσουμε να ορίσουμε το τι είναι ο ήχος και να δούμε κάποια βασικά χαρακτηριστικά του που θα μας βοηθήσουν να αποκτήσουμε μια γενική εικόνα.

2.2. Τι είναι Ήχος

Τι είναι ο ήχος από φυσική άποψη; Ήχος είναι το φυσικό φαινόμενο που παράγεται από την ταλάντωση της ύλης. Καθώς η ύλη ταλαντώνεται, σημειώνονται διαφορές πίεσης στο μέσο που την περιβάλλει (π.χ. αέρας). Η εναλλαγή χαμηλής και υψηλής πίεσης μεταβιβάζεται διαμέσου του μέσου με τη μορφή κύματος. Όταν το κύμα φτάσει στο ανθρώπινο αυτί, ακούμε τον ήχο. Το μοντέλο της ταλάντωσης καλείται **κυματομορφή (waveform)**. Είναι λοιπόν το αποτέλεσμα μιας μηχανικής διαταραχής κάποιου αντικειμένου σε ένα φυσικό μέσο, όπως ο αέρας. Ο μηχανισμός αυτός είναι απλός:

- Αντικείμενο πάλλεται.
- Μετακινείται προς τα εμπρός, συμπιέζει μόρια του αέρα
- Μετακινείται προς τα πίσω, ο αέρας αραιώνει.
- Τα κύματα που δημιουργούνται από τη μεταβολή της τοπικής πίεσης μεταφέρουν το ερέθισμα.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η τυπική ομιλία η οποία δημιουργεί **τρία εκατομμυριοστά του εκατοστού** μετακίνηση μορίων αέρα.

Η μετάδοση του ήχου γίνεται με τη μεταφορά μορίων που συγκρούονται με τα γειτονικά του με αποτέλεσμα να μεταφέρουν την ενέργεια μακριά από την πηγή.

Αυτή η μηχανική διαταραχή λοιπόν παράγει τις δονήσεις που μπορούν να αντιπροσωπευθούν ως ηλεκτρικά σήματα με τη βοήθεια μιας συσκευής (π.χ. ένα μικρόφωνο), η οποία μετατρέπει αυτές τις δονήσεις με τη μορφή χρονικά μεταβαλλόμενης τάσης. Δηλαδή έχουμε μετατροπή της ακουστικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

2.3. Χαρακτηριστικά του Ήχου

Ο ήχος χαρακτηρίζεται από το **ύψος**, την **ένταση** και τη **χροιά**.

- Το **ύψος** (pitch) καθορίζεται από τη συχνότητα του ήχου. Για να είμαστε ακριβείς καθορίζεται τη θεμελιώδη συχνότητα σε περίπτωση σύνθετων κυματομορφών (θα αναφερθούν παρακάτω πιο αναλυτικά).
- Η **ένταση** (decibel - velocity) καθορίζεται από την ακουστική ενέργεια που μεταφέρεται και μετριέται από το επίπεδο πίεσης ήχου (βλ. παρακάτω).
- Η **χροιά** (harmonic tone - timbre) καθορίζεται από την αρμονική σύνθεση του ήχου. (βλ. παρακάτω).

Οι ήχοι επίσης είναι **περιοδικοί** και **μη-περιοδικοί**, ανάλογα με το αν παρουσιάζουν επανάληψη της μορφής τους σε τακτά διαστήματα ή όχι. Γενικά, οι ήχοι που παρουσιάζουν αναγνωρίσιμη περιοδικότητα, τείνουν να είναι πιο μουσικοί από αυτούς που δεν είναι περιοδικοί. Περιοδικοί ήχοι παράγονται από τα μουσικά όργανα. Τα φωνήεντα, τα ρινικά σύμφωνα, τα υγρά σύμφωνα και τα ημίφωνα, το σφύριγμα του ανέμου και των πουλιών είναι περιοδικοί ήχοι.

Παραδείγματα μη-περιοδικού ήχου αποτελούν τα κρουστά όργανα χωρίς τονικότητα, τα τριβόμενα σύμφωνα, ο βήχας, το τρεχούμενο νερό κ.α. Το βιολί (μουσικό όργανο) παράγει περιοδικό ήχο, ενώ το τύμπανο μη-περιοδικό. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε μια κυματομορφή (waveform) με ορισμένο πλάτος και περίοδο.

2.4. Αναλογικό και Ψηφιακό σήμα

Ένα αναλογικό σήμα ήχου είναι το αποτέλεσμα της μέτρησης της τάσης που αντιπροσωπεύει τον ήχο. Αυτά τα είδη σημάτων είναι συνεχή υπό την έννοια ότι αποτελούνται από μια συνέχεια των σταθερά μεταβαλλόμενων τιμών. Ένας ψηφιακός ήχος είναι το αποτέλεσμα της μέτρησης όλων αυτών των τιμών πολλές φορές ανά δευτερόλεπτο για ένα προκαθορισμένου μήκος/ανά χρόνο. Κάθε μονάδα μέτρησης καλείται **δείγμα** (sample) και αυτή η διαδικασία καλείται **δειγματοληψία** (sampling). Προκειμένου να υποβληθούν σε επεξεργασία οι ήχοι στον υπολογιστή, ο αναλογικός ήχος πρέπει να μετατραπεί σε ένα ψηφιακό σχήμα κατανοητό από τον υπολογιστή, δηλαδή σε μια σειρά από δυαδικούς αριθμούς.

2.5. Αναλογικό σε Ψηφιακό σήμα

Η λειτουργία των υπολογιστών από ό,τι γνωρίζουμε βασίζεται στο δυαδικό σύστημα, δηλαδή σε συμβολοσειρές από 0 και 1. Μια συμβολοσειρά από 0 και 1 καλείται αλλιώς και λέξη (word). Ένας υπολογιστής που μπορεί να επεξεργαστεί 4-bit λέξεων αναπαριστά τους δεκαδικούς αριθμούς 0,1,2,3,... με τη μορφή 0000, 0010,..., δυαδικών αριθμών (ο επεξεργαστής καλείται 4-bit), αντίστοιχα το ίδιο συμβαίνει με τη 16-bit μετατροπή, η οποία για τον ήχο θεωρείται ως καλή ποιότητα ηχογράφησης '**home-quality-recording**'. Επαγγελματική ποιότητα στην καταγραφή του ήχου έχουμε με επεξεργασία και μετατροπή στα 32-bit ή ακόμα και 64-bit. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η συλλογή και μετατροπή του αναλογικού ήχου σε ψηφιακό. Ως πηγή εκπομπής ήχου έχουμε ένα μουσικό όργανο (π.χ. ένα βιολί) και ως συλλέκτη χρησιμοποιούμε ένα μικρόφωνο.

Έτσι ο αναλογικός ήχος (**ακουστική ενέργεια**) μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα και συγκεκριμένα σε τάση μέσω του μικροφώνου και στη συνέχεια μέσω του **αναλογικο-ψηφιακού μετατροπέα** (ADC = analog to digital converter) η τάση μετατρέπεται σε συμβολοσειρές από 0 και 1. Έπειτα αποθηκεύονται τα δεδομένα σε έναν υπολογιστή (μνήμη του υπολογιστή). Ένας **ψηφιακο-αναλογικός** (DAC = digital to analog converter) **μετατροπέας** μετατρέπει τους αριθμούς σε τάση και ένας ενισχυτής αναμεταδίδει και ενισχύει το σήμα στα ηχεία.

2.5.1. Δειγματοληψία του Ήχου (Θεώρημα Nyquist)

Ο ρυθμός με τον οποίο το δείγμα (sample) μιας συνεχούς κυματομορφής λαμβάνεται, καλείται **ρυθμός δειγματοληψίας** (sampling). Όπως και οι συχνότητες έτσι και οι ρυθμοί δειγματοληψίας μετρώνται σε **Hz**. Η συχνότητα ενός ήχου είναι η

αντίστροφη τιμή της περιόδου, αντιπροσωπεύει δηλαδή τον αριθμό των περιόδων ανά δευτερόλεπτο και μετριέται σε **Χερτζ** (Hz) ή αλλιώς κύκλους ανά δευτερόλεπτο.

Το εύρος συχνότητας διαιρείται ως εξής:

- **Υπόηχοι:** 0 Hz – 20 Hz
- **Ακουστοί ήχοι:** 20 Hz – 20 kHz (ακουστικό εύρος ανθρώπινου αυτιού)
- **Υπέρηχοι:** 20 kHz – 10 THz

Ο ρυθμός δειγματοληψίας για ποιότητα CD όπως λέγεται, (ο ρυθμός δειγματοληψίας του εμπορικού CD δηλαδή) είναι 44100Hz. Αυτό το νούμερο σημαίνει ότι παίρνουμε δείγμα από την κυματομορφή 44100 φορές το δευτερόλεπτο.

Γιατί παίρνουμε όμως τόσα πολλά δείγματα προκειμένου ο ψηφοποιημένος ήχος να είναι εφάμιλλος του αναλογικού; Την απάντηση στο παραπάνω ερώτημα μας τη δίνει το θεώρημα του **Νίκουιστ** (Nyquist). Το θεώρημα λέει ότι για ψηφιοποίηση χωρίς απώλειες, ο ρυθμός δειγματοληψίας πρέπει να είναι τουλάχιστον ο **διπλός** της μέγιστης συχνότητας του προς ψηφιοποίηση σήματος. Άρα ένας ρυθμός δειγματοληψίας της τάξης των 44100 kHz μπορεί να αναπαραστήσει συχνότητα μέχρι 22050 Hz, τιμή που είναι κοντά στο άνω φράγμα του ακουστικού εύρους. Στα τρία παρακάτω σχήματα παρατηρούμε τη δειγματοληψία που έχει γίνει με κόκκινες κουκίδες δημιουργώντας την αίσθηση μιας λεγόμενης **ψευδούς παραμόρφωσης (aliasing distortion)** σε σχέση με το αρχικό σήμα.

2.6. Κβαντοποίηση (Quantization)

Όπως ακριβώς το δείγμα μιας κυματομορφής λαμβάνεται σε διακριτούς χρόνους, έτσι και η τιμή του δείγματος είναι επίσης διακριτή. Η ανάλυση ή αλλιώς **κβαντοποίηση** (quantization) των τιμών ενός δείγματος εξαρτάται από τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων που χρησιμοποιούνται στη μέτρηση του ύψους της κυματομορφής. Μία κβαντοποίηση 8 δυαδικών ψηφίων δίνει 256 πιθανές τιμές, ενώ κβαντοποίηση ποιότητας 16 δυαδικών ψηφίων δίνει μέχρι 65536 τιμές (ποιότητα CD).

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει μια κβαντοποίηση 3 δυαδικών ψηφίων, δηλαδή προσφέρει μόνο 8 τιμές στον άξονα y. Στον άξονα x έχουμε τις διακριτές τιμές του ρυθμού δειγματοληψίας.

Στα παρακάτω σχήματα παρατηρούμε μία λεγόμενη καλή δειγματοληψία (good resolution) και μία κακή δειγματοληψία (bad resolution). Βλέπουμε τις διαφορές από τις γραφικές παραστάσεις που προκύπτουν σε σχέση με το αρχικό σήμα.

2.7. Αρμονικές – Ύψος και Χροιά

Σύνθετες περιοδικές κυματομορφές αποτελούνται από μία θεμελιώδη συχνότητα (είναι μία ημιτονοειδής) και πολλές αρμονικές που είναι πολλαπλάσια της θεμελιώδους συχνότητας. Μη περιοδικές κυματομορφές αποτελούνται από πολλές αρμονικές, όχι όμως απαραίτητα σχετιζόμενες κατά συχνότητα (θεμελιώδης). Η **θεμελιώδης συχνότητα** είναι βασική με την έννοια ότι καθορίζει το ύψος (pitch) του ήχου.

Πολλά μουσικά όργανα παράγουν κυματομορφές με αρμονικές που είναι απλά πολλαπλάσια της θεμελιώδους (π.χ. η συχνότητα των 150 Hz δίνει 300, 450, 600, 750, 900 κλπ). Οι αρμονικές περνάνε πέρα από το όριο ακοής και καθορίζουν τη χροιά των ήχων. Άνετα ξεχωρίζουμε ένα βιολί από ένα πιάνο, μια κιθάρα από ένα μπουζούκι. Πρέπει να αναφέρουμε ότι όσο ανεβαίνουμε σε ψηλές συχνότητες το αυτί δυσκολεύεται να ξεχωρίζει τη χροιά. Η διατήρηση των αρμονικών είναι απαραίτητη για την αξιόπιστη και ακριβή αναπαραγωγή ενός ήχου.

Στον παρακάτω πίνακα παρατηρούμε σε τι συχνότητες βρίσκονται τα πιο γνωστά μουσικά όργανα.

20Hz	39Hz	78Hz	156Hz	312Hz	625Hz	1,25KHz	2,5KHz	5KHz	10KHz	20KHz
Γκράν-κάσσα										
			τύμπανο							
					Κύμβαλα (πιατίνια)					
	Ηλεκτρικό Μπάσο (κιθάρα)									
		Ηλεκτρική Κιθάρα								
	Πιάνο									
			Ομιλία							
	Τούμπα									
					Πίκολο					
		Ακουστική Κιθάρα								

Εδώ παρουσιάζουμε την **ένταση** (sound pressure) σε '**db**' σε σχέση με τη **συχνότητα** (frequency) που έχει κάθε νότα και συγκεκριμένα η **ΛΑ** (A), όπου οι αριθμοί δίπλα φανερώουν την οκτάβα στο πιάνο, ξεκινώντας από την **A0** (η χαμηλότερη νότα του πιάνου) και καταλήγοντας στην ψηλότερη (**A8**).

2.8. Τι είναι Μουσική

Η μουσική μπορεί να θεωρηθεί ως μια γλώσσα που έχει γραφή και ανάγνωση. Χρησιμοποιώντας αυτή τη γλώσσα ο μουσικός μπορεί να μετατρέπει σε ήχο το μουσικό κείμενο, χωρίς απαραίτητα να γνωρίζει το «φυσικό» περιεχόμενο (semantics) της μουσικής γλώσσας.

2.9. Ιδιότητες της Μουσικής

Η μουσική μπορεί να χαρακτηριστεί τόσο με όρους Φυσικής (ακουστική επιστήμη), όσο και με όρους Ψυχολογίας. Έτσι η μουσική, αν θεωρηθεί ως κάποιου είδους κυματομορφή, μπορεί να εξετασθεί με τη βοήθεια της Ψυχολογίας. Οι δυο αυτές προσεγγίσεις προσδίδουν στη μουσική αντίστοιχες ιδιότητες, που από την πλευρά της Φυσικής είναι η συχνότητα, η ένταση, η κυματομορφή και ο χρόνος, ενώ από την πλευρά της Ψυχολογίας είναι το ύψος, η ακουστότητα, η ένταση και η χροιά. Τέλος, η μουσική προσεγγίζεται και αισθητικά με τη βοήθεια τεσσάρων θεμελιωδών αισθητικών χαρακτηριστικών: ποιότητα του ήχου, αρμονία, μελωδία, ένταση και ρυθμός.

2.10. Φυσικά χαρακτηριστικά της Μουσικής

Το ηχητικό κύμα είναι το μέσον που συνδέει το μουσικό με τον ακροατή. Έξι φυσικές μεταβλητές του ηχητικού κύματος έχουν σημασία για τη μουσική και αυτές είναι: α) η **συχνότητα**, β) η **ένταση**, γ) η **κυματομορφή**, δ) η **διάρκεια**, ε) η **άνοδος** και η **κάθοδος**, στ) το **βιμπράτο**.

Όπως αναφέραμε παραπάνω, η κυματομορφή είναι ένα σύνθετο ηχητικό σήμα που αποτελείται από τη θεμελιώδη συχνότητα και τις αρμονικές της. Η άνοδος του ήχου, και αντιστοίχως και η κάθοδος, περικλείει το χρόνο που χρειάζεται ο ήχος, ώστε να φθάσει σ' ένα αυθαίρετα καθορισμένο κλάσμα της μέγιστης έντασης του.

Με το βιμπράτο (vibrato) περιγράφουμε την αλλοίωση της συχνότητας ενός ήχου. Έχουμε δύο είδη αλλοίωσης του ήχου: την αλλοίωση κατά το ύψος του ήχου (Pitch vibrato) που συναντιέται πολύ συχνά στο παίξιμο του βιολιού και την αλλοίωση κατά πλάτος που ο δόκιμος μουσικός όρος γι' αυτήν την περίπτωση είναι το ή τρέμολο.

2.11. Ψυχολογικά Χαρακτηριστικά της Μουσικής

Τα ψυχολογικά χαρακτηριστικά έχουν κατηγοριοποιηθεί σε **τονικά**, **δυναμικά**, **χρονικά** και **ποιοτικά**.

- Τα **τονικά** χαρακτηριστικά είναι: το **τονικό ύψος** (pitch), η **μελωδία** (melody), η **αρμονία** (harmony) και γενικά κάθε μορφή αλλαγής του ύψους (harmonic tone).
- Τα **δυναμικά** χαρακτηριστικά εξαρτώνται κυρίως από την **ακουστότητα** – δυναμική του ήχου (loudness- velocity).
- Τα **χρονικά** περιλαμβάνουν: το **χρόνο** (time), τη **διάρκεια** (duration), το **μουσικό χρόνο** (tempo) και το **ρυθμό** (rhythm).
- Τα **ποιοτικά** χαρακτηριστικά αφορούν τη **χροιά** (timbre) και την **ποιότητα** του ήχου (sound quality) του κάθε οργάνου που εξαρτώνται άμεσα από τον εκτελεστή του συγκεκριμένου οργάνου.

Παρακάτω θα αναφέρουμε μερικούς ορισμούς των παραπάνω χαρακτηριστικών.

- **Ύψος:** Ως ύψος ορίζουμε εκείνο το χαρακτηριστικό του ήχου που επιτρέπει στον άνθρωπο να περιγράφει τους μουσικούς ήχους ως υψηλούς (οξείς) ή χαμηλούς (βαθείς) και δίνει σε αυτούς μια θέση στη μουσική κλίμακα.
- **Ακουστότητα:** Ακουστότητα ενός ήχου είναι το μέγεθος της ακουστικής εντύπωσης που παράγεται από αυτόν, μας δίνει δηλαδή την εντύπωση αν ο συγκεκριμένος ήχος είναι ισχυρός ή ασθενής.
- **Διάρκεια** (χρόνος): Η διάρκεια ενός ήχου επιδρά στο ύψος, στην ακουστότητα και στην ποιότητά του. Τα χρονικά μουσικά χαρακτηριστικά ενός ήχου είναι: η διάρκειά του, το tempo του μουσικού κομματιού, ο μουσικός χρόνος και η παύση. Το tempo περιγράφει την ταχύτητα κίνησης (αργά ή γρήγορα) της μουσικής και ο μουσικός χρόνος είναι η διαίρεση του μουσικού κείμενου σε τμήματα.
- **Αρμονία και Κακοφωνία:** Όταν δύο ή περισσότεροι ήχοι ακούγονται ταυτόχρονα και δημιουργούν ευχαρίστηση, έχουμε το αίσθημα της αρμονίας. Όταν όμως το άκουσμα είναι δυσάρεστο, δημιουργείται το αίσθημα της κακοφωνίας. Βέβαια όλα αυτά είναι υποκειμενικά ανάλογα με τον ακροατή (θα εξηγήσουμε παρακάτω πώς μπορούμε να ορίσουμε επακριβώς τους όρους αρμονία και κακοφωνία). Οι γενικοί παράγοντες πάντως που επηρεάζουν και καθορίζουν την αρμονία από τη φυσική πλευρά του θέματος είναι η καθαρότητα, η ομαλότητα και οι συνδυασμοί των ήχων.

2.12. Μουσικές Κλίμακες

Μουσική υπήρχε πολύ πιο πριν υπάρξει οποιαδήποτε κλίμακα. Οι άνθρωποι τραγουδούσαν με μια σειρά από μουσικούς ήχους που ευχαριστούσαν τα αυτιά τους. Ομοίως, το πρωτόγονο μουσικά όργανα κατασκευάστηκαν για να μπορούν να αποδίδουν τους μουσικούς ήχους που επιθυμούσαν οι κατασκευαστές τους.

Με το πέρασμα των αιώνων δημιουργήθηκαν οι κλίμακες. Πολλές διαφορετικές κλίμακες σε διαφορετικά πολιτιστικά περιβάλλοντα, καθώς επίσης και μια σειρά από κλίμακες μέσα σε μία και μόνη μουσική παράδοση. Οι συνθέτες έγραφαν μουσική και οι κλίμακες αναπτύχθηκαν από τη μουσική και τον τρόπο εκτέλεσης της.

Ο **τονισμός** (intonation) περιγράφει τον τρόπο που παίζονται τα μουσικά διαστήματα με κάποια ελευθερία έτσι ώστε να ακούγονται καλά στον εκτελεστή. Ένας βιολονίστας, για παράδειγμα, μπορεί να **προσδιορίσει το μήκος της χορδής** που είναι ελεύθερο να δονηθεί και να το διαλέξει έτσι ώστε ο τελικός τόνος να ηχεί πιο όμορφα στο αυτί του. Δεν υπάρχει όμως τονική ευκαμψία με το πιάνο. Η χορδή χτυπιέται και έχει ένα καθορισμένο μήκος και μια καθορισμένη τάση. Ο πιανίστας δεν ελέγχει τον ήχο που παράγεται, όταν το πλήκτρο έχει πατηθεί.

Τα **τεμπεραμέντα** (temperaments) είναι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να χορδισθεί ένα πληκτροφόρο όργανο. Εκείνο που πραγματικά παίζει ρόλο είναι πόσο καλά ένα δοσμένο τεμπεραμέντο ηχεί μουσικά. Οποσδήποτε υπάρχουν πολλοί πρακτικοί λόγοι που οδηγούν σε συμβιβασμό. Τα τεμπεραμέντα είναι πρακτικοί τρόποι χορδίσματος ενός πληκτροφόρου που έχει 12 καθορισμένες συχνότητες στην οκτάβα. Σε τελική ανάλυση φαίνεται ότι ο ρυθμιστής της **‘intonation’** είναι το πληκτρολόγιο του πιάνου, ενώ στην πραγματικότητα είναι ο **χορδιστής**.

Η δυτική μουσική χωρίζει την οκτάβα σε **12 βήματα** —διαστήματα ημιτονίου— και την ονομάζει χρωματική κλίμακα. Αν κάποιος αρχίσει από το μεσαίο Ντο [C] (δηλ. C4), στο πιάνο και παίζει κάθε νότα, άσπρα και μαύρα πλήκτρα, μέχρι το επόμενο Ντο [C] (δηλ. C5), έχει παίζει μια χρωματική κλίμακα. Από την άλλη μεριά, αν παίζει μόνο τα

άσπρα πλήκτρα, έχει παίξει τη Ντο [C]-μείζονα κλίμακα. Όταν τα άσπρα πλήκτρα παίζονται από το Ντο[C] στο επόμενο Ντο[C], ακούγεται η γνωστή σειρά <do-re-mi-fa-sol-la-si-do>. Κοιτάζοντας το πιάνο, προσέχουμε ότι δεν υπάρχει μαύρο πλήκτρο μεταξύ Μι και Φα (Ε και F) ή μεταξύ Σι και Ντο (Β και C). Η απόσταση μεταξύ των δυο αυτών βημάτων είναι ένα ημιτόνιο, ενώ όλα τα άλλα βήματα χωρίζονται από έναν ολόκληρο τόνο.

Όταν τραγουδάμε την αλληλουχία <do-re-mi-fa...si>, τραγουδάμε την αλληλουχία <do, τόνος, τόνος, ημιτόνιο, τόνος, τόνος, τόνος, ημιτόνιο>. Έχουν βρεθεί πολλοί τρόποι να γεμίσει με βήματα το διάστημα μεταξύ αρχικού και τελικού do στην κλίμακα. Δυστυχώς, καμιά από τις κλίμακες που έχουν προταθεί δεν είναι χωρίς δυσκολία και προβλήματα. Για παράδειγμα, όλες οι πέμπτες πρέπει να έχουν λόγο συχνοτήτων $3/2$, όλες οι τέταρτες λόγο $4/3$, όλες οι μεγάλες τρίτες λόγο $5/4$. Καμιά κλίμακα δεν ικανοποιεί αυτή την απαίτηση ακριβώς, αλλά μερικές κλίμακες την ικανοποιούν περισσότερο από μερικές άλλες. Ακόμα, τα διαστήματα ολόκληρου-τόνου πρέπει να είναι τα ίδια. Μερικές κλίμακες έχουν δυο διαφορετικά διαστήματα ολόκληρου-τόνου.

Μπορούμε να σκεφτούμε μια πεντατονική μελωδία που παίζεται στα μαύρα πλήκτρα του πιάνου. Οι μαύρες νότες του πιάνου έχουν διαφορετικούς αριθμούς από τις άσπρες νότες που μεσολαβούν μεταξύ τους - υπάρχει μόνο μια άσπρη νότα μεταξύ μερικών ζευγαριών των μαύρων νοτών, αλλά υπάρχουν δύο μεταξύ άλλων. Αυτό σημαίνει ότι ένα βήμα από μια μαύρη νότα στην επόμενη μπορεί να είναι ένα μικρό βήμα ή ένα μεγάλο βήμα. Και φαίνεται λογικό να υποθεθεί ότι, όταν ακούει ένας ακροατής μια πεντατονική μελωδία, μέρος της ταυτότητας της μελωδίας αποτελεί το μοτίβο των διαδοχικών μικρών και μεγάλων βημάτων.

Παρακάτω ακολουθούν δύο σχήματα:

Στο μεν πρώτο είναι ένα κανονικό πληκτρολόγιο πιάνου (Normal 12-note Equal Temperament Keyboard) με τις πραγματικές αποστάσεις των μαύρων και των άσπρων νοτών, όπου εδώ ξεχωρίζει το μεγάλο βήμα (Large Step) και το μικρό (Small Step). Στο δεύτερο σχήμα έχουμε ένα πληκτρολόγιο πιάνου που είναι κατασκευασμένο με βάση την πεντατονική κλίμακα που αναφέραμε παραπάνω (Rearranged keyboard with black notes tuned to 5-note Equal Temperament) .

Το χαρακτηριστικό είναι πλέον ότι δεν έχουμε μεγάλες και μικρές αποστάσεις, αλλά όλα τα βήματα έχουν την ίδια απόσταση μεταξύ τους. (Το βλέπουμε από τις αριθμημένες νότες και στα δύο σχήματα που σειρά αρίθμησης δεν μεταβάλλεται). Αν παίζαμε την ίδια πεντατονική μελωδία στο 5-τονικό πληκτρολόγιο που παίζαμε και στο κανονικό πληκτρολόγιο, θα διαπιστώναμε ότι η μελωδία σχεδόν δε θα είχε παραλλαχθεί ουσιαστικά, παρότι οι αποστάσεις είναι ισόμορφες μεταξύ τους.

2.13. Κλίμακες και Συγκερασμός

Η Οκτάβα ορίζεται με το διπλασιασμό του τόνου της θεμελιώδους συχνότητας. Για παράδειγμα, αρχίζοντας από το Concert A (LA ή A4 στο πιάνο) που έχει συχνότητα 440Hz, μία οκτάβα πάνω βρίσκουμε το A5 που είναι στα 880 Hz. Στη δυτική κλίμακα, μία οκτάβα αποτελείται από 12 διαστήματα (τόνους και ημιτόνια, ένας τόνος = δύο ημιτόνια). Επομένως, αν δεχθούμε πως οι νότες απέχουν ίδια διαστήματα μεταξύ τους, κάθε ημιτόνιο απέχει από την προηγούμενη νότα $1/12$ της απόστασης των ακραίων. Στο διάστημα A4 σε A5 η απόσταση είναι 440 Hz και επομένως κάθε ημιτόνιο πρέπει να είναι $440/12 = 36,667\text{Hz}$.

Αν πάρουμε τώρα το διάστημα ανάμεσα σε δύο ανάλογα ΝΤΟ, τα C4 (261,63Hz) και C5 (523,25Hz), η απόσταση ημιτονίου υπολογίζεται σε $261,63/12 = 21,8025\text{Hz}$. Κατά συνέπεια, αν υπολογίσουμε την ίδια νότα, π.χ. το B4 (493,88Hz) που απέχει συν δύο ημιτόνια από το A4 και μείον ένα ημιτόνιο από το C5, έπρεπε να είναι από το A4, $440+2*36,667= 513,334\text{Hz}$ ενώ με βάση το C5, $523,25-21,8025= 501,4475$.

Με βάση τα παραπάνω, ένα πιάνο για παράδειγμα αν κουρδίζοταν με βάση κάποια κλίμακα, θα ήταν σωστό μόνο σε αυτή την κλίμακα. Σήμερα αποφεύγουμε το πρόβλημα αυτό χρησιμοποιώντας το λεγόμενο **συγκερασμό**. Ορίζουμε λοιπόν ως απόλυτη απόσταση μιας νότας από την επόμενη της την τιμή του $2^{1/12}$ που δίνει την τιμή 1,059463094 ή 1,0595. Κάθε νότα υπολογίζεται λοιπόν πολλαπλασιάζοντας τη συχνότητα της προηγούμενης με το ποσό αυτό. Στο παράδειγμά μας, από το A4, το B4 είναι $440*(1,0595)*(1,0595) = 493,88 \text{ Hz}$. Ξεκινώντας από την τιμή αυτή, το C5 είναι $493,88 *(1,0595) = 523,25 \text{ Hz}$.

Ο συγκερασμός οδηγεί όλες τις νότες στο κούρδισμα του πιάνου να ακούγονται ελαφρά παράφωνες, αλλά όχι σε βαθμό που ενοχλεί το αυτί. Συγχρόνως όμως επιτρέπει οποιοδήποτε μουσικό κομμάτι να παίζεται σωστά ανεξάρτητα από την κλίμακα στην οποία έχει αρχικά γραφτεί.

2.14. Συμφωνία και Διαφωνία

Η αντίληψη του μουσικού ήχου είναι μια πολύπλοκη διαδικασία. Ας υποθέσουμε για παράδειγμα ότι ένας σύνθετος τόνος που φθάνει στο αυτί μπορεί να αντιπροσωπευθεί από το ακουστικό φάσμα που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Ένας τέτοιος τόνος γίνεται αντιληπτός σαν να έχει μια χαρακτηριστική χροιά που προέρχεται, όπως λέμε, από την αρμονική του δομή. Ας υποθέσουμε όμως ότι το ερέθισμα που φαίνεται στο σχήμα (α) είναι στην πραγματικότητα συνέπεια δύο διαφορετικών οργάνων (το καθένα με τη δική του αρμονική δομή) που παίζουν έναν τόνο του ίδιου ύψους. Τα ακουστικά φάσματα των δύο οργάνων (σχήμα β) συνδυάζονται για να δώσουν ένα ερέθισμα ισοδύναμο με αυτό του ενός τόνου που παριστάνεται στο σχήμα (α). Παρ' όλα αυτά, το ακουστικό μας σύστημα αντιλαμβάνεται το φάσμα που δείχνεται στο β ως δυο διαφορετικούς τόνους, ενώ το φάσμα α το αντιλαμβάνεται ως έναν τόνο! Πώς το ακουστικό μας σύστημα το κατορθώνει αυτό είναι ένα μυστήριο!

Αν δυο ήχοι που παίζονται συγχρόνως κρίνονται από ένα μέσο ακροατή ως ευχάριστοι, ο τονικός συνδυασμός τους αναφέρεται ως συμφωνία. Από την άλλη μεριά, αν ο συνδυασμός κρίνεται σκληρός (τραχύς), κακόφωνος ή δυσάρεστος, τότε έχουμε διαφωνία (κακοφωνία).

Η διαφωνία είναι σημαντική για τη μουσική. Ένα μουσικό έργο που αποτελείται μόνο από σύμφωνα διαστήματα, θα μπορούσε πιθανώς να κριθεί ως ήπιο ή ανούσιο από έναν ώριμο ακροατή. Η διαφωνία φέρνει μια διαταραχή στην κίνηση που καταλήγει στη συμφωνία. Με τον ίδιο τρόπο που η αναμονή και η σύγκρουση φέρνουν ένταση στο δράμα, η διαφωνία φέρνει ένταση στη μουσική. Χωρίς αυτή την ένταση, η χαλάρωση που επιφέρει η συμφωνία, θα ήταν χωρίς νόημα.

Η μουσική έχει γίνει σιγά σιγά διάφωνη. Γιατί αυτό; Επειδή η υποκειμενική αίσθηση της διαφωνίας διαφέρει από εποχή σε εποχή. Ένας τονικός συνδυασμός που χρησιμοποιήθηκε μια εποχή, μπορεί να θεωρήθηκε από το μουσικό ακροατήριο εκείνης της εποχής ως τραχύς και κακόφωνος. Με τον καιρό όμως οι ακροατές τον συνήθισαν. Έτσι, εκείνο το διάφωνο διάστημα θεωρείται όλο και πιο σύμφωνο (αποδεκτό). Συνεπώς, μια μεταγενέστερη γενιά συνθετών θα πρέπει να βρει νέες διαφωνίες για να δημιουργήσει τον ίδιο βαθμό έντασης με τους προγενέστερους. Σύγκρινε, για

παράδειγμα, το **‘Eine Kleine Nachtmusik’** του Mozart, που γράφτηκε το 1787, με το **‘Vorgefuhle’** του Arnold Schoenberg, που το συνέθεσε το 1909. Τέτοια σύγκριση αποκαλύπτει ότι η ιστορία της μουσικής έχει χαρακτηριστεί από την απελευθέρωση των διαφωνών διαστημάτων.

Η μουσική παράδοση και οι εμπειρίες των ακροατών που περιορίζονται απ’ αυτήν την παράδοση αποτελούν μια διάσταση του προβλήματος της συμφωνίας-διαφωνίας. Η μουσική παιδεία, μια άλλη πλευρά της εμπειρίας, είναι μια άλλη διάσταση. Ακόμα μια άλλη διάσταση πηγάζει από το γεγονός ότι ένα διάφωνο διάστημα είναι περισσότερο διάφωνο, όταν παίζεται από δυο όμοια όργανα, απ’ ό,τι όταν παίζεται από δυο διαφορετικά όργανα.

Τέτοιες μελέτες εξυπηρετούν στο να παραστήσουν την υποκειμενικότητα της συμφωνίας και διαφωνίας.

2.15. Υποκειμενική Μουσική και Αντικειμενική Ακουστική

Η ακρόαση της μουσικής είναι μια τέχνη. Η μουσική η ίδια είναι μια τέχνη που μεταφέρει μηνύματα και εξετάζει προσεκτικά τα όρια της ανθρώπινης συγκίνησης και νοημοσύνης. Τα μηνύματα μεταφέρονται με τη μελωδία, τη συμφωνία, τη διαφωνία, το ρυθμό, το τέμπο και τις δυναμικές αυξομειώσεις (σιγά (piano), δυνατά (forte), λιγότερο δυνατά (mezzo forte)).

Η ακουστική εμπειρία και το μήνυμα που μεταφέρει η μουσική είναι πολύ προσωπικά. Ενώ η ακουστική εμπειρία αναφέρεται χωριστά στον καθένα και είναι μοναδική, οι μεταβολές της πίεσης και οι ψυχολογικές εντυπώσεις που προέρχονται από αυτές, καθίστανται κοινές στον κάθε ακροατή. Εδώ όμως αυτή η διάκριση που γίνεται δημιουργεί μια μεθολογική αλλά και φιλοσοφική ασάφεια. Και αυτό συμβαίνει γιατί πολλοί άνθρωποι ψάχνουν να βρουν ένα νόημα από τη μουσική εμπειρία, η οποία βασίζεται στην ψυχολογική αίσθηση που προσφέρει. Άλλοι υποστηρίζουν ότι μια τέτοια προσέγγιση είναι εντελώς άστοχη, γιατί δε γίνεται να μετασχηματίσουμε την εγκεφαλική δράση σε αισθήσεις.

Συμπληρώνοντας να τονίσουμε ότι η φυσική πλευρά του μουσικού ήχου μπορεί να μετρήσει ακριβώς τη συχνότητα, αλλά το άτομο αντιλαμβάνεται μουσικά ύψη. Η ένταση ενός ηχητικού κύματος μπορεί να μετρηθεί, αλλά το ανθρώπινο ακουστικό σύστημα αντιλαμβάνεται την ακουστότητα και το κάνει αυτό με ένα χαρακτηριστικό «ανθρώπινο τρόπο». Τέλος, ένας σύνθετος τόνος μπορεί να αναλυθεί στις αρμονικές του συνιστώσες, αλλά ο ακροατής αντιλαμβάνεται τη χροιά.

Στην ανάλυση της **μουσικής αντίληψης** (music perception) διάφορες φυσικές παράμετροι εμφανίζονται σημαντικές, όπως αναφέραμε και παραπάνω η συχνότητα, το πλάτος, η κυματομορφή. Τα φυσικά ερεθίσματα όμως, οι αισθήσεις και τα συναισθήματα που δημιουργούνται κατά την ακρόαση αποτελούν ένα πεδίο που για άλλους είναι ανεξήγητο και πολύπλοκο. Άλλοι όμως, όπως ο γράφων, πιστεύουν ότι μπορεί να βρεθεί μια διέξοδος, μια εξήγηση έστω και μερική για το πώς λειτουργεί αυτός ο μηχανισμός, υποβοηθούμενη πάντα από επιστήμες που προσεγγίζουν τον άνθρωπο όπως είναι και η μουσική. Μια τέτοια εξήγηση της **μουσικής αντίληψης** μέσω της **τεχνητής νοημοσύνης** θα επιχειρηθεί και στο παρόν κείμενο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. Ανθρώπινος Εγκέφαλος και Μουσική

3.1. Εισαγωγή

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά που διακρίνουν τον άνθρωπο από τα ζώα είναι το γεγονός ότι καταλαβαίνει αληθινά τη μουσική. Η μουσική συνδέεται γενικά με την έκφραση των συγκινήσεων, αλλά είναι επίσης γνωστό ότι και η διάνοια-νους διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στις μουσικές δραστηριότητες.

Η αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των δύο στοιχείων αποτελεί αντικείμενο καθημερινής διερεύνησης διαφόρων επιστημονικών τομέων, όπως αναφέραμε και παραπάνω, συμπεριλαμβανομένων των γνωστικών επιστημών, της νευρολογίας, της τεχνητής νοημοσύνης (AI) καθώς και πολλών άλλων. Παρακάτω στο κεφάλαιο 4 και συγκεκριμένα στην παράγραφο 4.1, θα εισάγουμε μερικά θεμελιώδη ζητήματα (αρχές αντίληψης Gestalt) που έχουν να κάνουν με την ΤΝ και την αλληλεπίδρασή της με τη μουσική.

3.2. Τι είναι πραγματικά μια μουσική σύνθεση;

Συνεχώς μιλάμε για μουσικές συνθέσεις, κομμάτια μουσικής, μουσική δημιουργία και όλα τα σχετικά, αλλά, τι *πραγματικά* είναι ένα κομμάτι μουσικής; Τί αντιπροσωπεύει και ποιά είναι η ουσία του;

Ας προσπαθήσουμε λοιπόν να απαντήσουμε σε αυτό το ερώτημα : *τι είναι πραγματικά μια μουσική σύνθεση;*

Για αρχή, μια πολύ πρώτη πιθανή απάντηση θα μπορούσε να ήταν : *Μια μουσική σύνθεση είναι μια περίπλοκη ηχητική κατασκευή που αποτελείται από μικρά παρόμοια συμβάντα, που συνήθως αποκαλούμε νότες, η οποία υπακούει σε ορισμένους βασικούς αισθητικούς και ακουστικούς κανόνες.* Αυτή η απάντηση είναι φυσικά σωστή και περιγράφει ορισμένες γενικές αρχές της μουσικής, όμως παρ' όλα αυτά είναι μάλλον υπερβολικά γενική για να έχει κάποια πραγματική χρήση. Δεν μας δίνει κάποια νέα σημαντική πληροφορία σχετικά με τη μουσική.

Ας δοκιμάσουμε για δεύτερη φορά: *Η μουσική σύνθεση είναι απλά το ταξίδι από έναν κοντινό λόφο σε έναν άλλο, έχοντας βασικά να περάσουμε ανάμεσα από όλων των ειδών τα πιθανά εμπόδια αλλά και με τη δυνατότητα να επισκεφτούμε όλων των ειδών τα αξιοθέατα.* Αυτή είναι μια μάλλον μεταφορική προσέγγιση η οποία κατ' έναν εντελώς ειρωνικό τρόπο μπορεί να λεχθεί και για τους συνθέτες και για τους ακροατές: οι

δημιουργοί έχουν να ξεπεράσουν πλήθος από δυσκολίες προσπαθώντας να υλοποιήσουν το εσωτερικό τους όραμα, ενώ οι ακροατές προσπαθούν να μπουν μέσα στο μυαλό του συνθέτη ή απλά να αναπλάσουν τις προθέσεις του ενώ ακούν μια συνεχή ροή από ενδιαφέρουσες νότες. Αρκετά ενδιαφέρων ορισμός, αλλά τεχνικά ελλιπής.

Ας δοκιμάσουμε κάτι άλλο: *Μια μουσική σύνθεση είναι απλά μια σειρά από καλώς συμμετρικά συμβάντα αναμειγμένα κατάλληλα με μη συμμετρικά συμβάντα. κατ' έναν τέτοιον τρόπο ώστε οι προσδοκίες του ακροατή να εκπληρώνονται απόλυτα.* Αυτός είναι ένας αρκετά σοφιστικέ ορισμός: εκφράζει το μη-προφανές γεγονός ότι η μουσική δεν είναι ντε φάκτο ενδιαφέρουσα, αλλά πρέπει να υπακούει σε ορισμένους πολύ βασικούς κανόνες. Ανεξάρτητα από όλα αυτά, η προηγούμενη αρχή βρίσκει εφαρμογή σε πλήθος από μουσικές παραμέτρους: ρυθμός, χρονισμός, κλίμακες, αρμονία, αντίστιξη, ενορχήστρωση κλπ. Έτσι προσεγγίζουμε τον τελικό μας σκοπό: να βρούμε τον πιο κατάλληλο ορισμό για τον όρο "μουσική σύνθεση".

Ας δοκιμάσουμε κάτι πιο ρομαντικό: *Μια μουσική σύνθεση είναι το όχημα της τέχνης το οποίο είναι ικανό να υποκινήσει ή ακόμη και να δημιουργήσει τα πιο ακραία μας συναισθήματα: το πλήρες φάσμα του ανθρώπινου ψυχικού κόσμου μπορεί σαφέστατα να επαναδημιουργηθεί μέσω της δύναμης της μουσικής.* Αυτό φυσικά δεν είναι ένας επιστημονικός ορισμός, αλλά ίσως ένας πιο καλλιτεχνικού περιεχομένου. Παρ' όλα αυτά, η δύναμη της μουσικής και η βαθύτερη ουσία της είναι πάρα πολύ σημαντικές εάν κάποιος θέλει να γίνει ένας πετυχημένος καλλιτέχνης. Έτσι, όλη αυτή η γνώση δεν πρέπει να αγνοείται.

Ποιος είναι - επιτέλους - ο ωραίος και ακριβής ορισμός του όρου "μουσική σύνθεση"; Ας δοκιμάσουμε κάτι λίγο πιο μαθηματικό: Πρώτα ας ορίσουμε ότι το σύνολο των μουσικών στοιχείων αποτελείται από όλα τα συστατικά τα οποία είναι ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Έτσι, η αντίστοιχη λίστα θα περιλαμβάνει: χρόνο, ρυθμό, μελωδία, αρμονία, αντίστιξη, ενορχήστρωση. Ίσως ακαδημαϊκά δεν πρόκειται για 100% ανεξάρτητα στοιχεία, όμως για τους δικούς μας σκοπούς θα τα θεωρήσουμε ως τέτοια. Ας προχωρήσουμε με τον ορισμό: *μια μουσική σύνθεση είναι το φαινόμενο το οποίο εκφράζει τις ακριβείς κινήσεις των βασικών μουσικών στοιχείων στη μονάδα του χρόνου.* Λοιπόν, ας παραδεχτούμε ότι η προηγούμενη πρόταση μπορεί να οδηγήσει σε ορισμένα αρκετά περίπλοκα αποτελέσματα, αλλά σε γενικές γραμμές η μουσική μπορεί τέλεια να περιγραφεί από έναν παρόμοιο χαρακτηρισμό. Είναι ένας πολύ καλός ορισμός αλλά έχει ένα πολύ σημαντικό μειονέκτημα: δε μας βοηθάει ούτε να καταλάβουμε τη μουσική ούτε να γράψουμε τη δικιά μας. Έτσι, αυτός ο ορισμός έχει μόνο θεωρητική αξία.

Τέλος, εδώ είναι μια άλλη ιδέα δανεισμένη από το χώρο της ανθρώπινης συμπεριφοράς: *μια μουσική σύνθεση είναι μια πηγή από ηχητικά μικρο-γεγονότα τα οποία προκαλούν στους ανθρώπους μια βαθιά κατανόηση ψυχολογικής φύσεως ενώ ακαριαία αναγνωρίζουν μουσικά πρότυπα και ιδέες που την προκαλούν.* Ακούγεται κάπως μπερδεμένο, αλλά μπορεί να μας βοηθήσει να ακούσουμε ή να γράψουμε μουσική! Τι σημαίνει η προηγούμενη πρόταση; Οι άνθρωποι ακούνε μουσική, η μουσική διεγείρει πρότυπα αποθηκευμένα μέσα στο μυαλό τους με έναν καταγιστρικό ρυθμό και όλη αυτή η "αλυσίδα" προκαλεί κάποια συγκεκριμένα ψυχολογικά αποτελέσματα. Είναι απλό αλλά ταυτόχρονα και πολύ σημαντικό! Είναι ο βασικός μας ορισμός για να γράψουμε μουσική!

3.3. Ο Μουσικός Εγκέφαλος

Μελετώντας κανείς συγκριτικά τους διάφορους ορισμούς που αναφέραμε παραπάνω, αυτό που διακρίνει και συμπεραίνει συχνά στη μουσικολογική έρευνα είναι ότι η μουσική είναι μια διανοητική δραστηριότητα που έχει σχέση με τη δυνατότητα να αναγνωριστούν διάφορα μοτίβα (μουσικά) και να τα φανταστούμε να τροποποιούνται με διάφορες ενέργειες. Καταλαβαίνουμε ότι αυτή η δυνατότητα είναι η ουσία του ανθρώπινου μυαλού, το οποίο απαιτεί περίπλοκους μηχανισμούς μνήμης εμπλέκοντας συνειδητούς και μη συνειδητούς χειρισμούς που απαιτούν την υποσυνείδητη πρόσβαση στα εκατομμύρια των διαδικτυομένων νευρώνων. Σε αυτή λοιπόν την περίπτωση υποτίθεται (κανείς δεν ξέρει ακόμα) ότι οι συναισθηματικές αντιδράσεις στη μουσική προκύπτουν από ένα τέτοιο είδος διανοητικής δραστηριότητας.

Τα διάφορα μέρη του εγκεφάλου ενεργοποιούνται και λειτουργούν διαφορετικά στο ερέθισμα της ακοής. Επιπλέον η μουσική δεν ανιχνεύεται μόνο από τα αυτιά μας, αλλά και από άλλα μέρη του σώματός μας, όπως για παράδειγμα μέσω του δέρματος. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το μέρος του εγκεφάλου το οποίο είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία των ηχητικών δεδομένων.

Τα γραμμοσκιασμένα πεδία είναι βασικές μονάδες μνήμης (cell bodies). Στην τομή που έχουμε κάνει στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε τον ακουστικό φλοιό (auditory cortex) και την ευαισθησία του στο συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων, δηλαδή το ανθρώπινο ακουστικό φάσμα. Με έρευνες έχουμε ανακαλύψει ότι, αν αυξήσουμε την συχνότητα ενός **ημιτονοειδούς σήματος**, η διέγερση του φλοιού θα κινηθεί διαμέσου ενός κυρτού μονοπατιού και με κατεύθυνση προς τα δεξιά (όπως βλέπουμε και στη τομή).

Η παρακάτω εικόνα, που μοιάζει με ένα καλωδιωμένο διάγραμμα, αναπαριστά τους διαδρόμους των νευρώνων μεταξύ του 8^{ου} και του **ακουστικού φλοιού** του εγκεφάλου. Ας παρατηρήσουμε την **αριστερή γωνία**, εκεί που βρίσκεται ο **κοχλίας** (ο βασικότερος ακουστικός συλλέκτης, το αυτί μας) η οποία μας δείχνει τις νευρωνικές ίνες (ή δενδρίτες) του όγδοου νευρώνα να συνδέουν τον κοχλία '**Cochlea**' με τον '**Cochlea Nucleus**'. Στο σημείο αυτό γίνεται και η **πρώτη σύναψη** (Synapse).

Στη συνέχεια, μετά την πρώτη πυροδότηση έχουμε αλυσιδωτές αντιδράσεις, όπου ακολουθείται το μονοπάτι του σχήματος από τα κατώτερα επίπεδα στα ανώτερα μέχρι οι αντιδράσεις, άρα και τα δεδομένα, να φτάσουν στον ακουστικό φλοιό (Auditory cortex) που είναι το μονοπάτι με το μεγαλύτερο βάθος.

Η απάντηση του εγκεφάλου στα εξωτερικά ερεθίσματα - συμπεριλαμβανομένου και του ήχου - μπορεί να μετρηθεί από τη δραστηριότητα των νευρώνων. Δύο μέθοδοι μέτρησης συνήθως χρησιμοποιούνται:

- PET (Positron Emission Tomography), τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων και
- ERP (Event-Related Potential), έχει να κάνει με τη δυναμική των σχετικών γεγονότων.

Η PET μετρά τη δραστηριότητα του εγκεφάλου μέσω της ανίχνευσης της ροής ραδιενεργού υλικού που εγχέεται προηγουμένως στην κυκλοφορία του αίματος. Παρά την αποδοτικότητα αυτής της μεθόδου, είναι αμφισβητούμενη επειδή οι μακροπρόθεσμες παρενέργειες των ραδιενεργών αυτών ουσιών δεν είναι ακόμα γνωστό κατά πόσο είναι αβλαβείς για τον ανθρώπινο οργανισμό. Το ERP χρησιμοποιεί μικροσκοπικά ηλεκτρόδια που τοποθετούνται στην επιφάνεια του κρανίου και ιδιαίτερα στο πρόσωπο προκειμένου να μετρήσουν την ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου. Όσον αφορά την υγεία, το ERP είναι ασφαλέστερο από το PET, αλλά η μέτρηση και η μέθοδος είναι διαφορετική. Ενώ οι ανιχνεύσεις PET δίνουν μια σαφή διατομική ένδειξη της περιοχής του εγκεφάλου, όπου η ροή αίματος είναι εντονότερη, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ακρόασης, το ERP δίνει με τη βοήθεια ενός γραφήματος μόνο ένα επίπεδο τάσης σε σχέση με το χρόνο που έχει σχέση με την

ηλεκτρική δραστηριότητα των περιοχών του εγκεφάλου όπου τα ηλεκτρώδια έχουν τοποθετηθεί.

Η κατανόηση μας της συμπεριφοράς του εγκεφάλου, όταν συμμετέχουμε σε μια οποιουδήποτε τύπου μουσική δραστηριότητα (π.χ. παίζει ένα όργανο, ή απλά φανταζόμαστε μια μελωδία), είναι μόνο η κορυφή ενός παγόβουνου. Και οι δύο μέθοδοι μέτρησης έχουν φέρει στο φως σημαντικά ζητήματα που έχουν βοηθήσει τους ερευνητές να αποκαλύψουν την κορυφή του παγόβουνου. Οι ανιχνεύσεις PET έχουν δείξει ότι ακούγοντας μουσική ή έστω και να φανταζόμαστε ότι ακούμε μουσική, ενεργοποιούνται πολλά διαφορετικά μέρη του εγκεφάλου και οι γραφικές παραστάσεις ERP είναι ιδιαίτερα χρήσιμες γιατί επιδεικνύουν ότι ο εγκέφαλος αναμένει τις ακολουθίες ερεθισμάτων και αναλόγως προσαρμόζονται στις καθιερωμένες αρμόζουσες περιστάσεις. Παραδείγματος χάριν, εάν ακούσουμε την πρόταση ‘ένας μουσικός συνθέτει μουσική’ η ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου παραμένει ή τείνει να παραμείνει σταθερή. Εάν όμως ακούσουμε την πρόταση ‘ένας μουσικός συνθέτει ένα σκυλί’ η δραστηριότητα του εγκεφάλου θα επιδείξει σημαντική αρνητική ηλεκτρική απάντηση αμέσως μετά από τη λέξη ‘σκυλί’.

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος φαίνεται να ανταποκρίνεται ομοίως και στις μουσικές δυσαρμονίες. Τέτοια συμπεριφορά εξαρτάται προφανώς από την κατανόηση της συγκεκριμένης γλώσσας (μουσική γλώσσα) με τη γενική της έννοια. Κάποιοι ενθουσιώδεις πιστεύουν ότι γεννιόμαστε ‘προγραμματισμένοι’ για να είμαστε μουσικοί, υπό την έννοια ότι σχεδόν κανένας δεν έχει πρόβλημα στην εύρεση της συνοχής στις απλές τονικές μελωδίες.

3.4. Ακούμε ή κατανοούμε τη μουσική;

Όλοι θα συμφωνήσουν πως η μουσική μεταφέρει μηνύματα και αναπτύσσει ιδέες. Ωστόσο, οι περισσότεροι θα θεωρήσουν ότι το μήνυμα είναι η ψυχική διάθεση που μας προκαλεί η μουσική, ενώ άλλοι θα αναζητήσουν το νόημα της στους μελοποιημένους στίχους. Η μουσική όμως, δεν ερμηνεύεται με στοιχεία εξωμουσικά και υποκειμενικά, όπως είναι το συναίσθημα, η ψυχική διάθεση και το ποιητικό κείμενο. Αν μας ζητηθεί να μεταφέρουμε σε κάποιον τρίτο τη συνομιλία μεταξύ δύο ανθρώπων και να αποδώσουμε το νόημα της, δε θα περιγράψουμε ασφαλώς την εικόνα των δύο προσώπων, τα ρούχα τους, τις κινήσεις και τη συμπεριφορά τους, ούτε θα αναφέρουμε την εντύπωση που μας προκάλεσαν. Είναι σαφές ότι το νόημα της συνομιλίας θα το αναζητήσουμε στις φράσεις που είπαν και στις σημαντικές λέξεις που υπογράμμισαν. Έτσι λοιπόν, το μήνυμα της μουσικής βρίσκεται μέσα στους ίδιους τους ήχους. Πώς θα κατορθώσουμε να το αντιληφθούμε; Με την προσεκτική ακρόαση και τη γνώση των βασικών στοιχείων του μουσικού λόγου.

3.4.1. Μελωδία

Οι περισσότεροι άνθρωποι λοιπόν, όταν σκέπτονται τη μουσική σκέπτονται τη μελωδία. Για μερικούς ανθρώπους είναι σχεδόν το ίδιο πράγμα – μελωδία ίσον μουσική. Κι έχουν δίκιο από μια άποψη γιατί: τι είναι μουσική εκτός από ήχους που αλλάζουν και κινούνται στο χρόνο; Κι αυτός είναι περίπου ο ορισμός της μελωδίας: μια σειρά από νότες που κινούνται στο χρόνο, η μια μετά την άλλη.

Αν είναι αλήθεια αυτό, τότε είναι αδύνατο να γράψουμε μουσική που να μην περιέχει μελωδία. Δηλαδή, αν μια μελωδία είναι απλώς μια νότα που ακολουθεί την

άλλη, πώς μπορεί ένας συνθέτης να αποφύγει να γράψει μελωδίες ακόμα κι αν γράφει απλώς χωριστές νότες; Πρέπει να γράφει συνεχώς μελωδίες.

- Γράφει μια νότα:

- μετά γράφει μία άλλη:

- και έχει κιόλας μια μικρή μελωδία από δύο νότες.

- Αυτή είναι μια μελωδία. Αν προσθέσουμε μια τρίτη νότα:

- αρχίζει να ακούγεται πιο μελωδικό, και αν προσθέσουμε ακόμα:

- έχουμε το 'Γαμήλιο Εμβατήριο' του Μέντελσον:

Όπου υπάρχει λοιπόν μουσική, υπάρχει και μελωδία. Δεν μπορούμε να έχουμε τη μία χωρίς την άλλη. Τότε γιατί οι άνθρωποι παραπονιούνται ότι υπάρχει μουσική που δεν έχει μελωδία; Μερικοί λένε πως δεν τους αρέσουν οι φούγκες του Μπαχ γιατί δεν τις βρίσκουν μελωδικές. Κι άλλοι λένε το ίδιο για τις όπερες του Βάγκνερ, κι άλλοι για τη σύγχρονη μουσική κι άλλοι για την Τζαζ. Τι εννοούν όμως; Κάθε σειρά από νότες δεν είναι μελωδία;

Η απάντηση έγκειται στο γεγονός ότι η μελωδία μπορεί να είναι πολλά διαφορετικά πράγματα: μπορεί να είναι σκοπός ή θέμα ή μοτίβο ή μακριά μελωδική γραμμή ή γραμμή μπάσων ή μια εσωτερική φωνή ή όλα αυτά μαζί. Μόλις καταλάβουμε όλα αυτά τότε μπορούμε να καταλάβουμε και όλο το πρόβλημα. Τότε συνειδητοποιούμε το τι ακούμε και τι ακριβώς κατανοούμε.

3.4.2. Μοτίβο – Πρωταρχικό Δομικό Στοιχείο της Μουσικής

Σχεδόν όλη η μουσική βασίζεται στην διεύρυνση και ανάπτυξη μιας μικρής ομάδας από φθόγγους που λέγεται **μοτίβο**. Το **μοτίβο** είναι ένα μικρό **μελωδικό ή αρμονικό ή ρυθμικό απόσπασμα-σχήμα (scheme – motive)** από το οποίο αναπτύσσεται το θέμα, η μελωδία ή ολόκληρη η σύνθεση. Τα παραδείγματα που ακολουθούν παρουσιάζουν μερικές από τις χρήσεις του μοτίβου.

1. Ένα υπόδειγμα από 4 φθόγγους είναι το κυρίαρχο μοτίβο του πρώτου μέρους της Συμφωνίας αρ.5 του Beethoven. Στοιχείο χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου μέρους που εμφανίζεται σε διάφορες βαθμίδες της κλίμακας, με αντίθετη κίνηση και σε μίμηση. Εμφανίζεται επίσης ως κυρίαρχο ρυθμικό σχήμα στο τρίτο και τέταρτο μέρος της συμφωνίας.

2. Το μοτίβο μπορεί να επιμηκύνεται με επανάληψη στην ίδια βαθμίδα της κλίμακας
α) Δύο ομάδες δεκάτων έκτων (ρυθμική διάρκεια) ακολουθούνται από ακριβή επανάληψη.

β) Στο απόσπασμα που ακολουθεί ο Respighi επαναλαμβάνει ένα μοτίβο που διαρκεί ένα μέτρο τρεις φορές.

γ) Μοτίβο διάρκειας ενός μέτρου επαναλαμβάνεται και ακολουθείται από νέο υλικό για να συμπληρώσει το θέμα

3. Το μοτίβο επιμηκύνεται συχνά από επανάληψη σε διαφορετικές βαθμίδες της κλίμακας. Αυτό το είδος επανάληψης ονομάζεται **αλυσίδα** και μπορεί να είναι ακριβής ή ελαφρά τροποποιημένη επανάληψη στη μελωδία, στο ρυθμό ή στην αρμονία, σε ένα από αυτά ή και σε όλα μαζί.

α) Στο παρακάτω παράδειγμα το δεύτερο μέτρο είναι μελωδική και ρυθμική αλυσίδα του πρώτου μέτρου. Στο τρίτο μέτρο εμφανίζεται ένα καινούργιο μοτίβο που ακολουθείται από ρυθμική αλυσίδα και τελειώνει στα τέσσερα μέτρα. Στη δεύτερη αλυσίδα οι ίδιοι φθόγγοι εμφανίζονται με διαφορετική σειρά.

β) Μοτίβο δύο μέτρων που δίνει αναλυμένη τη συγχορδία της ΝΤΟ Μείζονας, ακολουθείται σε αλυσίδα με αντίθετη κίνηση από τη συγχορδία της ΣΟΛ Μείζονας μεθ' εβδόμης.

Το μοτίβο μπορεί να αναπτύσσεται και να διευρύνεται με πάρα πολλούς τρόπους. Τα παραδείγματα που προαναφέραμε δείχνουν ότι η ενότητα στη μουσική μπορεί να επιτευχθεί με ακριβείς επαναλήψεις του μοτίβου ή χρήση αλυσίδας και η ποικιλία επιτυγχάνεται με συγκεκριμένες μελωδικές-ρυθμικές ή αρμονικές τροποποιήσεις στο μοτίβο ή τη χρήση νέου μουσικού υλικού. Η ισορροπία στη δομή, τόσο απαραίτητη στη μουσική, πραγματοποιείται από την **επανάληψη** (ενότητα) και την **αντίθεση του υλικού** (ποικιλία). Αυτές είναι οι κύριες αρχές στη φόρμα και στη δομή της μουσικής.

3.4.3. Αρμονία

Χωρίς να θέλουμε να ασχοληθούμε με την ακουστική θεωρία, όπως αναφέραμε και παραπάνω σε σχετική ενότητα, θεωρούμε ωστόσο χρήσιμο να σημειώσουμε ότι η νεότερη αρμονία βασίζεται σχεδόν εξ ολοκλήρου στη φυσική αντήχηση ενός ηχογόνου σώματος. Πραγματικά, όταν θέτει κανένας σε παλμική κίνηση έναν 'βαρύ' φθόγγο για παράδειγμα, ακούγονται και άλλοι φθόγγοι πιο ασθενείς που ονομάζονται υποπολλαπλάσιοι ή αρμονικοί. Παρακάτω στις δύο φιγούρες εμφανίζεται αρχικά η νότα

που πρόκειται να ταλαντευθεί ή μουσικά να παιχτεί και στα δεξιά εμφανίζονται κατά σειρά προτεραιότητας οι φθόγγοι που πρόκειται να ακουστούν, κάποιοι αρκετά δυνατά κάποιοι άλλοι λιγότερο, μαζί βέβαια με την αρχική νότα.

Άρα, αυτή η αντήχηση περιλαμβάνει όλη τη φυσική αρμονία. Υπάρχει λόγος να σημειώσουμε ότι η συγχορδία που δόθηκε παραπάνω, από την αντήχηση του ηχογόνου σώματος τοποθετήθηκε επί της δεσπόζουσας και ότι αυτή μόνο είναι η λύση αυτής της συγχορδίας, η οποία γεννά τη συγχορδία της τονικής.

Από αυτό μπορεί να κανείς να συμπεράνει ότι η πιο ενδιαφέρουσα και κατά συνέπεια σημαντική βαθμίδα της κλίμακας είναι η δεσπόζουσα, και όχι άμεσα η τονική, αν και αυτή δίνει το όνομά της στην τονικότητα λόγου του καταληκτικού της χαρακτήρα.

Η αρμονία λοιπόν είναι μια επιστήμη ολωσδιόλου καινούρια, γιατί από την αρχαιότητα γνωρίζουμε μόνο τη μελωδία και το ρυθμό.

Η Αρμονία μπορεί να προσδιοριστεί ως η τέχνη του συνδυασμού και της σύνθεσης των σύγχρονων φθόγγων (Ντυμπούα).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. Τεχνητή Νοημοσύνη και Μουσική Αντίληψη

4.1. Αρχές Αντίληψης Gestalt

Πώς καταλαβαίνουμε τι ακούμε; Πώς κατανοούμε αυτό που ακούμε **ως μουσική**; Ένα από τα εμφανέστερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του κομματιού είναι ότι έχει μια μελωδία - κατά κάποιον τρόπο είναι μια μελωδία. Φαίνεται να υπάρχει ως μια διαδοχή από διακριτές χροιές (τονικά ύψη - pitch) που μεταβάλλονται με βάση το χρόνο, ακούγεται όμως ως μια οντότητα. Το γεγονός ότι μια μελωδία μπορεί να ακουστεί ως μεταβαλλόμενο τονικό ύψος (pitch) -χροιά- που κινείται χρονικά συνεχώς και έρχεται με αυτόν τον τρόπο αντιμέτωπη με τον ακροατή, δηλαδή ως μια ακολουθία, είναι κάτι που έχει μπερδέψει αρκετά τους φιλοσόφους για αιώνες.

Η '**κατανόηση**' λοιπόν ενός μουσικού έργου προϋποθέτει, σε ένα πρώτο επίπεδο, την ικανότητα (συνειδητή ή ασυνειδητή) ενός ακροατή να το ανάγει σε **στοιχειώδη μέρη** και να κάνει συσχετισμούς μεταξύ αυτών των επιμέρους μουσικών υπομονάδων. Η οργάνωση της μουσικής επιφάνειας, όσον αφορά συστατικά της μέρη και σχέσεις μεταξύ τους, αποτελεί την μουσική δομή ενός έργου. Η μουσική ανάλυση έχει στόχο της τον καθορισμό της μουσικής δομής, ακολουθώντας συχνά προσεγγίσεις που προέρχονται από το χώρο της μουσικής αντίληψης και της γνωστικής ψυχολογίας.

Υπολογιστικές μεθοδολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη πολλών μουσικών φαινομένων. Ίσως το πιο ενδιαφέρον στοιχείο που παρουσιάζει η εισαγωγή και χρήση υπολογιστικών μοντέλων στο χώρο της μουσικολογίας είναι ότι τέτοιες μέθοδοι υποχρεώνουν τον ερευνητή να διατυπώσει με απόλυτα συστηματικό τρόπο μουσικές θεωρίες οι οποίες στην συνέχεια μπορούν να διερευνηθούν με τη χρήση υπολογιστών. Ο κύριος στόχος δημιουργίας υπολογιστικών μοντέλων δεν είναι τόσο να δοθούν λύσεις σε μουσικά προβλήματα αλλά πολύ περισσότερο να οδηγήσουν σε μια λεπτομερέστερη και πιο συστηματική εξέταση και κατανόηση των μουσικών φαινομένων.

Σε πιο πρακτικό επίπεδο, η διατύπωση υπολογιστικών μουσικών θεωριών, κυρίως σε σχέση με την περιγραφή της μουσικής δομής, είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη '**ευφρέστερου**' μουσικού λογισμικού. Αν θέλει κανείς ένα μουσικό πρόγραμμα να ανταποκρίνεται με '**μουσικό**' τρόπο σε ένα μουσικό χρήστη, τότε θα πρέπει και ο υπολογιστής να '**αντιλαμβάνεται**' όσο το δυνατό περισσότερα δομικά στοιχεία. Υπολογιστικά μοντέλα διάφορων μουσικών διεργασιών είναι αναγκαία για την ανάπτυξη εξελιγμένων μουσικών συστημάτων, π.χ. για λογισμικό μουσικής σημειογραφίας, εκπαιδευτικών προγραμμάτων, διαδραστικών συστημάτων για μουσικές παραστάσεις, συστημάτων αποθήκευσης και εξόρυξης πληροφοριών από βάσεις μουσικών δεδομένων, προγραμμάτων που επιχειρούν να εκτελέσουν μουσική εκφραστικά, συστημάτων που διευκολύνουν την μουσική δημιουργία για άτομα με ειδικές κινησιακές ανάγκες κ.ο.κ.

Στην πορεία αυτής της διδακτορικής διατριβής θα παρουσιαστούν μια σειρά από υπολογιστικά πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί, τα οποία είναι κατάλληλα για τη δομική ανάλυση μιας μελωδικής επιφάνειας. Υποθέτοντας ότι μία μελωδία αναπαρίσταται, σ' ένα πρώτο επίπεδο, ως μία στοιχειώδη αλληλουχία μεμονωμένων μουσικών φθόγγων, τα προτεινόμενα υπολογιστικά πρότυπα επιχειρούν να δώσουν απαντήσεις στα εξής ερωτήματα:

- Με ποιο τρόπο γίνεται να προσδιοριστούν τοπικά όρια τα οποία να επιτρέπουν τον τεμαχισμό μιας μελωδικής επιφάνειας σε στοιχειώδη μέρη;
- Πώς μπορεί να οριστεί η μετρική δομή μιας μελωδίας;
- Πώς μπορούν να ξεχωριστούν και να επιλεγούν σημαντικά μελωδικά σχήματα (μοτίβα);
- Πώς επηρεάζει η μουσική 'Ομοιότητα' τον τεμαχισμό μιας μελωδίας;
- Με ποιον τρόπο μπορούν να οργανωθούν στοιχειώδη μελωδικά τμήματα σε κατηγορίες όπως μοτίβα, θέματα κλπ;

Μια απάντηση έχει δοθεί από τους **ψυχολόγους – Gestalt** (Αρχές Αντίληψης Gestalt). Οι **αρχές αντίληψης Gestalt** είναι ένα σύνολο από πρακτικούς κανόνες που καταγράφουν διάφορους προτιμητέους τρόπους οργάνωσης στοιχειωδών αντιληπτικών ερεθισμάτων σε ευρύτερες ομάδες (κυρίως οπτικών ερεθισμάτων).

Οι **Αρχές Αντίληψης Gestalt** όπως παρουσιάζονται και στο σχήμα είναι:

- Αρχή Εγγύτητας** (Proximity / Contiguity)
- Αρχή Ομοιότητας** (Similarity)
- Αρχή Συμμετρίας** (Symmetry)
- Αρχή Καλής Συνέχειας** (Closure / Good Continuation)
- Αρχή Ταυτοσημίας-Αλλαγής ή Κοινής Πορείας** (Common Fate)

Στο παρακάτω σχήμα έχουμε τοποθετήσει **τυχαίες** κουκίδες στο χώρο και καθώς το παρατηρούμε δεν μπορούμε να βγάλουμε ένα οπτικό συμπέρασμα. Και αυτό γιατί οι κουκίδες είναι τυχαίες, δεν ικανοποιούν καμία συνθήκη Gestalt.

Στο αμέσως επόμενο σχήμα όμως που ικανοποιούνται κάποιες από τις αρχές Αντίληψης Gestalt παρατηρούμε ότι εμφανίζεται κάποια μορφή και ας είναι πάλι τυχαίες κουκίδες επιλεγμένες από το αρχικό σχήμα.

Προφανώς εδώ ικανοποιούνται οι αρχές αντίληψης **α)** εγγύτητας, **β)** ομοιότητας, **γ)** συμμετρίας και **δ)** καλής συνέχειας.

Δύο απ' τις πιο θεμελιώδεις αρχές που έχουν άμεση σχέση με τη μουσική, αναφέρουν ότι αντικείμενα που βρίσκονται πλησιέστερα το ένα στο άλλο (αρχή **Εγγύτητας**) ή είναι πιο όμοια μεταξύ τους (αρχή **Ομοιότητας**) τείνουν να γίνουν αντιληπτά ως μέλη της ίδιας ομάδας. Αυτές οι αρχές έχουν αποτελέσει το υπόβαθρο για την ανάπτυξη σύγχρονων μοντέλων που επιχειρούν να εντοπίσουν τοπικά όρια κατάλληλα για τον τεμαχισμό μελωδιών σε στοιχειώδη τμήματα.

Παρακάτω αναφέρουμε αποσπασματικά μερικά ενδιαφέροντα παραδείγματα σχετικά με τη δομική ανάλυση και τεμαχισμό της σε επιμέρους δομικά στοιχεία (μοτίβο, φράση, περίοδος).

Παράδειγμα 1^ο :

Το μοντέλο προσδιορισμού τοπικών ορίων των Lerdahl and Jackendoff (1983) προτείνει ένα σύνολο πρακτικών κανόνων, οι οποίοι εντοπίζουν τα πιο πιθανά σημεία τεμαχισμού μιας μελωδικής επιφάνειας. Αυτοί οι κανόνες, είτε ισχύουν είτε όχι (δεν έχουν διαβαθμίσεις), και γενικώς εντοπίζουν τοπικά μέγιστα για διάφορες μουσικές παραμέτρους. (Παράδειγμα 1α)

Για παράδειγμα:

GPR2b: Ένα χρονικό διάστημα μεταξύ δύο μουσικών φθόγγων μπορεί να εκληφθεί ως τοπικό όριο, εάν είναι μεγαλύτερο από το προηγούμενο και το επόμενο χρονικό διάστημα.

GPR3a: Ένα μελωδικό διάστημα μπορεί να εκληφθεί ως τοπικό όριο, εάν είναι μεγαλύτερο από το προηγούμενο και το επόμενο μελωδικό διάστημα.

GPR3d: Σε μία διαδοχή τεσσάρων φθόγγων, τοπικό όριο μπορεί να γίνει αντιληπτό μεταξύ των δύο μεσαίων φθόγγων, εάν οι δύο πρώτοι και οι δύο τελευταίοι φθόγγοι έχουν ίδιες χρονικές διάρκειες και οι δύο μεσαίοι διαφορετικές.

Ένας επιπρόσθετος *ενισχυτικός* κανόνας ορίζει ότι, αν περισσότεροι του ενός κανόνες τοπικών ορίων ισχύουν για το ίδιο σημείο, τότε το συγκεκριμένο όριο θεωρείται ως πιο ισχυρό. Η εφαρμογή των ανωτέρω τριών κανόνων παρουσιάζεται στο Παράδειγμα 1α. Αυτό το πρότυπο έχει αποτελέσει βάση για πληθώρα υπολογιστικών εφαρμογών και επίσης εμπειρικές μελέτες έχουν πιστοποιήσει την εγκυρότητα του (Deliege 1987).

Παράδειγμα 2^ο :

Το μοντέλο των Tenney and Polanski (1980) στο οποίο οι αρχές **Εγγύτητας και Ομοιότητας** ερμηνεύονται ως διαφορετικές εκφάνσεις του ίδιου φαινομένου: ένα τοπικό μέγιστο στις αποστάσεις μεταξύ διαδοχικών μουσικών φθόγγων για οποιαδήποτε μουσική παράμετρο (π.χ. τονικά ύψη και διάρκειες). Μία μελωδία αναπαρίσταται ως μια σειρά μελωδικών διαστημάτων (σε ημιτόνια) και ως μια σειρά χρονικών διαστημάτων ανάμεσα στις αρχές διαδοχικών φθόγγων (σε πολλαπλάσια μιας ελάχιστης μονάδας χρονικής διάρκειας, π.χ. αξία δεκάτου έκτου). Στη συνέχεια, οι αντίστοιχοι αριθμοί των δύο σειρών αθροίζονται ανά δύο (π.χ. ο πρώτος αριθμός στην σειρά του Παραδείγματος 1β είναι το άθροισμα 4 ημιτονίων και 4 δέκατων έκτων) και τα τοπικά μέγιστα στην τελική σειρά εκλαμβάνονται ως τα πιο πιθανά σημεία που ορίζουν τοπικά μελωδικά όρια (Παράδειγμα 1β)

Παράδειγμα 3^ο :

Το μοντέλο **LBDM** (Local Boundary Detection Model) βασίζεται σε δύο κανόνες: τον κανόνα **Ταυτοσημίας-Αλλαγής** και τον κανόνα **Εγγύτητας**. Ο κανόνας Ταυτοσημίας-

Αλλαγής είναι πιο στοιχειώδης από τις αρχές ‘**Gestalt**’, καθώς μπορεί να εφαρμοστεί για δύο μόνο αντικείμενα (τα οποία είναι ταυτόσημα ή όχι), ενώ οι κανόνες Εγγύτητας και Ομοιότητας απαιτούν τουλάχιστον τρία αντικείμενα (δύο εκ των οποίων είναι πιο κοντά ή πιο όμοια σε σχέση με το τρίτο).

Ο όρος διάστημα σημαίνει, σε αυτό το κείμενο, την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών αντικειμένων ως προς κάποια παράμετρο (π. χ. μελωδικό διάστημα, χρονικό διάστημα κ.ο.κ). (Παράδειγμα 1γ)

Κανόνας Ταυτοσημίας-Αλλαγής: Ένα όριο μπορεί να εισαχθεί, εάν δύο διαδοχικά διαστήματα είναι διαφορετικά. Αν δύο διαστήματα είναι ίδια κανένα όριο δεν εισάγεται.

Κανόνας Εγγύτητας: Αν δύο διαδοχικά διαστήματα είναι διαφορετικά, τότε το εισαγόμενο όριο κατά προτίμηση τοποθετείται στο μεγαλύτερο διάστημα.

L&J 3d 3a 3d 3d 3a 3d 3d 2b 3d 2b 3d 3d 3d 3d 3d 3d 3d 2b ...
 T&P 8 3 4 11 9 4 4 13 11 4 3 5 8 2 2 6 4 4 4 6 4 3 4 5 3 3 4 5 3 3 9 ...
 LDBM 26 17 22 52 43 22 26 61 52 22 9 35 100 17 9 35 9 9 22 17 9 9 22 17 9 9 22 17 9 22 39 ...

Παράδειγμα 1.

Τρία πρότυπα καθορισμού τοπικών ορίων εφαρμοζόμενα σε μία μελωδία από το *Valse, Op. 18* του Chopin. α) Μοντέλο των **Lerdahl and Jackendoff** [86] (χρησιμοποιούνται οι τρεις κανόνες που παρουσιάζονται στο κείμενο), β) Μοντέλο των **Tenney and Polanski**, και γ) Μοντέλο **LDBM**. Οι υπογραμμισμένες αξίες υποδεικνύουν πιθανά τοπικά μελωδικά όρια.

Πρόσφατα, ο Al Bregman στον Καναδά (1990) έχει αναπτύξει μια θεωρία στην οποία προτείνει ότι οι παραπάνω αρχές που αναφέραμε δίνουν μεν μία κάποια λύση, χωρίς όμως λογική εξήγηση ή πιο απλά αποτελούν εικασίες που υιοθετούμε προκειμένου να μπορέσουμε να αναλύσουμε ή έστω να καταλάβουμε το ακουστικό μας περιβάλλον. Αναφέρεται στις διαδικασίες της κατανόησης του ηχητικού μας κόσμου με τη λογική της ακουστικής ανάλυσης και όχι ως μια μη συνειδητή διαδικασία της μορφής ‘τι είναι αυτό που κάνει τόσο θόρυβο’. Οι ακουστικές περιοχές (Auditory Scene Analysis Principles) λειτουργούν ως σήματα ήχου, υιοθετώντας τις αρχές που επιτρέπουν τη διεξαγωγή των έγκυρων συμπερασμάτων για την ύπαρξη και το χαρακτήρα των ηχητικών πηγών στον πραγματικό κόσμο, αρχές που σπάνια (ίσως και ποτέ) παραβιάζονται στη φύση και είναι ιδιαίτερα γενικευμένες.

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε μερικές από τις ‘**Αρχές Αντίληψης Gestalt**’ όπως είναι: η αρχή της εγγύτητας (**law of proximity**), η αρχή της ομοιότητας (**law of similarity**) και η αρχή της ομαλής-καλής συνέχειας (**law of good continuation**) που θα χρησιμοποιηθούν ευρέως για την αντίληψη ενός μουσικού κειμένου.

4.1.1. Ακούγοντας μια Μελωδική Γραμμή

Εάν ένας ήχος φθάσει στα αυτιά ενός ακροατή και είναι ελαφρώς λιγότερο έντονος στο αριστερό αυτί απ’ ό,τι είναι στο δεξί, μπορεί αμέσως να συμπεράνει ότι η πηγή του ήχου - το αντικείμενο που δημιουργεί το θόρυβο - είναι στο δεξιό μέρος. Εάν ο ήχος έχει μια ιδιαίτερη χροιά (pitch), πιθανώς θα συμπεράνει ο ακροατής ότι οποιοιδήποτε άλλοι ήχοι δημιουργούνται από τη συγκεκριμένη πηγή έχουν παρόμοια χροιά με τον πρώτο ήχο, καθώς επίσης είναι παρόμοιοι στην ένταση, στην κυματομορφή, κ.λπ., και επίσης θα συμπεράνει ότι οποιοιδήποτε ήχοι παρόμοιοι με τον πρώτο είναι πιθανό να προέλθουν από το ίδιο μέρος.

Από αυτούς τους τύπους συμπερασμάτων, δηλαδή των νόμων της ομοιότητας, της εγγύτητας και της καλής συνέχειας προκύπτει ότι οι αρχές ακουστικής ανάλυσης και αντίληψης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξηγήσουν γιατί αισθανόμαστε και καταλαβαίνουμε μια ακολουθία τονικών υψών (pitches) στην ‘*EL Noy de La Mare*’ ως μια **μελωδία**, δηλαδή τονικά ύψη χρονικά μεταβαλλόμενα. Τα διαδοχικά τονικά ύψη σε αυτήν τη μελωδία είναι πολύ κοντά το ένα στο άλλο (τονικό διάστημα), έτσι στην ακρόαση του δεύτερου τονικού ύψους ένας ακροατής θα ενεργοποιήσει τους ακουστικούς μηχανισμούς με αποτέλεσμα να συμπεράνει ότι η πηγή από την οποία προέρχεται το δεύτερο κατά σειρά τονικό ύψος προέρχεται από την ίδια πηγή που προήλθε και το πρώτο.

Εάν η απόσταση μεταξύ των τονικών υψών (pitch) ήταν μεγάλη, θα συμπεραίναμε ότι υπήρξε μια δεύτερη πηγή, ακόμη και αν γνωρίζαμε ότι είναι το ίδιο όργανο που παράγει αυτόν τον ήχο. Αυτήν την πηγή που προκύπτει θα την θεωρούσαμε ως **μια εικονική**, παρά ως μια **πραγματική** πηγή.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ένα ‘δείγμα-μουσικό μοτίβο’ (pattern), όπου οι διαδοχικές νότες (notes) χωρίζονται από μεγάλα πηδήματα τονικών διαστημάτων (pitch jump), ενώ διαδοχικές νότες εναλλάσσονται με μικρά τονικά διαστήματα. Αυτό το γεγονός έχει ως αποτέλεσμα να ακούγονται πιθανώς ως δύο χωριστές και ταυτόχρονες μελωδίες παρά ως μια μελωδία με πηδήματα από νότα σε νότα.

Αυτή η τάση να το ομαδοποιήσει και να το κάνει γραμμικό, δηλαδή νότες που μεταβάλλονται χρονικά και χωρικά μεταξύ τους μας δίνει την εντύπωση ότι ακούμε μια μελωδία με κάποιο **σχήμα-μορφή**, δηλαδή τονικά ύψη χρονικά μεταβαλλόμενα που κινούνται εγκαίρως και που προέρχονται από μια ενιαία- πραγματική ή εικονική - πηγή.

Πολλές διαφορετικές μουσικές ανά το κόσμο εκμεταλλεύονται αυτές τις ακουστικές διαδικασίες ανάλυσης μοτίβων (Auditory Scene Analysis Processes). Ο J.S. Bach τις χρησιμοποίησε για να δημιουργήσει συχνά την εντύπωση της ένωσης μελωδιών, φαινομενικά ταυτόχρονης, ακόμα κι αν παρουσιάζεται στην ουσία μία συνεχής ροή νοτών.

Παραδείγματος χάριν, το σχέδιο που δίνεται στο παρακάτω σχήμα (από το ‘Courant’ της πρώτης σουίτας για βιολοντσέλα του Bach) μπορεί να εκτελεσθεί στην κιθάρα ως μια συνεχής ροή νοτών. Το αποτέλεσμα είναι ότι θα ακουστούν τουλάχιστον δύο ταυτόχρονα μοτιβικά θέματα (pitch pattern) ή έστω δύο διαφορετικές συνεχείς ροές

νοτών- τονικών υψών (pitch streams). Δύο ακουστικά ρεύματα θα διαχωριστούν (για να χρησιμοποιήσουμε και την ορολογία Bergman).

Εντούτοις, αυτή η διαδικασία του διαχωρισμού των μουσικών ρευμάτων (pitch streams) μπορεί να αντιστραφεί, δηλαδή τα μουσικά ρεύματα αντί να διαχωριστούν μπορούν και να ενοποιηθούν.

Ένα τέτοιο παράδειγμα αναφέρεται παρακάτω (αναλύσεις κατά Bergman) το οποίο παρουσιάζει το ταυτόχρονο παίξιμο δύο ξυλοφώνων (xylophones). Συγκεκριμένα, κάθε ξυλόφωνο εκτελεί μία ευπροσδιόριστη μελωδία (από δω και στο εξής θα χρησιμοποιούμε το μουσικό όρο 'μελωδία' αντί του επιστημονικού όρου 'συνεχής ροή μεταβαλλόμενων χρονικά τονικών υψών), αλλά στην πραγματικότητα οι μελωδίες παρεμβάλλονται μεταξύ τους με αποτέλεσμα να προκύπτει μία χαρακτηριστική μελωδική μορφή από την αλληλεπίδραση και των δύο αυτών μελωδιών.

Στο γράφημα (a) παρουσιάζεται το διαδοχικό παίξιμο των κλειδιών των δύο ξυλοφώνων σε ξεχωριστό μουσικό πληκτρολόγιο (keyboard), ενώ στα γραφήματα (b) και (c) παρουσιάζονται τα διαδοχικά τονικά μεταβαλλόμενα ύψη (pitch patterns) σε κάθε ένα χωριστά.

Το αναμενόμενο αποτέλεσμα είναι ότι ο ακροατής θα ακούσει το σχέδιο που παρουσιάζεται στο γράφημα **(d)**, εντούτοις, είναι πιθανότερο ο ακροατής να ακούσει κάτι παρόμοιο με αυτό που παρουσιάζεται στο γράφημα **(e)**. Το σχέδιο αυτό προκύπτει λόγω της **αρχής της εγγύτητας** (ομαδοποίηση δηλαδή των διπλανών νοτών με βάση τα τονικά ύψη), καθώς είναι σχεδόν αδύνατο να ακουστούν το καθένα ξεχωριστά, τα δύο αυτά μέρη όταν παίζονται μαζί.

Όλες αυτές οι διαδικασίες ακουστικής ανάλυσης που αναφέραμε παραπάνω μπορούν να βοηθήσουν στην εξήγηση μιας σημαντικής πτυχής της εμπειρίας και της αντίληψης, μιας συνδεδεμένης γραμμής από διαδοχικά τονικά και χρονικά μεταβαλλόμενα ύψη, δηλαδή ενός μουσικού κειμένου. Ο ακροατής όμως δεν ακούει μόνο τον αριθμό των διαδοχικών νοτών ή το περίγραμμα κάποιου μουσικού κειμένου, ακούει μια μορφή που πολλές φορές γίνεται προβλέψιμη με βάση το χρονικό πλαίσιο ενός μουσικού κομματιού.

Για παράδειγμα, ο ακροατής μπορεί κατά την ακρόαση του μουσικού κομματιού να θεωρήσει ως σημαντικές κάποιες συγκεκριμένες νότες της μελωδίας ή να συνειδητοποιήσει κάποιες ενδεχομένως επαναλήψεις κάποιων σχημάτων μέσα στη μελωδία. Ποιες είναι οι αρχές όμως που κατευθύνουν αυτές τις ικανότητές μας να αισθανόμαστε με διαφορετικούς τρόπους το μουσικό χρόνο;

4.1.2. Ακούγοντας ένα κομμάτι ως χρονικά προβλέψιμη δομή.

Μια απάντηση για το αν μπορούμε να προβλέψουμε τη δομή ενός μουσικού κομματιού δίνεται με βάση τη θεωρία της ‘Mari Riess Jones’, η θεωρία της ‘**δυναμικής παρακολούθησης**’ (Dynamic Attending, Jones 1992). Η συγκεκριμένη θεωρία προτείνει ότι, όταν ένας ακροατής ακούει ένα μουσικό κομμάτι, αμέσως και αυτόματα προσπαθεί να συμπεράνει **πότε** τα γεγονότα του συγκεκριμένου κομματιού πρόκειται να εμφανιστούν ξανά εγκαίρως. Αυτό γίνεται παραδόξως για να ελαττωθεί το σημασιολογικό φορτίο στους γνωστικούς πόρους του εγκεφάλου προκειμένου να κατανοηθεί το κομμάτι, για να μειώσει το ποσό προσπάθειας που πρέπει να χρησιμοποιηθεί κατά την ακρόαση του.

Σύμφωνα με τη θεωρία της δυναμικής παρακολούθησης, ένας ακροατής θα χρησιμοποιήσει τα δομικά στοιχεία που ενσωματώνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα στο κομμάτι για να οργανώσει έτσι ένα κανονικό πλαίσιο των χρονικών διαστημάτων που θα επιτρέψει καλύτερα την πρόβλεψη μελλοντικών τέτοιων γεγονότων στο κομμάτι που είναι πιθανό να εμφανιστούν, αναθεωρώντας βέβαια συνεχώς τις υποθέσεις για ένα αντίστοιχα κατάλληλο χρονικό πλαίσιο καθώς το κομμάτι εκτυλίσσεται χρονικά.

Σε πολύ βασικό επίπεδο, όταν ακούγονται τα πρώτα δύο γεγονότα ενός κομματιού, το χρονικό διάστημα μεταξύ αυτών των γεγονότων χρησιμοποιείται για να προβλέψει το επόμενο γεγονός που πρόκειται να εμφανιστεί.

Έτσι, στην ακρόαση των πρώτων δύο γεγονότων (ως γεγονός θεωρούμε τις νότες) του μουσικού κομματιού ‘*EL Noy de La Mare*’, ένας ακροατής θα προέβλεπε ότι το επόμενο γεγονός θα εμφανιστεί αμέσως μετά από τη δεύτερη νότα με ίση χρονική απόσταση όση ήταν η απόσταση της δεύτερης από την πρώτη.

Στην πραγματικότητα, αυτό δεν συμβαίνει, το τρίτο γεγονός έρχεται χρονικά κατά το ήμισυ σε σχέση με το ζευγάρι της δεύτερης με την πρώτη νότα. Έτσι η αρχική υπόθεση γίνεται κάπως προσωρινή, αλλά με την εμφάνιση του επόμενου γεγονότος ισχυροποιείται - το τέταρτο γεγονός του κομματιού εμφανίζεται σε απόσταση τόση όση είναι η δεύτερη νότα από την πρώτη.

Πράγματι, το τρίτο γεγονός που η απόσταση του είναι η μισή σε σχέση με των δευτέρων και τέταρτων γεγονότων, οριοθετείται ως το μικρότερο χρονικό μοτίβο σε αυτό το πλαίσιο που υποδιαιρεί την αρχική εικασία. Δεδομένου ότι το 'EL Noy de La Mare' εκτυλίσσεται χρονικά, υπάρχουν πολύ λίγα στοιχεία που συγκρούονται με την αρχική υπόθεση για το κατάλληλο χρονικό μοτίβο (επαναλαμβανόμενο χρονικό διάστημα) που υιοθετείται για την οργάνωση του χρονικού πλαισίου μας και την αρχική εκτίμηση ενός κατάλληλου 'beat' για το κομμάτι.

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε τη ρυθμική, μετρική και μοτιβική ανάλυση του συγκεκριμένου κομματιού.

Η δημιουργία ενός χρονικού πλαισίου εξαρτάται μερικώς από την παραμονή κάποιων γεγονότων ή τη ριζική αλλαγή αυτών. Εξαρτάται επίσης από την ακριβή ρυθμική δομή, δηλαδή το ακριβές σχέδιο των χρονικών διαστημάτων μεταξύ των αρχικών νοτών, αν επαναλαμβάνεται ή όχι. Αυτό μπορεί να φανεί και στο 'EL Noy de La Mare', όπου ένα συγκεκριμένο ρυθμικό σχέδιο επαναλαμβάνεται συνεχώς. Αυτό παρέχει στον ακροατή μια πρώτη εκτίμηση ενός υψηλού επιπέδου χρονοδιαγράμματος - χρονικού πλαισίου, ή αλλιώς 'μετρικού πλαισίου'. Στην πραγματικότητα, σε όλο το υπόλοιπο μέρος του κομματιού, η ρυθμική και μετρική δομή που οργανώνεται στα πρώτα μέτρα παραμένει πλήρως εφαρμόσιμη και για τα επόμενα από τη στιγμή που κανένα γεγονός δεν εμφανίζεται να έρχεται σε σύγκρουση με τα προηγούμενα γεγονότα έτσι ώστε να οδηγήσει έναν ακροατή στην αναθεώρηση της υπόθεσής του για έναν κατάλληλο και συγκεκριμένο **ρυθμό** (beat) και **μέτρο**.

Το συγκεκριμένο λοιπόν κομμάτι άρχισε με μία σύντομη διάρκεια μεταξύ της πρώτης και δεύτερης νότας και με μια πιο μακρόχρονη διάρκεια μεταξύ της δεύτερης και τρίτης διάρκειας. Είναι πιθανό όμως να είχαμε αναθεωρήσει το συμπέρασμα που βγάλαμε παραπάνω, αν είχαμε ξεκινήσει να μετράμε από τη δεύτερη νότα και όχι από την πρώτη. Αυτό έχει να κάνει με μία διαδικασία που καλείται **‘UpBeat’**, δηλαδή εκτός χρόνου, που φανερώνει ότι βασικό δομικό στοιχείο δεν είναι το πρώτο ‘εκτός χρόνου-μέτρου’ γεγονός, αλλά το αμέσως επόμενο το οποίο βέβαια είναι και ‘εντός του χρόνου-μέτρου’.

Όλες αυτές οι διαδικασίες τελικά είναι μη-συνηδητές και γίνονται κατά τρόπο αυτόματο ανεξάρτητα από τη γνώση κάποιων ιδιαίτερων χαρακτηριστικών, όπως το παραπάνω.

4.1.3. Ακούγοντας ένα κομμάτι ως συγχωρδιακές διαδοχές

Έτσι, από όσα αναφέραμε παραπάνω μπορούμε να ακούσουμε μια μελωδία ως γραμμή από τονικά μεταβαλλόμενα ύψη και ως χρονική δομή. Δεν είναι όμως μόνο αυτό...

Παρακάτω έχουμε μια μικρή παραλλαγή του αρχικού κομματιού:

Η παραπάνω παραλλαγή έχει αλλάξει πλέον την ταυτότητα της μελωδίας και έχει παραγάγει ένα αρκετά διαφορετικό κομμάτι. Το στοιχείο που δεν έχει εξεταστεί μέχρι τώρα είναι η **αρμονία**, η επίδραση δηλαδή των νοτών που ηχούν ταυτόχρονα με άλλες νότες. Για να εξηγήσει κανείς την ακρόαση του αρχικού κομματιού, πρέπει να θεωρήσει ποιοι είναι οι παράγοντες που επιτρέπουν σε μερικές νότες να ηχούν καλά όταν παίζονται ταυτόχρονα σε σχέση με άλλες που ηχούν άσχημα (παράτονα).

Είναι επίσης απαραίτητο να εξεταστεί πως αυτοί οι παράγοντες (αρμονία) είναι λειτουργικοί και χρήσιμοι στην ακρόαση αυτού του κομματιού. Μια εξήγηση της αρμονίας που μπορούμε να δώσουμε και που έχει ιστορία περισσότερο από 2.000 έτη είναι ότι βασίζεται στις ιδιότητες της αρμονικής στήλης (Harmonic Series).

Όταν ακούμε μια μουσική νότα, αυτό που φτάνει στα αυτιά μας δεν είναι ένας ήχος μόνο, αλλά ένα άθροισμα πολλών συχνοτήτων που καλούνται αλλιώς και αρμονικές. Για παράδειγμα, εάν παίζουμε σε μία κιθάρα μία χορδή της, θα ακούσουμε λόγω της ταλάντωσης της χορδής έναν ήχο και συγκεκριμένα μία νότα. Αν τώρα παίζουμε πάλι την ίδια χορδή με το άλλο δάχτυλο να πιέζει στα 2/5 του μήκους της θα διαπιστώσουμε ότι ο ήχος που παράγεται και φτάνει στα αυτιά μας δεν είναι ο ίδιος παρότι το μέσο παραγωγής δεν έχει αλλάξει. Συγκεκριμένα ο ήχος αυτός είναι η 5^η

αρμονική της αρχικής νότας. Η διαφορά είναι ότι στη δεύτερη περίπτωση ο ακροατής εστίασε την προσοχή του στην αρμονική συχνότητα της αρχικής νότας που ούτως ή άλλως παράγεται και στην πρώτη περίπτωση, αλλά δεν είναι ακουστικά εμφανής. Αυτό λοιπόν έχει να κάνει με την πολυπλοκότητα του ήχου (complex sound).

Μια απλή εξήγηση για αυτό το φαινόμενο είναι ότι δονείται με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους μια χορδή. Καθένας από αυτούς τους διαφορετικούς τρόπους δόνησης συμβάλλει στην παραγωγή ενός διαφορετικού ήχου, μιας διαφορετικής συχνότητας στο συνολικό άκουσμα της νότας. Όλες αυτές οι συχνότητες που προκαλούνται λόγω της δόνησης συσχετίζονται με έναν καθ' όλα νόμιμο τρόπο η μία με την άλλη. Το βασικό συστατικό των συχνοτήτων που παράγονται λόγω της δόνησης καλείται θεμελιώδης συχνότητα των υψηλότερων αρμονικών.

Αν και όλοι οι ήχοι -όπως είχαμε αναφέρει και στην εισαγωγή- μπορούν να προσδιορισθούν με την εξέταση του πώς μεταβάλλεται η 'ακουστική' πίεση με το χρόνο, είναι συχνά πιο βολικό και πιο κατανοητό να προσδιορίσουμε τους σύνθετους ήχους με ένα διαφορετικό τρόπο ή με μια διαφορετική μέθοδο. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στο **θεώρημα του Fourier**.

Ο Fourier απέδειξε ότι κάθε σύνθετη κυματομορφή (με κάποιες προϋποθέσεις που ονομάζονται **συνθήκες του Dirichlet**), μπορεί να αναλυθεί σε μια σειρά **ημιτονοειδών κυματομορφών με καθορισμένες συχνότητες, πλάτη και φάσεις**. Μια τέτοια ανάλυση ονομάζεται ανάλυση Fourier και κάθε ημιτονοειδής κυματομορφή καλείται συνιστώσα συχνότητας του σύνθετου ήχου ή **αρμονική**.

Ο απλούστερος τύπος σύνθετου ήχου, στον οποίο μπορεί να εφαρμοσθεί η ανάλυση Fourier, είναι ο περιοδικός. Ένας τέτοιος ήχος συντίθεται από ένα πλήθος απλών τόνων που ο καθένας έχει συχνότητα ακέραιο πολλαπλάσιο κάποιας κοινής θεμελιώδους συχνότητας. Επομένως, η θεμελιώδης συνιστώσα έχει την πιο χαμηλή συχνότητα από όλες τις συνιστώσες στο σύνθετο ήχο και μπορεί να λεχθεί ότι σχηματίζει το 'θεμέλιο' για τις άλλες συνιστώσες. **Η θεμελιώδης συνιστώσα έχει συχνότητα ίση με το ρυθμό επανάληψης της σύνθετης κυματομορφής ως συνόλου, αριθμείται ως πρώτη αρμονική** και αμέσως όλες οι άλλες αρμονικές παίρνουν την αντίστοιχη αρίθμησή τους.

Για παράδειγμα, η νότα μέσο ντο (middle C), που παίζεται στο πιάνο, έχει θεμελιώδη συνιστώσα ή πρώτη αρμονική με συχνότητα 261,63 Hz, δεύτερη αρμονική με συχνότητα 523,26 Hz, τρίτη αρμονική με συχνότητα 784,89 Hz κ.λ.π η τάξης αρμονική συχνότητα $n \times 261,63$ Hz.

Στο διπλανό σχήμα έχουμε μια παρουσίαση του πώς μια σύνθετη κυματομορφή (ένα τετραγωνικό κύμα) μπορεί να δομηθεί από μια σειρά ημιτονοειδών συνιστωσών. Το τετραγωνικό κύμα συντίθεται μόνον από περιττούς αρμονικούς (οι 1^{ος}, 2^{ος}, 3^{ος}, 5^{ος}, 7^{ος} και 9^{ος} αρμονικοί φαίνονται αριστερά). Η σειρά δεξιά δείχνει διαδοχικές μεταβολές του ημιτονοειδούς κύματος καθώς προστίθενται μία μία οι συνιστώσες.

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζουμε τις **αρμονικές** ενός σύνθετου τόνου όχι πλέον με τη μορφή συχνότητας, όπως έγινε παραπάνω, αλλά από τη μουσική πλευρά του θέματος.

Όταν οι αρμονικές συχνότητες ηχούν όλες μαζί, τότε το αποτέλεσμα που παράγεται και φτάνει στα αυτιά μας είναι ένας πολύ πλούσιος τόνος που έχει όμως την ίδια χροιά αν ηχούσαν λιγότεροι ή και μόνο ο θεμελιώδης αρμονικός. Στον υποπίνακα (b) για παράδειγμα, βλέπουμε στην πρώτη περίπτωση την ταυτόχρονη ήχηση πολλών αρμονικών και το αποτέλεσμα αυτό καλείται στη μουσική ορολογία συγχορδία, και στη δεύτερη περίπτωση έχουμε μόνο τη θεμελιώδη αρμονική συχνότητα. Το αποτέλεσμα που έχει να κάνει με τη χροιά του ήχου είναι σχεδόν ίδιο. Ακόμα και στην περίπτωση που ακουστούν κάποιες αρμονικές χωρίς τη θεμελιώδη συχνότητα πάλι το ακουστικό αποτέλεσμα έχει την τάση να πλησιάζει στο αρχικό που περιέχει τη θεμελιώδη (υποπίνακας (c)).

Τώρα, ξανακοιτάζοντας την πρώτη συγχορδία του κομματιού μπορεί να φανεί ότι οι μεμονωμένες αρμονικές της νότας φαίνονται να εμφανίζονται μέσα σε μια αρμονική σειρά βασισμένη στη χαμηλότερη νότα της χορδής (υποπίνακας (d)). Αυτή η εξήγηση για το τι σημαίνει αρμονία - οι συγχορδίες δηλαδή είναι 'καλές' όταν εμφανίζονται με μια κατάλληλη αρμονική σειρά - αναφέρεται στη δυτική θεωρία της μουσικής που έχει ιστορία τουλάχιστον 300 χρόνια.

Ο λόγος για το πότε μπορεί μια συγχορδία (συγκεκριμένη και ταυτόχρονη ήχηση νοτών) να είναι ευήκη και πότε όχι, έχει να κάνει με το συντονισμό που είναι μια κατασκευαστική ιδιότητα των περισσότερων δυτικών οργάνων. Ο συντονισμός δεν επιτρέπει την παραγωγή συχνοτήτων που αφορούν αρμονικές ακεραίων αριθμών, αρμονικές που ξεφεύγουν από την βασική σειρά αρμονικών συνιστωσών.

Για παράδειγμα, αν παίζουμε την τελευταία χορδή της κιθάρας ο πέμπτος αρμονικός που θα παραχθεί είναι αρκετά διαφορετικός σε χροιά από την ίδια νότα που μπορεί να παραχθεί παίζοντας την πρώτη χορδή της κιθάρας. Αν ηχήσουν μαζί το αποτέλεσμα δεν είναι και τόσο σύμφωνο. Και αυτό γιατί τα τελευταία 300 χρόνια τα περισσότερα όργανα έχουν συντονιστεί χρησιμοποιώντας ένα σύστημα αποκαλούμενο 'Equal Temperament' ίσα τεμπεραμέντα (αναφέρουμε στην ενότητα 2.12 σχετικά με τα

τεμπεραμέντα και τις μουσικές κλίμακες). Υπάρχουν σύνθετοι ιστορικοί και θεωρητικοί λόγοι γι' αυτή την επιλογή του συντονισμού, η οποία περιγράφεται λεπτομερώς στα λήμματα 'Tuning and Temperament in Groves Dictionary of Music (1980)'.

4.1.4. Ακούγοντας ένα μουσικό κομμάτι συνολικά

Μέχρι ώρας έχουμε σκιαγραφήσει το πώς μπορούμε να εξηγήσουμε τις διάφορες πτυχές της ακρόασης ενός κομματιού: η ακρόαση της μελωδίας με τη μορφή γραμμής, οι διαδοχές των ήχων που προέρχονται από μία εικονική (ακουστική) πηγή, ή άμεσα ή έμμεσα προβλέψιμη μελωδική ή και αρμονική δομή ή ακόμα και η εμπειρία μιας ακρόασης ενός κομματιού ως κάποιες ταυτόχρονες συνηχήσεις πολλών ή λιγότερων σταθερών ή μη χορδών. Όλες αυτές οι διαφορετικές απόψεις και παρατηρήσεις υπάρχουν σε μία θεωρία που αναπτύσσεται τα τελευταία 20 χρόνια, θεωρία των **Lerdahl** και **Jackendoff** (1983), λεγόμενη ως '**Παραγωγική Θεωρία της Τονικής Μουσικής**' (Generative Theory of Tonal Music). Είναι μια θεωρία που έχει δημιουργηθεί με πολλές διαμάχες διαφορετικών απόψεων και προβλέψεων, γι' αυτό και οι θεωρητικές της αρχές συνεχώς επαναξιολογούνται. Παρ'όλα αυτά θεωρείται η πιο περιεκτική θεωρία που υπάρχει μέχρι ώρας για την ακουστική εμπειρία της τονικής μουσικής.

Η θεωρία των '**Lerdahl και Jackendoff**' [86] θέτει τέσσερα διαφορετικά, αλλά και αλληλένδετα πεδία για τη μουσική διαίσθηση, την ακουστική εμπειρία δηλαδή που δέχεται ένας ακροατής κατά την ακρόαση ενός μουσικού κομματιού. Αυτά τα πεδία είναι: η **δομική ομαδοποίηση** (grouping structure), η **μετρική δομή** (metrical structure), **δομή περιόδου** (time-span structure) και η **δομή επιμήκυνσης** – συνθετική δομή (prolongational structure). Κάθε μία από αυτές τις τέσσερις διαφορετικές περιοχές αποτελεί ένα σύνολο από καλά ορισμένους κανόνες που καθορίζουν και τα όρια αυτών των δομών και το πώς μπορούν να μεταβιβασθούν μία ή περισσότερες ανάλογα με το μουσικό κείμενο, όπως είναι και στη δική μας περίπτωση το συγκεκριμένο μουσικό κομμάτι που αναφέρουμε.

The diagram shows a musical score in G major (one sharp) with a treble clef. It includes several annotations and structural lines:

- change of harmony**: Points to a change in the harmonic background.
- parallel rhythmic structures**: Points to rhythmic patterns in the melody.
- largest melodic interval to occur so far**: Points to a large interval in the melody.
- Grouping structure**: Indicated by brackets above the staff, showing how notes are grouped into phrases.
- Metrical structure**: Indicated by vertical dashed lines and asterisks below the staff, showing the underlying pulse.
- notes are grouped with following notes on basis of (a) inter-onset interval and (b) harmonic fit**: Points to a specific grouping of notes.
- Resultant asymmetric grouping**: Points to the final grouping of notes.

Αυτή η δομή ομαδοποίησης που χρησιμοποιείται στο παραπάνω σχήμα προέρχεται από τις θεωρητικές αρχές της ακουστικής σκηνικής ανάλυσης 'Bergman'. Αυτές οι αρχές αντιπροσωπεύουν τα αποτελέσματα των αντιδράσεων ενός ακροατή στις ιδιότητες της μουσικής επιφάνειας, τον μουσικό ήχο δηλαδή τη διαδοχή των νοτών και των ρυθμών που παρουσιάζονται κατά την ακρόαση και επιδρούν στο συνειδητό ή ασυνειδητό του ακροατή. Με βάση αυτές τις αρχές το μουσικό κείμενο χωρίζεται σε ομάδες και υποομάδες καθώς εξελίσσεται το μουσικό έργο. Αυτές οι ομάδες αποτελούνται από άλλες υποομάδες και αυτές με τη σειρά τους αποτελούνται από δομικά μουσικά στοιχεία, τα οποία έχουν κάποιες σχέσεις μεταξύ τους που εξαρτώνται από την ομάδα που περιέχονται και όχι από τις άλλες ανεξάρτητες ομάδες του μουσικού κειμένου. Ο τρόπος με τον οποίο ο ακροατής καταλαβαίνει πότε έφτασε κάποιο όριο μιας ομάδας και πότε ξεκινάει κάποια καινούργια, α) έχει να κάνει κατά ένα μεγάλο μέρος με το βαθμό αλλαγής που μπορεί να είναι σε οποιαδήποτε περιοχή όπως είναι η αρμονία μελωδική μετακίνηση, η ρυθμική δομή, η ομαδοποίηση, οι συγχορδιακές διαδοχές κ.λ.π., και β) στηρίζεται και σε διάφορα άλλα φαινόμενα όπως λ.χ. είναι η επανάληψη.

Όπως μπορεί να φανεί και στο παραπάνω σχήμα, στην πρώτη γραμμή διαστολής (η κάθετη γραμμή που χωρίζει τα μέτρα του μουσικού κειμένου, όπου μέτρο καλείται ο χώρος για την τοποθέτηση μουσικών αξιών (νοτών). Το τέλος της πρώτης ομάδας επισημαίνεται πιθανώς από την αλλαγή στην αρμονία, ενώ της δεύτερης ομάδας καθορίζεται από την επόμενη αλλαγή της αρμονίας, αλλά και από το γεγονός της επανάληψης της ρυθμικής δομής της πρώτης ομάδας.

Η δομή της περιόδου (**time-span**) προέρχεται από την ομαδοποίηση των μετρικών δομών και έχει αποσπάσει την προσοχή του τμήματος της μνήμης του ακροατή που έχει να κάνει με την εύρεση σημαντικών γεγονότων σε κάθε ομάδα ή περίοδο, καθώς και με τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται η μία με την άλλη ομάδα.

Η παραγωγή της δομής της περιόδου είναι κάτι ανάλογο με τη λειτουργία μιας 'τονικής γραμματικής' (tonal grammar), μιας διαδικασίας δηλαδή που διερμηνεύει τα στοιχεία της μουσικής επιφάνειας ως **τονικές λειτουργικές οντότητες**, ως αφηρημένη αρμονία. Στο παρακάτω σχήμα αναπτύσσονται οι περίοδοι του συγκεκριμένου μουσικού έργου.

Οι διαδικασίες με τις οποίες αυτή η τονική γραμματική εφαρμόζεται, επιβάλλει την τονική ιεραρχία στη μνήμη του ακροατή καθώς και προσδιορίζει τις συγχορδίες του κομματιού, ενώ αυτό εξελίσσεται χρονικά έως ότου ολοκληρωθεί. Στο παρακάτω σχήμα, βλέπουμε το πρώτο σημαντικό γεγονός του κομματιού στην πρώτη ομάδα που είναι μια συγχορδία που ανήκει προφανώς στην τονικότητα του κομματιού (ή αλλιώς στη μουσική κλίμακα του κομματιού).

Το σημαντικότερο γεγονός της δεύτερης ομάδας είναι η συγχορδία στον τόνο του κομματιού, αλλά είναι η αμέσως πιο σημαντική σε σχέση με την πρώτη συγχορδία του πρώτου γκρουπ. Οι διακλαδώσεις της δένδρικής δομής των περιόδων φανερώνουν το πόσο σημαντικό είναι το κάθε γεγονός στην ακρόαση του κομματιού.

Φαίνεται λοιπόν ότι η πρώτη συγχορδία της πρώτης ομάδας είναι η σημαντικότερη σε ολόκληρο το πρώτο μισό του κομματιού, ενώ η δεύτερη πιο σημαντική συγχορδία είναι η τελευταία. Το σημαντικότερο γεγονός σε ολόκληρο το κομμάτι είναι η τελευταία συγχορδία – τονική συγχορδία - και συμβολίζεται στο παραπάνω σχήμα με ευθεία σύνδεση – ευθεία γραμμή – στο πιο ψηλό επίπεδο της δομής της περιόδου.

Η συγκεκριμένη δομή '**Prolongational Structure**' επιδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο τα γεγονότα απεικονίζονται στη ροή της δομής της περιόδου καθώς το κομμάτι εξελίσσεται χρονικά.

Ολοκληρώνοντας το κεφάλαιο για τη μουσική αντίληψη, αυτό που πρέπει να τονίσουμε είναι ότι η ανθρώπινη εμπειρία αρχίζει πλέον να κατανοείται με όλο και περισσότερους τρόπους της γνωστικής επιστήμης, αρχίζει να αναγνωρίζεται ως ένας σύνθετος τρόπος που ενσωματώνει ένα σύνολο από κοινωνικές και γνωστικές διαδικασίες.

Η μουσική πρέπει να προσεγγιστεί με παρόμοιο τρόπο παρά ως σκέψη απλών και όμορφων σχεδίων του ήχου. Με βάση αυτή την προσέγγιση η μουσική εμπειρία μπορεί να προσφέρει πολλά στην τεχνητή νοημοσύνη όπως και η τεχνητή νοημοσύνη τελικώς θα μπορεί να προσφέρει και περισσότερα από αυτά που μπορεί να προσφέρει η μουσική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. Μουσική Αναπαράσταση (Representation)

5.1. Εισαγωγή

Η αυτοματοποιημένη κατανόηση και παραγωγή της μουσικής (σύνθεση μουσικών έργων) είναι ένας τομέας της έρευνας που δημιουργεί συνεχώς νέα προβλήματα προς επίλυση, προβλήματα που πολλά από αυτά ανήκουν στη φιλοσοφία της τεχνητής νοημοσύνης. Πολλές πρόσφατες εργασίες έχουν υιοθετήσει μια συμβολική προσέγγιση για τη μουσική αναπαράσταση. Παρακάτω θα παρουσιάσουμε με ποιο τρόπο μπορεί να γίνει αυτή η προσέγγιση και πώς μπορούν να ενσωματωθούν λογικές περιγραφές της ιεραρχικής μουσικής δομής. Επίσης θα περιγράψουμε μερικά προγράμματα που εκτελούνται σε αυτό το πλαίσιο και θα αναφέρουμε μελλοντικές υλοποιήσεις που μπορούν να γίνουν στους συγκεκριμένους τομείς της έρευνας.

Οι μουσικοί έχουν μια διαισθητική συνείδηση του βάθους των δυνατοτήτων της μουσικής δομής και του χειρισμού αυτών των δομών προκειμένου να δημιουργηθούν νέες μορφές δομών αλλά και τρόποι κατανόησης αυτών. Εκ πρώτης όψεως, οι υπολογιστές φαίνονται να είναι ένα ιδανικό εργαλείο για αυτόν τον τρόπο έκφρασης, όμως φαίνεται να υπάρχει ένα ουσιαστικό εμπόδιο μεταξύ των μουσικών ιδεών (musical ideas) και των δομών (musical structures) που μπορούν να υλοποιηθούν αλλά και να εφαρμοστούν σε έναν υπολογιστή. Στόχος λοιπόν της μουσικής αναπαράστασης και με τη βοήθεια των αρχών της τεχνητής νοημοσύνης (Music Representation) είναι να δοθεί ένας τρόπος προκειμένου να υπερνικηθεί αυτό το εμπόδιο.

Οι εργασίες σχετικά με την αναπαράσταση της μουσικής σε σχέση με την τεχνητή νοημοσύνη είναι λιγοστές. Υπάρχει ένα ιδιαίτερο πρόβλημα στην παραδοσιακή συμβολική προσέγγιση της τεχνητής νοημοσύνης, δεδομένου ότι δεν έχουμε το ίδιο όφελος, αλλά και το ίδιο αποτέλεσμα με τα ήδη ανεπτυγμένα συντακτικά και με τις σημασιολογικές αναλύσεις που έχουν δημιουργηθεί π.χ. για τη φυσική γλώσσα.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί περιγράφουμε την προσπάθεια να οργανώσουμε γενικά συστήματα για την αντιπροσώπευση μουσικής για το χειρισμό ενός αυτοματοποιημένου συστήματος. Ο σκοπός μας είναι να δημιουργήσουμε ένα ευρύ φάσμα πιθανών αντιπροσωπεύσεων, καθώς επίσης και λογισμικού για τη χρήση αυτών των αφηρημένων τύπων αναπαράστασης. Κατά συνέπεια η δύναμη της αυτοματοποίησης μπορεί να τεθεί στη διάθεση των συνθετών και των αναλυτών και να καταστεί ένα πολύτιμο και ανεκτίμητο εργαλείο δουλειάς προτείνοντας νέους τρόπους πρόσβασης στη μουσική.

5.2. Τι πρόκειται να αναπαρασταθεί;

Προτού περιγράψουμε τους τρόπους αναπαράστασης, ας αναφέρουμε τι επιθυμούμε να αναπαραστήσουμε. Υπάρχουν διάφορες υποψηφιότητες, θα τις αναφέρουμε και θα τις εξετάσουμε στη συνέχεια.

5.2.1. Παρτιτούρα / Απόδοση (Score / Performance)

Συνήθως οι μουσικές βάσεις δεδομένων κρατούν τις ηχογραφήσεις των μουσικών έργων ως αποτέλεσμα μιας μουσικής εκτέλεσης και δεν περιγράφουν αμεσότερα τη μουσική σύνθεση. Η διαφορά μπορεί να είναι μικρότερη στην ήδη γραμμένη μουσική σύνθεση και ιδιαίτερα στα είδη της κλασικής μουσικής, αλλά για πολλά άλλα στυλ μουσικής το αποτέλεσμα αφορά λιγότερο την τυπική εκτέλεση ή την απόδοση. Επομένως σε πρώτο στάδιο επιλέγουμε να αναπαραστήσουμε τη μουσική όπως αποδίδεται. Αυτό σημαίνει, παραδείγματος χάριν, ότι μία παρτιτούρα που δεν καθορίζει τη σειρά και τον τρόπο εκτέλεσης κάποιων μουσικών γεγονότων, αντιστοιχεί σε διάφορες πιθανές εκτελέσεις (performs) άρα και σε μία συλλογή από αναπαραστάσεις.

5.2.2. Φυσιολογικό / Ψυχολογικό (Physical/ Psychological)

Η διαδικασία της αφαίρεσης σχεδόν πάντα έχει ένα ψυχολογικό συστατικό. Στα χαμηλότερα επίπεδα της ψυχοφυσιολογίας της αντίληψης είναι σημαντική παραδείγματος χάριν, η κατηγορική αντίληψη για τα διαστήματα μεταξύ των τονικών υψών που καθιστά πιθανή την αφαίρεση του μουσικού ύψους στα ονόματα των νοτών.

Παρόμοια αποτελέσματα εμφανίζονται και στην αντίληψη της ομιλίας, για παράδειγμα το φώνημα /t/ δεν αντιστοιχίζεται σε ένα συγκεκριμένο ακουστικό φάσμα δεδομένου ότι αυτό μπορεί να βρίσκεται στην αρχή, τη μέση ή το τέλος της λέξης, οπότε και το ακουστικό φάσμα του (ηχητική ενέργεια) ποικίλλει ανάλογα με τη θέση του. Γενικά, δεν υπάρχει κανένας συγκεκριμένος κατάλογος μεταξύ ενός φυσικού γεγονότος και της μουσικής αντίληψης λόγω των επιδράσεων του περιβάλλοντος. Η κατηγορική αντίληψη και τα διάφορα είδη φιλτραρίσματος εμφανίζονται λόγω των βιολογικών και νευρολογικών αντιδράσεων που μας περιβάλλουν.

Όπως στη γλωσσολογία τα φωνήματα (τα φωνήματα είναι οι ελάχιστες μονάδες ήχου χωρίς σημασία που διακρίνουν όμως σημασίες π.χ. **p**onos ≠ **k**onos), είναι ένας είδος χρήσιμης αφαίρεσης, έτσι και για τη μουσική είναι οι νότες και οι διάρκειες που χρησιμοποιούνται ως κύριο συστατικό για τη συμβολική αναπαράσταση. Σε υψηλότερα επίπεδα αναπαράστασης παρόμοιες εκτιμήσεις θα ισχύσουν όπου πλέον εκεί τα αντικείμενα ενδιαφέροντος θα είναι είτε ψυχολογικά είτε φυσικά φαινόμενα.

5.2.3. Συμβολικό Σύστημα / Υποσύστημα (Symbolic / Sub Symbolic)

Αποφασίζοντας σχετικά με το όριο αφαίρεσης που μπορούμε να κάνουμε για την αναπαράσταση μας (από την άποψη των γεγονότων με βάση τις νότες και τη διάρκεια) μπορούμε να κατασκευάσουμε τυπικά συστήματα με βάση αυτό το επίπεδο (first layer). Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου συστήματος είναι η δυτική τονική μουσική. Κάτω από

αυτό το επίπεδο είμαστε εξ ορισμού έξω από το τυπικό σύστημα που έχουμε οριοθετήσει.

Για να σχεδιάσουμε το φυσικό κόσμο με την αντίληψη μιας μουσικής νότας χρειαζόμαστε ένα συμβολικό υποσύστημα (Sub Symbolic). Αυτό μπορεί στη συνέχεια να αναπαρασταθεί, αν και ένα ξεχωριστό σύστημα, όπως θα φανεί παρακάτω, είναι ανεπαρκές για τη δουλειά που το θέλουμε, καθώς χρειάζονται ανάλογες αναπαραστάσεις ή και διασυνδεδετικά συστήματα για την ομαλή λειτουργία.

5.2.4. Ανάλυση / Δημιουργία (Analysis / Generation)

Η χρήση ενός βασικού επιπέδου αναπαράστασης στο επίπεδο **νοτών-διαρκειών** έχει πρωτοδιατυπωθεί από τον **Jackendoff** και έχει οριστεί ως **‘μουσική επιφάνεια’**. Αυτή η θεωρία είναι σαφώς μια αφετηρία, στόχος μας είναι να μπορέσουμε να οριοθετήσουμε πιο συγκεκριμένα τους σχηματισμούς ομάδων που μπορούν να δημιουργηθούν από ένα τέτοιο επίπεδο αναπαράστασης, αλλά και να δούμε πως θα χρησιμοποιήσουμε οποιαδήποτε κριτήρια που μας ενδιαφέρουν για το σχηματισμό αυτών.

Κάνουμε μία διάκριση μεταξύ της απλής και λιτής περιγραφής των γεγονότων που αποτελούν ένα μουσικό κομμάτι και οποιασδήποτε πιο σύνθετης περιγραφής ενδιαφέρει τον ακροατή ή το συνθέτη. Κατά συνέπεια, πάνω από τη βασική απλή περιγραφή εισάγουμε ένα μηχανισμό που επιτρέπει την εισαγωγή υψηλότερου βαθμού δομών με κατάλληλο και προσιτό τρόπο. Παραδείγματος χάριν, ο αναλυτής μπορεί να θελήσει να καθορίσει τις μετρικές ή τονικές πληροφορίες που δεν είναι ρητά καθορισμένες στην περιγραφή των νοτών του κομματιού.

Ο μηχανισμός που προτείνεται επιτρέπει στο χρήστη να αναπαραστήσει τέτοιου υψηλότερου επιπέδου πληροφορίες. Παραδείγματος χάριν, η παραδοσιακή αρμονική ανάλυση μπορεί να θεωρηθεί ως μια σειρά κανόνων για να ορίσουν την αρμονική ακολουθία για τη μουσική που γράφεται σε ένα συγκεκριμένο ύφος ή στυλ. Θα μπορούσαν δηλαδή να χρησιμοποιηθούν για να υποδείξουν ποια αρμονική πρόοδος θα προτεινόταν για μια δεδομένη σειρά από νότες (μια μελωδία) καθώς και να καθορίσουν αυτόματα τη σειρά αυτή (αυτόματη εύρεση αρμονικής διαδοχής σε δοσμένη μελωδία).

5.2.5. Αναπαράσταση / Υλοποίηση (Representation/ Implementation)

Θα προτείνουμε λοιπόν μερικές δομές δεδομένων που πιστεύουμε ότι είναι γενικά χρήσιμες για τις μουσικές συνθέσεις και που θα επιτρέψουν τη χρήση των αλγορίθμων για άλλες εφαρμογές που τηρούν βέβαια τις ίδιες αρχές αναπαράστασης.

Καθένας που ψάχνει τα συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών για την εύρεση προγραμμάτων μουσικής αναπαράστασης παρατηρεί ότι υπάρχουν ούκ ολίγα τέτοια προγράμματα. Τα περισσότερα από αυτά προκειμένου να αναπαραστήσουν χαμηλού επιπέδου πληροφορίες χρησιμοποιούν πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως είναι το **MIDI**, **DARMS** και πολλά άλλα. Εντούτοις οι δυνατότητες είναι τεράστιες και η ποικιλομορφία τους μας αποτρέπει από τη χρησιμοποίηση ειδικού λογισμικού μετατροπής μιας αναπαράστασης σε μία άλλη.

Οι επιστήμονες των υπολογιστικών συστημάτων έχουν συναντήσει αυτό το πρόβλημα σε πολλούς τομείς έρευνας και απάντηση σε αυτό έχουν βρει με τη χρήση αφηρημένων δομικών στοιχείων. Η κύρια ιδέα είναι ότι υπάρχουν πρότυπα για τη διαχείριση των στοιχείων που επαναλαμβάνονται συχνά σε διάφορες υλοποιήσεις.

Παραδείγματος χάριν, εάν εξετάσουμε μια λειτουργία όπως ο καθορισμός του διαστήματος μεταξύ δύο νοτών, ένας πρώτος τρόπος που θα υλοποιηθεί θα έχει να κάνει με την αναπαράσταση σε ‘hertz’, δηλαδή με βάση τις συχνότητες, ένας άλλος τρόπος θα ήταν με βάση τα ημιτόνια πάνω σε ένα συγκεκριμένο με οποιονδήποτε τρόπο μουσικό όργανο (σε σχέση για παράδειγμα με το μεσαίο Ντο του πιάνου), ένας άλλος θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει ως μέσο μέτρησης το μουσικό πεντάγραμμο, καθώς επίσης υπάρχουν και πολλοί άλλοι τρόποι. Εάν θεωρήσουμε τώρα όλες αυτές τις περιπτώσεις υπολογισμού σε ένα αφηρημένο επίπεδο, αυτό θα είναι μια από τις διαδικασίες αφηρημένου τύπου.

Καθορίζουμε λοιπόν έναν τέτοιο αφηρημένο τύπο (abstract data type) για τις περιγραφές επί του συνόλου των νοτών. Αυτό καλείται Βασικό σύστημα Αναπαράστασης (Basic Representation).

5.3. Βασικό Σύστημα Αναπαράστασης - Προδιαγραφές

Η εσωτερική δομή (απλουστευμένη) αναπαράστασης [82] ενός γεγονότος είναι η ακόλουθη. Καθορίζουμε τους αφηρημένους τύπους (abstract data types) για να αναπαραστήσουμε το ύψος – και το διάστημα μεταξύ δύο υψών - (pitch and pitch interval), το χρόνο - και τη διάρκεια - (time and duration), το εύρος - και το σχετικό εύρος – (Amplitude and Relative Amplitude) και τέλος τη χροιά (Timbre). Η αφηρημένη δομή αναπαράστασης (abstract event representation) [82] δημιουργείται ως εξής:

Pitch x Time x Duration x Amplitude x Timbre

Ο αφηρημένος τύπος δεδομένων για το χρόνο – time – διαμορφώνεται ως εξής (οι άλλοι τύποι δεδομένων είναι παρόμοιοι εκτός από τον τύπο της χροιάς – timbre – που θέλει συζήτηση): τα αντικείμενα που μας ενδιαφέρουν είναι σημεία στο χρόνο και χρονικά διαστήματα μεταξύ των σημείων αυτών – χρονικές διάρκειες μουσικών αξιών – (durations). Θέλουμε να είμαστε σε θέση να υπολογίζουμε τις διάρκειες από τα ζευγάρια των χρόνων και από τα ζευγάρια των διαρκειών και λοιπά.

Επομένως απαιτείται η ύπαρξη των συναρτήσεων add_{xy} και sub_{xy} , όπου x και y είναι καθένα από τα $\{t,d\}$ που αντιπροσωπεύουν το χρόνο ($t = \text{time}$) και τη διάρκεια ($d = \text{duration}$) αντίστοιχα, καθορίζοντας τους τύπους των ορισμάτων. Κατά συνέπεια έχουμε τις συναρτήσεις:

```
adddd: Duration × Duration → Duration
addtd: Time × Duration → Time
subtt: Time × Time → Duration
subdd: Duration × Duration → Duration
```

Οι αφηρημένοι τύποι δεδομένων για το ύψος (pitch), διάστημα (pitch interval) και για το εύρος (amplitude and relative amplitude) μπορούν να παραχθούν με κατάλληλη μετονομασία των συμβόλων και των ιδιοτήτων τους στην ανωτέρω περιγραφή.

5.4. Βασικό Σύστημα Αναπαράστασης – Υλοποίηση

Αφού καθορίσουμε τον αφηρημένο τύπο δεδομένων μπορούμε να προσδιορίσουμε τώρα τι εννοούμε με τη λέξη υλοποίηση (implementation) του τύπου μέσω της παροχής αντίστοιχων συγκεκριμένων διαδικασιών. Κάθε μέλος μιας συγκεκριμένης δομής συνδέεται με έναν ‘identifier’ για την αποδοτική δήλωση από τις ρουτίνες του λογισμικού. Τέτοιες αναφορές γίνονται από συγκεκριμένου τύπου συναρτήσεις που καλούνται ‘destructor functions’ στα στοιχεία δεδομένων. Οι ακόλουθες συναρτήσεις καθορίζονται σε οποιαδήποτε άμεση αναπαράσταση [82].

- **Πάρε (Get) X** όπου X είναι ένα από τα {ύψος (Pitch), χρόνος (Time), διάρκεια (Duration), ένταση (Amplitude), χροιά (Timbre)} οι οποίες είναι μοναδιαίες συναρτήσεις, και επιστρέφουν το κατάλληλο **συστατικό** (component) που ανήκει σε ένα **γεγονός** (event tuple) το οποίο συνδέεται με ένα ‘identifier’ που δίνεται από τα ορίσματα της συνάρτησης (given as their arguments)
- **PutEvent** είναι μια συνάρτηση η οποία παίρνει ένα γεγονός (event tuple) σαν ένα απλό όρισμα και επιστρέφει το αντίστοιχο ‘identifier’.

Όλες αυτές οι συναρτήσεις και οι λειτουργίες αυτών αναφέρονται παρακάτω διεξοδικά.

5.4.1. Παράδειγμα

Ένα παράδειγμα της δομής ενός γεγονότος εφαρμόζεται παρακάτω, όπου χρησιμοποιεί τους αφηρημένους τύπους που παρουσιάζονται στη ‘Figure 1’. Εδώ δεν εξετάζουμε τη χροιά ‘timbre’ και αποφεύγουμε αυτό το ζήτημα με τη χρησιμοποίηση στους τύπους των ομοιωματικών (...). Στο παράδειγμα αυτό συνδέουμε κάθε γεγονός στην αναπαραστημένη παρτιτούρα με ένα μοναδικό ‘identifier’, όπου σε αυτό το παράδειγμα είναι της μορφής ‘eN’, όπου N είναι ακέραιος αριθμός. Τέλος, σε αυτή την περίπτωση αναπαράστασης σημειώνουμε την ύπαρξη της σχέσης μεταξύ του ‘identifier’ και του συγκεκριμένου στοιχείου του τύπου δεδομένων που είναι το σύμβολο €.

Ύψος (Pitch)	=	{ a b c d e f g } x { t | | | b } x Ακέραιο, Αναπαράσταση παραδοσιακής δυτικής σημειογραφίας – όνομα νότας, οπλισμός, οκτάβα
Διάστημα (Pitch Interval)	=	Ακέραιος Αριθμός Αναπαράσταση ακεραίων για τα ημιτόνια (semitones)
Χρόνος (Time)	=	Ακέραιος Αριθμός X Ακέραιος Αριθμός Αναπαράσταση σχετικών αριθμών για τον ρυθμό (crotchet beats)
Διάρκεια (Duration)	=	Ακέραιος Αριθμός X Ακέραιος Αριθμός Αναπαράσταση σχετικών αριθμών για τον ρυθμό (crotchet beats)
Ενίσχυση (Amplitude)	=	Ακέραιος Αριθμός X Ακέραιος Αριθμός Αναπαράσταση σχετικών αριθμών της έντασης (dB)
Σχετική Ενίσχυση (Relative Amplitude)	=	Ακέραιος Αριθμός X Ακέραιος, Αναπαράσταση σχετικών αριθμών ενίσχυσης (Amplitude)

Figure 1: An example event instantiation

Στο σχήμα 2 'figure 2' γίνεται λεπτομερής παρουσίαση της δομής ενός γεγονότος των πρώτων δώδεκα νοτών από το μουσικό έργο 'Παραλλαγές του Webern για πιάνο, op 27' που παρουσιάζεται στο σχήμα 3. Σκοπός, όπως είπαμε, είναι να παραχθεί μια τυποποιημένη (αφηρημένη) σημειογραφία, η οποία στην πορεία να μεταφραστεί σε μια πιο εύχρηστη μορφή.

e(e00, (f, ♯, 4), 1/4, 1/2, 10/1, ...)
e(e01, (e, ♯, 5), 1/4, 1/2, 10/1, ...)
e(e02, (b, ♯, 3), 1/2, 1/4, 10/1, ...)
e(e03, (f, ♯, 3), 3/4, 1/4, 10/1, ...)
e(e04, (g, ♯, 4), 3/4, 1/4, 10/1, ...)
e(e05, (c, ♯, 5), 1/1, 1/4, 10/1, ...)
e(e06, (a, ♯, 2), 3/2, 1/2, 10/1, ...)
e(e07, (b, ♭, 3), 3/2, 1/2, 10/1, ...)
e(e08, (e, ♭, 4), 7/4, 1/4, 10/1, ...)
e(e09, (c, ♯, 4), 4/2, 1/4, 10/1, ...)
e(e10, (d, ♯, 5), 4/2, 1/4, 10/1, ...)
e(e11, (g, ♯, 4), 9/4, 1/4, 10/1, ...)

Figure 2: Webern, Op 27, bars 1-3

Figure 3: Webern, Op 27, bars 1-4

5.5. Ιεραρχική Αναπαράσταση (Hierarchical Representation)

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι ένα σύστημα, για να χειριστεί τις μουσικές αναπαραστάσεις, πρέπει να επιτρέπει την εισαγωγή σε δομές υψηλότερου επιπέδου. Από την άλλη μεριά εξίσου ευρέως συμφωνημένο είναι ότι τέτοιες δομές και γενικά ομάδες αυτών των ειδών (δομών υψηλού επιπέδου), οι οποίες περιγράφονται λεπτομερώς, δεν πρέπει να επιβάλουν στο χρήστη νέα συστήματα αναπαράστασης.

Περαιτέρω πρέπει να είναι δυνατόν να ορίζονται διαφορετικές ιεραρχικές δομές ταυτόχρονα σε μία σειρά από μουσικά γεγονότα (musical events) [94], για παράδειγμα διαφορετικές πιθανές δομικές υλοποιήσεις πρέπει να μπορούν να αναπαρασταθούν όπου υπάρχει αμφιβολία ή τα διαφορετικά είδη πληροφορίας μπορούν να αναπαρασταθούν και να συνδεθούν μαζί, αλλά να μπορούν να χωριστούν με βάση κάποια λογική (όπως για παράδειγμα οι πληροφορίες για την αρμονία από τη μια πλευρά και της ενορχήστρωσης από την άλλη).

5.5.1. Η Συνισταμένη Αναπαράσταση – Προδιαγραφές (Constituent Representation - Specification)

Στην αναπαράσταση μας χρησιμοποιούμε ‘συστατικά - constituents’ για να σκιαγραφήσουμε και να ορίσουμε τις σχηματιζόμενες ομάδες (grouping event), καθώς και άλλων συστατικών. Ένα συστατικό – constituent – σε ένα πιο αφαιρετικό επίπεδο είναι ένα ζευγάρι της μορφής [105] :

Ιδιότητες / Προσδιορισμός, Μόρια (Properties/Definition, Particles)

Οι ‘Ιδιότητες / Προσδιορισμός’ επιτρέπουν τη λογική προδιαγραφή των σχέσεων μεταξύ των μορίων (particles) ενός συστατικού (constituent) από την άποψη ότι αυτό είναι μέλος ορισμένων κατηγοριών (classes), οι οποίες μπορούν να καθοριστούν εξωτερικά από το χρήστη. Ο λόγος που προσδιορίζουμε το συστατικό (constituent) με ένα διμερές όνομα θα γίνει σαφής παρακάτω.

Τα ‘μόρια (particles)’ είναι το σύνολο των γεγονότων και των υπο-συστατικών που απαρτίζουν το ‘**συστατικό** (constituent)’.

Ένα υποσυστατικό (Sub-constituent) ενός συστατικού είναι ένα από τα μόριά του (particles) ή ένα υποσυστατικό του. Τα μόρια ενός συστατικού έχουν ένα περιορισμό ότι δηλαδή δεν μπορεί κανένα συστατικό να είναι υποσυστατικό αυτών. Κατά συνέπεια, η δομή των συστατικών στην αναπαράστασή μας είναι ένα κατευθυνόμενο μη κυκλικό γράφημα.

5.5.2. Λογική ταξινόμηση των Συστατικών (Logical Classification of Constituents)

Η χρησιμότητα των συστατικών πρέπει να είναι βέλτιστη, πρέπει οι ιδιότητές τους να είναι ορισμένες έτσι ώστε τα συστατικά να είναι διαθέσιμα με τρόπους εύκολους και αποτελεσματικούς για ‘testing’ και εύκολο χειρισμό. Δηλαδή, δεδομένου βέβαια ότι ο χρήστης είναι ικανός να διευκρινίσει οποιουσδήποτε μουσικούς σχηματισμούς ομάδων, πρέπει να είναι δυνατόν να δηλώσει ότι αυτή η ομαδοποίηση έχει κάποιες συγκεκριμένες ιδιότητες που αφορούν τη δομή τους, παραδείγματος χάριν, ότι είναι οριζόντια ή κάθετη συνιστώσα με βάση το χρόνο.

Προκειμένου λοιπόν να διευκρινιστούν αυτές οι ιδιότητες προτείνουμε την ακόλουθη προσέγγιση. Το δομικό στοιχείο της ιδιότητας ενός συστατικού (constituent) είναι ένα ζευγάρι από:

{Προδιαγραφή, Περιβάλλον}
{Spec, environment}

Όπου η **Προδιαγραφή** είναι μια λογική λεπτομερής δήλωση και το Περιβάλλον (ενδεχομένως να είναι και κενό) είναι ένα σύνολο από τιμές του τύπου **GetPitch** (που εφαρμόζεται στο συγκεκριμένο συστατικό και ό,τι άλλο της μορφής αυτής. Η ιδέα είναι ότι για την προδιαγραφή έχουμε μια λογική λεπτομερή δήλωση για τις ιδιότητες και τον καθορισμό αυτών, του συστατικού, η οποία μπορεί να ελεγχθεί κοιτάζοντας τα μόρια του συγκεκριμένου συστατικού και το περιβάλλον παρέχει πληροφορίες τύπου γεγονότων όπως είναι: η χροιά, ο χρόνος, το ύψος και λοιπά που συνδέονται άμεσα με το συστατικό.

Κατ’ αρχάς καθορίζουμε τη γλώσσα προδιαγραφών για τα ‘specs’. Χρησιμοποιούμε μια ‘first order logic’ με τις τυπικές συνδέσεις. Επίσης έχουμε και τις ‘**destructor**’ συναρτήσεις στις δομές αυτές, καθώς και αριθμητικές, συγκριτικές συναρτήσεις που περιγράφονται παραπάνω (καθώς και τις παράγωγες σχέσεις τους).

Έτσι έχουμε:

```
stream ↔
  ∀p1.¬∃p2. p1 ≠ p2
    ∧GetTime(p1) ≤ GetTime(p2) ∧
    GetTime(p2) < addtd(GetTime(p1), GetDuration(p1))
```

Αυτό σημαίνει ότι το συστατικό **p₁** δεν εμπεριέχει κανένα άλλο μόριο π.χ. **p₂** (particle) οπότε η έναρξη του **p₁** αρχίζει και τελειώνει εκεί που αρχίζει ένα άλλο μόριο π.χ. το **p₂**.

Ένα παράδειγμα μπορούμε να υλοποιήσουμε για τον παραπάνω αλγόριθμο προκειμένου να τον κατανοήσουν καλύτερα. Έστω λοιπόν ότι έχουμε ένα συστατικό **p₁**, μία νότα η οποία παίζεται στο χρόνο t=2 sec και έχει διάρκεια d=3 sec. Από αυτά τα

στοιχεία που δόθηκαν για το συστατικό p_1 μπορούμε να βρούμε πότε σε ποιο χρονικό διάστημα θα ξεκινήσει το p_2 ως εξής: έχουμε $\text{Time}(p_1) = 2 \text{ sec}$ και $\text{Duration}(p_1) = 3 \text{ sec}$, οπότε με βάση τον αλγόριθμο έχουμε, $\text{GetTime}(p_2) = \text{GetTime}(p_1) + \text{GetDuration}(p_1) = 2 \text{ sec} + 3 \text{ sec} = 5 \text{ sec}$. Άρα ο χρόνος στον οποίο θα ξεκινήσει το στοιχείο p_2 είναι $\text{time}(p_2) = 5 \text{ sec}$.

Ομοίως, θα μπορούσαμε να ορίσουμε τον ορθογώνιο τύπο, το χρονικό μέρος, όπου κάποιο σημείο είναι κοινό για κάθε μόριο (particle) του συστατικού (constituent) ως εξής:

$$\begin{aligned} \text{slice} \leftrightarrow \\ \exists t. \forall p_i. \text{GetTime}(p_i) \leq t \wedge \\ t \leq \text{add}_{\text{id}}(\text{GetTime}(p_i), \text{GetDuration}(p_i)) \end{aligned}$$

5.6. Η Συνισταμένη Αναπαράσταση – Υλοποίηση (The Constituent Representation – Implementation)

Η υλοποίηση του συστατικού (constituent) είναι παρόμοια με αυτήν του γεγονότος (event). Η υλοποίηση πρέπει να είναι της μορφής:

- **Identifier** (Αναγνωριστής),
- **Properties** (Ιδιότητες),
- **Definition** (Καθορισμός),
- **Particles** (Μόρια),
- **Description** (Περιγραφή)

Ο ‘**identifier**’ είναι κάτι σαν την υλοποίηση του γεγονότος (event).

Οι **ιδιότητες** (Properties) και ο **καθορισμός** (Definition) αυτών σε ένα αφηρημένο επίπεδο, είναι μια λογική λεπτομερής προδιαγραφή των δομικών ιδιοτήτων του συστατικού. Στο επίπεδο υλοποίησης εντούτοις, κάνουμε μια διάκριση μεταξύ των ιδιοτήτων που καθορίζονται σε ένα εξωτερικό επίπεδο και εκείνων που καθορίζονται από το ίδιο το συστατικό.

Τα **μόρια** (Particles) είναι η αφαίρεση των ανωτέρω.

Η **περιγραφή** (Description) είναι μια αυθαίρετη δομή που καθορίζεται από το χρήστη, η οποία προορίζεται για το σχολιασμό των χρήσιμων πληροφοριών. Σημειώνουμε ότι καμιά ερμηνεία δεν δίνεται για το συστατικό και ότι ενώ το λογισμικό μπορεί ελεύθερα να ενσωματώσει πληροφορίες γι’ αυτό, δεν είμαστε σίγουροι ότι αυτές οι πληροφορίες θα είναι φορητές (ουσιαστικά χρήσιμες) για ένα οποιοδήποτε άλλο λογισμικό που χρησιμοποιεί αντίστοιχες πληροφορίες.

5.6.1. Ιδιότητες και Ορισμοί (Properties and Definitions)

Ποια είναι η διάκριση μεταξύ των ιδιοτήτων και των ορισμών ενός συστατικού; Ένα συστατικό όπως χρειάζεται τις ιδιότητες που απαιτούνται για τις χρήσιμες εφαρμογές ενός δοσμένου αλγορίθμου, όπως και τα μόρια ενός συστατικού πραγματικά απαιτούν τις ιδιότητες, είναι πάντα απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν οι ορισμοί (Definitions) οποιωνδήποτε προτάσεων που δίνονται είτε στο επίπεδο των βασικών συνδέσεων είτε σε υψηλότερα επίπεδα.

5.7. Παραδείγματα (Examples)

5.7.1. Παράδειγμα 1^ο (Μελωδική Ανάλυση)

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα για τα συστατικά ‘constituent’ δίνεται στο παρακάτω σχήμα. Καταγράφει διάφορες σειρές γεγονότων με βάση τα γεγονότα που έχουν καταγραφεί στη εικόνα 2.

Θα εξετάσουμε πώς με τη χρήση της αναπαράστασης που δίνονται στις φιγούρες 1 και 2 εμείς με διαφορετικούς τρόπους μπορούμε να εκφράσουμε διαφορετικές σειρές ανάγνωσης από την ίδια παρτιτούρα. Από τις λογικές περιγραφές των συστατικών είναι δυνατό να ελεγχθούν και να παραχθούν συστατικά με τις ιδιότητες που περιγράψαμε παραπάνω.

Έχουμε ήδη δείξει τον τρόπο με τον οποίο οι αρχικές νότες μπορούν να αναπαρασταθούν. Το συστατικό αναπαράστασης των δώδεκα νοτών μάς παρέχει τη χρωματική κλίμακα που παρουσιάζεται στη εικόνα 4 με το προσδιοριστικό ‘c01’. Υποθέτουμε τώρα ότι επιθυμούμε να αναπαραστήσουμε μερικές από τις εσωτερικές σχέσεις αυτών των νοτών.

Παραδείγματος χάριν, εάν θέλουμε να συλλέξουμε νότες που ηχούν ταυτόχρονα, τότε θα βρούμε (με βάση το μουσικό παράδειγμα που έχουμε αναφέρει παραπάνω) 4 δίφωνες συγχορδίες (δίφωνες= 2 νότες που ηχούν μαζί) που τις παρουσιάζουμε στη εικόνα 4 με τα προσδιοριστικά ‘c03-c06’.

Εάν τώρα θέλουμε να ομαδοποιήσουμε τις νότες σε τριάδες κατά χρονική σειρά, τότε το αποτέλεσμα που βγαίνει παρουσιάζεται με τα προσδιοριστικά ‘c08-c11’. Η κλασική χρονική εναλλαγή των νοτών σε μία γραμμή μπορεί να εκφραστεί από ένα συστατικό που συλλέγει στοιχεία από το συστατικό των δίφωνων συγχορδιών και με βάση κάποιο χαρακτηριστικό δημιουργείται αυτή η γραμμή που παρουσιάζεται στη εικόνα 4 με το προσδιοριστικό ‘c07’.

Να αναφέρουμε ότι το **K** εκφράζει τη **σχέση** που εξετάζουμε σε ένα **συστατικό** ‘constituent’. Το **προσδιοριστικό** ‘identifier’ είναι της μορφής ‘cN’ όπου ‘N’ είναι ένας ακέραιος αριθμός. Επίσης να αναφέρουμε ότι οι παύλες ‘-’ **στη εικόνα 4** είναι οι καταχωρίσεις για τις ιδιότητες (properties) και τις περιγραφές (descriptions). Παίρνοντας τώρα τα συστατικά των τριάδων που έχουμε υλοποιήσει παραπάνω μπορούμε να ορίσουμε μια ορολογία για το ύψος που είναι η οκτάβα.


```
κ( c00, -, subject, { e00 e01 e02 e03 e04 e05 e06 e07 e08 e09 e10 e11 }, - )
κ( c01, {series,{}}, -, { e00 e01 e02 e03 e04 e05 e06 e07 e08 e09 e10 e11 }, - )
κ( c03, {chord,{}}, -, { e00, e01 }, - )
κ( c04, {chord,{}}, -, { e03, e04 }, - )
κ( c05, {chord,{}}, -, { e06, e07 }, - )
κ( c06, {chord,{}}, -, { e09, e11 }, - )
κ( c07, {alternation,{}}, -, { c03, e02, c04, e05, c05, e08, c06, e11 }, - )
κ( c08, {triple,{}}, -, { e00, e01, e02 }, - )
κ( c09, {triple,{}}, -, { e03, e04, e05 }, - )
κ( c10, {triple,{}}, -, { e06, e07, e08 }, - )
κ( c11, {triple,{}}, -, { e09, e10, e11 }, - )
```

Figure 4: Constituents for Webern Op 27

5.7.2. Παράδειγμα 2^ο (Ρυθμική Ανάλυση)

Παρουσιάζουμε ένα παράδειγμα ρυθμικής ανάλυσης, συγκεκριμένα ένα πρόγραμμα που μπορεί να λειτουργήσει πέρα από τα γεγονότα (events) και τα συστατικά (constituents), καθώς και να δημιουργήσει ή να προτείνει νέα. Το συγκεκριμένο παράδειγμα επεξηγεί επίσης την ευελιξία των αφηρημένων τύπων και στοιχείων. Επίσης το ίδιο πρόγραμμα ανάλυσης λειτουργεί ανεξάρτητα από το πως μεταφράζονται οι νότες και οι διάρκειές τους.

Ας δούμε τι ακριβώς κάνει το συγκεκριμένο πρόγραμμα, το οποίο έχει παρουσιαστεί στην εργασία [Steedman 77] και σχεδιάστηκε για να επεξηγήσει ένα γνωστικό πρότυπο κατανόησης του ρυθμού. Στο αρχικό πρόγραμμα η εισαγωγή ήταν ουσιαστικά ένας κατάλογος διαρκειών (input) και ως έξοδο το πρόγραμμα θα πρότεινε ένα χρονικό κλειδί (μουσικό κλειδί, 4/4, 5/4, 2/4, κλπ.). Το πρόγραμμα λειτούργησε καλά στις 48 φούγκες του Bach βάζοντας τις διάρκειες μέσα στα μέτρα (bars or half-bars), παρά τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν λόγω των συζεύξεων (ties) και των ανακρούσεων (anacrusis). Αυτό επιτυγχάνεται με την ανάλυση της ακολουθίας των διαρκειών σύμφωνα με ένα σύνολο κανόνων που επιλέγουμε.

Το παραπάνω πρόγραμμα υλοποιήθηκε σε Prolog, χρησιμοποιώντας πιο λεπτομερή σημειογραφία από εκείνη του [Steedman]. Το πρόγραμμα διαβάζει το μουσικό κείμενο, όπως πρωτοπαρουσιάζεται από τη βασική αναπαράσταση και συνθέτει τα συστατικά και αναπαριστά τα ρυθμικά στοιχεία που γίνονται αντιληπτά με βάση το πρότυπο Steedman. Αυτή η διαδικασία διευκρινίζεται παρακάτω με τα πρώτα δύο μέτρα από τις παραλλαγές του Mozart ‘**Unser dummer Pöbel meint**’ αναπαριστώντας τις διάρκειες με ακέραιους αριθμούς (Figure 1).

Figure 1: Mozart, Variations on “Unser dummer Pöbel meint” (bars 1-2)

Κατ' αρχάς, η μελωδική γραμμή εξάγεται αυτόματα με έναν πιο αφελή τρόπο με την καταγραφή δηλαδή της υψηλότερης νότας κάθε συγχορδίας. Αυτό παράγει μια τυπική μελωδία και λέμε τυπική γιατί πολλές φορές η μελωδία είναι ένα σύνολο από παραμέτρους που επιδρούν προκειμένου να οριοθετήσουμε τη μελωδική γραμμή και όχι τόσο τυπική όσο η καταγραφή της υψηλότερης νότας. Αφετέρου η ρυθμική ανάλυση εκτελείται δημιουργώντας τα συστατικά 'st00 to st13' και 'st50 to st54'.

```
% event( id, pitch, start, duration, timbre ).
% pitch = [note,accidental,octave], start = # quavers from start
% duration = length in quavers, timbre as yet undefined

event( ev00, [g,natural,4], 0, 2, [ ] ).    event( ev01, [g,natural,3], 0, 2, [ ] ).
event( ev02, [g,natural,2], 0, 2, [ ] ).    event( ev03, [g,natural,4], 2, 2, [ ] ).
event( ev04, [g,natural,3], 2, 2, [ ] ).    event( ev05, [g,natural,2], 2, 2, [ ] ).
event( ev06, [f,sharp,4], 4, 2, [ ] ).      event( ev07, [f,sharp,3], 4, 2, [ ] ).
...                                         event( ev26, [d,natural,2], 12, 4, [ ] ).
```

Μία από αυτές τις παραμέτρους καλείται 'dactyls', αν είναι δηλαδή απλή νότα ή παύση. Τα 'dactyls' καθορίζουν αποτελεσματικά τη μεγαλύτερη νότα σε διάρκεια που γίνεται αντιληπτή στο μουσικό κείμενο όσο αυτό εκτελείται και το υποσυστατικό που δημιουργείται απεικονίζει τη ρυθμική ομαδοποίηση (chunks).

Το τελευταίο συστατικό βάζει σε σειρά τα τέσσερα αυτά στοιχεία (chunks), τα οποία τελικά αναπαριστούν τα πρώτα 4 ρυθμικά δομικά στοιχεία (half-bars) του κομματιού, στη μουσική καλούνται '**μισό-μέτρο**' ή 'ρυθμική υποδιαστολή', ολόκληρο το μουσικό μέτρο χωρίζεται από τις μπάρες 'bars', οι οποίες λέγονται αλλιώς και απλές διαστολές.

Αυτή η ιεραρχία των συστατικών είναι επαρκής για αυτό το πολύ απλό παράδειγμα, δε θα ήταν τόσο απλό, όμως αν τα γεγονότα, οι αξίες δηλαδή, ενώνονταν με συζεύξεις διαρκείας (tied notes). Μια πιο περίπλοκη έκδοση του προγράμματος εξετάζει και αυτά τα ενδεχόμενα με τη μορφή ενός νέου επιπέδου αναφοράς (layer) για τα συστατικά που μπορούμε να το αποκαλέσουμε και 'pulse'.

```
% constituent( id, musical_type, set_of_particles )
% time-labelling of stream (stream(t,d)) omitted for readability
constituent( st15, melody, [ev00,ev03,ev06,ev09,ev12,ev15,ev18,ev21,ev24] ).

% rhythmic units
constituent( st00, dactyl, [ev06,ev09,ev12] ).
constituent( st01, dactyl, [ev15,ev18,ev21] ).
constituent( st02, dactyl, [ev39,ev43,ev46] ).

constituent( st03, single, [ev00] ).    constituent( st04, single, [ev03] ).
constituent( st05, single, [ev24] ).    constituent( st06, single, [ev27] ).
constituent( st07, single, [ev30] ).    constituent( st08, single, [ev33] ).
constituent( st09, single, [ev36] ).    constituent( st10, single, [ev37] ).
constituent( st11, single, [ev38] ).    constituent( st12, single, [ev47] ).
constituent( st13, single, [ev51] ).

% metric chunks
constituent( st50, metric_chunk, [st03,st04] ).
constituent( st51, metric_chunk, [st00] ).
constituent( st52, metric_chunk, [st01] ).
constituent( st53, metric_chunk, [st05] ).
constituent( st54, metric_order, [st50,st51,st52,st53] ).
```

Το ίδιο πρόγραμμα μπορεί να λειτουργήσει έστω και αν οι διάρκειες των γεγονότων αναπαρασταθούν με άλλο τρόπο, για παράδειγμα με κάποιο άλλο όνομα. Το ίδιο τμήμα μουσικής παρουσιάζεται και στο παρακάτω σχήμα, μόνο που η διαφορά εδώ είναι ότι οι διάρκειες αναπαρίστανται με ονόματα και με ρυθμό αύξησης του χρόνου που έχει σχέση με τον αριθμό των μέτρων ‘**Bar_Number**’ και των ρυθμικών αξιών ‘**Beat_Number**’.

```
event( ev00, [g,natural,4], 0+0, crotchet, [ ] ).    event( ev01, [g,natural,3], 0+0, crotchet, [ ] ).
event( ev02, [g,natural,2], 0+0, crotchet, [ ] ).    event( ev03, [g,natural,4], 0+2, crotchet, [ ] ).
...                                                  event( ev26, [d,natural,2], 1+4, minim, [ ] ).
```

5.7.3. Παράδειγμα 3^ο

Ας αναφέρουμε άλλο ένα παράδειγμα αναπαράστασης χρησιμοποιώντας το έργο του Debussy ‘**Syrinx**’. Οι φόρμες **αναπαράστασης**, τα συστατικά δηλαδή που θα παρουσιαστούν παρακάτω, θα περιέχουν λεπτομέρειες για το ύψος (**pitch**), το διάστημα, το ρυθμό (**onset time**) και τη διάρκεια. Όλοι αυτοί οι τύποι παρουσιάζονται περίπου με τη μορφή που έχουμε αναφέρει και παραπάνω. Χρησιμοποιούνται και οι βασικές συναρτήσεις, όπως αριθμητικές, ισότητας, συγκριτικές ($\geq$, $\neq$), λειτουργικές (+, -) και συναρτήσεις πρόσβασης του τύπου (δώσε ένα identifier σε αυτό το event, πάρε αυτο το pitch για αυτό το event).

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, το ύψος (pitch) είναι μια τριπλή φόρμα από τα εξής χαρακτηριστικά: {**όνομα νότας** (note name), **οπλισμός** (accidental), **οκτάβα** (octave)}, όπου ο οπλισμός δίνεται από τα σύμβολα:

- **bb** = διπλή ύφεση
- **b** = μία ύφεση
- **=**, σημαίνει κανένας οπλισμός ή αναίρεση
- **#** = μία δίεση
- **x** = διπλή δίεση

Τα διαστήματα είναι ακέραιοι αριθμοί από ημιτόνια και το βασικό μέτρο και η διάρκεια είναι κάποια μετατρεπόμενα ονόματα νοτών. Οι συζεύξεις διαρκείας σημειώνονται με το (+). Παρακάτω έχουμε τη **εικόνα 1**, που είναι η μουσική παρτιτούρα του πρώτου μέτρου από το έργο του Debussy ‘**Syrinx**’.

Και στη **εικόνα 2** έχουμε την αναπαράστασή μας βασισμένη στη γλώσσα Prolog.

```
event(e000,[b,b,1],0,dotted_quaver).
event(e001,[a,=,1],dotted_quaver,demisemiquaver).
event(e002,[b,=,1],dotted_quaver+demisemiquaver,demisemiquaver).
event(e003,[a,b,1],crotchet,dotted_quaver).
event(e004,[g,=,1],dotted_crotchet+semiquaver,demisemiquaver).
event(e005,[a,=,1],dotted_crotchet+dotted_semiquaver,demisemiquaver).
event(e006,[g,b,1],minim,semiquaver).
event(e007,[f,=,1],minim+semiquaver,semiquaver).
event(e008,[e,=,1],minim+quaver,semiquaver).
event(e009,[d,b,1],minim+dotted_quaver,semiquaver).
event(e010,[b,b,1],dotted_minim,dotted_quaver).
event(e011,[c,=,2],dotted_minim+dotted_quaver,demisemiquaver).
event(e012,[c,b,2],dotted_minim+(dotted_quaver+demisemiquaver),demisemiquaver).
event(e013,[b,b,1],dotted_minim+crotchet,minim).
```

Figure 2: The first bar of “Syrinx” in our first example representation

Ας εξηγήσουμε το πρώτο συστατικό του παραπάνω πίνακα αναλυτικά:

- event (e000), έχουμε το πρώτο γεγονός
- [b,b,1], το πρώτο πεδίο φανερώνει το όνομα της νότας, δηλαδή **b = νότα Σι**, το δεύτερο πεδίο αναφέρεται στον οπλισμό, δηλαδή b = μία ύφεση, και το τρίτο πεδίο που δηλώνεται με 1, είναι η οκτάβα και που στη συγκεκριμένη περίπτωση θεωρείται ως η πρώτη με βάση τη γραφή του συγκεκριμένου έργου.
- Τα υπόλοιπα στοιχεία έχουν να κάνουν με χαρακτηριστικά της νότας όπως η διάρκεια της (demisemiquaver) και το αν ανήκουν ή όχι σε κάποιο υπογκρούπ, όπως φανερώνεται στο συστατικό (e003) με το πεδίο ‘crotchet’.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι θέλουμε να μάθουμε αν η πρώτη και η τρίτη νότα σε μία φράση και συγκεκριμένα στην πρώτη φράση είναι ίδιου τονικού ύψους, έχουν δηλαδή ίδιο ‘pitch’. Αυτό μπορεί να εκφραστεί σε μια συναρτησιακή γλώσσα προγραμματισμού ως εξής:

eqpitch (getpitch (e000), getpitch (e002))

ή με βάση το λογικό προγραμματισμό,

getpitch (e000, X), getpitch (e002, Y), X eqpitch Y

Το πιο σημαντικό που πρέπει να τονίσουμε σε αυτό το παράδειγμα είναι ότι δεν είμαστε υποχρεωμένοι να αναφερόμαστε σε κάθε γεγονός (event) ξεχωριστά για το είδος και τον τύπο του. Τα **events** έχουν την προσπέλαση στο σύστημα αναπαράστασής μας μέσω των **identifiers**, οι οποίοι είναι γενικοί για οποιοδήποτε σύστημα αναπαράστασης.

5.8. Αναπαράσταση μέσω πρωτοκόλλου MIDI

Ο όρος **MIDI** προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων *Musical Instrument Digital Interface* το οποίο σε ελληνική απόδοση σημαίνει *Ψηφιακή διασύνδεση Μουσικών Οργάνων* και αναφέρεται στον εξ αποστάσεως έλεγχο και την επικοινωνία ανάμεσα σε ηλεκτρονικά μουσικά όργανα και άλλες συσκευές, όπως ηλεκτρονικούς υπολογιστές με λογισμικό μουσικής εγγραφής (*Sequencer*), ρυθμομηχανές (*drum-machines*), δειγματολήπτες (*samplers*), συνθετητές με δυνατότητα μουσικής εγγραφής (*Workstation Synthesizer*), συσκευές συγχρονισμού κ.ά., ανεξαρτήτως κατασκευαστή.

Το **MIDI** λοιπόν είναι μια διαπροσωπεία [90] με την οποία διάφορα ηλεκτρονικά μουσικά όργανα, αλλά και κάρτες ήχου ενσωματωμένες σε υπολογιστικά συστήματα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους και να συγχρονίζουν τη λειτουργία τους. Η διαπροσωπεία αποτελείται από ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας και μια γλώσσα μορφοποίησης. Το γεγονός, ότι το MIDI προσφέρει μια γλώσσα μορφοποίησης με την οποία είναι δυνατή η κωδικοποίηση του είδους αλλά και των χρονικών στιγμών κατά τις οποίες θα παραχθούν διάφοροι ήχοι, επιτρέπει τη αναπαράσταση μουσικών κομματιών σε μορφή «παρτιτούρας» σε ανάλογα αρχεία .MID τα οποία και αναπαράγονται από τα ηλεκτρονικά μουσικά όργανα που χρησιμοποιούνται. Με τον τρόπο αυτό τα αρχεία που απαιτούνται για την αποθήκευση μουσικών κομματιών έχουν μικρό μέγεθος σε σχέση με αυτό που θα ήταν απαραίτητο για την αποθήκευση της ηχητικής κυματομορφής ενός μουσικού κομματιού (αναλυτικά στοιχεία για το MIDI αναφέρονται στο Παράρτημα Α).

5.9. Αναπαράσταση μέσω του MSQ Project

Το MSQ Project* είναι μία ανεξάρτητη πλατφόρμα, εύκολα αναγνώσιμη και παραμετροποιήσιμη, της οποίας τα αρχεία παραγωγής “file format” είναι ικανά για αλγοριθμικό χειρισμό και αλγοριθμικής σύνθεσης τόσο καλά όσο και η διαχείριση σε πραγματικό χρόνο των οργάνων μέσω πρωτοκόλλου MIDI (midi instruments).

Το **MSQ file format**, είναι αρχείο κειμένου τύπου *plain ASCII*, το οποίο αναπαριστά σειρές από εντολές midi με καθαρά χρονολογική σειρά των γεγονότων που συμβαίνουν ανεξάρτητα από το ποιο κανάλι Midi συμβαίνει το συγκεκριμένο γεγονός (event). Εκτός των άλλων, δεν είναι μόνο για μετάφραση των αρχείων Midi σε αρχεία τύπου ASCII αλλά ορίζει ξεκάθαρα της εντολές του midi αρχείου και είναι άμεσα συμβατό με οποιοδήποτε τύπου αρχείων συμβατό με κωδικοποίηση midi.

Το πακέτο MSQ package περιλαμβάνει τα παρακάτω δομικά προγραμματιστικά στοιχεία:

msq2mid	MSQ to MIDI converter Μετατροπή MSQ files σε Standard MIDI files
mid2msq	MIDI to MSQ converter Μετατροπή Standard MIDI files σε MSQ files
merge	MSQ file merge Ενοποίηση δύο (2) MSQ αρχείων μαζί

play	MSQ file player (sequencer) Αναπαραγωγή MSQ αρχείων σε οποιαδήποτε MIDI συσκευή
mmid	Multi Media device ID finder Εύρεση του IDs από τις διαθέσιμες πολυμεσικές συσκευές που υπάρχουν σε ένα υπολογιστικό σύστημα προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για αναπαραγωγή πολυμεσικών αρχείων (τύπου midi ή τύπου msq).

Όλα τα εργαλεία του πακέτου MSQ είναι εργαλεία κονσόλας (console applications).

Περισσότερες λεπτομέρειες για το Project MSQ αναφέρονται στο Παράρτημα Β.

*Το MSQ Project δημιουργήθηκε από τους Siegfried Koepf και Bernd Haerperfer το 1998 ικανοποιώντας την ανάγκη για ένα σύστημα συμβατό με το MIDI για αλγοριθμική σύνθεση (algorithmic composition) και σύνθεση μέσω παρτιτούρας (score synthesis).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. Μάθηση μέσω της Εξόρυξης Γνώσης (Learning and Data Mining)

6.1. Ανεύρεση Γνώσης

Η *ανεύρεση γνώσης* (knowledge discovery), και η άμεσα συνακόλουθη τεχνική *εξόρυξη από δεδομένα* (data mining) (π.χ. [Fayyad]), αποτελεί την πλέον σύγχρονη θεμελιώδη τεχνική των *Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων*. Αφορά στην αυτόματη εξαγωγή γνώσης, κυρίως σε μορφή κανόνων/συμβουλών, από δεδομένα. Επιβλήθηκε από τη μεγάλη ανάπτυξη των εμπορικών και επιστημονικών βάσεων δεδομένων και την ανάγκη ανάλυσης του τεράστιου όγκου δεδομένων που αποθηκεύουν. Έχει υπολογισθεί (International Data Corporation) ότι από το 1990 μέχρι το 1998 έχει εξαπλασιασθεί ο όγκος των αποθηκευμένων παγκοσμίως δεδομένων στα μεγάλα συστήματα Η/Υ (mainframes). Είναι χαρακτηριστική η ρήση του συγγραφέα και μελλοντολόγου John Naisbitt: «πνιγόμαστε στις πληροφορίες αλλά διψάμε για γνώση» («we are drowning in information, but starving for knowledge»). Η *ανεύρεση γνώσης* βασίζεται στη δυνατότητα ανάλυσης μεγάλου πλήθους δεδομένων, η οποία ανάλυση, αν δεν αυτοματοποιηθεί με τη χρήση Η/Υ, είναι πρακτικά αδύνατη. Τα δεδομένα προς ανάλυση μπορεί να είναι από τα οικονομικά δεδομένα μίας επιχείρησης μέχρι εικόνες από δορυφόρους και μουσικές παρτιτούρες, ανάλογα με την εφαρμογή.

Η *ανεύρεση γνώσης* έχει εφαρμοστεί επιτυχημένα σε πλήθος προβλημάτων, τα πιο συνήθη από τα οποία είναι τα εξής:

Προώθηση προϊόντων: π.χ. διαχείριση και έρευνα της πελατειακής βάσης μίας επιχείρησης.

Λιανεμπόριο: π.χ. αναγνώριση των προτιμήσεων των πελατών.

Οικονομικά: π.χ. αναγνώριση της επικινδυνότητας (risk analysis).

Βιομηχανία: π.χ. επεξεργασία των προδιαγραφών των ανταλλακτικών.

Υγεία: π.χ. διάγνωση.

Ενέργεια: π.χ. πρόβλεψη των απαιτήσεων για κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Η *ανεύρεση γνώσης* είναι μία ακολουθία από βήματα, πολλές φορές επαναλαμβανόμενη, όπου σε κάθε βήμα ο χρήστης πρέπει να καθορίσει παραμέτρους, ανάλογα με την εφαρμογή. Τα βήματα που τη συνιστούν παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.

Εικόνα 1

Στο πρώτο στάδιο επιλέγονται από το σύνολο των δεδομένων εκείνα τα χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν. Αν θεωρήσουμε τη συνήθη περίπτωση, κατά την οποία τα δεδομένα έχουν οργανωθεί σε *πίνακες* (tables) μίας *σχεσιακής βάσης δεδομένων* (relational database), στο πρώτο στάδιο επιλέγονται οι *πίνακες* αλλά και τα *πεδία* (fields) προς ανάλυση που ενδιαφέρουν. Πολύ συχνά απαιτείται να σχεδιασθεί ένα *αρχιτεκτόνημα δεδομένων* (data warehouse) για την αποθήκευση των επιλεγμένων δεδομένων. Ένα βασικό προτέρημα της *ανεύρεσης γνώσης* (σε σύγκριση με τις παραδοσιακές στατιστικές μεθόδους) είναι ότι δεν απαιτεί κάποια υπόθεση εργασίας την οποία θα προσπαθούσε να επιβεβαιώσει ή όχι, αλλά παρέχει αυτόματα, υπό μορφή κανόνων, ένα σύνολο επιβεβαιωμένων τέτοιων υποθέσεων εργασίας. Απ' αυτή την άποψη, όσα περισσότερα χαρακτηριστικά (παράβαλε «πεδία») επιλεγούν στο πρώτο στάδιο τόσο περισσότεροι εξαντλητικοί είναι οι κανόνες που εξάγονται, δηλαδή τόσο πιο

πλούσια είναι η γνώση που ανευρίσκεται. Από την άλλη μεριά όμως, η αύξηση αυτή έχει άμεση επίδραση στην αύξηση της πολυπλοκότητας χρόνου της τεχνικής. Ανάλογα με τον αλγόριθμο *εξόρυξης από δεδομένα* που χρησιμοποιείται, η αύξηση της πολυπλοκότητας χρόνου μπορεί να είναι και απαγορευτική για την εφαρμογή της τεχνικής. Συνεπώς, ανάλογα με την περίπτωση εφαρμογής, ο χρήστης πρέπει να κάνει τους κατάλληλους συμβιβασμούς.

Αφού επιλεγούν τα δεδομένα προς ανάλυση, πολύ συχνά απαιτείται μία προεπεξεργασία τους ώστε να ικανοποιούν τις απαιτήσεις για την εφαρμογή της τεχνικής και του αλγόριθμου *εξόρυξης από δεδομένα* που θα χρησιμοποιηθεί. Συχνά, αυτή η προεπεξεργασία, που γίνεται στο δεύτερο στάδιο, αφορά στην απομάκρυνση πιθανού θορύβου από τα δεδομένα και τη διαχείριση των κενών τιμών στα *πεδία*. Η αντιμετώπιση του προβλήματος των κενών τιμών γίνεται με διάφορους τρόπους, από την απλή διαγραφή των *εγγραφών* (records) που περιέχουν *πεδία* με κενές τιμές μέχρι την αντικατάσταση των κενών τιμών με ειδική τιμή (π.χ. «ΑΓΝΩΣΤΟ») ή με την πιο συχνά εμφανιζόμενη τιμή ή ακόμα με τιμές που προκύπτουν από μία πιθανοτική κατανομή, κ.α. Επίσης, στο δεύτερο στάδιο γίνεται, αν απαιτείται, ένας μετασχηματισμός των δεδομένων ώστε να έχουν κατάλληλη μορφή για την εφαρμογή του αλγόριθμου *εξόρυξης από δεδομένα*, που θα χρησιμοποιηθεί. Ο μετασχηματισμός μπορεί να γίνεται για πολλούς διαφορετικούς λόγους. Για παράδειγμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι μείωσης των χαρακτηριστικών (*πεδίων*) που έχουν επιλεγεί (ελάττωση διαστάσεων), ώστε να μειωθεί η πολυπλοκότητα χρόνου, όπως έχει αναφερθεί παραπάνω. Μπορεί, βέβαια, να γίνουν και απλοί μετασχηματισμοί των τιμών κάποιων *πεδίων*, όπως για παράδειγμα η μετατροπή της ημερομηνίας γέννησης του υπαλλήλου σε ηλικία ή η αντικατάσταση των τιμών εισοδήματος με διαστήματα τιμών (χαμηλό, μέσο, υψηλό) ή δημιουργία ενός νέου *πεδίου* σαν συνάρτηση κάποιων άλλων, κ.α. Από τους πλέον συνήθεις μετασχηματισμούς είναι η μετατροπή του εύρους των αριθμητικών τιμών των *πεδίων* και η μετατροπή κατηγορικών δεδομένων σε αριθμητικά.

Στο τρίτο στάδιο γίνεται αρχικά η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής *εξόρυξης από δεδομένα* και έπειτα η επιλογή του κατάλληλου αλγόριθμου που την υλοποιεί. Επιπλέον, καθορίζονται οι παράμετροι των αλγορίθμων αυτών, ανάλογα με την περίπτωση εφαρμογής. Στο στάδιο αυτό θα αναφερθούμε εκτενέστερα παρακάτω.

Το τελευταίο στάδιο είναι βασικό για την επιτυχία της μεθοδολογίας και αφορά αφ' ενός στην αξιολόγηση της σημαντικότητας των εξαγομένων γνώσεων και αφ' ετέρου

στην παρουσίασή τους, με όσο το δυνατό πιο κατανοητό και φιλικό τρόπο, στον τελικό χρήστη. Η σπουδαιότητα των εξαγομένων γνώσεων, που αναφέρεται με τον όρο *σημασιολογική σπουδαιότητα* (interestingness), μπορεί να ορισθεί με βάση συγκεκριμένες παραμέτρους του αλγόριθμου *εξόρυξης από δεδομένα* που χρησιμοποιήθηκε. Όσον αφορά στην παρουσίαση των εξαγομένων γνώσεων, θα πρέπει να σημειωθεί ότι αποτελεί καθοριστικό παράγοντα αποδοχής της μεθοδολογίας [Piatetsky-Shapiro]. Η απλή παράθεση των εξορυχθέντων κανόνων (reporting), οι οποίοι μπορεί να είναι μέχρι και μερικές εκατοντάδες, απαιτεί από τον χρήστη επιπλέον προσπάθεια προσπέλασης αυτών που ενδιαφέρουν. Χρειάζονται περισσότερο περίτεχνες μέθοδοι παρουσίασης. Για παράδειγμα, έχει προταθεί η χρήση Έμπειρων Συστημάτων (Expert Systems) για την προσπέλαση των εξορυχθέντων κανόνων [Boutsinas02a].

Είναι φανερό ότι το βασικότερο στάδιο είναι το στάδιο της εξόρυξης από δεδομένα, αν και έχει υπολογισθεί ότι το 80% του χρόνου ολοκλήρωσης της ακολουθίας των παραπάνω βημάτων καταναλώνεται στα υπόλοιπα, μάλλον υποβοηθητικά, στάδια. Στα επόμενα θα αναφερθούμε αποκλειστικά σε αυτό το στάδιο, περιγράφοντας τις διάφορες τεχνικές και αλγόριθμους που το υλοποιούν.

Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι γνώσης που μπορούν να εξαχθούν αυτόματα, με τη μορφή κανόνων, από τα δεδομένα:

1. Οι κανόνες ταξινόμησης
2. Οι κανόνες ομαδοποίησης
3. Οι κανόνες συσχέτισης

Οι μέθοδοι εξαγωγής τέτοιων κανόνων επίσης ποικίλουν. Έχουν χρησιμοποιηθεί μέθοδοι εξόρυξης από τα επιστημονικά πεδία της Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning), της στατιστικής ανάλυσης (statistical analysis), της αριθμητικής ταξινόμησης (numerical taxonomy), της παλινδρόμησης (regression analysis), της ανάλυσης χρονοσειρών (time series analysis), κ.λ.π. Όμως, στα επόμενα θα επικεντρωθούμε στις μεθόδους που χρησιμοποιούν αλγόριθμους Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning), θεωρώντας ότι αυτές έχουν το πλεονέκτημα έναντι των υπολοίπων να μπορούν να βασίζονται σε ήδη υπάρχουσα γνώση (background knowledge) για να εξάγουν νέα γνώση σ' ένα εννοιολογικό επίπεδο (conceptual level) και ταυτόχρονα να παρέχουν αποδεικτικά πειστήρια για την ορθότητα αυτής της νέας γνώσης πάλι σ' ένα εννοιολογικό επίπεδο.

6.1.1. Ταξινόμηση (classification)

Η ταξινόμηση (classification) είναι μία από τις πιο δημοφιλείς και αποτελεσματικές τεχνικές *εξόρυξης από δεδομένα*. Έχει ερευνηθεί ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια και έχει προσφέρει πολύ σημαντικές εφαρμογές. Οι αλγόριθμοι ταξινόμησης (classification algorithms) [π.χ. Boutsinas01, Clark, Quinlan, Rumelhart] εφαρμόζονται σε δεδομένα, προταξινομημένα σε συγκεκριμένες κλάσεις, με στόχο την εξαγωγή κανόνων, τους οποίους στη συνέχεια μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για να ταξινομήσουμε νέα δεδομένα σ' αυτές τις συγκεκριμένες κλάσεις. Ένα σύνολο εξαγόμενων κανόνων ονομάζεται και *ταξινομητής* (classifier).

Συγκεκριμένα, αν ένα σύνολο από δεδομένα δοθούν σαν είσοδος σ' έναν αλγόριθμο ταξινόμησης, ο αλγόριθμος «μαθαίνει» από το πώς αυτά τα δεδομένα έχουν ταξινομηθεί. Το «μαθαίνει» αντιστοιχεί στη δημιουργία ενός συνόλου από κανόνες. Στη συνέχεια, ο αλγόριθμος μπορεί, βασιζόμενος σε αυτούς τους κανόνες να ταξινομήσει νέα δεδομένα.

Οι κανόνες ταξινόμησης είναι οι πλέον διαδεδομένοι και χρησιμοποιούμενοι. Μερικές συνήθεις εφαρμογές τους είναι: η αναγνώριση των κατάλληλων πελατών για αποστολή διαφημιστικών φυλλαδίων, η αναγνώριση της επικινδυνότητας των υποψηφίων για δάνειο από μία τράπεζα, η διάγνωση της ασθένειας από τα συμπτώματα, κ.α.

Ας θεωρήσουμε την εφαρμογή της δημιουργίας περιγραφών πελατών (customer profiles). Δηλαδή, ας υποθέσουμε, για παράδειγμα, ότι έχουμε έναν πίνακα μίας *σχεσιακής βάσης δεδομένων* σαν τον παρακάτω Πίνακα 1, που χρησιμοποιείται για να «μάθει» ένας αλγόριθμος ταξινόμησης:

Πίνακας 1. Πίνακας Πελατών.

ΗΛΙΚΙΑ	ΕΠΑΓΓΕΛΜΑ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΚΛΑΣΗ
37	ΠΑΙΔΙΑΤΡΟΣ	ΠΛΑΚΑ	ΚΑΛΟΣ
33	ΔΙΚΗΓΟΡΟΣ	ΠΕΙΡΑΙΑΣ	ΚΑΚΟΣ
45	ΟΔΗΓΟΣ	ΝΙΚΑΙΑ	ΜΕΤΡΙΟΣ
37	ΧΕΙΡΟΥΡΓΟΣ	ΚΗΦΙΣΙΑ	ΚΑΛΟΣ
...	...	...	...

Το σύστημα θα «μάθει» κανόνες για το ποιός είναι ο τύπος του «ΚΑΛΟΥ», του «ΚΑΚΟΥ» και του «ΜΕΤΡΙΟΥ» πελάτη. Συνεπώς, ένας νέος πελάτης ανάλογα με την ηλικία, επάγγελμα και περιοχή του, μπορεί να ταξινομηθεί κατάλληλα, με όλες τις συνέπειες που μπορεί να έχει αυτό στη συμπεριφορά της επιχείρησης προς αυτόν.

Τα βήματα εφαρμογής ενός αλγόριθμου ταξινόμησης είναι απλά. Ας υποθέσουμε ότι έχουμε έναν πίνακα μίας *σχεσιακής βάσης δεδομένων*, δηλαδή ένα σύνολο από *εγγραφές* που ή κάθε μία έχει ήδη ταξινομηθεί σε συγκεκριμένη κλάση, πιθανόν με βάση κάποια ιστορικά στοιχεία ή υπάρχουσα γνώση. Έτσι υπάρχει ένα *πεδίο*, το *πεδίο κλάσης* (class attribute), του οποίου οι τιμές είναι η κλάση της κάθε *εγγραφής* (βλέπε αντίστοιχο *πεδίο* στον Πίνακα 1). Το σύνολο αυτό καλείται *σύνολο εκπαίδευσης* (training set). Τα υπόλοιπα *πεδία* των εγγραφών, ή κάποια από αυτά που εμείς θα επιλέξουμε, είναι αυτά με τα οποία θα γίνει η εκπαίδευση. Μετά την εκπαίδευση μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον *ταξινομητή* που προκύπτει σε άλλες *εγγραφές* για τις οποίες δεν ξέρουμε σε ποια κλάση ανήκουν. Μπορεί να ελεγχθεί η ακρίβεια ταξινόμησης του *ταξινομητή* που εξήχθη με βάση ένα δεύτερο προταξινομημένο σύνολο *εγγραφών*, το *σύνολο ελέγχου* (test set). Ταξινομούμε το *σύνολο ελέγχου* εκ νέου χρησιμοποιώντας τον *ταξινομητή* και μετράμε το ποσοστό των λανθασμένων ταξινομήσεων (error rate).

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι αλγόριθμων ταξινόμησης, ανάλογα με τη δομή του ταξινομητή που παράγουν. Οι αλγόριθμοι που παράγουν *δένδρα αποφάσεων* (decision trees) [π.χ. Quinlan] και αυτοί που παράγουν *λίστες αποφάσεων* (decision lists) [π.χ. Clark]. Θα περιγράψουμε στη συνέχεια ένα παράδειγμα *ταξινομητή* από κάθε περίπτωση. Θεωρείστε το παρακάτω απλό σύνολο εκπαίδευσης:

Ποινικό Μητρώο	Εισόδημα	Έγκριση Δανείου
Όχι	Χαμηλό	Όχι
Ναι	Χαμηλό	Όχι
Όχι	Υψηλό	Ναι
Ναι	Υψηλό	Όχι

Το συγκεκριμένο σύνολο εκπαίδευσης έχει δύο *πεδία*, τα «Ποινικό Μητρώο» και «Εισόδημα» και ένα *πεδίο κλάσης*, το «Έγκριση Δανείου». Αν χρησιμοποιήσουμε έναν αλγόριθμο ταξινόμησης που παράγει *δένδρα αποφάσεων*, θα εξαχθεί το *δένδρο αποφάσεων* που φαίνεται στην Εικόνα 2. Με ελλειπτικό σχήμα παρουσιάζονται τα *πεδία* και με ορθογώνιο η κλάση.

Εικόνα 2

Αντίστοιχα, ένας αλγόριθμος ταξινόμησης που παράγει λίστες αποφάσεων, εξάγει την παρακάτω λίστα κανόνων:

Αν Ποινικό Μητρώο=«Όχι» και Εισόδημα=«Χαμηλό» τότε Έγκριση Δανείου=«Όχι»

Αν Ποινικό Μητρώο=«Όχι» και Εισόδημα=«Υψηλό» τότε Έγκριση Δανείου=«Ναι»

Αν Ποινικό Μητρώο=«Ναι» τότε Έγκριση Δανείου =«Όχι»

Οι ταξινομητές που παράγονται από τους αλγόριθμους ταξινόμησης δεν είναι μοναδικοί. Εξαρτώνται από παραμέτρους που καθορίζει ο χρήστης και σχετίζονται με τη επιλογή του κριτηρίου με το οποίο επιλέγονται είτε οι κόμβοι ενός δένδρου αποφάσεων είτε τα πεδία σε μία λίστα αποφάσεων. Το κριτήριο αυτό συνήθως βασίζεται σε εκτιμήσεις του πόσο καλά χωρίζεται κάθε φορά το σύνολο εκπαίδευσης, ώστε να καταλήξουμε στο τέλος σε υποσύνολα που ανήκουν σε μία κλάση. Τέλος, σημαντικό ζήτημα για τέτοιους αλγορίθμους είναι η αντιμετώπιση του θορύβου αλλά και η διαχείριση των κενών τιμών στα πεδία.

Η εξαγωγή δένδρων αποφάσεων από σύνολα δεδομένων και η χρήση τους για ταξινόμηση είναι ίσως η παλαιότερη έκφραση της εξόρυξης από δεδομένα. Τα δένδρα αποφάσεων έχουν στη ρίζα τους και στους ενδιάμεσους κόμβους τιμές των διαφόρων πεδίων και στα φύλλα τους τιμές του πεδίου κλάσης. Ο κάθε κόμβος διακλαδώνεται προς τα κάτω, έχοντας ένα κλαδί για κάθε διακριτή τιμή του πεδίου. Σε περίπτωση που το πεδίο είναι συνεχές (continuous) αριθμητικό χωρίζεται το εύρος του πεδίου σε διαστήματα (value ranges) και ο κόμβος διακλαδώνεται με βάση αυτά.

Ένας αλγόριθμος που παράγει δένδρα αποφάσεων ακολουθεί συνήθως αναλυτική προσέγγιση (top-down), δημιουργεί δηλαδή το δένδρο από τη ρίζα και προχωράει προς τα κάτω. Με βάση όλο το σύνολο εκπαίδευσης, επιλέγει το πεδίο που θα τοποθετηθεί στη ρίζα του δένδρου. Για κάθε διακριτή τιμή (ή διάστημα) του πεδίου αυτού, ορίζεται ένα υποσύνολο εγγραφών, οι εγγραφές του οποίου έχουν στο συγκεκριμένο πεδίο τη συγκεκριμένη διακριτή τιμή. Ο αλγόριθμος αναδρομικά, έχοντας κάνει την πρώτη διακλάδωση, προσπαθεί να βρει για το καθένα από τα υποσύνολα το δικό του υποδένδρο αποφάσεων (decision subtree). Μόλις συναντήσει υποσύνολο, το οποίο ανήκει όλο σε μία μόνο κλάση, σταματά τη διακλάδωση προς τα κάτω και τοποθετεί στο σημείο εκείνο του δένδρου ένα φύλλο με την κλάση στην οποία ανήκει το υποσύνολο.

Η διαφορά των αλγορίθμων ταξινόμησης που παράγουν δένδρα αποφάσεων επικεντρώνεται βασικά στον τρόπο με τον οποίο επιλέγεται κάθε φορά το πεδίο με βάση το οποίο θα γίνει η διακλάδωση. Συνήθως χρησιμοποιούνται στατιστικά κριτήρια που εφαρμόζονται πάνω στο εξεταζόμενο σύνολο εγγραφών. Αν τα πεδία έχουν επαρκή πληροφορία, είναι πάντα δυνατόν να βρεθεί ένα δένδρο αποφάσεων που ταξινομεί σωστά όλες τις εγγραφές του συνόλου εκπαίδευσης. Συνήθως, μάλιστα, υπάρχουν περισσότερα του ενός τέτοια δένδρα αποφάσεων. Βέβαια, το ουσιώδες θέμα είναι το δένδρο αποφάσεων που θα προκύψει να είναι χρήσιμο για ταξινόμηση και νέων εγγραφών, εκτός του συνόλου εκπαίδευσης. Η αρχή που ακολουθείται για να επιλεγεί το καλύτερο δένδρο αποφάσεων είναι να προτιμηθεί το απλούστερο (η αρχή αυτή αναφέρεται γενικά με τον όρο «Occam's razor»). Μάλιστα, ορισμένοι αλγόριθμοι ταξινόμησης, (π.χ. ο C4.5), έχουν ένα επιπλέον βήμα μετά την παραγωγή του δένδρου αποφάσεων κατά το οποίο γίνεται η απλούστευσή του.

Στη συνέχεια θα περιγραφεί αναλυτικά ένας από τους βασικότερους αλγόριθμους ταξινόμησης που παράγει δένδρα αποφάσεων, ο ID3 [Quinlan]. Ο αλγόριθμος ID3 παρουσιάστηκε ολοκληρωμένα από τον J.R. Quinlan στο περιοδικό Machine Learning το 1986. Η αρχική του έκδοση είχε δημοσιευτεί από τον ίδιο το 1979. Το όνομά του προκύπτει από τα αρχικά Induction of Decision Trees (3 → three). Ο αλγόριθμος αυτός θεωρήθηκε πρωτοποριακός την εποχή εκείνη εξαιτίας της πληρότητας της μελέτης αλλά και της αποτελεσματικότητάς του, ακόμα και σε ειδικές ανεπιθύμητες καταστάσεις του συνόλου εκπαίδευσης, όπως ο θόρυβος (noise) ή οι κενές τιμές (missing values). Η έρευνα που ακολούθησε ανέδειξε πολλές βελτιωμένες εκδόσεις του, (π.χ. οι αλγόριθμοι

C4.5, ID5, κ.α.), ενώ τα περισσότερα εμπορικά συστήματα εξόρυξης από δεδομένα βασίζονται σε αλγόριθμους που αποτελούν εκδόσεις του ID3.

Ο ID3 ανήκει στη οικογένεια των συστημάτων μάθησης TDIDT (Top-Down Induction of Decision Trees), ακολουθώντας την αναλυτική προσέγγιση (top-down). Δέχεται σαν είσοδο ένα σύνολο εκπαίδευσης οι εγγραφές του οποίου έχουν προταξινομηθεί σε κλάσεις. Ο αλγόριθμος, στην αρχική του μορφή, θεωρεί δύο διακριτές τιμές κλάσης οι οποίες συμβολίζονται στη βιβλιογραφία ως P (Positive) και N (Negative). Βέβαια, ο αλγόριθμος εύκολα μπορεί να επεκταθεί και για περισσότερες των δύο τιμές κλάσης. Αντί να εξάγεται το δένδρο αποφάσεων από ολόκληρο το σύνολο εκπαίδευσης, χρησιμοποιείται ένα «παράθυρο», δηλαδή ένα υποσύνολο των εγγραφών. Με το δένδρο που προκύπτει ταξινομείται όλο το σύνολο εκπαίδευσης και ελέγχεται η ακρίβεια της ταξινόμησης. Αν όλες οι εγγραφές έχουν ταξινομηθεί σωστά, τότε το υπάρχον δένδρο γίνεται αποδεκτό και ο αλγόριθμος τερματίζει. Διαφορετικά, προστίθενται κι άλλες εγγραφές στο «παράθυρο» και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Αυτό συνεχίζεται μέχρι όλες οι εγγραφές να ταξινομούνται σωστά από το δέντρο. Εμπειρικά έχει βρεθεί ότι ο αλγόριθμος τερματίζει έτσι γρηγορότερα από το αν γινόταν χρήση ολοκλήρου του συνόλου εκπαίδευσης. Πάντως, για να εξασφαλιστεί η επιτυχής κατάληξη του αλγορίθμου, πρέπει να υπάρχει δυνατότητα το «παράθυρο» να μεγαλώσει τόσο ώστε να περιέχει το σύνολο των εγγραφών. Μία παράμετρος, επομένως, αυτού του αλγορίθμου, είναι τι ποσοστό των εγγραφών θα περιέχει το «παράθυρο», και με τι ρυθμό θα μεγαλώνει εφόσον δεν είναι επαρκές.

Επόμενη και σημαντικότερη παράμετρος είναι το κριτήριο επιλογής του πεδίου για κάθε κόμβο, με το οποίο θα γίνει η διακλάδωση. Χρησιμοποιείται σαν κριτήριο επιλογής ένα μέγεθος δανεισμένο από τη Θεωρία της Πληροφορίας, η *Εντροπία* η οποία δίδεται από τον τύπο $-\sum_{j=1}^m P\{a_j\} \sum_{i=1}^n P\{c_i | a_j\} \log_2 P\{c_i | a_j\}$, για το χαρακτηριστικό (πεδίο) a , όπου $P\{c_i | a_j\}$ είναι η *δεσμευμένη πιθανότητα* να ισχύει η τιμή κλάσης c_i όταν ισχύει η τιμή a_j του a . Το μέγεθος *Εντροπία*, ως αντίθετο στο μέγεθος *Πληροφορία*, δίνει μία εκτίμηση του πόσο λανθασμένα χωρίζεται κάθε φορά το σύνολο εκπαίδευσης, με βάση το συγκεκριμένο πεδίο. Άρα το πεδίο με τη μικρότερη *Εντροπία* χωρίζει καλύτερα το σύνολο εκπαίδευσης. Τα βήματα του αλγορίθμου ID3 έχουν ως εξής:

1. Διάλεξε ένα πεδίο για ρίζα του δένδρου απόφασης και σχημάτισε διακλάδωση με ένα φύλλο για κάθε διαφορετική τιμή (ή διάστημα) αυτού του πεδίου

2. Το δένδρο απόφασης που έχει μέχρι στιγμής κατασκευασθεί χρησιμοποιείται για να ταξινομήσει το σύνολο εκπαίδευσης. Αν όλες οι εγγραφές που ταξινομούνται σε ένα συγκεκριμένο φύλλο ανήκουν στην ίδια κλάση, ονόμασε το φύλλο μ' αυτή την κλάση. Αν όλα τα φύλλα έχουν ονομασθεί με κάποια κλάση ο αλγόριθμος τελειώνει
3. Αλλιώς, για κάθε φύλλο που δεν έχει ονομασθεί με κάποια κλάση, διάλεξε ένα πεδίο που δεν έχει προηγουμένως επιλεγεί στο μονοπάτι από το φύλλο έως τη ρίζα, ονόμασε το φύλλο (κόμβος πλέον) μ' αυτό το πεδίο και σχημάτισε διακλάδωση μ' ένα φύλλο για κάθε διαφορετική τιμή (ή διάστημα) αυτού του πεδίου. Συνέχισε στο Βήμα 2

Έστω ότι το σύνολο εκπαίδευσης αποτελείται από 24 καταγεγραμμένες περιπτώσεις ασθενών μίας οφθαλμιατρικής κλινικής που χρειάστηκε να φορέσουν φακούς επαφής. Τα χαρακτηριστικά (πεδία) που καταγράφηκαν για κάθε περίπτωση καθώς και οι τιμές που μπορούν να πάρουν αυτά τα χαρακτηριστικά είναι:

1. ηλικία (age): που μπορεί να πάρει αντίστοιχα τις κωδικοποιημένες τιμές
(1) νεαρή (young), (2) προ-πρεσβυωπική (pre-presbyopic), (3) πρεσβυωπική (presbyopic)
2. συνταγή για ματογυάλια (spectacle prescription) που μπορεί να πάρει τις κωδικοποιημένες τιμές
(1) μυωπίας (myope), (2) υπερμετρωπίας (hypermetrope)
3. αστιγματισμός (astigmatic) που μπορεί να πάρει αντίστοιχα τις κωδικοποιημένες τιμές
(1) όχι (no), (2) ναι (yes)
4. ρυθμός παραγωγής δακρύων (tear production rate): που μπορεί να πάρει αντίστοιχα τις κωδικοποιημένες τιμές
(1) περιορισμένα (reduced), (2) κανονικά (normal)
5. φακοί επαφής (contact lenses) που μπορεί να πάρει αντίστοιχα τις κωδικοποιημένες τιμές
(1) σκληροί (hard), (2) μαλακοί (soft), (3) όχι (no)

Το τελευταίο χαρακτηριστικό αντιστοιχεί στην κλάση. Το σύνολο εκπαίδευσης φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

ΑΣΘΕΝΗΣ	ΗΛΙΚΙΑ	ΣΥΝΤΑΓΗ ΓΙΑ ΜΑΤΟΓΥΑΛΙΑ	ΑΣΤΙΓΜΑΤΙΣΜΟΣ	ΡΥΘΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΔΑΚΡΥΩΝ	ΦΑΚΟΙ ΕΠΑΦΗΣ
1	1	1	1	1	3
2	1	1	1	2	2
3	1	1	2	1	3
4	1	1	2	2	1
5	1	2	1	1	3
6	1	2	1	2	2
7	1	2	2	1	3
8	1	2	2	2	1
9	2	1	1	1	3
10	2	1	1	2	2
11	2	1	2	1	3
12	2	1	2	2	1
13	2	2	1	1	3
14	2	2	1	2	2
15	2	2	2	1	3
16	2	2	2	2	3
17	3	1	1	1	3
18	3	1	1	2	3
19	3	1	2	1	3
20	3	1	2	2	1
21	3	2	1	1	3
22	3	2	1	2	2
23	3	2	2	1	3
24	3	2	2	2	3

Η Εντροπία για κάθε πεδίο είναι:

1. Entropy(ηλικία)= 1,2867
2. Entropy(συνταγή για ματογυάλια)=1,2866
3. Entropy(αστιγματισμός)=0,9491
4. Entropy(ρυθμός παραγωγής δακρύων)=0,7773

Συνεπώς, σύμφωνα με το πρώτο βήμα, στη ρίζα του δένδρου επιλέγεται το πεδίο «ρυθμός παραγωγής δακρύων» και σχηματίζεται διακλάδωση για τις τιμές του «περιορισμένα» και «κανονικά» (βλέπε Εικόνα 3). Παρατηρούμε ότι όλες οι εγγραφές που ταξινομούνται στο φύλλο «περιορισμένα» ανήκουν στην ίδια κλάση «όχι», οπότε, σύμφωνα με το δεύτερο βήμα, ονομάζουμε το φύλλο μ' αυτή την κλάση.

Για το άλλο φύλλο πρέπει, σύμφωνα με το τρίτο βήμα, να διαλέξουμε ένα πεδίο που δεν έχει προηγουμένως επιλεγεί στο μονοπάτι από το φύλλο έως τη ρίζα. Η Εντροπία για κάθε πιθανό πεδίο είναι:

1. Entropy(ηλικία)= 1,3333
2. Entropy(συνταγή για ματογυάλια)= 1,4591
3. Entropy(αστιγματισμός)= 0,7842

Οπότε επιλέγουμε «αστιγματισμός» και ονομάζουμε τον κόμβο μ' αυτό το πεδίο. Στη συνέχεια σχηματίζουμε διακλάδωση μ' ένα φύλλο για κάθε διαφορετική τιμή («ναι», «όχι») αυτού του πεδίου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.

Η ίδια διαδικασία συνεχίζεται μέχρις ότου ονομαστούν όλα τα φύλλα. Το τελικό δένδρο απόφασης φαίνεται στην Εικόνα 5.

Εικόνα 5

Η ταξινόμηση μίας νέας εγγραφής από τον ταξινομητή που παράγεται γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο. Αρχίζοντας από τη ρίζα του δένδρου απόφασης, γίνεται έλεγχος της τιμής του πεδίου που υπάρχει εκεί. Ανάλογα με την τιμή, γίνεται η διακλάδωση σ' ένα από τα «παιδιά» του, όπου συνεχίζεται ο έλεγχος στο πεδίο που υπάρχει εκεί και ούτω κάθε εξής. Έτσι κατεβαίνουμε από πάνω προς τα κάτω, μέχρι να καταλήξουμε σ' ένα φύλλο το οποίο προσδιορίζει σε ποια κατηγορία ανήκει η εγγραφή.

6.1.2. Ομαδοποίηση (clustering)

Οι κανόνες ομαδοποίησης είναι επίσης πολύ διαδεδομένοι και εφαρμόζονται ευρέως. Διαφέρουν από τους κανόνες ταξινόμησης στο ότι τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για μάθηση δεν είναι προταξινομημένα. Για παράδειγμα, ο παρακάτω πίνακας είναι όμοιος με τον Πίνακα 1, αλλά λείπει το πεδίο «κλάση», δηλαδή ο χαρακτηρισμός του κάθε πελάτη. Το ζητούμενο εδώ είναι να ομαδοποιηθούν τα δεδομένα σε (κ) ομάδες, των οποίων τον αριθμό (κ) δίνει ο χρήστης. Άρα το αποτέλεσμα είναι (κ) κανόνες που περιγράφουν ο καθένας μία από (κ) ομάδες. Για παράδειγμα, μία ομάδα που προκύπτει από τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα, θα μπορούσε να είναι «ΝΕΟΙ, ΙΑΤΡΟΙ, ΚΑΤΟΙΚΟΙ ΑΚΡΙΒΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ».

ΗΛΙΚΙΑ	ΕΠΑΓΓΕΛΜΑ	ΠΕΡΙΟΧΗ
35	ΙΑΤΡΟΣ	ΠΛΑΚΑ
47	ΔΙΚΗΓΟΡΟΣ	ΠΕΙΡΑΙΑΣ
55	ΟΔΗΓΟΣ	ΝΙΚΑΙΑ
33	ΙΑΤΡΟΣ	ΚΗΦΙΣΙΑ
...	...	...

Ο διαχωρισμός ενός μεγάλου συνόλου αντικειμένων σε ομογενείς ομάδες (clusters) είναι μία από τις πλέον θεμελιώδεις τεχνικές εξόρυξης από δεδομένα. Η τεχνική ομαδοποίησης (clustering) χωρίζει ουσιαστικά ένα σύνολο εγγραφών σε ομάδες έτσι ώστε οι εγγραφές που βρίσκονται στην ίδια ομάδα να έχουν περισσότερες ομοιότητες μεταξύ τους, με βάση ορισμένα προκαθορισμένα κριτήρια, απ' ό,τι με εγγραφές άλλων ομάδων. Τα τελευταία χρόνια η τεχνική ομαδοποίησης εφαρμόζεται πολύ συχνά στην ανάλυση μεγάλων συνόλων δεδομένων για μεγάλη ποικιλία εφαρμογών. Έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμες για παράδειγμα στη βιολογία για εξαγωγή ιεραρχιών των οργανισμών του φυτικού βασιλείου, στη ψυχολογία για κατάταξη των ατόμων σε κατηγορίες προσωπικοτήτων, στην αστρονομία για την κατηγοριοποίηση γαλαξιών και γενικότερα των ουράνιων σωμάτων. Σημαντική είναι, βέβαια, η χρησιμότητά τους στη διοίκηση επιχειρήσεων. Σήμερα είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις επιχειρήσεις να μπορούν να ομαδοποιούν τους πελάτες τους σε συγκεκριμένες κατηγορίες. Με βάση αυτές τις κατηγορίες μπορούν να αξιολογήσουν ένα νέο πελάτη με βάση την ομάδα στην οποία κατατάσσεται ή ακόμα να προσδιορίσουν τα χαρακτηριστικά των πελατών που αποφέρουν μεγάλα κέρδη στην εταιρεία. Με βάση αυτό το διαχωρισμό των πελατών

μπορούν να προσανατολίσουν τη στρατηγική της εταιρείας στην εξειδικευμένη εξυπηρέτηση ορισμένων ομάδων. Για παράδειγμα, από την ανάλυση ενός πολύ μεγάλου συνόλου πελατών, μπορεί να μειωθεί το υψηλό κόστος μίας διαφημιστικής εκστρατείας που βασίζεται στην αποστολή ενημερωτικών φυλλαδίων. Αυτό γίνεται περιορίζοντας το πλήθος των πελατών στους οποίους απευθύνεται, επιλέγοντας αυτούς με μεγάλη πιθανότητα να αντιδράσουν θετικά.

Μερικές συνήθειες εφαρμογές των κανόνων ομαδοποίησης είναι: η κατανομή της συνδρομητικής ή πελατειακής βάσης μίας επιχείρησης σε ομάδες, ώστε να ακολουθηθεί κατάλληλη πολιτική σε κάθε μία, η επεξεργασία ερωτηματολογίων, η ομαδοποίηση συνδρομητών χρηστών που προσπελαίνουν μία ιστοσελίδα, ο εντοπισμός ταυτόσημων δεδομένων (για παράδειγμα, τραπεζικοί λογαριασμοί που αφορούν συγγενείς ιδιοκτήτες), η αναγνώριση αντικειμένων σε φωτογραφίες.

Πολλοί αλγόριθμοι ομαδοποίησης έχουν προταθεί κατά καιρούς [π.χ. Huang, Jain, Sander, Vrahatis]. Η αποδοτικότητα τους σχετίζεται άμεσα με το είδος των δεδομένων που θα διαχειριστούν. Για να μπορέσει να γίνει η επιλογή του κατάλληλου αλγορίθμου απαραίτητη προϋπόθεση είναι η μελέτη των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό κυρίως του κριτηρίου ομοιότητας των εγγραφών μίας ομάδας. Έχουν προταθεί διάφορα μέτρα (αν)ομοιότητας, ανάλογα με τη φύση των δεδομένων. Τα πλέον γνωστά είναι: η Ευκλείδεια απόσταση, ο υπολογισμός του αριθμού των διαφορετικών τιμών σε συγκεκριμένα πεδία, η συχνότητα εμφάνισης των διαφόρων τιμών στα πεδία αλλά και συνδυασμοί τους, Γενικά, η τεχνική της ομαδοποίησης μπορεί να είναι: *στατιστική* ή *αριθμητική* (statistical/numerical clustering) και *εννοιολογική* (conceptual clustering). Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιούνται διάφορα αριθμητικά κριτήρια ομοιότητας ενώ στη δεύτερη ο προσδιορισμός των ομάδων βασίζεται στο νόημα και στις έννοιες που αυτά αντιπροσωπεύουν. Έτσι στην *αριθμητική* ομαδοποίηση οι ομάδες που προκύπτουν περιγράφονται από αριθμητικές τιμές ενώ στη *εννοιολογική* ομαδοποίηση από κατηγορικές. Πολλοί από τους αλγορίθμους ομαδοποίησης απαιτούν το *σύνολο εκπαίδευσης* που επεξεργάζονται να είναι είτε αριθμητικό (π.χ. k-means [Jain]) είτε κατηγορικό (π.χ. k-modes [Huang]). Σ' αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να γίνει μετασχηματισμός όπως αναφέρθηκε προηγούμενα. Υπάρχουν βέβαια και αλγόριθμοι ομαδοποίησης που επιτρέπουν μικτό *σύνολο εκπαίδευσης* (π.χ. k-prototypes [Huang]).

Στη συνέχεια θα περιγραφεί αναλυτικά ένας από τους βασικότερους αλγόριθμους ομαδοποίησης, ο k-means. Ο αλγόριθμος k-means παρουσιάστηκε αρχικά το 1967. Από

τότε ένα μεγάλο πλήθος από διάφορες εκδόσεις του έχει προταθεί στη βιβλιογραφία. Η συντριπτική πλειοψηφία των αλγορίθμων ομαδοποίησης βασίζονται στην ιδέα του k-means ενώ τον χρησιμοποιούν τα περισσότερα εμπορικά συστήματα *εξόρυξης από δεδομένα* αλλά και τα πιο γνωστά συστήματα στατιστικής ανάλυσης.

Ο αλγόριθμος k-means έχει αποδειχθεί ότι είναι αποδοτικός σε πάρα πολλές πρακτικές εφαρμογές. Διαχωρίζει τα δεδομένα του *συνόλου εκπαίδευσης* σε k ομάδες, όπου το k καθορίζεται από τον χρήστη. Η λειτουργία του βασίζεται σε διαδοχικές επαναλήψεις κατά τις οποίες τα δεδομένα κατατάσσονται σε κάποια ομάδα με βάση την ομοιότητα που παρουσιάζουν με το μέσο αυτής της ομάδας. Στη συνέχεια θα περιγραφούν οι βασικές αρχές και τα γενικά βήματα του k-means αλγορίθμου.

Ο αλγόριθμος στηρίζεται ουσιαστικά σε κάποια *αντιπροσωπευτικά δείγματα* (means) κάθε ομάδας. Κάθε μία από τις k ομάδες που θα δημιουργηθούν θα περιέχει ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα το οποίο ουσιαστικά θα αντιπροσωπεύει την ομάδα, καθώς θα αποτελεί μία τυπική (μέση) περιγραφή της ομάδας. Για να γίνει πιο κατανοητό, ας θεωρήσουμε ότι συμβολίζουμε τις εγγραφές μιας ομάδας σαν σημεία σ' ένα πολυδιάστατο επίπεδο. Οι διαστάσεις αυτού του επιπέδου θα είναι όσες και τα χαρακτηριστικά (attributes), (παράβαλε «*πεδία*»), των εγγραφών του συνόλου εκπαίδευσης. Το αντιπροσωπευτικό δείγμα θεωρούμε ότι θα είναι το κέντρο βάρους του πολυδιάστατου σχήματος που ορίζουν τα σημεία αυτά. Στο παρακάτω σχήμα της Εικόνας 6, θεωρούμε ότι οι εγγραφές χαρακτηρίζονται από δυο πεδία και επομένως μπορούν να αναπαρασταθούν σε δισδιάστατο επίπεδο. Όπως φαίνεται έχουν σχηματιστεί δυο ομάδες και τα αντιπροσωπευτικά δείγματα αυτών είναι τα σημεία A και B που είναι τα κέντρα βάρους των ομάδων.

Ο αλγόριθμος προσπαθεί να κατατάξει τις εγγραφές στις διάφορες ομάδες έτσι ώστε μετά τον τερματισμό, κάθε εγγραφή ν' ανήκει σ' εκείνη την ομάδα από της οποίας το αντιπροσωπευτικό δείγμα απέχει λιγότερο σε σχέση μ' αυτά των υπολοίπων ομάδων. Πιο αναλυτικά τα βήματα του αλγορίθμου είναι τα εξής :

1. Προσδιόρισε το k
2. Πάρε τα αρχικά k αντιπροσωπευτικά δείγματα (π.χ. πάρε τις k πρώτες εγγραφές σαν αντιπροσωπευτικά δείγματα)
3. Επανάλαβε
 - Για κάθε εγγραφή βρες την απόστασή της από τα αντιπροσωπευτικά δείγματα και θεώρησε ότι ανήκει στην ομάδα του πιο κοντινότερου αντιπροσωπευτικού δείγματος.
 - Υπολόγισε τα νέα αντιπροσωπευτικά δείγματα (κέντρα βάρους) των ομάδων Μέχρι να μη γίνονται αλλαγές

Στην πρώτη φάση θα πρέπει να επιλεγούν τα αντιπροσωπευτικά δείγματα στα οποία θα βασιστεί η αρχική κατάταξη των εγγραφών στις ομάδες. Επιλέγονται έτσι, είτε τυχαία είτε με κάποιες ευρετικές μεθόδους, τα k αρχικά 'σημεία' στον πολυδιάστατο χώρο. Μ' αυτόν τον τρόπο κάθε ομάδα αντιπροσωπεύεται από ένα από τα k αντιπροσωπευτικά δείγματα. Στη συνέχεια, για κάθε εγγραφή υπολογίζουμε την ομοιότητα που παρουσιάζει με το αντιπροσωπευτικό δείγμα κάθε ομάδας. Αν θεωρήσουμε το παράδειγμα με τον πολυδιάστατο χώρο και την Ευκλείδεια απόσταση σαν μέτρο ομοιότητας, ουσιαστικά στο βήμα αυτό υπολογίζεται η απόσταση που έχει το σημείο που αντιστοιχεί σε κάθε εγγραφή από κάθε σημείο που αντιστοιχεί σ' ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα. Αφού έχει προσδιοριστεί η ομοιότητα της κάθε εγγραφής σε σχέση με καθένα από τα k αντιπροσωπευτικά δείγματα, η κάθε εγγραφή κατατάσσεται στην ομάδα της οποίας το αντιπροσωπευτικό δείγμα απέχει λιγότερο.

Αφού καταταχθούν όλες οι εγγραφές σε κάποια ομάδα, για κάθε μια από αυτές επαναπροσδιορίζεται το αντιπροσωπευτικό δείγμα (κέντρο βάρους) της. Αυτό γιατί μετά την κατάταξη των εγγραφών σε ομάδες, αυτές έχουν πιθανόν διαφορετική σύσταση και το προηγούμενο αντιπροσωπευτικό δείγμα μπορεί να μην τις αντιπροσωπεύει πλήρως. Μ' αυτόν τον τρόπο προσπαθούμε να ελαχιστοποιήσουμε την 'εσωτερική' ανομοιομορφία των ομάδων. Η ελαχιστοποίηση αυτή αντιστοιχεί στην ελαχιστοποίηση μίας συνάρτησης κόστους (cost function). Στις διάφορες εκδοχές του k -means η συνάρτηση κόστους μπορεί να έχει διαφορετική μορφή, αλλά σ' όλες εκφράζει ουσιαστικά το πόσο ικανοποιητική είναι η ομαδοποίηση που πραγματοποιήθηκε μετρώντας τις ανομοιοότητες που παρουσιάζονται μέσα στην κάθε ομάδα. Έτσι αφού προσδιοριστεί το νέο αντιπροσωπευτικό δείγμα για την κάθε ομάδα υπολογίζεται η συνάρτηση κόστους.

Τα παραπάνω βήματα επαναλαμβάνονται μέχρι να διαπιστωθεί ότι η σύσταση των ομάδων δεν έχει αλλάξει σημαντικά από την προηγούμενη επανάληψη ή ότι η συνάρτηση κόστους δεν παρουσιάζει σημαντική μείωση.

6.1.3.Συσχέτιση (association)

Μια από τις σημαντικότερες τεχνικές εξόρυξης από δεδομένα είναι η *προτυποποίηση αλληλεξαρτήσεων* (dependency modeling). Σκοπός της είναι η εύρεση των σημαντικών αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των διαφόρων πεδίων/χαρακτηριστικών του συνόλου εκπαίδευσης. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος για παραγωγή αλληλεξαρτήσεων είναι η εύρεση κανόνων συσχέτισης (association rules). Το πρόβλημα της εξαγωγής κανόνων συσχέτισης παρουσιάστηκε αρχικά το 1993 ως μία προσπάθεια εξαγωγής χρήσιμων συσχετισμών μεταξύ των πεδίων μίας βάσης δεδομένων.

Η πλέον κλασική εφαρμογή των κανόνων συσχέτισης είναι η «Ανάλυση του Καλαθιού της Νοικοκυράς» (market basket analysis). Σκοπός είναι να αναγνωρισθούν τα προϊόντα που αγοράζονται μαζί. Έστω για παράδειγμα ο παρακάτω πίνακας με τα δεδομένα που σε κάθε γραμμή του απεικονίζει τα προϊόντα που αγοράστηκαν σ' ένα κατάστημα, σε μία υπεραγορά (super market):

κόκα-κόλα	Γάλα	τυρί	φρυγανιές	Κρέας
τυρί	νερό	γάλα	κρέας	
κρέας	Γάλα	ψωμί		
...	...	...	...	...

Ένας κανόνας συσχέτισης θα μπορούσε να είναι ότι το γάλα πωλείται μαζί με το τυρί, με την προφανή αξιοποίηση της πληροφορίας που είναι η γειτνίαση του σημείου πώλησης γάλακτος μ' αυτό του τυριού.

Μερικές συνήθεις πρακτικές εφαρμογές τους είναι: η εύρεση των προϊόντων που πωλούνται μαζί σε μία συναλλαγή, η επεξεργασία ερωτηματολογίων, η εύρεση των προϊόντων που διακινούνται μαζί σε μία αποθήκη για πρόβλεψη προμήθειας, η εύρεση των ιστοσελίδων που επισκέπτεται μαζί ένας χρήστης, η εύρεση των λέξεων που συναντώνται μαζί σ' ένα κείμενο

Ένας κανόνας συσχέτισης είναι μια έκφραση της μορφής $X \Rightarrow Y$, όπου X και Y είναι σύνολα τιμών των πεδίων, όπως για παράδειγμα σύνολα προϊόντων (items). Η σημασία ενός τέτοιου κανόνα είναι ότι οι περισσότερες εγγραφές του συνόλου *εκπαίδευσης* που περιέχουν το X περιέχουν και το Y. Πρακτικά, δηλαδή, οι κανόνες συσχέτισης έχουν στόχο την εύρεση συσχετίσεων μεταξύ των στηλών ενός πίνακα με δεδομένα. Αναφερόμενοι στο παραπάνω παράδειγμα, ένας κανόνας συσχέτισης θα μπορούσε να είναι «το 98% των πελατών που αγοράζουν γάλα και κρέας, αγοράζουν επίσης και τυρί».

Η σπουδαιότητα ενός κανόνα συσχέτισης καθορίζεται αναλογικά από το ποσοστό εφαρμογής του κανόνα επί του συνόλου *εκπαίδευσης*. Συγκεκριμένα, οι αλγόριθμοι συσχέτισης που έχουν προταθεί και εφαρμόζονται πρακτικά, εξάγουν κανόνες συσχέτισης της μορφής: «το 98% των πελατών που αγοράζουν γάλα και κρέας, αγοράζουν επίσης και τυρί. Αλλά και στο 70% των αγορών έχουν αγορασθεί γάλα, κρέας και τυρί». Το πρώτο ποσοστό αναφέρεται ως *αξιοπιστία* (confidence) του κανόνα ενώ το δεύτερο ως *επιβεβαίωση* (support). Η *επιβεβαίωση* αφορά στο ποσοστό που εμφανίζονται και τα τρία προϊόντα μαζί επί όλου του συνόλου *εκπαίδευσης* ενώ η *αξιοπιστία* αφορά στο ποσοστό που εμφανίζονται και τα τρία προϊόντα μαζί επί του αριθμού των αγορών που περιέχουν γάλα και κρέας. Το πρόβλημα της εύρεσης κανόνων συσχέτισης εστιάζεται στην εύρεση όλων των κανόνων που έχουν μια καθορισμένη από τον χρήστη ελάχιστη τιμή *επιβεβαίωσης* και *αξιοπιστίας*.

Στη συνέχεια θα περιγραφεί αναλυτικά ο βασικότερος αλγόριθμος συσχέτισης, ο Apriori. Ο αλγόριθμος Apriori [Agrawal] παρουσιάστηκε αρχικά το 1994. Σχεδόν όλοι οι αλγόριθμοι συσχέτισης βασίζονται στην αρχική ιδέα του ενώ τον χρησιμοποιούν τα περισσότερα εμπορικά συστήματα *εξόρυξης από δεδομένα*.

Ο αλγόριθμος Apriori δέχεται σαν είσοδο ένα σύνολο αγορών (transactions) που αποτελεί και το *σύνολο εκπαίδευσης*. Κάθε αγορά είναι ουσιαστικά μία λίστα (itemset) από προϊόντα (items) που αγοράστηκαν μαζί. Συγκεκριμένα, έστω $I = \{i_1, i_2, \dots, i_m\}$ ένα σύνολο από προϊόντα. Έστω D, ένα σύνολο από αγορές, όπου κάθε αγορά T είναι μία λίστα από προϊόντα όπου $T \subseteq I$. Γενικά, κάθε υποσύνολο από προϊόντα $X \subset I$ ονομάζεται λίστα προϊόντων (itemset). Για κάθε αγορά υπάρχει ένας και μοναδικός κωδικός αναγνώρισης, ο οποίος ονομάζεται TID (transaction identifier). Ο κανόνας συσχέτισης (association rule) είναι μια έκφραση της μορφής $X \Rightarrow Y$, όπου $X \subset I$,

$Y \subset I$ και $X \cap Y = \emptyset$. Ο κανόνας $X \Rightarrow Y$, σ' ένα σύνολο από αγορές D , ισχύει με αξιοπιστία c , αν το $c\%$ των αγορών που ανήκουν στο D και περιέχουν το X , περιέχουν επίσης και το Y . Ο κανόνας $X \Rightarrow Y$ έχει επιβεβαίωση s , αν το $s\%$ των αγορών στο D περιέχουν το $X \cup Y$.

Γενικότερα, το πρόβλημα της εύρεσης όλων των κανόνων συσχέτισης που έχουν την επιθυμητή επιβεβαίωση και αξιοπιστία μπορεί να διαιρεθεί σε δύο υποπροβλήματα:

- Εύρεση όλων των συνδυασμών των προϊόντων που έχουν επιβεβαίωση πάνω από την ελάχιστη επιβεβαίωση (minimum support). Όλοι αυτοί οι συνδυασμοί ονομάζονται μεγάλες λίστες από προϊόντα (large itemsets) και όλοι οι υπόλοιποι συνδυασμοί μικρές λίστες από προϊόντα (small itemsets).
- Χρήση όλων των μεγάλων λιστών από προϊόντα για εξόρυξη των κανόνων συσχέτισης που ικανοποιούν την ελάχιστη αξιοπιστία. Για παράδειγμα, έστω ότι τα ABCD και AB είναι μεγάλες λίστες από προϊόντα. Μπορούμε τότε να καθορίσουμε αν ο κανόνας συσχέτισης $AB \Rightarrow CD$ ξεπερνά την ελάχιστη αξιοπιστία, υπολογίζοντας το λόγο $r = \text{επιβεβαίωση}(ABCD) / \text{επιβεβαίωση}(AB)$. Αν $r \geq$ ελάχιστη αξιοπιστία, ο κανόνας συσχέτισης γίνεται αποδεκτός.

Η εύρεση των μεγάλων λιστών από προϊόντα, για να αποφύγει ένα εξαντλητικό ψάξιμο όλων των δυνατών συνδυασμών, βασίζεται στο ότι: μία λίστα από προϊόντα είναι *μεγάλη λίστα* από προϊόντα αν κάθε υποσύνολό της είναι *μεγάλη λίστα* από προϊόντα. Ο αλγόριθμος Apriori, βρίσκει *μεγάλες λίστες* από προϊόντα προσπελώνοντας πολλές φορές το *σύνολο εκπαίδευσης*. Στην πρώτη προσπέλαση υπολογίζεται η *επιβεβαίωση* κάθε διαφορετικού προϊόντος ξεχωριστά και στη συνέχεια καθορίζεται ποιά απ' αυτά είναι *μεγάλες λίστες* από προϊόντα. Σε κάθε επόμενη προσπέλαση, αρχίζουμε έχοντας τις *μεγάλες λίστες* από προϊόντα που βρέθηκαν στην προηγούμενη προσπέλαση. Απ' αυτές δημιουργούμε νέες πιθανές *μεγάλες λίστες* από προϊόντα, που καλούνται *υποψήφιος (candidate) μεγάλες λίστες* από προϊόντα. Στη συνέχεια μετράμε την ακριβή *επιβεβαίωση* αυτών και καθορίζουμε ποιές είναι οι πραγματικά *μεγάλες λίστες* από προϊόντα. Οι τελευταίες αποτελούν τη βάση για το επόμενο βήμα. Η αποτελεσματικότητα στην εύρεση των *μεγάλων λιστών* από προϊόντα αποτελεί κριτήριο για την αποτελεσματικότητα συνολικά ενός αλγορίθμου εύρεσης κανόνων συσχέτισης, λόγω της μεγάλης πολυπλοκότητάς της.

Τα βήματα του αλγόριθμου Apriori έχουν ως εξής:

- 1.Βρες τα προϊόντα που εμφανίζονται περισσότερο από την ελάχιστη επιβεβαίωση (minimum support}, δηλαδή το σύνολο L_1 = μεγάλες λίστες από 1 προϊόν (large 1-itemsets)
- 2.από $k=2$ και όσο το L_{k-1} δεν είναι κενό κάνε:
 - 1) βρες το σύνολο C_k των υποψηφίων μεγάλων λιστών από k προϊόντα (candidate large k -itemsets) με βάση το L_{k-1}
 - 2) βρες ποιιά από αυτά εμφανίζονται περισσότερο από την ελάχιστη επιβεβαίωση και φτιάξε το σύνολο L_k = μεγάλες λίστες από k προϊόντα
- 3.Για κάθε στοιχείο των $L_1, \dots, L_n$ βρες ποιιά ικανοποιούν την ελάχιστη αξιοπιστία (minimum confidence)

Στο πρώτο βήμα ο αλγόριθμος μετρά τις εμφανίσεις του κάθε προϊόντος ξεχωριστά για να καθορισθούν οι μεγάλες λίστες μεγέθους ενός προϊόντος. Το δεύτερο βήμα είναι μία επαναλαμβανόμενη σειρά από υποβήματα. Κάθε επανάληψη, έστω η k επανάληψη, περιλαμβάνει δύο υποβήματα. Αρχικά, μεγάλες λίστες από $k-1$ προϊόντα L_{k-1} , που βρέθηκαν στην προηγούμενη ($k-1$) επανάληψη χρησιμοποιούνται για να δημιουργηθούν οι υποψήφιες μεγάλες λίστες από k προϊόντα (C_k), με βάση την αρχή ότι μία λίστα από προϊόντα είναι μεγάλη λίστα από προϊόντα αν κάθε υποσύνολό της είναι μεγάλη λίστα από προϊόντα. Στη συνέχεια, σαρώνουμε το σύνολο εκπαίδευσης για να βρούμε την επιβεβαίωση των υποψηφίων μεγάλων λιστών από k προϊόντα. Οι επαναλήψεις σταματούν όταν δεν υπάρξουν υποψήφιες μεγάλες λίστες από προϊόντα. Τότε, στο τρίτο βήμα, από κάθε μία μεγάλη λίστα από προϊόντα προκύπτουν κανόνες από τους οποίους γίνονται τελικά αποδεκτοί όσοι έχουν μεγαλύτερη από την ελάχιστη αξιοπιστία. Έστω, για παράδειγμα, το σύνολο εκπαίδευσης που εμφανίζεται στον παρακάτω πίνακα. Έστω επίσης, ότι ο χρήστης θέτει ελάχιστη επιβεβαίωση ίση με 50% και ελάχιστη αξιοπιστία ίση με 70%.

κόκα-κόλα	γάλα	τυρί	φρυγανιές	κρέας
τυρί	βούτυρο	γάλα	νερό	
κρέας	γάλα	ψωμί		
γάλα	τυρί			

Τότε, από το πρώτο βήμα προκύπτει (σε παρένθεση η επιβεβαίωση αυτών):

$$L1=\{\text{γάλα (100\%)}, \text{τυρί (75\%)}, \text{κρέας (50\%)}\}$$

Στην 1η επανάληψη του 2ου βήματος, οι υποψήφιες μεγάλες λίστες με 2 προϊόντα είναι:

$$C2=\{\text{γάλα-τυρί (75\%)}, \text{γάλα-κρέας (50\%)}, \text{τυρί-κρέας (25\%)}\}$$

Μετρώντας την επιβεβαίωση αυτών προκύπτει: $L2=\{\text{γάλα-τυρί}, \text{γάλα-κρέας}\}$

Στην 2η επανάληψη του 2ου βήματος, οι υποψήφιες μεγάλες λίστες με 3 προϊόντα είναι:

$$C2=\{\text{γάλα-τυρί-κρέας (25\%)}\}$$

Από την επιβεβαίωση αυτής προκύπτει ότι $L3=\{\}$ και οι επαναλήψεις του δεύτερου βήματος σταματούν. Στο τρίτο βήμα, απ' όλους τους δυνατούς κανόνες που προκύπτουν από το $L2$: $\text{γάλα} \rightarrow \text{τυρί}$ και $\text{γάλα} \rightarrow \text{κρέας}$

ο πρώτος έχει αξιοπιστία 75% ενώ ο δεύτερος 50%. Συνεπώς, εξάγεται μόνο ένας κανόνας συσχέτισης ο $\text{γάλα} \rightarrow \text{τυρί}$.

6.2. Αναπαράσταση (Music Representation)

Η μουσική ανάλυση νοείται ως χρήση των υπολογιστών, για να αναλύσει κανείς παρτιτούρες, πλήρως σημειογραφικά (μουσικά) καταγεγραμμένες. Εναλλακτικά, η μουσική ανάλυση μπορεί να νοηθεί ως χρήση των υπολογιστών για να αναλύσει κανείς μουσική που έχει ερμηνευθεί και ηχογραφηθεί. Όπως είναι φυσικό, η δεύτερη προσέγγιση μπορεί να μετασχηματιστεί στην πρώτη (the Automatic Music Transcription problem).

Η Τεχνητή Νοημοσύνη σχετιζόταν παλαιότερα με τη μουσική ανάλυση εντός του μουσικού πεδίου. Πολλές από της μεθοδολογίες της ΤΝ εφαρμόζονται στη μουσική ανάλυση ως μαθηματικά μοντέλα, γενετικοί αλγόριθμοι, νευρωνικά δίκτυα, υβριδικά συστήματα και μηχανές μάθησης και συμβολικά συστήματα. Εργασίες των μηχανών μάθησης, όπως ταξινόμηση, πρόβλεψη, πρόγνωση, και εξαγωγή κανονικοποίησης προτύπων από δεδομένα, χρησιμοποιούνταν παλαιότερα και στη μουσική πράξη και στη μουσική έρευνα [32]. Παραδειγματικές εφαρμογές στη μουσική πράξη είναι τα αλληλεπιδραστικά όργανα (reactive instruments), τεχνητοί ερμηνευτές που αλληλεπιδρούν με τους ανθρώπινους ερμηνευτές, με συστήματα προσαρμοστικής μουσικής επεξεργασίας (adaptive music editing) ή συστήματα σύνθεσης (composition systems), με αυτόματη ταξινόμηση και χαρακτηρισμό του ύφους (style) με συγγραφείς και μουσικούς ερμηνευτές κ.α. Στη μουσική έρευνα οι μουσικολογικές έρευνες βασίζονται πρωταρχικά στη μελέτη των σωμάτων υπαρχόντων μουσικών δεδομένων. Τοιουτοτρόπως, ειδικά στη μουσική έρευνα, η ανάλυση δεδομένων και η γνώση της ανακάλυψης ικανοτήτων των μεθόδων των μηχανών μάθησης έχουν αποδειχθεί πολλά υποσχόμενες, υποστηριζόμενες από τον ανθρώπινο αναλυτή κατά την εύρεση κανονικοτήτων σε συλλογές πραγματικών δεδομένων.

Στη μουσική, όπως συμβαίνει στα περισσότερα πεδία εφαρμογής, η μάθηση μέσω μηχανής (machine learning) έχει υιοθετηθεί μέσω επαγωγικών αλγορίθμων μάθησης, όπου οι έννοιες (concepts) έχουν γίνει αντικείμενο μάθησης από θετικά και αρνητικά παραδείγματα. Οι παρτιτούρες, ως παραδείγματα, έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί ως

είσοδος για τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, για να «μάθουν» συνήθη χαρακτηριστικά εντός των συνθέσεων [21]. Υπάρχουν επίσης κάποιες προσπάθειες βασισμένες στην αναλυτική μάθηση (analytical learning) ως «Explanation Based Learning» [33], όπου το σύστημα μάθηση παρέχει μουσική γνώση με σκοπό να καθοδηγήσει τη διαδικασία μάθησης. Επιπροσθέτως, έχουν γίνει πολυάριθμες προσπάθειες να περιγραφεί η μουσική με περισσότερο ή λιγότερο γραμματικούς όρους. Η κοινή ιδέα σε όλες αυτές τις προσεγγίσεις είναι ότι στη μουσική ο γραμματικός φορμαλισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δώσει μια πεπερασμένη (και γι' αυτό διαχειρίσιμη) περιγραφή ενός μη πεπερασμένου (και συνεπώς «ατίθασου») συνόλου δομών. Παρ' όλα αυτά σε τέτοιες περιπτώσεις υπάρχουν επιχειρήματα αντίθετα με τη χρήση της έννοιας σημασιολογία στη μουσική, όπως οι γλωσσολόγοι και οι λογικοί κάνουν στα πεδία τους.

Η εξόρυξη δεδομένων (Data Mining) αποτελεί μια αναδυόμενη διαδικασία ανακάλυψης γνώσης από την εξαγωγή προηγουμένως άγνωστων, αγωγίμων (actionable) πληροφοριών από μεγάλες επιστημονικές και εμπορικές βάσεις δεδομένων. Επιβάλλεται από την εκρηκτική ανάπτυξη τέτοιων βάσεων δεδομένων. Συνήθως, μια διαδικασία εξόρυξης δεδομένων εξάγει κανόνες μέσω της επεξεργασίας υψηλών διαστάσεων κατηγορικών και/ ή αριθμητικών δεδομένων (numerical data). Η ταξινόμηση (classification), η ομαδοποίηση (clustering) και ο συσχετισμός (association) είναι οι πιο γνωστές εργασίες εξόρυξης δεδομένων.

Η ταξινόμηση είναι μία από τις πιο δημοφιλείς εργασίες εξόρυξης δεδομένων. Η ταξινόμηση στοχεύει στην εξαγωγή γνώσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ταξινομήσει δεδομένα σε ορισμένες εκ των προτέρων τάξεις που μπορούν να περιγραφούν από ένα σύνολο χαρακτηριστικών/ γνωρισμάτων (attributes). Η εξαχθείσα γνώση μπορεί να αναπαρασταθεί με τη χρήση διαφόρων σχημάτων (schemas). Τα δένδρικά διαγράμματα αποφάσεων (decision trees), οι κανόνες «αν, τότε» και τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν τα πιο δημοφιλή σχήματα. Πολλοί αλγόριθμοι έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία για την εξαγωγή κανόνων ταξινόμησης από μεγάλες συσχετιστικές (relational) βάσεις δεδομένων, όπως είναι οι συμβολικοί αλγόριθμοι μάθησης συμπεριλαμβανομένων των αλγορίθμων των δένδρικών διαγραμμάτων αποφάσεων (π.χ. C4.5 [23]) και οι βασισμένοι σε κανόνα αλγόριθμοι (rule based algorithms) (π.χ. CN2 [8]), οι συνδεδετικοί αλγόριθμοι μάθησης (connectionist learning algorithms) (π.χ. back {propagation=διάδοση networks), οι βασιζόμενοι στους instance-based αλγόριθμους (e.g. PEBLS [9]) και οι υβριδικοί αλγόριθμοι [3].

Οι συσχετιστικοί κανόνες (association rules) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναπαραστήσουν συστηματικά πρότυπα (patterns) στα δεδομένα, με τη μορφή των συναρτήσεων (dependencies) μεταξύ των εννοιών – χαρακτηριστικών (concepts-attributes). Στο παρόν άρθρο, θεωρούμε ότι η ειδική περίπτωση (case) που είναι γνωστή ως *the market basket problem*, όπου οι έννοιες - χαρακτηριστικά (concepts-attributes) αναπαριστούν προϊόντα και η αρχική βάση δεδομένων είναι ένα σύνολο αγορών των πελατών (δοσοληψίες). Αυτό το συγκεκριμένο πρόβλημα έχει μελετηθεί καλά στην εξόρυξη δεδομένων (data mining). Στο παρόν άρθρο, λαμβάνουμε υπόψη τους συσχετιστικούς κανόνες (association rules) της μορφής «90% των μελωδιών που περιλαμβάνουν το G, περιλαμβάνουν και το Ε» (boolean association rules) [1,4]. Τυπικά, ένας συσχετιστικός κανόνας (association rule) είναι ένας κανόνας της μορφής $X \rightarrow Y$, όπου X και Y ονομάζονται αντίστοιχα ο προηγούμενος και ο επόμενος του παρακάτω κανόνα

$X, Y \subset I = \{i_1, i_2, \dots, i_j\}$, όπου $X \cap Y = \emptyset$ και $i_k, 1 \leq k \leq j$ είναι ένα αντικείμενο μιας συναλλαγής με τη βάση δεδομένων. Η δυναμική (interestingness) του κάθε κανόνα συσχέτισης είναι μετρίσιμη από δύο δείκτες: την υποστήριξη (support) που μετρά την αναλογία των συναλλαγών στο D που να περιλαμβάνει τα X και Y και την εμπιστοσύνη (confidence) που μετρά την πιθανότητα υπό όρους να συμβεί συνεπακόλουθα.

Η ομαδοποίηση (clustering) ενέχει/εμπλέκει την εύρεση ενός συγκεκριμένου αριθμού υποσυνόλων (k) εντός ενός συνόλου (set) από n παρατηρήσεις (data

points/objects), όπου το καθένα περιγράφεται από d χαρακτηριστικά. Ένας ομαδοποιητικός αλγόριθμος (clustering algorithm) παράγει μια ομάδα περιγραφών και αναθέτει (assigns) κάθε παρατήρηση (observation) σε μία ομάδα (cluster) (αποκλειστική ανάθεση - exclusive assignment) ή επιμέρους σε πολλές ομάδες (clusters) (επιμέρους ανάθεση partial assignment). Αναφερόμαστε στο παραγόμενο (output) ενός clustering algorithm (π.χ. the medoids of the clusters) ως clustering rules. Οι μέθοδοι Ομαδοποίησης έχουν ευρέως μελετηθεί σε ποικίλα επιστημονικά πεδία συμπεριλαμβανομένων της Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning), των Νευρωνικών Δικτύων (Neural Networks) και της Στατιστικής (Statistics). Οι αλγόριθμοι ομαδοποίησης μπορούν να ταξινομηθούν είτε ως ιεραρχικοί (hierarchical) είτε ως επαναληπτικοί (iterative) (partitional, density search, factor analytic or clumping and graph theoretic). Οι «Complete-link», «average link» and «single-link» [11] αλγόριθμοι είναι κάποιοι από τους πιο δημοφιλείς ιεραρχικούς «hierarchical clustering algorithms». K -means [20], μαζί με τις παραλλαγές τους [19,31] είναι κάποιοι από τους πιο δημοφιλείς «partitional clustering algorithms».

Στη βιβλιογραφία ο όρος μουσική εξόρυξη δεδομένων (music data mining) έχει συσχετιστεί με την εφαρμογή των αλγορίθμων μηχανών μάθησης (machine learning algorithms) [25,35]. Οι αλγόριθμοι μάθησης μέσω μηχανής (machine learning) και οι αλγόριθμοι εξόρυξης δεδομένων (data mining algorithms) διαφέρουν στην είσοδο των δεδομένων (input data). Οι αλγόριθμοι μάθησης χρησιμοποιούν ένα μικρό σύνολο από προσεκτικά επιλεγμένα δεδομένα και μπορούν να έχουν την ικανότητα να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον τους, π.χ. μπορούν να ζητήσουν (request) νέα παραδείγματα.

Γενικά η εφαρμογή των τεχνικών μάθησης τεχνητής νοημοσύνης στη μουσική ανάλυση βασίζεται είτε σε μια Gestalt προσέγγιση, όπου χρησιμοποιείται ένα εκ των προτέρων ορισμένο σύνολο κανόνων ή αρχών, είτε σε μια προσέγγιση που βασίζεται στη μνήμη, όπου χρησιμοποιείται ένα σώμα ομαδοποιημένων δομών από προηγούμενα συνδυασμένα μουσικά κομμάτια (previously encountered musical pieces).

Στην ακρόαση ενός μουσικού κομματιού, το ανθρώπινο αντιληπτικό σύστημα τεμαχίζει την ακολουθία των νοτών σε ομάδες ή φράσεις που σχηματίζουν μια ομαδοποιημένη δομή για ολόκληρο το κομμάτι. Παρά ταύτα, αρκετές ομαδοποιημένες δομές μπορούν να είναι πιθανόν συμβατές με τη μελωδία, π.χ. μια ακολουθία από νότες. Οι αρχές Gestalt για την εγγύτητα (proximity) και την ομοιότητα (similarity) και η αρχή του μελωδικού παραλληλισμού (melodic parallelism) θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον τεμαχισμό των μελωδιών. Αν θέλουμε να προτείνουμε μια σοβαρή εναλλακτική λύση σε μια τύπου Gestalt προσέγγιση, θα πρέπει να θέσουμε το ερώτημα πώς οποιαδήποτε δομή μπορεί να κατακτηθεί αν δεν έχουμε κάποια δομημένα κομμάτια στο σώμα δεδομένων μας για εκκινήσουμε με αυτά.

Η εξόρυξη δεδομένων στη μουσική ανάλυση στοχεύει στην αναζήτηση, εξερεύνηση και εξαγωγή ή στον επηρεασμό (inducing) των μελωδικών ή των αρμονικών (διαδοχικών) προτύπων σε δοσμένα σύνολα συντεθειμένων ή αυτοσχέδιων (improvised) έργων [25]. Εκτός από την εξόρυξη μουσικών προτύπων που διαμορφώνουν τα παραδοσιακά σύνολα δεδομένων, προτείνεται πρόσφατα η αναπαράσταση της εξόρυξης μουσικών προτύπων ως «data streams» [13]. Στη παρούσα διδακτορική διατριβή υιοθετούμε μια μνημοκεντρική προσέγγιση για τη μουσική ανάλυση εκμεταλλευόμενοι τα κέρδη των τεχνικών εξόρυξης δεδομένων. Η αποτελεσματικότητα των τεχνικών εξόρυξης δεδομένων δεν βασίζεται κατά κύριο λόγο στην επιλογή (selection) της μουσικής δομής των προς εισαγωγή κομματιών (input structure pieces). Γι' αυτό το λόγο, οι τεχνικές εξόρυξης δεδομένων αποτελούν καλές υποψηφιότητες για τη μουσική ανάλυση. Παρ' όλα αυτά, ένα κατάλληλο σχήμα μουσικής αναπαράστασης είναι προαπαιτούμενο γι' αυτή την εφαρμογή. Στην παρούσα διδακτορική διατριβή προτείνουμε ένα τέτοιο σχήμα/σχέδιο (scheme) για μονοφωνική μουσική αναπαράσταση όπως στα παραδοσιακά σύνολα δεδομένων, κατάλληλο για κοινούς αλγόριθμους

εξόρυξης δεδομένων (common data mining algorithms). Επίσης παρουσιάζουμε την αποδοτικότητα (efficiency) του και την ακρίβειά του / ορθότητά του (accuracy).

Έχει γίνει πολύ λίγη δουλειά επάνω στη χρήση των αλγορίθμων συσχετισμού, ταξινόμησης και ομαδοποίησης στη μουσική ανάλυση. Η [28] εφαρμογή ενός association rule mining παρουσιάζεται με σκοπό να ανακαλύψουμε τη συντακτική (syntactic) περιγραφή του μουσικού ύφους (style). Οι συγγραφείς επέλεξαν να αναπαραστήσουν chords σε ολόκληρη μελωδία ή σε χορικό (chorus) ως ένα μουσικό χαρακτηριστικό που επηρεάζει το ύφος της μουσικής. Τεμάχια στο input data set είναι διαμορφωμένα είτε με chords είτε με b—grams: γειτνιάζοντα ζεύγη από chords ή n-grams: μια ακολουθία από chords. Επιπλέον, [10] τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (artificial neural networks), γραμμικοί και Bayesian ταξινομητές (classifiers) χρησιμοποιούνται για το ίδιο πρόβλημα. Επίσης ο συνδυασμός των κανόνων που εξάχθηκαν από ένα σύνολο απλής ταξινόμησης [34] χρησιμοποιείται για να εξάγει κανόνες που καλύπτουν μια εκφραστική μουσική ερμηνεία.

Παραδείγματα ιεραρχικής ομαδοποίησης έχουμε πάμπολλα, όπως χαρακτηριστικό είναι στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος ιεραρχικής ομαδοποίησης (hierarchical clustering) [22] μουσική ομαδοποίηση «music clustering», η οποία βασίζεται στο μουσικό κλειδί (music key). Επίσης σε άλλο παράδειγμα [17] ομαδοποίησης αλγόριθμος ομαδοποίησης εφαρμόζεται σε 88 κινεζικές Shanxi μελωδίες από την πόλη Hequ και 30 γερμανικά παιδικά τραγούδια από τη βάση δεδομένων του Essen για να εξάγει αφηρημένες ακολουθίες μοτίβων (abstract motive sequences). Τέλος, οι αλγόριθμοι ομαδοποίησης έχουν χρησιμοποιηθεί και για μουσικές ερμηνείες.

Στις επόμενες ενότητες αναφέρουμε τεχνικές αναπαράστασης-εύρεσης μουσικών σχημάτων-μοτίβων, καθώς επίσης συγκεκριμένες τεχνικές εύρεσης κάθετων και οριζόντιων μουσικών σχημάτων με βάση τη δομή και τη διαίρεση των κομματιών (musical pieces).

Τέλος περιγράφουμε το προτεινόμενο σχήμα/σχέδιο (scheme) μουσικής αναπαράστασης και παρουσιάζουμε τα πειραματικά αποτελέσματα που καταδεικνύουν πως το προτεινόμενο σχήμα/σχέδιο (scheme) είναι χρήσιμο και βοηθητικό για τη μουσική ανάλυση (ενότητα 3) και τέλος καταλήγουμε σε συγκεκριμένα συμπεράσματα τα οποία μας βοηθούν προκειμένου να ολοκληρώσουμε (τα οποία αναφέρονται στα επόμενα κεφάλαια) το σύστημα αναπαράστασης που θα χρησιμοποιήσουμε τελικά στο ευφρές σύστημα αυτόματης σύνθεσης μουσικής.

6.2.1. Αναπαράσταση – Εύρεση Μουσικών Σχημάτων (Representation – Discovering Music Patterns)

Η αυτοματοποιημένη εύρεση των επαναλαμβανόμενων μουσικών σχημάτων-μοτίβων στη μουσική είναι ένας βασικός τομέας της υπολογιστικής μουσικής ανάλυσης (Computational Music Analysis). Παρακάτω θα αναφέρουμε κάποιες μεθόδους για την ανεύρεση μουσικών σχημάτων σε κάθετη (vertical), αλλά και οριζόντια (horizontal) κατεύθυνση στην πολυφωνική μουσική. Και όταν λέμε πολυφωνική μουσική, εννοούμε ταυτόχρονη ήχηση πολλαπλών μελωδικών γραμμών που η καθεμία έχει τον δικό της ρόλο με βάση τους κανόνες αρμονικής συνήχησης και διαδοχής. Η εύρεση των επαναλαμβανόμενων σχημάτων σε οποιοδήποτε μουσικό στυλ θα είναι χρήσιμη στη σύνθεση αλλά και στην ταξινόμηση των νέων συνθέσεων στο συγκεκριμένο στυλ.

Παραπάνω αναφέραμε διάφορες μορφές και τρόπους αναπαράστασης για τα μουσικά αντικείμενα. Αυτά θα είναι η βάση μας που με τη χρησιμοποίησή τους ίσως και

τροποποιημένες μερικές φορές ανάλογα με το ζητούμενο, θα μας βοηθήσουν στη σωστή ανεύρεση μοτιβικών στοιχείων.

Ως πρώτο βήμα λοιπόν με τη βοήθεια μιας αναπαράστασης γνώσης θα βρούμε επαναλαμβανόμενα μέρη που έχουν κάποια σχέση μεταξύ τους και στη συνέχεια θα εφαρμοστεί ένας αλγόριθμος εύρεσης μοτίβων. Συγκεκριμένα θα χρησιμοποιήσουμε για μουσικό παράδειγμα τα **χορικά** του **Bach** (Bach Chorals) που η συνθετική τους φόρμα είναι δομημένη με μια πιο μαθηματικοποιημένη λογική.

6.3. Το προτεινόμενο Σύστημα Αναπαράστασης

Οι μελωδίες πρέπει να αναπαρίστανται σε έναν πολυδιάστατο χώρο (multi-dimensional space). Παραδείγματα τέτοιων διαστάσεων είναι το τονικό ύψος - συχνότητα (pitch), η διάρκεια (duration), η δυναμική (dynamics) και το ηχόχρωμα (timbre). Σχεδόν όλες οι σχετικές εργασίες στην υπολογιστική μουσική βιβλιογραφία υιοθετούν τη συχνότητα και τη διάρκεια ως βασικές διαστάσεις. Γι' αυτό το λόγο, όπως συμβαίνει στα περισσότερα σχήματα μουσικής αναπαράστασης που προτείνονται στη βιβλιογραφία, εμείς επιλέγουμε να αναπαραστήσουμε αυτά τα δύο ακουστικά (acoustical) μουσικά χαρακτηριστικά (features). Παρά ταύτα η προτεινόμενη προσέγγιση επεξεργάζεται ξεχωριστά τη συχνότητα και τη διάρκεια.

Το προτεινόμενο σχήμα μουσικής αναπαράστασης (C. Halkiopoulos, B. Boutsinas, "Music Representation for Analysis using Data Mining", Seventh Annual Conference of Music Theory and Analysis, May, Belgrade, 2009) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανάλυση εξόρυξης δεδομένων (data mining analysis) η οποία στοχεύει στη μάθηση γενικών προτύπων και για τη συχνότητα και για τη διάρκεια σε συγκεκριμένα είδη μουσικής (music styles). Τα εισαγόμενα δεδομένα είναι μελωδίες μουσικών κομματιών, π.χ. ακολουθίες νοτών. Ας σημειωθεί ότι δε στοχεύουμε σε ένα αναγνώσιμο ή φιλικό στο χρήστη σχήμα, παρόλο που το προτεινόμενο σχήμα μπορεί να μεταφραστεί σε ένα τέτοιο.

Το προτεινόμενο σχήμα δεν είναι ένα γενικό σχήμα μουσικής αναπαράστασης [37], το οποίο είναι αρκετά αφηρημένο για να χρησιμοποιηθεί για υλοποιήσεις διαφορετικών έργων (π.χ. ανάλυση, σύνθεση κτλ) σε διαφορετικά υπολογιστικά συστήματα. Γενικά σχηματικά μοντέλα μουσικής αναπαράστασης [38], ακόμα και αυτά που βασίζονται σε πρόσφατες προσεγγίσεις όπως η XML [26], δεν είναι κατάλληλα για εμπορικούς αλγόριθμους εξόρυξης δεδομένων. Από την άλλη πλευρά τα ιεραρχικά σχήματα μουσικής αναπαράστασης [15,37] δεν είναι κατάλληλα για να διαμορφώσουν τα παραδοσιακά σύνολα δεδομένων ως «input to data mining algorithms».

Είναι συχνά αντικείμενο υπόθεσης ότι η μουσική επιφάνεια μπορεί να φαίνεται ως αλληλουχία από μουσικές πηγές εισόδου (musical entities) [18] όπως νότες (notes), συγχορδίες (chords) [7,24] κλπ. Οι αλληλουχίες από τα μουσικά δεδομένα εισόδου επιβάλλουν διαφορετικές απαιτήσεις στα σχήματα αναπαράστασης [5,7] σίγουρα με κάποιο σεβασμό στην εξόρυξη δεδομένων (data mining).

Για παράδειγμα το προτεινόμενο σχήμα υιοθετεί μια απόλυτη αναπαράσταση της συχνότητας. Παρότι οι περισσότερες υπολογιστικές στοχευμένες μουσικές εφαρμογές [7] υιοθετούν μια αναπαράσταση της συχνότητας και της διάρκειας απόλυτα αριθμητική, αναφέρεται ότι η απόλυτη κωδικοποίηση του τονικού ύψους - συχνότητας (pitch encoding) μπορεί να είναι ανεπαρκής για εφαρμογές στην τονική μουσική καθώς αποβάλλει (discards) τις τονικές ιδιότητες των συχνοτήτων και των χρωματικών διαστημάτων (pitch intervals), π.χ. μια τονική μετατροπή από μια μείζονα σε μια ελάσσονα κλίμακα (key) έχει ως αποτέλεσμα μια διαφορετική κωδικοποίηση (encoding)

ενός μουσικού περάσματος (musical passage) και γι' αυτό τα "exact matches" δε μπορούν να ανιχνεύσουν την ομοιότητα μεταξύ των δύο περασμάτων "passages". Έτσι οι μετατροπές "transpositions" δεν ερμηνεύονται (π.χ. το επαναλαμβανόμενο χρωματικό μοτίβο στο μέτρο 1 & 2 στο Σχήμα 1 [7]). Η μετατροπή "transposition" υπερτερεί στην κατανόηση μουσικών προτύπων και τα pattern-matching και οι pattern-induction αλγόριθμοι έχουν αναπτυχθεί πρωταρχικά για την ακολουθία των χρωματικών διαστημάτων "pitch intervals" [7]. Ωστόσο, ο κανόνας συσχετισμού "association rule mining" για παράδειγμα μπορεί να εξάγει τον κανόνα, $C\#, D \Rightarrow C$, εάν τα δεδομένα εισόδου περιλαμβάνουν αρκετό αριθμό από όμοια μέτρα του Σχήματος 1, σαν το πρώτο μέτρο. Αλλά ένας τέτοιος κανόνας για ποικίλους σκοπούς ανάλυσης (π.χ. σύνθεσης ή ταυτοποίησης), μπορεί να αναπαραστήσει επίσης το δεύτερο μέτρο του Σχήματος 1 (μετά από κάποια επεξεργασία).

Σχήμα 1: Εισαγωγή από το θέμα σε A major σονάτα του Mozart

Ως ένα άλλο παράδειγμα, το προτεινόμενο θέμα (scheme) δεν υιοθετεί "duration ratios". Λόγω αυτού σύμφωνα με το προτεινόμενο θέμα (scheme) τα ρυθμικά πρότυπα που φαίνονται στο σχήμα 2 [7] δεν ταιριάζουν. Φυσικά θα μπορούσε κανείς να υποστηρίξει ότι τα «duration ratios» μπορούν να έχουν ως αποτέλεσμα το λάθος ταιρίασμα (mismatching) του αριστερού ρυθμικού προτύπου στο σχήμα 2 με αυτό που φαίνεται στο σχήμα 3, το οποίο δεν είναι αληθές. Σημειωτέον ότι το προτεινόμενο θέμα (scheme) αναπαριστά τη διάρκεια με τέτοιο τρόπο όπου τα τελευταία ρυθμικά πρότυπα ταιριάζουν. Το τελευταίο επιβεβαιώνεται από ένα πείραμα [14] που διερευνά τη διάσπαση (splitting) των συχνοτήτων όπου το αποτέλεσμα είναι ότι όσο μικρότερη είναι η αναλογία της διάσπασης (split ratio), τόσο μεγαλύτερη ομοιότητα καταμετράται. Από την άλλη πλευρά, ο κανόνας συσχέτισης "association rule mining" για παράδειγμα, ενθαρρύνει τα τεμάχια in transactions to be sorted. Αυτό δε θα μπορούσε να επιτευχθεί με τη χρήση του "duration ratios".

Σχήμα 2: Rhythmic patterns matching at the level of duration ratios.

Σχήμα 3: Rhythmic patterns matching at the level of duration ratios.

Γι' αυτό το λόγο αξίζει να σημειωθεί ότι το προτεινόμενο θέμα (scheme) προσπαθεί να ικανοποιήσει μόνο τις απαιτήσεις/ανάγκες (requirements) του data mining input.

6.3.1. Τονική Αναπαράσταση (Pitch Representation)

Το τονικό ύψος - συχνότητα είναι μια υποκειμενική αίσθηση/ εντύπωση (sensation), στην οποία ένας ακροατής αποδίδει/ εκχωρεί τους τόνους που αντιλαμβάνεται σε νότες μια μουσικής κλίμακας, που βασίζεται κυρίως στη συχνότητα των παλμών (vibration) με λιγότερη σχέση με το επίπεδο της πίεσης του ήχου (sound pressure level (loudness, volume)). Η συχνότητα ενός τόνου (tone) τυπικά ανεβαίνει όσο αυξάνεται η ακουστική συχνότητα (frequency). Η προτεινόμενη αναπαράσταση βασίζεται στη μέτρηση/ υπολογισμό (measurement) των απόλυτων αξιών (absolute values) των γεγονότων σε σειρά (in series). Επιπροσθέτως πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η πηγή των μελωδιών είναι ένα τυπικό κανάλι MIDI (MIDI channel). Σε αυτά που ακολουθούν θα περιγράψουμε την αναπαράσταση του τονικού ύψους – συχνότητας (pitch) μέσα από ένα παράδειγμα εφαρμογής στο μουσικό κομμάτι που φαίνεται στο σχήμα 4.

Σχήμα 4: Ένα μουσικό παράδειγμα

Όταν ένα μουσικό κομμάτι παίζεται σε ένα όργανο MIDI (midi keyboard ή οποιοδήποτε midi controller), μεταδίδει μηνύματα στο MIDI channel μέσω του MIDI Out connector. Μια τυπική ακολουθία μηνυμάτων MIDI «channel message sequence» αντιστοιχεί με το πάτημα-απελευθέρωση ενός πλήκτρου “key being struck and released on a keyboard” είναι η εξής:

“Όταν πιάζουμε το μεσαίο Ντο «C key» (μεταβλητή 60 στο κανάλι midi) με συγκεκριμένη ταχύτητα (velocity) (η οποία συνήθως μεταφράζεται στην ένταση – volume της νότας) τότε το όργανο στέλνει ένα **Note-On** μήνυμα”. Όταν αφήνουμε το μεσαίο Ντο “C key” πάλι με την πιθανότητα η ταχύτητα απελευθέρωσης (velocity of release) να ελέγχει κάποιες παραμέτρους, τότε το όργανο στέλνει ένα **Note-Off** μήνυμα. Τα Note-On και Note-Off είναι όλα μηνύματα του καναλιού (channel messages). Για τα Note-On και Note-Off μηνύματα, the MIDI specification ορίζει έναν αριθμό (από 0 έως 127) για κάθε πιθανή συχνότητα νότας (C, C#, D, κλπ.) και αυτός ο αριθμός περιλαμβάνεται στο μήνυμα.

Άλλες πληροφορίες που εξάγουμε από το σύστημα MIDI αναπαράστασης είναι η μεταβλητή “Key_ signature” (_KS). Αυτό δηλώνει την αρμονική κλίμακα του μουσικού κομματιού. Διατηρείται για όλα τα μουσικά κομμάτια στην βάση δεδομένων, για να μπορεί να μετατραπεί (transposed) στο ίδιο κλειδί (key). Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, το προτεινόμενο θέμα (scheme) υποστηρίζει την επεξεργασία της συχνότητας (pitch processing) εντός του ίδιου κλειδιού. Αυτή η πληροφορία για την μεταβλητή “Key signature” εισάγεται στη βάση δεδομένων μέσω του .msq αρχείου (variable KS). Γι' αυτό η βάση δεδομένων αρχικά περιλαμβάνει έναν πίνακα με τη μορφή που φαίνεται στον Πίνακα 1 (με τη βοήθεια των .msq αρχείων).

Πίνακας 1 (αρχικός πίνακας)

	Line	midi_note	track_no	midi_file_id	velocity
...	...	...	...	...	...
7706	0 1 NON 1 60 42	60	1	45	42
7707	16 1 NON 1 64 87	64	1	45	87
7708	24 1 NON 1 60 68	60	1	45	68
7709	32 1 NON 1 62 78	62	1	45	78
7710	48 1 NON 1 64 80	64	1	45	80
7711	56 1 NON 1 65 83	65	1	45	83
7712	63 1 NON 1 67 50	67	1	45	50
...	...	...	...	...	...

Στη συνέχεια, κάθε μελωδία τεμαχίζεται χειροκίνητα σε τεμάχια/ αποσπάσματα (fragments). Ένας νέος πίνακας περιλαμβάνεται στην βάση δεδομένων, στον οποίο μια καινούρια γραμμή δημιουργείται για κάθε τεμάχιο/ απόσπασμα, βασισμένη στην πρώτη γραμμή που έχει εισαχθεί από το αρχείο .msq με το όνομα της μεταβλητής “midi_note”:

[60,64,60,62,64,65,67,59,60]

(απομακρύνοντας τις διπλές εγγραφές - entries στις οποίες η αξία της μεταβλητής της “velocity” είναι ταυτόσημη με την τιμή 0). Τότε, κάθε τεμάχιο/ απόσπασμα τεμαχίζεται περαιτέρω σε τεμάχια/ αποσπάσματα που έχουν την ίδια μελωδική κατεύθυνση (melodic direction), π.χ. είτε προς τα πάνω είτε προς τα κάτω, όπως:

[60,64],[64,60],[60,62,64,65,67],[67,59],[59,60]

Για μια αποτελεσματική εφαρμογή των αλγορίθμων συσχέτισης “association rule mining algorithms”, αυτά τα τεμάχια/ αποσπάσματα είναι τοποθετημένα σε αύξουσα σειρά. Επιπλέον, μια νέα στήλη προστίθεται φέροντας πληροφορίες για την διεύθυνση της μελωδίας, π.χ. ανιούσα (1) και κατιούσα (0). Γι’ αυτό, ο πίνακας για το association rule mining, που ονομάζεται «melody», διαμορφώνεται όπως στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2 (melody)

	id	direction	note	note	note	note
...	...	...	...	...	...	...
T1	1	60	64			
T2	0	60	64			
T3	1	60	62	64	65	67
T4	0	59	67			
T5	1	59	60			
...	...	...	...	...	...	...

Για την ταξινόμηση (classification) και την ομαδοποίηση (clustering) κάθε τελικού τεμαχίου/ αποσπάσματος (final fragment) αναπαριστάται όπως ένα 128 διασυστατό δυαδικό (dimensional binary) διάνυσμα (vector), καθώς κάθε μια από τις νότες του αντιστοιχεί σε έναν αριθμό από το 0 έως το 127 (midi note number). Η ύπαρξη συγκεκριμένης νότας σε ένα τεμάχιο/ απόσπασμα υποδεικνύεται με το «1» ενώ η απουσία της με το «0». Επιπροσθέτως μια στήλη προστίθεται ακόμα, που φέρει

πληροφορίες για την κατεύθυνση της μελωδίας, π.χ. ανιούσα (1) ή κατιούσα (0). Έτσι ο αντίστοιχος πίνακας εισόδου (input table), ονομάζεται «melody_s» και διαμορφώνεται όπως στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3 (melody_s)

id	direction	...	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
T1	0	...	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	...
T2	1	...	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	...
T3	0	...	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	...
T4	1	...	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

6.3.2. Ρυθμική Αναπαράσταση (Duration Representation)

Ο ρυθμός (rhythm) είναι η διευθέτηση (arrangement) των ήχων στο χρόνο. Το μέτρο (meter) αναπαριστά (animates) το χρόνο σε ομαλές/ συμμετρικές (regular) ομαδοποιήσεις παλμών (pulse groupings), που ονομάζονται μέτρα (measures) ή μπάρες (bars). Το κλειδί του χρόνου ή αλλιώς με τον μουσικό όρο το «μέτρο» (time signature) (variable TS) ή «meter signature» καθορίζει πόσοι κτύποι είναι σε κάθε ένα μετρικό χώρο (measure), και σε τι αξία είναι γραμμένη η νότα και υπολογίζεται και νιώθεται ως ένας μοναδικός κτύπος (counted and felt as a single beat). Υπάρχουν διάφορες συμβάσεις στις περισσότερες μουσικές παραδόσεις για τον κανονικό και τον ιεραρχικό τονισμό (regular and hierarchical accentuation) των κτύπων (beats) για να δυναμώσει το μέτρο.

Το προτεινόμενο σχήμα αναπαράστασης (representation scheme) βασίζεται στην ιδέα του κλειδιού για να δηλώσει σε ποιες συγκεκριμένες ρυθμικές αξίες του χρόνου (discrete values of time) συμβαίνει ένα ρυθμικό γεγονός (rhythm event). Επιπροσθέτως, ας ληφθεί υπόψη ότι η πηγή των ρυθμικών προτύπων είναι ένα τυπικό κανάλι MIDI. Σε αυτά που ακολουθούν πρόκειται να περιγράψουμε την αναπαράσταση της διάρκειας (duration representation) με ένα παράδειγμα.

Σύμφωνα με το Σύστημα Αναπαράστασης MIDI (MIDI Representation System), οι παύσεις (time intervals) ορίζονται από τη αξία της μεταβλητή (variable Ticks value). Πρώτα, μετατρέπουμε όλα τα midi αρχεία με την αξία των Ticks που ισούται για παράδειγμα με τον αριθμό των ticks για όλο το χρόνο (for the whole time). Για αυτή την ανάλυση των ρυθμικών προτύπων το μέγιστο ρυθμικό μήκος (rhythmic length) εκχωρείται σε i measures of "whole time", namely until the value $t \times i$. Ο τελευταίος περιορισμός που τίθεται από το σύστημα διαχείρισης της βάσεως δεδομένων που χρησιμοποιείται για την υλοποίηση. Για παράδειγμα, έναν $t = 64$, χρησιμοποιούμε τις παύσεις (time intervals) που περιγράφονται στον πίνακα 4.

Πίνακας 4 (time intervals)

64	Whole Note (1)
32	Half Note (2)
16	Quarter Note (4)
8	Quaver (8)
4	Semi Quaver (16)
2	Demi Semi Quaver (32)
1	Hemi Demi Semi Quaver (64)

Για την association rule mining, τα ρυθμικά μοτίβα (rhythm patters) από τα εξηγμένα αποσπάσματα που περιγράφηκαν στην προηγούμενη υποενότητα αναπαρίστανται στον πίνακα της βάσεως δεδομένων που ονομάζεται «rhythm» (ρυθμός), στον οποίο μια νέα γραμμή δημιουργείται για κάθε μελωδία του τελικού αποσπάσματος (final fragment). Για παράδειγμα για τιμές $t = 64$ και $i = 2$, ο πίνακας «rhythm» (ρυθμός), διαμορφώνεται όπως στον Πίνακα 5. Κάθε τελικό απόσπασμα αναπαρίσταται ως ένα 128-διάστατο διάνυσμα (128 dimensional binary vector).

Πίνακας 5 (rhythm)

...	...								
T1	0	16	24	32	48	56	63	79	96
...	...								

Για την ταξινόμηση (classification) και την ομαδοποίηση (clustering) κάθε τελικού αποσπάσματος αναπαρίσταται ως 128-διάστατο διάνυσμα (128 dimensional binary vector), καθώς κάθε χρόνος (time) αντιστοιχεί σε έναν αριθμό από ticks. Ένα γεγονός εντός του αποσπάσματος δηλώνεται με το «1» ενώ η απουσία του με το «0». Γι' αυτό ο αντίστοιχος πίνακας εισόδου ονομάζεται «rhythm_s» και διαμορφώνεται όπως είναι στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6 (rhythm_s)

id	0	...	16	...	24	...	32	...	48	...	56	...	63	...	79	...	96	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
T1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

6.3.3. Πειραματικά Αποτελέσματα

Η συλλογή των εισαγόμενων δεδομένων (input data) είναι ένα ουσιαστικό έργο, εφόσον τα πειράματα μάθησης πρόκειται να παράγουν νέα γνώση και διορατικότητα στα μουσικά φαινόμενα. Έτσι, τα εισαγόμενα δεδομένα πρέπει να είναι αμερόληπτα ρεαλιστικά (unbiased realistic) σε αντίθεση με τα προκαταρκτικά πειράματα όπου τα εισαγόμενα δεδομένα παράγονταν από τον ίδιο τον πειραματιστή. Οι κοινοί (common data mining) αλγόριθμοι εξόρυξης δεδομένων δέχονται τα εισαγόμενα δεδομένα ως πίνακες.

Όπως είναι φυσικό, μια τεχνική μελωδικού τεμαχισμού [6] θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί με σκοπό να εξασφαλίσει εισαγόμενες εγγραφές (input records). Παρόλα αυτά, είναι αλήθεια ότι δεν υπάρχει ένας μοναδικός σωστός τεμαχισμός ενός μουσικού κομματιού. Επιπλέον, καθώς η κατασκευή από το training set είναι ένα off-line έργο, χρησιμοποιήσαμε έναν χειροκίνητο τεμαχισμό για τον καλύτερο έλεγχο επί των εισαγόμενων εγγραφών (input records) [29].

Η ομαδοποίηση των μελωδικών τεμαχίων [16] βασίζεται στο χρησιμοποιημένο θέμα αναπαράστασης γνώσης (used knowledge representation scheme) και στην απομακρυσμένη λειτουργία (distance function).

Κάθε μελωδία μετατρέπεται σε ένα .msq αρχείο χρησιμοποιώντας ένα midi score πρόγραμμα (και συγκεκριμένα χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα Sibelius). Τα αρχεία .msq είναι ASCII αρχεία με συγκεκριμένη δομή που μπορεί να αναλυθεί (can be parsed). Τα .msq αρχεία δημιουργήθηκαν αρχικά από τους Siegfried Koepf και Bernd Haerpfer το 1998, καθώς χρειαζόταν ένα συμβατό MIDI υπολογιστικό σύστημα για την αλγοριθμική σύνθεση (composition) και την σύνθεση με μουσική παρτιτούρα. Ένα command line πρόγραμμα μεταφράζει (parse) τα .msq αρχεία και εισάγει πληροφορίες στη βάση δεδομένων. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να τύχουν επεξεργασίας με ποικίλους τρόπους. Ένας διαφορετικός command line client επεξεργάζεται το περιεχόμενο της βάσεως δεδομένων και δημιουργεί αναφορές (reports) που μπορούν να τροφοδοτήσουν άλλον client που αντίστοιχα δημιουργεί κανόνες χρησιμοποιώντας τους αλγορίθμους ομαδοποίησης, ταξινόμησης και συσχέτισης. Ολόκληρος ο κώδικας (code) είναι γραμμένος σε Java χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα προγραμματισμού “eclipse”. Η βάση δεδομένων είναι MySQL έκδοσης v.5. Η συνδεσιμότητα της βάσεως δεδομένων επιτυγχάνεται μέσω JDBC.

Κάθε .msq αρχείο περιλαμβάνει ένα σύνολο γραμμών που χωρίζονται με CRLF. Διαφορετικές γραμμές περιλαμβάνουν διαφορετικούς τύπους πληροφοριών. Η εφαρμογή σχεδιάζει (models) τις γραμμές που μας ενδιαφέρουν με την MsqLine κλάση. Οι παρακάτω υπό-κλάσεις υλοποιούνται ως εξής:

- MsqKsLine, περιέχει πληροφορίες για το Μουσικό κλειδί (music key signature) σε κάθε μουσική σύνθεση.
- MsqNonLine, περιέχει πληροφορίες σχετικά με μια νότα στη μουσική σύνθεση (midi note, channel, duration, temporal instance of occurrence κλπ)
- MsqTicksLine, είναι μια γραμμή που καλείται μια φορά σε ένα .msq αρχείο και δηλώνει τον αριθμό των ticks για τη σύνθεση.
- MsqTeLine, περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με το μουσικό στυλ της κάθε μουσικής σύνθεσης.

Οι γραμμές οι οποίες υπάρχουν στο αρχείο .msq και δεν εισάγονται στη βάση δεδομένων επειδή δεν είναι χρήσιμος για το συγκεκριμένο πρόγραμμα αγνοούνται.

High Level Design

Figure 1: Application Class Diagram

The class diagram above depicts the high level design of the application.

Τέσσερα αρχεία εξόδου δημιουργούνται:

- melody
[a file in ASCII format that contains patterns of imported melodies in Database. Each line has a pattern in serial order]
- melody_s
[a file in ASCII format that contains the values 0,1. This values represent if exist (0) or not exist (1) the specific note number in midi note values (0, 127)]
- rhythm
[a file in ASCII format that contains patterns of imported rhythms sequence in Database. Each line has a rhythm pattern in serial order]
- rhythm_s
[a file in ASCII format that contains the values 0,1. This values represent if exist (0) or not exist (1) the specific rhythm number for large values of rhymes]

Το προτεινόμενο σύστημα ελέγχεται στην εξαγωγή κανόνων εξόρυξης δεδομένων από ένα μεγάλο αριθμό μελωδιών που έχουν παρθεί από τα Χορικά του Bach (www.jsbchorales.net). Ως τεχνικό αποτέλεσμα, η εφαρμογή των data mining αλγορίθμων φαίνεται πολύ ενθαρρυντική.

Οι εξαγόμενες πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές. Για παράδειγμα, με δοσμένο ένα σύνολο από “set of pitches/durations” σε ένα συγκεκριμένο μουσικό στυλ, ένας κανόνας συσχέτισης (association rule) δηλώνει ένα άλλο “set of pitches/durations” το οποίο είναι αντίστοιχο με το εισαγόμενο. Ως ένα άλλο παράδειγμα χρήσης με δοσμένο ένα συγκεκριμένο σετ εισόδου “pitch/duration” σε

ένα συγκεκριμένο μουσικό στυλ, ένας κανόνας ταξινόμησης δείχνει ποια “pitches/durations” μπορούν να συνδυαστούν με το αντίστοιχο σετ από “pitch/duration” σε αυτό το μουσικό στυλ. Αντίστοιχα με δοσμένο ένα σετ από “pitches/durations” σε ένα συγκεκριμένο μουσικό στυλ, ένας κανόνας ομαδοποίησης ενδεικνύει ένα άλλο σετ από “pitches/durations” το οποίο είναι αντίστοιχο με το input set general representative (medoid) αυτού του music style.

6.3.4. Συμπεράσματα

Μια συμβολική μουσική αναπαράσταση θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί [39] για την καταγραφή (εγγραφή ενός μουσικού αντικειμένου, προκειμένου να ανακτηθεί και να επεξεργαστεί σε μια μεταγενέστερη ημερομηνία), ανάλυση (για να ανακτηθεί όχι την έκδοση raw του μουσικού αντικειμένου, αλλά κάποια αναλυμένη έκδοσή αυτού) και δημιουργία / σύνθεση. Σε αυτό το άρθρο παρουσιάζουμε ένα νέο σχήμα μουσικής αναπαράστασης καταδεικνύοντας σαφέστατα ότι είναι κατάλληλο για εγγραφή (recording) και ανάλυση (analysis).

Σχεδιάζουμε να επεκτείνουμε τα μουσικά χαρακτηριστικά που αναπαριστά το προτεινόμενο σχήμα σε στατικά (π.χ. key, tempo) και θεματικά (π.χ. chords) χαρακτηριστικά. Επί του παρόντος δουλεύουμε σε αυτό το θέμα ως προς την επέκταση του προτεινόμενου σχήματος μουσικής αναπαράστασης με σκοπό να αναπαραστήσουμε πραγματικές εκτελεσμένες μελωδίες από ανθρώπινους εκτελεστές. Οι εκτελέσεις “performances” μπορούν να αναπαρασταθούν με το tempo και την πληροφορία για την ηχητική ένταση “loudness information”. Έτσι μια ανάλυση εξόρυξης δεδομένων θα μπορούσε να παρέχει γενικούς κανόνες έκφρασης (general expression rules) για την εφαρμογή των δυναμικών έντασης (crescendo vs. decrescendo) καθώς και του tempo (accelerando vs. ritardando).

Επιπροσθέτως σχεδιάζουμε να χρησιμοποιήσουμε το προτεινόμενο σχήμα σε εφαρμογές εξόρυξης δεδομένων και σε άλλα συγκεκριμένα υπολογιστικά μουσικά προβλήματα: όπως αυτόματη δημιουργία μελωδιών (automatic generation of melodies), μελωδικό τεμαχισμό (melodic segmentation), ανεύρεση επαναλαμβανόμενων μοτίβων (discovering repeated patterns) καθώς και μουσικής εκφραστικής - εκτελεστικής απόδοσης ενός μουσικού έργου (music performance).

6.4. Επίλογος

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο ‘**μουσική αναπαράσταση γνώσης**’ δόθηκε μια συνοπτική παρουσίαση μιας σειράς υπολογιστικών προτύπων τα οποία έχουν αναπτυχθεί με στόχο τη δομική αναλυτική περιγραφή μουσικών κομματιών. Τα μοντέλα αυτά επιχειρούν τον τεμαχισμό μιας αρμονικής και μελωδικής επιφάνειας σε στοιχειώδη μέρη (βασισμένο σε γνωστικές αρχές ‘**Gestalt**’ και **αρχές μουσικής ομοιότητας**), την εύρεση **μετρικής δομής** και την οργάνωση των **στοιχειωδών μελωδικών και αρμονικών μερών** σε μοτίβα με χρήση **μοντέλων κατηγοριοποίησης**. Χρησιμοποιήθηκαν απλά μουσικά παραδείγματα έτσι ώστε να γίνει κατανοητή η λειτουργία των επιμέρους προτύπων. Υπάρχει όμως μια πληθώρα παραδειγμάτων και πειραμάτων που δείχνουν ότι οι ανωτέρω τεχνικές δίνουν αξιόπιστα αποτελέσματα από μουσικολογικής, γνωστικής και υπολογιστικής άποψης, και ότι διαθέτουν όλα τα εχέγγυα για μια δυναμική περαιτέρω ανάπτυξη. Εκτός από τη βελτίωση και την περαιτέρω αξιολόγηση των παρόντων προτύπων, είναι αναγκαία η ενσωμάτωση νέων μοντέλων τα οποία μπορούν να καταστήσουν δυνατή την ανάλυση πολυφωνικής μουσικής (π.χ. πρότυπο διαχωρισμού φωνών κ.ο.κ).

Τέλος αναφερθήκαμε αναλυτικά στο προτεινόμενο σχήμα μουσικής αναπαράστασης (C. Halkiopoulos, B. Boutsinas, “Music Representation for Analysis using Data Mining”, Seventh Annual Conference of Music Theory and Analysis, May, Belgrade, 2009) το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για ανάλυση εξόρυξης δεδομένων (data mining analysis) η οποία στοχεύει στη μάθηση γενικών προτύπων και για τη συχνότητα και για τη διάρκεια σε συγκεκριμένα είδη μουσικής (music styles). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα έχει η χρήση του συγκεκριμένου σχήματος μουσικής αναπαράστασης σε μουσικά ιδιώματα τα οποία δεν εντάσσονται στο Δυτικό Συγκερασμένο Τονικό Μουσικό Σύστημα όπως η **ελληνική παραδοσιακή μουσική** και η **βυζαντινή μουσική**.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7. Συστήματα Γνώσης (Knowledge Systems)

7.1. Εισαγωγή

Συστήματα Γνώσης είναι τα συστήματα που αναπαριστούν και χρησιμοποιούν γνώση για να εκτελέσουν κάποια λειτουργία. Ο όρος αυτός έχει βγει από τον όρο ‘**Συστήματα βασισμένα στη Γνώση**’ (Knowledge-based Systems).

Τα συστήματα γνώσης περιλαμβάνουν:

- **Τα έμπειρα συστήματα** (Expert Systems)
- **Συστήματα** στα οποία η γνώση δεν προέρχεται από ειδικούς, αλλά αποτελεί **επιστημονική-τεχνολογική γνώση** ή **γνώση καταγεγραμμένη σε βάσεις δεδομένων**, τεχνικές αναφορές, κ.λ.π.

Ποιος ήταν ο λόγος που δημιουργήθηκαν αυτά τα συστήματα;

Η ανάγκη για τα Συστήματα Γνώσης προήλθε από τη δυσκολία:

- **Εκμαίευσης της γνώσης** του ειδικού από το μηχανικό της γνώσης.
- **Κατανόησης** και μετατροπής της **γνώσης** σε εύχρηστα υπολογιστικά μοντέλα

Οι συλλογιστικές που χρησιμοποιούνται για τα Συστήματα Γνώσης είναι:

- **Συλλογιστική βασισμένη σε μοντέλα** (model-based reasoning)
- **Ποιοτική συλλογιστική** (qualitative reasoning)
- **Συλλογιστική βασισμένη σε περιπτώσεις** (case-based reasoning)

7.2. Συλλογιστική βασισμένη σε μοντέλα (model-based reasoning)

Η συλλογιστική που είναι βασισμένη σε μοντέλα αναπαριστά τη δομή και λειτουργία πραγματικών (φυσικών) συστημάτων. Χρησιμοποιεί βασικές επιστημονικές ή τεχνικές αρχές αντί κάποιας εμπειρικής γνώσης. Η συγκεκριμένη συλλογιστική χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές διάγνωσης (model-based diagnosis).

Τα μειονεκτήματα των **έμπειρων** αυτών **συστημάτων** που πραγματοποιούν διάγνωση συσχετίζουν ένα σύνολο παρατηρήσιμων παραμέτρων του φυσικού συστήματος με ένα σύνολο παρατηρήσιμων δυσλειτουργιών. Η συμπεριφορά του συστήματος καθορίζεται από τη συμπεριφορά του στο παρελθόν σε παρόμοιες περιπτώσεις, οι οποίες έχουν αποτυπωθεί ως εμπειρία. Επίσης δεν μπορεί το έμπειρο σύστημα να διαγνώσει νέες δυσλειτουργίες που δεν έχουν αντιμετωπισθεί στο παρελθόν, επειδή δεν έχουν αποτυπωθεί ως εμπειρικοί κανόνες.

Τα πλεονεκτήματά τους είναι αρκετά, όπως είναι η περιγραφή του φυσικού συστήματος που συνίσταται στις βασικές αρχές λειτουργίας του και όχι στις περιπτώσεις βλαβών που παρατηρήθηκαν. Με τον τρόπο αυτό είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν καταστάσεις που δεν έχουν συναντήσει στο παρελθόν. Επίσης, πρέπει να τονίσουμε ότι οι κατασκευαστές γνωρίζουν περισσότερα για τον τρόπο λειτουργίας ενός συστήματος από τους ειδικούς που το χειρίζονται.

Τα είδη μοντέλων που χρησιμοποιούνται στα **έμπειρα συστήματα** είναι τα εξής:

- **Μαθηματικά Μοντέλα**, τα οποία περιγράφουν με αναλυτικές εξισώσεις ένα σύστημα
- **Στοχαστικά Μοντέλα**, τα οποία περιγράφουν στατιστικά τη λειτουργία ενός συστήματος
- **Αιτιοκρατικά Μοντέλα**, τα οποία περιγράφουν ένα σύστημα μέσω των αλληλεπιδράσεων των επιμέρους τμημάτων του.

Να τονίσουμε επίσης ότι στα συστήματα συλλογιστικής των μοντέλων αυτών χρησιμοποιούνται όλες οι γνωστές μέθοδοι **αναπαράστασης γνώσης**. Αναφέρουμε παρακάτω και τους κανόνες που μπορούν να αναπαραστήσουν την αιτιότητα σε ένα τέτοιο σύστημα:

- **Κανόνες Προσομοίωσης**: Προσομοιώνουν τους φυσικούς περιορισμούς και νόμους που διέπουν το σύστημα, π.χ. ροή ηλεκτρικού ρεύματος.
- **Κανόνες Εξαγωγής Συμπερασμάτων**: Εξάγουν συμπεράσματα για την κατάσταση και τη συμπεριφορά του φυσικού συστήματος.

7.3. Συστήματα Γνώσης για τη Μουσική Έρευνα.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, τα συστήματα γνώσης έχουν αποδειχθεί πολύ χρήσιμα σε πολλές εφαρμογές πραγματικού κόσμου, όχι μόνο σε πειραματικό στάδιο. Σε μερικές περιπτώσεις μάλιστα τα συστήματα αυτά έχουν οδηγήσει πραγματικά σε νέες ανακαλύψεις σε πολλές επιστημονικές περιοχές όπως στη βιοχημεία, στην αστρονομία και σε πολλές άλλες.

Κάποιος μπορεί εύκολα λοιπόν να φανταστεί τις παρόμοιες χρήσεις των συγκεκριμένων μηχανών γνώσης και στην πρακτική μουσική και γενικότερα στον τομέα έρευνας της μουσικής επιστήμης. Η πρακτική και της παραδοσιακής (τονικής μουσικής) και της σύγχρονης μουσικής θα μπορούσε να ωφεληθεί από την ευελιξία και την προσαρμοστικότητα των συστημάτων γνώσης.

Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων που έχουν δημιουργηθεί ή είναι ακόμα υπό εξέλιξη είναι αρκετά, θα αναφέρουμε όμως από αυτά τα προγράμματα εξομοίωσης εκτέλεσης ενός οργάνου που αλληλεπιδρούν με τους ανθρώπινους εκτελεστές (τεχνητοί εκτελεστές οργάνων), τη σύνθεση μουσικών έργων μέσω υπολογιστικών προτύπων, τα εκπαιδευμένα συστήματα οπτικής αναγνώρισης μουσικής σημειογραφίας, τα υπολογιστικά συστήματα και ηλεκτρονικά όργανα που βοηθούν τους συνθέτες και τους εκτελεστές στο χειρισμό των σύνθετων μουσικών πληροφοριών, των πολύπλοκων ηλεκτρονικών οργάνων, ειδικά στα σύγχρονα πλαίσια της ηλεκτρονικής αυτής καθαυτής μουσικής.

Φυσικά όλοι αυτοί οι στόχοι, είτε έχουν υλοποιηθεί, είτε είναι σε στάδιο έρευνας, είναι εξαιρετικά σύνθετοι και απαιτούν πολλά προσαρμοστικά συστήματα, όπως κατάλληλες γλώσσες αναπαράστασης, κατάλληλους μηχανισμούς σωστής ανάλυσης και σύνθεσης των μουσικών έργων, κατάλληλα έμπειρα συστήματα (expert systems) και μηχανές εξόρυξης γνώσης (data mining), συστήματα που εφόσον υλοποιηθούν σωστά οι πρακτικές δυνατότητες τους και οι εφαρμογές τους στη μουσική είναι συναρπαστικές.

Το ίδιο ισχύει και για την ‘εμπειρική’ έρευνα της μουσικής (όπου η εμπειρική έρευνα μουσικής χρησιμοποιείται εδώ για να ερμηνεύσει όλες τις μορφές μουσικολογικών ερευνών που είναι βασισμένες πρωτίστως στη μελέτη των δομικών στοιχείων και σχημάτων των ήδη υπαρχόντων έργων, όπως συνθέσεις, μεταγραφές, αυτοσχδιασμοί π.χ. της τζαζ, στοιχεία απόδοσης εκτελέσεων έργων ή οποιοδήποτε άλλο είδος τέτοιων στοιχείων των μουσικών δραστηριοτήτων).

Ο ρόλος τέτοιων μεθόδων είναι να βοηθήσουν τον αναλυτή (άνθρωπο) στην εύρεση μοτίβων, τη συχνότητα επανάληψης που έχουν σε ένα έργο που αυτό κρίνει και τη σημαντικότητα του συγκεκριμένου μοτίβου, συλλογές στοιχείων χρήσιμων που μπορούν να βοηθήσουν στην κατανόηση ενός μουσικού έργου, αλλά και κατανόηση της δομής του, την εξήγηση κάποιων ακουστικών ή σημειολογικών φαινομένων. Ένα παράδειγμα τέτοιου συστήματος γνώσης αναφέρεται παρακάτω.

Τέλος, ένας άλλος πιθανός ρόλος των συγκεκριμένων μηχανών γνώσης είναι ότι μπορούν να χρησιμεύσουν ως μια άμεση έμπνευση για τα γνωστικά πρότυπα των μουσικών δεξιοτήτων (Marsden 1989).

Πριν αναφέρουμε λεπτομερώς τον τρόπο με τον οποίο τα συστήματα γνώσης εφαρμόζονται στη μελέτη των μουσικών δεδομένων, είναι σημαντικό να αναφέρουμε εν συντομία μερικά γενικά μεθοδολογικά ζητήματα που προκύπτουν σε οποιαδήποτε έρευνα τέτοιου είδους.

- **Πολυπλοκότητα Προβλήματος (Problem Complexity):**

Για να καταστήσουμε ένα πρόγραμμα εφικτό, αλλά και ενδιαφέρον, είναι κρίσιμο να επιλεγεί πρώτα απ' όλα ένα αντικείμενο μελέτης κατάλληλης πολυπλοκότητας. Ο στόχος, για παράδειγμα, της εκμάθησης της σύνθεσης μιας συμφωνίας (συμφωνικό μουσικό έργο) είναι σαφώς πολύ σύνθετος. Από την άλλη μεριά τα είδη 'τεχνητών μουσικών μικρόκοσμων' που ήταν και είναι ακόμα αρκετά δημοφιλή σε πολλά πειράματα συστημάτων γνώσης (όπως το πρώτο είδος αντίστιξης, δημιουργία αντιστικτικής μελωδίας, Widmer 1992) είναι πλέον τετριμμένα για να παράγουν αποτελέσματα που θα είχαν έντονο ενδιαφέρον στην επιστήμη της μουσικολογίας.

Το φαινόμενο που μελετάται πρέπει να είναι σύνθετο και αρκετά ρεαλιστικό και να παρουσιάζει φυσικά μεγάλο ενδιαφέρον. Η εκφραστική απόδοση της μουσικής φαίνεται να είναι ένας κατάλληλος υποψήφιος (θα παρουσιαστεί παρακάτω αντίστοιχο παράδειγμα). Ένα άλλο θετικό παράδειγμα είναι ο αυτοσχεδιασμός (π.χ. των μπάσων) γραμμών της τζαζ, λαμβάνοντας υπόψη το αρμονικό πλαίσιο που ισχύει στο συγκεκριμένο μουσικό στυλ (Ramalho, 1996).

- **Πραγματικά Στοιχεία (Real Data):**

Για τον ίδιο λόγο, εάν τα συστήματα γνώσης δημιουργούνται για να παράγουν νέα γνώση και διορατικότητα στα μουσικά φαινόμενα, είναι ουσιαστικό τα στοιχεία που συλλέγονται για την ανάλυση να είναι αμερόληπτα και να προέρχονται από 'ρεαλιστικές' πηγές (π.χ. δεν παράγονται πειραματικά ή τυχαία). Στην παρακάτω μελέτη που κάνουμε σε ένα σύστημα γνώσης το συγκεκριμένο θέμα των πραγματικών στοιχείων αποτέλεσε ένα σημαντικό πρόβλημα.

- **Μουσικο-Θεωρητικές Υποθέσεις (Music-theoretic assumptions):**

Οι δύο βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την έκβαση των πειραμάτων γνώσης είναι τα δεδομένα εισόδου που δίνονται στη μηχανή εκμάθησης και η γλώσσα αναπαράστασης στην οποία το σύστημα γνώσης μπορεί να αναπαραστήσει τις υποθέσεις του. Δεδομένου ότι και οι δύο παράγοντες είναι (συνήθως) υπό τον έλεγχο του σχεδιαστή του πειράματος, πρέπει να θεωρηθεί ως πιθανή πηγή προκατάληψης (bias – στατιστική απόκλιση). Γι' αυτό είναι κρίσιμο ο υπεύθυνος του πειραματικού συστήματος γνώσης να έχει γνώση των στοιχείων με τα οποία θα εκπαιδεύσει το σύστημα, καθώς και γνώση και κρίση στη σωστή επιλογή της γλώσσας αναπαράστασης.

Ειδικότερα οποιεσδήποτε μουσικολογικές υποθέσεις που επηρέασαν την επιλογή του τρόπου αναπαράστασης πρέπει να γίνονται γνωστές, δεδομένου ότι καθορίζουν τα συμπεράσματα που πρόκειται να προέλθουν από τα αποτελέσματα των πειραμάτων.

- **Επίπεδο Αναπαράστασης και Αφαίρεσης (Representation and Abstraction level):**

Μια συγκεκριμένη περίπτωση των ανωτέρω, αρκετά σημαντική, είναι το επίπεδο αφαίρεσης που επιλέγεται για την περιγραφή των στοιχείων εκπαίδευσης του συστήματος γνώσης καθώς και η γλώσσα αναπαράστασής του. Παραδείγματος χάριν, οι νότες ή οι τόνοι υποτίθεται είναι ατομικές μονάδες ή η

αναπαράσταση πρέπει να περιλαμβάνει επίσης και τους ακουστικούς παράγοντες σε χαμηλότερα επίπεδα;

Το επίπεδο αφαίρεσης που επιλέγεται, αναπαριστά διάφορες θεμελιώδεις υποθέσεις για το υπό μελέτη φαινόμενο και πρέπει να καταστεί σαφές για ποιους λόγους αποφασίστηκε αυτό το επίπεδο αφαίρεσης καθώς και τι αντίκτυπο θα έχει στην ερμηνεία των προς εξαγωγή αποτελεσμάτων από το σύστημα γνώσης.

Όλες αυτές οι εκτιμήσεις που αναφέραμε παραπάνω πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό των εμπειρικών πειραμάτων με τους αλγορίθμους εκμάθησης των συστημάτων γνώσης.

7.4. Το Προτεινόμενο Σύστημα Τεχνητής Νοημοσύνης «Αυτόματος Διαδραστικός Μουσικός Αυτοσχεδιασμός»

Μία από τις βασικές προκλήσεις στο μουσικό αυτοσχεδιασμό είναι ο διαδραστικός αυτοσχεδιασμός μεταξύ ενός ανθρώπου και ενός συστήματος. Στη παρούσα ενότητα παρουσιάζουμε ένα μουσικό διαδραστικό σύστημα ως συνεχιστή της μελωδίας (as melody continuator). Για κάθε μουσικό πρότυπο (pattern) που έχει δοθεί από το χρήστη, το ευφρές σύστημα ανακαλεί ένα όμοιο (similar) γενικό πρότυπο που είναι αποθηκευμένο στη βάση του (database) και το οποίο το αναμορφώνει ανάλογα (reform). Το προτεινόμενο σύστημα κατευθύνει τη μουσική αναπαράσταση και την ομοιότητα του μουσικού προτύπου (musical pattern similarity) στη χρήση της εξόρυξης δεδομένων (data mining). Η εξόρυξη δεδομένων είναι μια αναδυόμενη διαδικασία μηχανικής μάθησης με την εξαγωγή προηγούμενων άγνωστων, αγωγίμων (actionable) πληροφοριών από πολύ μεγάλες επιστημονικές και εμπορικές βάσεις δεδομένων. Η μηχανική μάθηση (machine learning) έχει παίξει έναν κρίσιμο ρόλο στη υπολογιστική μουσική (computer music) σχεδόν από την αρχή της. Πρόσφατα η έρευνα στο πεδίο έχει εστιαστεί στην εξόρυξη μουσικής (music mining). Παρουσιάζουμε επίσης πειραματικά αποτελέσματα για έλεγχο και αξιολόγηση της αποδοτικότητας (efficiency) και της ακρίβειας του προτεινόμενου συστήματος.

7.4.1.1. Εισαγωγή

Τα μουσικά υπολογιστικά συστήματα που βασίζονται στην Τεχνητή Νοημοσύνη είναι τριών κυρίως τύπων: συνθετικά (compositional), αυτοσχεδιαστικά (improvisational) και ερμηνευτικά (performance). Τα συνθετικά συστήματα στοχεύουν σε αυτόματη δημιουργία μουσικής βασισμένης σε αλγοριθμικό παράδειγμα. Από όταν η Iliac Suite, ένα κουαρτέτο εγχόρδων που συντέθηκε από μια γενική πειραματική προσέγγιση [22], ένας μεγάλος αριθμός τέτοιων συστημάτων έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία [38,43]. Τα αυτοσχεδιαστικά συστήματα στοχεύουν στην αυτόματη δημιουργία αυτοσχεδίων παραλλαγών πάνω σε συγκεκριμένη μουσική συνήθως σε πραγματικό χρόνο (in real time). Όπως συμβαίνει στα συνθετικά συστήματα, πολλές προσπάθειες έχουν αφιερωθεί στα αυτοσχεδιαστικά συστήματα από την πρώιμη εργασία της Flavors Band [38,50]. Τέλος, υπάρχει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον στα ερμηνευτικά συστήματα. Ένα ερμηνευτικό σύστημα σχηματίζει ένα μουσικό κομμάτι [38] ποικίλλοντας συγκεκριμένες μουσικές παραμέτρους, όπως το βιμπράτο, το ρουμπάτο, κλπ.

Μια από τις κυριότερες προκλήσεις των αυτοσχεδιαστικών συστημάτων είναι ο διαδραστικός αυτοσχεδιασμός μεταξύ ενός ανθρώπου και ενός συστήματος. Τέτοιο

διαδραστικό σύστημα συνθέτει αυτόματα μελωδίες σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας πληροφορίες που εξήχθησαν από ανθρώπινες πράξεις (actions) μέσω αλληλεπίδρασης (via interface). Γενικά ο όρος «μουσικό διαδραστικό σύστημα» περικλείει όλα τα συστήματα που εξαρτώνται από τις πράξεις του χρήστη για να δημιουργήσει/ παράγει ήχο και επίσης περιλαμβάνει συστήματα που αλληλεπιδρούν μουσικά με το χρήστη [45]. Τέτοια συστήματα συμπεριλαμβάνουν εκτός από τον αυτόματο αυτοσχεδιασμό (automatic improvising) και αυτόματη συνοδεία (accompaniment) [16] και συνεχιστές των μουσικών εισόδων (continuations of musicians input) [42].

Τα περισσότερα από τα διαδραστικά αυτοσχεδιαστικά συστήματα που προτείνονται στη βιβλιογραφία είναι σχεδιασμένα για τζαζ αυτοσχεδιασμό [32]. Αυτά συνήθως βασίζονται σε θεωρίες πρόβλεψης (predictive theories) οι οποίες συχνά σχετίζονται με στοχαστικά μοντέλα (stochastic models) τα οποία υπολογίζουν την πιθανότητα για τα μουσικά στοιχεία να παρουσιαστούν σε δοσμένο μουσικό περιβάλλον (context). Τα τελευταία είναι συνήθως αλυσίδες Markov, αλλά υπάρχουν περισσότερα όπως η βασισμένη σε λεξικό πρόβλεψη (dictionary-based prediction) [2]. Πρώιμα συστήματα είναι βασισμένα στους ρητώς κωδικοποιημένους μουσικούς κανόνες σε μια λογική (logic) ή σε τυπική γραμματική (formal grammar) [13].

Ένα σύστημα ικανό για διαδραστικό αυτοσχεδιασμό πρέπει να επιλύσει διάφορα προβλήματα δυναμικά κατά τη διάρκεια της πραγματικής ερμηνείας, όπως είναι η επιλογή νότας και ρυθμού που θα ενδιαφέρει τον ακροατή, μετά από αντίδραση σε υποδείξεις και αποχρώσεις από τον άνθρωπο. Στη παρούσα ενότητα παρουσιάζουμε ένα μουσικό διαδραστικό σύστημα που δρα ως συνεχιστής της μελωδίας. Στο προτεινόμενο σύστημα η επιλογή της νότας και του ρυθμού περιορίζεται σε δύο πάρα πολύ σημαντικά ζητήματα στην υπολογιστική μουσική: τη μουσική αναπαράσταση και την ομοιότητα του μουσικού προτύπου. Παρουσιάζουμε λοιπόν νέες προσεγγίσεις σε αυτά τα θέματα βασισμένες στην εξόρυξη δεδομένων.

Η ιδέα-κλειδί για την προτεινόμενη προσέγγιση βασίζεται στο γεγονός ότι μουσική αντίληψη (perception) καθοδηγείται από τις προσδοκίες (expectations) που βασίζονται στο πρόσφατο περασμένο περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, βασίζεται στην αντίληψη των σχέσεων μεταξύ κάθε ακόλουθης νότας του μουσικού προτύπου: φαίνεται ότι όταν ακούμε μια νέα νότα, η τελευταία που μόλις ακούστηκε παραμένει ενεργή στο μυαλό μας και διατηρείται στη βραχύχρονη μνήμη. Η περιορισμένη επέκταση της βραχύχρονης μνήμης πρέπει να οριστεί και με όρους που αφορούν το χρόνο (για παράδειγμα, όχι περισσότερο από 15 δευτερόλεπτα) και με όρους που αφορούν το μέγεθος (size) (για παράδειγμα, όχι περισσότερα από 7 στοιχεία) [34].

Για κάθε μουσικό πρότυπο στη βραχύχρονη μνήμη (δοσμένο από τον άνθρωπο) το προτεινόμενο σύστημα ανακαλεί ένα αντίστοιχο γενικό πρότυπο που είναι αποθηκευμένο στη μνήμη του, π.χ. μια γενική βάση δεδομένων με πρότυπα. Η αντιστοιχία/ ομοιότητα εκφράζεται μέσα και από τη συχνότητα (pitch) και από το ρυθμό (rhythm). Η εξόρυξη δεδομένων χρησιμοποιείται για να εξάγει σημαντικά χαρακτηριστικά διαφόρων μουσικών ειδών που είναι κρυμμένα σε πρότυπα και έντασης και ρυθμού και αποθηκευμένα στα γενικά πρότυπα στη γενική βάση δεδομένων με πρότυπα. Τέλος το ανακαλούμενο γενικό πρότυπο αναμορφώνεται πριν το στείλει στην έξοδο (output).

Στις προηγούμενες παραγράφους παρουσιάσαμε το προτεινόμενο θέμα μουσικής αναπαράστασης (Ενότητα 6.2) ενώ στις αμέσως επόμενες παρουσιάζουμε το προτεινόμενο μέτρο ομοιότητας μουσικού προτύπου καθώς και την αρχιτεκτονική του προτεινόμενου συστήματος. Τέλος, παρουσιάζουμε πειραματικά δεδομένα και καταλήγουμε σε συμπεράσματα.

7.4.1.2. Μέτρο Ομοιότητας Μουσικού Μοτίβου (The musical pattern similarity measure)

Την τελευταία δεκαετία εμφανίζεται ένα διαρκώς αυξανόμενο ενδιαφέρον σχετικά με την έρευνα στην ομοιότητα μουσικών μοτίβων. Η πιο συχνή προσέγγιση της ομοιότητας μοτίβων είναι να συγκρίνονται δύο μελωδίες στο σύνολό τους, μέσω κάποιου μέτρου ομοιότητας, χωρίς να επιμερίζεται η ομοιότητα στα επιμέρους στοιχεία τους. Η ομοιότητα μουσικών μοτίβων, μπορεί να είναι ιδιαιτέρως χρήσιμη σε διάφορες εργασίες στην, υποστηριζόμενη από υπολογιστή, μουσική ανάλυση. Όπως για παράδειγμα, στην αναγνώριση μελωδίας και στη ανάκτηση μουσικών πληροφοριών (musical retrieval). Επιπροσθέτως, η ομοιότητα μουσικών μοτίβων χρησιμοποιείται στην αναζήτηση μελωδιών (melodic search) και στη σύγκριση μελωδιών οι οποίες είναι βασικά συστατικά των λεγόμενων συστημάτων αυτόματης μουσικής συνοδείας, στα οποία ανήκει και το προτεινόμενο σύστημα. Άλλα παραδείγματα εφαρμογών της ομοιότητας μουσικών μοτίβων είναι στα συστήματα μουσικής επεξεργασίας και σύνθεσης στην αυτόματη ταξινόμηση και χαρακτηρισμό του μουσικού στυλ (style), του συνθέτη ή του μουσικού ερμηνευτή ενός μουσικού έργου.

Δύο παράμετροι λαμβάνονται υπόψη στην ομοιότητα μουσικών μοτίβων: η αρμονική-συχνότητα (pitch) και η διάρκεια (duration). Ωστόσο, υπάρχουν και εξεζητημένες προσπάθειες ώστε να ληφθούν υπόψη περισσότερες παράμετροι ή να ληφθούν υπόψη ψυχολογικές παράμετροι αντί φυσικές (physical) [23].

Στη βιβλιογραφία, υπάρχουν προταθείσες τεχνικές ομοιότητας μουσικών μοτίβων (similarity measures). Οι προηγούμενες προσπάθειες είχαν κατά κύριο λόγο επηρεαστεί από τους αλγορίθμους ταιριάσματος σειρών χαρακτήρων (string matching), οι οποίοι βασίζονται στην έννοια «απόσταση ταύτισης» (edit distance) μεταξύ μίας αρχικής σειράς και μίας σειράς στόχου (βλέπε για παράδειγμα exact [8] ή approximate [47] pattern matching (ταίριασμα μοτίβων), ο δυναμικός προγραμματισμός [54], κλπ). Η «απόσταση ταύτισης» υπολογίζεται επί τη βάση των ποιών και πόσων αλλαγών (όπως διαγραφή, εισαγωγή, αντικατάσταση) πρέπει να γίνουν ώστε να καταστεί η αρχική σειρά ίδια με την σειρά στόχο. Η μελωδική ομοιότητα μεταξύ μίας αρχικής μελωδίας και μίας μελωδίας στόχου υπολογίζεται σαν το ελάχιστο άθροισμα αλλαγών για τον μετασχηματισμό της αρχικής μελωδίας στην μελωδία στόχο.

Βέβαια, έχουν προταθεί και άλλου είδους μέτρα ομοιότητας μουσικών μοτίβων, όπως η γεωμετρική μετρική (geometric measure) [36], οι μετρικές μεταφοράς (transportation distances) (π.χ. [56]), η μετρική musical artist similarity [19], οι probabilistic similarity μετρικές για MIDI [29] ή για GUIDO [24], οι statistical similarity μετρικές [18] και οι graph based similarity μετρικές [34]. Διάφορες συγκριτικές μελέτες αυτών έχουν παρουσιασθεί στην βιβλιογραφία (π.χ. [41]).

Επιπλέον, υπάρχουν τεχνικές δεικτοδότησης (indexing), όπου οι διάφορες κλάσεις μουσικών μοτίβων δεικτοδοτούνται μέσα στις μουσικές γραμμές που βρίσκονται και έτσι επιτρέπονται πολύ γρήγορες αναζητήσεις (π.χ. [59]). Τέλος, στην εργασία [36] προτείνεται η οπτικοποίηση των διαφορών των μουσικών μοτίβων, με βάση κάποια μέτρα (αν)ομοιότητας, για να υποστηριχθεί ο χρήστης.

Τα παραπάνω μέτρα ομοιότητας είναι εξειδικευμένα στα μουσικά μοτίβα. Για παράδειγμα η edit distance παρουσιάζεται στην εργασία [27] ως:

$$d(X, Y) = \frac{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n xor_{i,j}(X, Y))}{(n-1)n/2}$$

όπου $X = x_1, \dots, x_n$, $Y = y_1, \dots, y_n$ είναι μουσικά μοτίβα (musical patterns) και:

$$xor_{i,j}(X, Y) = \begin{cases} 0, & \text{if } (x_i = x_j \wedge y_i \neq y_j) \vee (x_i \neq x_j \wedge y_i = y_j); \\ 1, & \text{if } (x_i = x_j \wedge y_i = y_j). \end{cases}$$

Επίσης, η γεωμετρική μετρική [16] ορίζεται ως:

$$d(X, Y) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i - m| w_k w_{stress},$$

όπου $X = x_1, \dots, x_n$, $Y = y_1, \dots, y_n$ είναι μουσικά μοτίβα με x_i, y_i είναι το ύψος (pitch) της νότας, m είναι ο αριθμός ημιτονίων που απαιτούνται για ελαχιστοποίηση της διαφοράς, w_{stress} παράμετρος σχετιζόμενη με μουσικά στοιχεία (metrical stress), και w_k το μέγεθος του παραθύρου k . Το μέτρο υπολογίζεται με βάση παράθυρα χρόνου (χρονικές περίοδοι μέσα στο μουσικό μοτίβο). Η χρονική μονάδα ενός παραθύρου χρόνου είναι η διάρκεια της μικρότερης σε διάρκεια πλήρους νότας σε εκείνο το σημείο του μουσικού μοτίβου.

Το προτεινόμενο σύστημα υιοθετεί ένα μέτρο ομοιότητας που χρησιμοποιείται στους αλγόριθμους ομαδοποίησης (clustering). Η ομαδοποίηση αφορά στην εύρεση συγκεκριμένου αριθμού ομάδων (συνήθως ορισμένες από το χρήστη), εντός ενός συνόλου από n παρατηρήσεις (data points/objects), όπου κάθε παρατήρηση περιγράφεται από d χαρακτηριστικά. Ένας αλγόριθμος ομαδοποίησης δημιουργεί περιγραφές ομάδων (clusters) και εκχωρεί κάθε παρατήρηση σε μία ομάδα (αποκλειστική εκχώρηση) ή μερικώς σε πολλές ομάδες (επιμέρους εκχώρηση). Η ομαδοποίηση είναι μία από τις πιο σημαντικές τεχνικές της εξόρυξης δεδομένων.

Στους αλγόριθμους ομαδοποίησης, εάν τα μοτίβα αναπαρίστανται με τη χρήση αριθμητικών δεδομένων, τότε τέτοια μέτρα (αν)ομοιότητας (dis similarity) είναι η Ευκλείδεια Απόσταση, το εσωτερικό γινόμενο, κλπ. Αν αναπαρίστανται με τη χρήση κατηγορικών δεδομένων, τότε μια λύση είναι να κωδικοποιήσουν τα κατηγορικά δεδομένα αριθμητικά και ακολούθως να χρησιμοποιήσουν αριθμητικές μεθόδους ομαδοποίησης. Η αδυναμία της λύσης είναι ότι η κωδικοποίηση δεν μπορεί να διατηρήσει τη σημασία (the semantics) των κατηγορικών δεδομένων. Ωστόσο, η συνήθης λύση στο πρόβλημα είναι η μετρική επικάλυψης (*overlap measure*) το οποίο ορίζει την ανομοιότητα που βασίζεται στον αριθμό των διαφοροποιήσεων (mismatches). Με βάση μία τέτοια απλή αλλά συνήθης μετρική, για δύο πιθανές τιμές x_i και x_j , η ανομοιότητα ορίζεται ως μηδέν (0), όταν x_i και x_j είναι ίδια και ένα (1) αλλιώς. Γι' αυτό και η μετρική edit distance είναι ένα είδος μετρικής επικάλυψης. Η αδυναμία της τελευταίας είναι ότι δίνει ίση σημασία σε κάθε χαρακτηριστικό.

Ένα σωρό παραλλαγές της μετρικής επικάλυψης παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία, στην προσπάθεια επίλυσης αυτού του προβλήματος. Για παράδειγμα στο [40], η ανομοιότητα αναπαριστάται ως παράμετροι που αντιστοιχούν σε εκείνα τα χαρακτηριστικά στα οποία διαφέρουν τα δύο αντικείμενα. Αυτές οι παράμετροι παίρνουν τιμές στην περιοχή (0, 1]. Να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που αυτές οι παράμετροι πάρουν την τιμή μηδέν, η μετρική εκφυλίζεται στην κανονική μετρικής επικάλυψης. Ως άλλο παράδειγμα, θεωρούμε τον k -modes αλγόριθμο ομαδοποίησης [30] που εφαρμόζεται σε κατηγορικά δεδομένα διάστασης m (m χαρακτηριστικά). Σε αυτόν χρησιμοποιείται η μετρική χ^2 (chi-square distance) [21], η οποία λαμβάνει υπ' όψιν τις

συχνότητες εμφάνισης στα δεδομένα κάθε τιμής κάθε χαρακτηριστικού. Τυπικά, εάν A, B είναι δύο αντικείμενα διάστασης m τότε η ανομοιότητα ορίζεται ως [30]:

$$d_{x^2}(A, B) = \sum_{j=1}^m \frac{(n_{aj} + n_{bj})}{(n_{aj} n_{bj})} \delta(a_j, b_j),$$

όπου n_{aj} , n_{bj} είναι ο αριθμός των εισαγόμενων αντικειμένων που έχουν τιμές a_j and b_j με το χαρακτηριστικό j και

$$\delta(a_j, b_j) = \begin{cases} 0, & \text{if } (a_j = b_j); \\ 1, & \text{if } (a_j \neq b_j). \end{cases}$$

Μία πολύ πρόσφατη στην βιβλιογραφία μετρική ομοιότητας που προτείνεται για χρήση στην τεχνική ομαδοποίησης παρουσιάζεται στην εργασία [39]. Βασίζεται στον συνδυασμό της παραπάνω μετρικής ανομοιότητας [30] και τις βασικές αρχές του μεθοδολογικού πλαισίου της ELECTRE I πολυκριτήριας μεθόδου [51]. Η μετρική αυτή, που υπολογίζεται σε τέσσερα βήματα, βασίζεται σε τρεις βασικές αρχές: (1) ο βαθμός ομοιότητας μεταξύ δύο αντικειμένων, με βάση μία μετρική που βασίζεται στον αριθμό των διαφοροποιήσεων (όπως η μετρική επικάλυψης) στα κοινά χαρακτηριστικά, (2) η βαθμός ομοιότητας με βάση μόνο τα χαρακτηριστικά που συνεισφέρουν θετικά στην ομοιότητα των δύο αντικειμένων, και (3) την ύπαρξη χαρακτηριστικών για τα οποία η διαφορά μεταξύ των δύο αντικειμένων θεωρείται τόσο σημαντική ώστε αν περάσει κάποιο κατώφλι δεν μπορούν να θεωρούνται όμοια, ανεξάρτητα του τι καθορίζουν οι άλλες αρχές. Με βάση αυτές τις τρεις αρχές, στην τεχνική της ομαδοποίησης, βρίσκεται το πλέον όμοιο κέντρο για κάθε αντικείμενο.

Τέλος, υπάρχουν επίσης ποικίλα άλλα μέτρα ομοιότητας που χρησιμοποιούνται στην ομαδοποίηση και εφαρμόζονται σε δομημένα δεδομένα, (βλέπε [6] για μία επισκόπηση αυτών), π.χ. δεδομένα δομημένα σε μορφή δένδρου, τα οποία δεν φαίνεται, από όσο συμπεράναμε, να συνεισφέρουν σημαντικά στην ομοιότητα μουσικών μοτίβων. Για να αξιολογήσει κανείς τα μέτρα ομοιότητας που χρησιμοποιούνται στην ομαδοποίηση, όταν αυτά εφαρμόζονται στην ομοιότητα μουσικών μοτίβων, έγινε πειραματική εφαρμογή σε 40 Χορικά του Bach (www.jsbchorales.net), αφού μετασχηματίστηκαν όλα στην κλίμακα της Ντο Μείζονας (C Major) και υιοθετήθηκε το σχήμα αναπαράστασης για ύψος και διάρκεια που προτάθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Συγκεκριμένα, δομήθηκαν δύο διαφορετικά σύνολα δεδομένων για το ύψος και την διάρκεια αντίστοιχα. Για τα σύνολα δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ως πηγή τυπικά MIDI κανάλια ήχου.

Κάθε μελωδία τεμαχίζεται χειροκίνητα σε αποσπάσματα. Κάθε απόσπασμα τεμαχίζεται περαιτέρω σε τελικά αποσπάσματα που έχουν την ίδια μελωδική κατεύθυνση, π.χ. είτε προς τα πάνω είτε προς τα κάτω. Το σύνολο δεδομένων για το ύψος, αποθηκεύτηκε σε ένα Πίνακα, στον οποίο κάθε νέα εγγραφή (γραμμή) αντιστοιχεί σε ένα τελικό απόσπασμα μελωδίας που αναπαριστάται ως 128-διάστατο δυαδικό διάνυσμα. Το σύνολο δεδομένων για το ύψος είχε 950 γραμμές. Για την πειραματική εφαρμογή στον ρυθμό/διάρκεια, κάθε απόσπασμα περιλαμβάνει μέχρι 2 ή 4 μέτρα από «ολόκληρα», δηλαδή μέχρι $64 \times 2 = 128$ ή $64 \times 4 = 256$ (64 κτυπήματα –ticks- για το «ολόκληρο»). Έτσι χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά σύνολα δεδομένων για τον ρυθμό. Τα σύνολα δεδομένων για τον ρυθμό, αποθηκεύτηκαν σε Πίνακες, στους οποίους κάθε νέα εγγραφή (γραμμή) αντιστοιχεί σε ένα τελικό απόσπασμα μελωδίας. Κάθε τελικό απόσπασμα αναπαριστάται ως 128-διάστατο ή 256-διάστατο δυαδικό διάνυσμα.

Τα σύνολα δεδομένων για τον ρυθμό είχε 40 γραμμές, αφού επιλέχθηκαν τα πρώτα 2 ή 4 μέτρα από κάθε Χορικό.

Επιπλέον υιοθετώντας το ίδιο φυσικά σχήμα αναπαράστασης, διαμορφώθηκαν δύο σύνολα δεδομένων ελέγχου που αποτελούνται από μελωδίες προς εξέταση της ομοιότητάς τους με εκείνες στα σύνολα δεδομένων εισόδου. Σε αυτά, τα αποσπάσματα μελωδίας έχουν γραφτεί από ένα μουσικό με τέτοιο τρόπο όπου το καθένα από αυτά είναι περισσότερο όμοιο με ένα από τα αποσπάσματα στα σύνολα δεδομένων εισόδου, όσον αφορά το ύψος ή τον ρυθμό. Το σύνολο δεδομένων ελέγχου για το ύψος αποτελείται από 99 γραμμές, ενώ εκείνο για τον ρυθμό από 10 γραμμές. Για κάθε απόσπασμα από τα σύνολα δεδομένων ελέγχου το πλέον όμοιο από τα αποσπάσματα στα αντίστοιχα σύνολα δεδομένων εισόδου βρίσκεται αυτόματα με βάση την μετρική edit distance, την μετρική επικάλυψης (overlap measure) που παρουσιάζεται στην εργασία [30], και η μετρική που παρουσιάζεται στην εργασία [39].

Οι πειραματικοί έλεγχοι έδειξαν ότι η μετρική επικάλυψης αποδείχτηκε ότι δεν είναι κατάλληλη για εφαρμογή στην ομοιότητα μουσικών μοτίβων, καθώς επιστέφει πολλά εξ' ίσου όμοια μοτίβα και όχι το πλέον όμοιο, είτε αφορά στο ύψος είτε στον ρυθμό. Βέβαια, το πλέον όμοιο σύμφωνα με την γνώμη του ειδικού/μουσικού συμπεριλήφθηκε στο σύνολο των εξ' ίσου όμοιων, στο 95% των περιπτώσεων με βάση την μετρική edit distance και στο 96% των περιπτώσεων με βάση την μετρική που παρουσιάζεται στην εργασία [30], όσον αφορά στο ύψος. Όμως, η επιτυχία του προτεινόμενου συστήματος, όπως και όλων των συναφών με αυτό, απαιτούν την επιλογή του πλέον όμοιου. η μετρική που παρουσιάζεται στην εργασία [39] επιστρέφει μόνο ένα μοτίβο ως το πλέον όμοιο. Επιπλέον, στην πειραματική εφαρμογή είχε 100% ακρίβεια για το ύψος και τον ρυθμό, σε σχέση με την επιλογή του ειδικού/μουσικού.

Στο προτεινόμενο σύστημα, θεωρούμε ότι τα μουσικά μοτίβα αναπαρίστανται με τη χρήση ακολουθιών κατηγορικών δεδομένων. Γι' αυτό, η μετρική που προτάθηκε στην εργασία [39] υιοθετείται, παρόλο που έχει υψηλότερη χρονική πολυπλοκότητα.

7.4.1.3. Η Αρχιτεκτονική του Συστήματος (System Architecture)

Το προτεινόμενο σύστημα (C. Halkiopoulos, B. Boutsinas, “Automatic Interactive Music Improvisation based on Data Mining”, International Journal on Artificial Intelligence Tools, World Scientific Publishing Company) είναι ένα διαδραστικό σύστημα που δρα ως συνεχιστής της μελωδίας. Για κάθε μουσικό μοτίβο δοσμένο από το χρήστη, ανακαλεί ένα όμοιο γενικό μοτίβο αποθηκευμένο στη μνήμη του το οποίο μετά από την κατάλληλη αναμόρφωση εξάγεται. Η ικανότητα του συστήματος να συνεργάζεται με το χρήστη βασίζεται στο parsing continuous streams φυσικών δεδομένων (called musical patterns or motifs) και στη συνέχεια ορίζοντας πлагίως τις λειτουργίες των ανθρώπινων χειρονομιών επιλέγοντας το επόμενο μουσικό μοτίβο που ακολουθεί το τρέχον περασμένο περιβάλλον. Τέτοια αλληλεπίδραση είναι ανάλογη με το παράδειγμα της συνομιλίας. Υπάρχει μια ακολουθία από αυθόρμητα εκφωνήματα που καθορίζονται εντός μια συνεργατικής δομής που είναι διαδραστικά διαχειρίσιμη από τους συμμετέχοντες. Υπάρχουν δύο ιδέες κλειδιά πίσω από το προτεινόμενο σύστημα. Πρώτον, αντιμετωπίζει τη συχνότητα και το ρυθμό σε κάθε μουσικό μοτίβο ξεχωριστά, σε αντίθεση με όλα τα άλλα σχετικά συστήματα. Δεύτερον, η βάση γνώσης δεν αποτελείται από μουσικά μοτίβα εξαγμένα από γνωστές μελωδίες ενός συγκεκριμένου είδους (π.χ. jazz), όπως συνήθως συμβαίνει. Αντίθετα, αποτελείται από γενικά μουσικά μοτίβα εξαγμένα από κανόνες εξόρυξης δεδομένων από σύνολα μουσικών μοτίβων που ανήκουν σε γνωστές μελωδίες από συγκεκριμένα μουσικά είδη.

Η αρχιτεκτονική του συστήματος φαίνεται στο Σχήμα της αμέσως επόμενης σελίδας. Κατά πρώτο λόγο ο μουσικός ορίζει το εισαγόμενο μουσικό μοτίβο στο οποίο απαιτείται μια αντίδραση από το σύστημα. Ο μουσικός μέσω κάποιου πλήκτρου (key press) στο πληκτρολόγιο του υπολογιστή με σκοπό να σηματοδοτήσει την αρχή και το τέλος του εισαγόμενου μουσικού μοτίβου. Τότε, το σύστημα μετατρέπει το εισαγόμενο μουσικό μοτίβο από το MIDI στο προτεινόμενο σχήμα αναπαράστασης γνώσης (βλ. ενότητα 2). Ας σημειωθεί ότι το σύνολο των κανόνων εξόρυξης δεδομένων που συμπεριλαμβάνονται στη βάση γνώσης του συστήματος αναπαρίστανται με τη χρήση του ίδιου σχήματος αναπαράστασης γνώσης. Γι' αυτό το σύστημα μπορεί να βρει τον πλέον όμοιο κανόνα με το μουσικό μοτίβο εισόδου, με βάση την μετρική που προτάθηκε στην εργασία [39] και περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα.

Ο πλέον όμοιος κανόνας που θα βρεθεί μετασχηματίζεται τυχαία με την εφαρμογή τεσσάρων τελεστών: "αντικατάσταση", "εισαγωγή", "διαγραφή" και "αντιμετάθεση". Ο τελεστής "αντικατάσταση" επιλέγει τυχαία ένα ύψος νότας ή μία διάρκεια νότας που συμπεριλαμβάνεται στον κανόνα που θα βρεθεί και το αλλάζει σε άλλο ύψος της ίδιας κλίμακας ή άλλη διάρκεια. Ο τελεστής "εισαγωγή" εισάγει σε τυχαία θέση ένα ύψος της ίδιας κλίμακας ή μία διάρκεια. Ο τελεστής "διαγραφή" διαγράφει ένα τυχαία επιλεγμένο ύψος ή διάρκεια και ο τελεστής "αντιμετάθεσης" αλλάζει αμοιβαία τη θέση δύο παρόντων υψών ή διαρκειών.

Στην συνέχεια, το σύστημα ταιριάζει ύψη και διάρκειες, προσπαθώντας να αντιστοιχήσει ένα ύψος σε διάρκεια ή το αντίστροφο, σύμφωνα με το ποιο είναι μικρότερο. Οι τελευταίες νότες αυξάνονται ή μειώνονται κατάλληλα ώστε να ικανοποιείται το μέτρο. Ας σημειωθεί ότι η κλίμακα και το μέτρο δίδονται σαν είσοδος από τον χρήστη.

Τελικά, το σύστημα μετασχηματίζει το μοτίβο που προκύπτει σε μορφή MIDI και ενημερώνει τον χρήστη/μουσικό ότι είναι έτοιμο να αναπαραγάγει το μοτίβο που αποτελεί συνέχεια του μοτίβου εισόδου. Μετά, το σύστημα εισέρχεται σε φάση αναμονής. Εννοείτε, ότι ο χρήστης/μουσικός συνεχίζει τον αυτοσχεδιασμό, αφού έδειξε την αρχή και το τέλος του μοτίβου εισόδου. Αφού το σύστημα είναι έτοιμο, ο χρήστης/μουσικός δίνει την εντολή αναπαραγωγής και ο κύκλος αυτός επαναλαμβάνεται συνεχώς.

7.4.1.4. Πειραματική εφαρμογή σε Χορικά του Bach και μουσικές συνθέσεις Jazz

Δημιουργήθηκε η παρακάτω βάση γνώσης από τις εισαγωγές των συνθέσεων των δύο διαφορετικών στυλ μουσικής (Χορικά Bach και συνθέσεις Jazz). Έγιναν εισαγωγή στην πρώτη ομάδα όλα τα χορικά του Bach (414 συνθέσεις) με αποτέλεσμα να παραχθούν 55.749 εγγραφές για τη μελωδία και 1.777 για τον ρυθμό. Αντίστοιχα στη δεύτερη ομάδα έγιναν εισαγωγή 101 διαφορετικές συνθέσεις σε Jazz με αποτέλεσμα να παραχθούν αντίστοιχα 274.783 εγγραφές για τη μελωδία και 871 για το ρυθμό. Οι κανόνες που παράχθηκαν (με το αντίστοιχο Support) δημιούργησαν τη βάση γνώσης. Από τη βάση γνώσης το σύστημα απάντησε στο δοσμένο μοτίβο με συνέχιση της μελωδίας.

Ένα ενδεικτικό μέρος από τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζεται στις παρακάτω σελίδες. Περισσότερα και εκτενή παραδείγματα υπάρχουν στο Δικτυακό Τόπο <http://www.polyhymnia.gr>. Στην αρχή δίνουμε το δοσμένο μοτίβο (με μπλε χρώμα) και παρουσιάζουμε τους κανόνες που παράχθηκαν από την «Πολύμνια». Με κόκκινο χρώμα είναι η απάντηση του συστήματος.

Όνομα Πίνακα (Table)	Αριθμός Κομματιών (Αρχεία τύπου MSQ)	Εγγραφές (records)	Αξιοποιήσιμα Πεδία (fields)	Κανόνες (rules) Sup: 5%	Κανόνες (rules) Sup: 2%	Κανόνες (rules) Sup: 30%
<i>Melody_allBach_414</i>	414	55749	6	107 fields(1-6)	409 fields(1-6)	-
<i>Rhythm_allBach_414</i>	414	1777	98	1543 fields(1-10)	-	1111 fields(1-15)
<i>Melody_allJazz_101</i>	101	274783	6	123 fields(1-6)	172 fields(2-6)	-
<i>Rhythm_allJazz_101</i>	101	871	126	3765 fields(1-20) 1930 fields(1-10)	-	-

Πίνακας «Βάση Γνώσης συστήματος Πολύμνια»

ΔΟΣΜΕΝΟ MOTIBO A (Bach)

bach motive 1

Μελωδική Σειρά [60;62;64;65;67;72]

Ρυθμική Σειρά [48;56;64;80;96;112]

Κανόνες από τη βάση γνώσης: *allBach_414*

Πίνακας «*Melody_allBach_414*»

Οι κανόνες με το μικρότερο Similarity

A) If 60, 62, 65 then 64 .Confidence = 0,929653704166412 and Support = 859

B) If 69, 71, 72 then 67 .Confidence = 0,328051388263702 and Support = 766

Κανόνες από τη βάση γνώσης: *allBach_414*

Πίνακας «*Rhythm_allBach_414*»

A) If 48, 64, 80, 160, 176 then 96 .Confidence = 0,987318813800812 and Support = 1090

B) If 48, 64, 96, 176, 224 then 80 .Confidence = 0,967289745807648 and Support = 828

Μελωδία 1η

Μελωδικός Κανόνας (B) σε σειρά [69;71;72;67] , Ρυθμικός Κανόνας (A)

bach motive 1a

Μελωδία 2η

Μελωδικός Κανόνας (A) σε σειρά [60;62;65;64] , Ρυθμικός Κανόνας (B)

bach motive 1b

Μελωδία 3η

Μελωδικός Κανόνας (B) [67;69;71;72] με τελεστή Αντιμετάθεσης , Ρυθμικός Κανόνας (B)

bach_motive_1c

Μελωδία 4η

Μελωδικός Κανόνας (A) [67;62;65;64] με τελεστή αντικατάστασης, Ρυθμικός Κανόνας (B)

bach_motive_1d

Μελωδία 5η

Μελωδικός Κανόνας (B) [69;71;72] (τελεστής διαγραφής – διαγραφή το πρώτο στοιχείο 67) , Ρυθμικός Κανόνας (B) με τελεστή εισαγωγής

bach_motive_1e

ΔΟΣΜΕΝΟ MOTIBO B (Bach)

bach motive 2

Οι κανόνες με το μικρότερο Similarity
Πίνακας «*Melody_allBach_414*»

If 0, 60, 64 then 62 .Confidence = 0,805568218231201 and Support = 1765 (sup2, 1-6fields)

If 64, 65, 67 then 0 .Confidence = 0,678140342235565 and Support = 1517 (sup2, 1-6fields)

If 0, 65, 67 then 64 .Confidence = 0,790928065776825 and Support = 1517 (sup2, 1-6fields)

If 60, 62, 64 then 59 .Confidence = 0,264726012945175 and Support = 773 (sup2, 2-6fields)

Πίνακας «*Rhythm_allBach_414*»

If 0, 32, 48, 80, 96 then 16 .Confidence = 0,911242604255676 and Support = 308

If 0, 16, 64, 80, 96 then 32 .Confidence = 0,965034961700439 and Support = 276

If 48, 56, 64, 96 then 160 .Confidence = 0,400000005960464 and Support = 106

If 48, 56, 64, 80, 96 then 160 .Confidence = 0,395161300897598 and Support = 98

Μελωδία 1η

Μελωδικός Κανόνας (A) με Αντιμετάθεση (1 ↔ 3) + Ρυθμικός Κανόνας (A)

bach motive 2a

Μελωδία 2η

Μελωδικός Κανόνας (B) με Αντιμετάθεση (1 $\leftrightarrow$ 3) + Ρυθμικός Κανόνας (B)

bach motive 2b

Μελωδία 3η

Μελωδικός Κανόνας (Γ) + Ρυθμικός Κανόνας (Γ)

bach motive 2c

Μελωδία 4η

Μελωδικός Κανόνας (Δ) με Αντιμετάθεση (1 $\leftrightarrow$ 3) + Ρυθμικός Κανόνας (Δ)

bach motive 2d

ΔΟΣΜΕΝΟ MOTIBO Γ (Bach)

bach motive 3

Οι κανόνες με το μικρότερο Similarity
Πίνακας «*Melody_allBach_414*»

If 71, 72, 74 then 69 .Confidence = 0,460198998451233 and Support = 740

If 72, 76, 77 then 74 .Confidence = 0,91304349899292 and Support = 609

If 67, 71, 72 then 69 .Confidence = 0,717900633811951 and Support = 766

If 67, 69, 72 then 71 .Confidence = 0,828108131885529 and Support = 766

Πίνακας «*Rhythm_allBach_414*»

If 0, 32, 48, 64, 96 then 16 .Confidence = 0,939490437507629 and Support = 295

If 0, 16, 32, 48, 96 then 64 .Confidence = 0,852601170539856 and Support = 295

Μελωδία 1η

Μελωδικός Κανόνας (A) με Αντιμετάθεση (1 ↔ 4) + Ρυθμικός Κανόνας (A)

bach motive 3a

Μελωδία 2η

Μελωδικός Κανόνας (B) σε σειρά + Ρυθμικός Κανόνας (B)

bach motive 3b

Μελωδία 3η

Μελωδικός Κανόνας (Γ) με τελεστή προσθήκης (pitch) + Ρυθμικός Κανόνας (Α)

bach_motive_3c

Μελωδία 4η

Μελωδικός Κανόνας (Δ) σε σειρά + Ρυθμικός Κανόνας (Β)

bach_motive_3d

ΔΟΣΜΕΝΟ MOTIBO A (Jazz)

jazz_a

Οι κανόνες με το μικρότερο Similarity

If 57 then 64 .Confidence = 0,194444447755814 and Support = 168

If 0, 8, 12, 16, 20 then 28 .Confidence = 0,939490437507629 and Support = 295

ΔΟΣΜΕΝΟ ΜΟΤΙΒΟ Β (Jazz)

Οι κανόνες με το μικρότερο Similarity

If 63 then 62 .Confidence = 0,305825233459473 and Support = 189

If 0, 8, 20, 24, 32 then 40 .Confidence = 0,852601170539856 and Support = 295

7.4.1.5. Πειραματικά Συμπεράσματα

Το προτεινόμενο σύστημα «Πολύμνια» (<http://www.polyhymnia.gr>) ελέγχεται ως συνεχιστής της μελωδίας από διαφορετικούς ερμηνευτές σε δύο διαφορετικά μουσικά είδη: τη μουσική jazz και τα Χορικά του Bach (www.jsbchorales.net). Ένας μεγάλος αριθμός μελωδιών παρμένων από τους αυτοσχεδιασμούς της jazz ή τα Χορικά του Bach χρησιμοποιείται για να εξάγει συσχετιστικούς κανόνες που διαμορφώνουν τη βάση γνώσης του συστήματος.

Οι ερμηνευτές συμφωνούν στο ότι το προτεινόμενο σύστημα είναι πολλά υποσχόμενο και μερικές φορές ήταν απορημένοι από την ανταπόκριση του, ενώ συνήθως το σύστημα τους εμπνέει.

Ως τεχνικό αποτέλεσμα, η εφαρμογή ενός μέτρου ομοιότητας από αυτά που χρησιμοποιούνται στην ομαδοποίηση για την ομοιότητα μουσικών μοτίβων βασισμένων στο προτεινόμενο σχήμα μουσικής αναπαράστασης, φαίνεται πολύ ενθαρρυντική και τείνει να αποδείξει την καταλληλότητα της εφαρμογής τους στον αυτόματο διαδραστικό μουσικό αυτοσχεδιασμό. Το τελευταίο είναι αληθές για τη χρήση κανόνων εξόρυξης δεδομένων ως γενικά μουσικά πρότυπα του ύψους και του ρυθμού ξεχωριστά.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθούμε και στη μουσικολογική-συνθετική κριτική των αποτελεσμάτων των συγκεκριμένων κανόνων εξόρυξης. Εκτός των άλλων που αναφέραμε και παραπάνω η βάση γνώσης αποτύπωσε ισχυρούς κανόνες που χρησιμοποιούνται ειδικότερα στη Μουσική Σύνθεση των συγκεκριμένων ειδών σύνθεσης, Χορικών Bach και μουσικών συνθέσεων σε Jazz.

Ας αναφερθούμε καταρχήν στο πρώτο είδος μουσικής σύνθεσης, τα χορικά Bach. Οι ισχυροί κανόνες που παρήχθησαν είχαν να κάνουν με την κίνηση του προσαγωγέα στην τονική, βασικός θεμελιώδης κανόνας της Αρμονίας της Δυτικής-Κλασικής Μουσικής και συγκεκριμένα στο συνθετικό είδος των Χορικών. Επίσης όλοι σχεδόν οι ισχυροί κανόνες αποτύπωσαν τη βηματική κίνηση των μελωδικών αξιών (νότες) και όχι τις μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους. Τέλος, σε ότι έχει να κάνει με τον ρυθμό, οι ισχυροί κανόνες αποτύπωναν την ισχυρή σειρά από ρυθμικές αξίες τετάρτων, με λιγότερες αξίες δεκάτων έκτων και ακόμα λιγότερες αξίες τριακοστών δευτέρων. Δηλαδή η ρυθμική αγωγή που εξήχθη από τη βάση ήταν σειρά από τέταρτα με λίγες παραλλαγές δεκάτων έκτων και μισών. Αυτό το συμπέρασμα βγαίνει αν παρατηρήσουμε και τον Πίνακα «**Βάση Γνώσης συστήματος Πολύμνια**» που με βάση την εισαγωγή των διαφορετικών συνθέσεων Bach (414) οι ρυθμικοί κανόνες που παρήχθησαν αγγίζουν τον αριθμό των 1777, σε αντίθεση με την εισαγωγή των διαφορετικών συνθέσεων σε Jazz (101) οι ρυθμικοί κανόνες που παρήχθησαν άγγιξαν τον αριθμό των 871, υπερδιπλάσιος αριθμός που αποδεικνύει ότι όντως η ρυθμική αγωγή των συνθέσεων Jazz είναι πιο πολύπλοκη από τη ρυθμική αγωγή των αντίστοιχων συνθέσεων Χορικών Bach. Επίσης αντίστοιχο χαρακτηριστικό παράδειγμα έχουμε και με την εισαγωγή των μελωδικών γραμμών (τεμαχισμένων μελωδικών γραμμών σε μοτίβο όμοιας κατεύθυνσης). Παρατηρούμε με βάση τις εγγραφές ότι στα 414 χορικά Bach οι μελωδικοί τεμαχισμοί ανέρχονται στις 55.749 εγγραφές. Αντίστοιχα στις 101 συνθέσεις Jazz οι εγγραφές ανέρχονται στις 274.873, 20πλάσιες εγγραφές, το οποίο καταδεικνύει την πολυπλοκότητα των μελωδικών γραμμών των συνθέσεων Jazz από τις αντίστοιχες των Χορικών Bach. Τέλος, όσο αφορά τις συνθέσεις Jazz, ισχυροί κανόνες ανέδειξαν τη χρωματική μελωδική κίνηση (C → C#) και το πήδημα από μια νότα σε μία άλλη σε σχέση με τις βηματικές κινήσεις και την απουσία παντελώς της χρωματικής κίνησης των αντίστοιχων κανόνων των Χορικών Bach (τονικό διάστημα).

7.4.1.6. Μελλοντική Έρευνα

Σχεδιάζουμε να επεκτείνουμε τα μουσικά χαρακτηριστικά (music features) που αναπαριστά το προτεινόμενο θέμα σε στατικά (π.χ. key, tempo) και θεματικά (π.χ. chords) χαρακτηριστικά. Επί του παρόντος δουλεύουμε σε αυτό το θέμα ως προς την επέκταση του προτεινόμενου σχήματος αναπαράστασης μουσικής πληροφορίας με σκοπό να αναπαραστήσουμε πραγματικές ερμηνείες (performances) των μελωδιών από ανθρώπινους ερμηνευτές. Οι ερμηνείες μπορούν να αναπαρασταθούν από πληροφορίες για το tempo και την loudness. Έτσι μια ανάλυση με βάση την τεχνική data mining θα μπορούσε να παρέχει γενικούς κανόνες ερμηνείας για την επιλογή μουσικών στοιχείων όπως η δυναμική –dynamics- (crescendo vs. decrescendo) και το tempo (accelerando vs. ritardando). Τέτοιοι κανόνες έκφρασης θα εμπλουτίσουν τη βάση γνώσης του συστήματος με γενικά μουσικά μοτίβα για εκφραστικές ερμηνείες.

Επίσης σχεδιάζουμε να συμπεριλάβουμε πιο εκλεπτυσμένους τελεστές για την αναμόρφωση του επιλεγμένου από την βάση γνώσης κανόνα data mining. Σκοπεύουμε να διερευνήσουμε την εφαρμογή συγκεκριμένων κανόνων παρμένων από τη μουσική θεωρία στο βήμα της αναμόρφωσης.

Τέλος, σχεδιάζουμε να εκμεταλλευτούμε την πληροφορία που περιλαμβάνεται στους κανόνες ταξινόμησης και ομαδοποίησης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη κανόνων ταξινόμησης και ομαδοποίησης στη βάση γνώσης του συστήματος. Τότε η ανταπόκριση του συστήματος στο χρήστη/μουσικό μπορεί να επιτευχθεί με τη γνώση που συμπεριλαμβάνεται σε αυτούς τους κανόνες. Για παράδειγμα, με δοσμένη μια συγκεκριμένη είσοδο ύψος/διάρκεια σε ένα συγκεκριμένο μουσικό είδος, ένας κανόνας ταξινόμησης ενδεικνύει τι είδους ύψη/διάρκειες μπορούν να συνδυαστούν με την είσοδο σε αυτό το είδος μουσικής. Ως άλλο παράδειγμα χρήσης με δοσμένη μία συγκεκριμένη είσοδο ύψος/διάρκεια σε ένα συγκεκριμένο μουσικό είδος ένας κανόνας ομαδοποίησης ενδεικνύει ένα άλλο σύνολο από ύψη/διάρκειες το οποίο είναι το πλέον όμοιο με την είσοδο.

Περίληπτικά ανά κατηγορία παρουσιάζουμε την μελλοντική έρευνα που θα επιτελεσθεί τα επόμενα χρόνια αναβαθμίζοντας έτσι το ευφυές σύστημα Πολύμνια (polyhymnia):

1. [Reforming], θα συμπεριλάβουμε πιο εκλεπτυσμένους τελεστές για την αναμόρφωση του επιλεγμένου από τη βάση γνώσης κανόνα data mining (π.χ. καθοδηγούμενη τυχαιότητα) ή από κανόνες παρμένους από τη μουσική θεωρία.
2. [Extension], θα επεκτείνουμε τα μουσικά χαρακτηριστικά (music features) που αναπαριστά το προτεινόμενο θέμα σε
 1. στατικά (π.χ. key, tempo)
 2. θεματικά (π.χ. chords)
3. [Expression], θα αναπαραστήσουμε πραγματικές ερμηνείες (performances) των μελωδιών από ανθρώπινους ερμηνευτές
 1. tempo (accelerando vs. ritardando)
 2. loudness
 3. δυναμική –dynamics- (crescendo vs. Decrescendo)
4. [e-commerce], εμπορική χρήση όπως π.χ. στη Διαφήμιση
5. [Authoring], αυθεντικοποίηση της μουσικής
6. [MIR], εφαρμογή στο Music Information Retrieval.

Πολύμνια (polyhymnia)

(<http://www.polyhymnia.gr>)*

*Το ευφυές σύστημα “polyhymnia” έχει τη δική του θέση στο διαδίκτυο. Βρίσκεται στη διεύθυνση <http://www.polyhymnia.gr>. Στη συγκεκριμένη διεύθυνση υπάρχουν καταχωρισμένες όλες οι μουσικές συνθέσεις οι οποίες έχουν εισαχθεί μέχρι τώρα στο ευφυές σύστημα και έχουν παράγει νέες ρυθμομελωδικές γραμμές. Οι μουσικές συνθέσεις είναι κατηγοριοποιημένες ανά μουσικό στυλ προκειμένου να παράγουν όμοιας συνθετικής φόρμουλας ρυθμομελωδικές γραμμές και βρίσκονται σε μορφή midi καθώς και .msq. Επίσης ο συγκεκριμένος δικτυακός κόμβος ενημερώνεται συνεχώς για τις αναβαθμίσεις του ευφυούς συστήματος “polyhymnia” με νέες εκδόσεις καθώς και με νέα στυλ μουσικής. Τα αποτελέσματα όλων των νέων αναβαθμίσεων καθώς και των προς εισαγωγή μουσικών συνθέσεων θα δημοσιεύονται στο συγκεκριμένο δικτυακό κόμβο μόλις ολοκληρώνεται η συλλογή τους και η παραγωγή από το σύστημα νέων ρυθμομελωδικών γραμμών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8. Ανακεφαλαίωση – Συμπεράσματα

Όπως διαπιστώσαμε στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή, η μουσική περνάει τα όρια της τέχνης και συναντά τα όρια της επιστήμης. Όλοι θα συμφωνήσουμε ότι η μουσική ως γλώσσα της έκφρασης των ανθρώπινων συναισθημάτων μεταφέρει μηνύματα και αναπτύσσει ιδέες.

Η τεχνητή νοημοσύνη, ως επιστήμη της ευφυούς συμπεριφοράς, έχει φωτίσει πολλούς τομείς της ανθρώπινης σκέψης και συμπεριφοράς κατά ένα μεγάλο μέρος μέσω της σύλληψης των ανθρώπινων γνωστικών συστημάτων, τα οποία μπορούν να υλοποιηθούν στους υπολογιστές υπό τη μορφή προγραμμάτων.

Η κατανόηση λοιπόν της μουσικής, και ειδικά της μουσικής εμπειρίας μέσω της τεχνητής νοημοσύνης, ανοίγουν ένα τεράστιο πεδίο ερευνών για πολλά θέματα που προκύπτουν από αυτές τις θεωρήσεις. Από την κατανόηση ενός μουσικού έργου από έναν ακροατή μέχρι την αναγωγή του σε στοιχειώδη μέρη και την εύρεση της λογικής σύνδεσης και συνέχειας αυτών των μερών, η μουσική ανάλυση έχει ως στόχο της τον καθορισμό της μουσικής δομής ενός έργου, ακολουθώντας συχνά προσεγγίσεις που προέρχονται από το χώρο της μουσικής αντίληψης και της γνωστικής ψυχολογίας.

Στο παρακάτω σχήμα σχεδιάζουμε την όλη διαδικασία περί της μουσικής αντίληψης: σε πρώτη φάση, από την κατανόηση του σχήματος (με τη βοήθεια των μουσικολόγων) μέχρι και την υλοποίησή του από υπολογιστικά συστήματα.

Ξεκινάμε το διάγραμμα από τους μουσικούς (*Musicians*) που συνθέτουν ένα μουσικό έργο (*Musical Work*). Στη συνέχεια οι μουσικολόγοι είναι αυτοί που αναλύουν το έργο μέσα από το οποίο εμφανίζονται τα πρωτόκολλα (*Protocols*), τα διάφορα μουσικά στυλ δηλαδή. Μέσω των πρωτοκόλλων και των περαιτέρω αναλύσεων από τους μουσικολόγους και τους επιστήμονες της μουσικολογίας καθορίζονται τα θεωρητικά μοντέλα ανάλογα πάντα το είδος σύνθεσης. Όλα αυτά ανήκουν στον κύκλο της **θεωρητικής μουσικής** που στο σχήμα είναι με το χρώμα μπλε (*Theoretical Musical Level*).

Στη συνέχεια μπαίνουμε στο υπολογιστικό επίπεδο (*Computational Level*) που σε πρώτο στάδιο με βάση τα θεωρητικά μοντέλα και τους αλγόριθμους που έχουν δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας τα πρωτόκολλα, υλοποιούμε το επίπεδο της αναπαράστασης της μουσικής γνώσης (*Music Representation Knowledge*). Με βάση την αναπαράσταση γνώσης δημιουργούνται τα γνωστικά συστήματα (*Knowledge Systems*) που αυτά με τη σειρά τους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα έμπειρα συστήματα (*Expert Systems*) και τις βάσεις δεδομένων (*Data Base*) που οι αποθηκευμένες πληροφορίες δεν εμπεριέχουν γνώση που είναι άμεσα εκμεταλλεύσιμη. Τα έμπειρα συστήματα με τη βοήθεια των γενετικών αλγορίθμων (*genetic algorithms*) των στατιστικών μοντέλων (*Statistical Models*) και της ανίχνευσης και εξόρυξης μουσικών δεδομένων (*Data Mining*), δημιουργούν τα

μοντέλα εκπαίδευσης (*Educational Models*) και τις ευφυείς μουσικές μηχανές (*Intelligent Music Machines*) από τις οποίες υλοποιούνται τα διάφορα είδη μουσικών προγραμμάτων.

Αποτέλεσμα αυτών των αναλύσεων είναι η δημιουργία νέων υπολογιστικών μουσικών θεωριών, κυρίως σε σχέση με την περιγραφή της μουσικής δομής, οι οποίες είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη ‘ευφυέστερου’ μουσικού λογισμικού. Τέτοιο λογισμικό, το οποίο να ανταποκρίνεται με ‘μουσικό’ τρόπο σε ένα μουσικό ή μη χρήστη για την άμεση χρησιμότητά του. Μέχρι τώρα έχουν αναπτυχθεί πολλές κατηγορίες μουσικών προγραμμάτων όπως:

- προγράμματα μουσικής σημειογραφίας (Cubase, Finale, Sibelius, Encore) που βοηθούν σε πολύ μεγάλο βαθμό το χρήστη να γράψει τη μουσική του και να την ακούσει μέσω της τεχνολογίας **Midi**. Πολλά από αυτά τα προγράμματα περιέχουν ευφυείς μηχανές για τη διεκπεραίωση εργασιών που απαιτούν νοημοσύνη, όπως είναι η *διόρθωση αρμονικών λαθών*, *αυτόματη ρυθμική στοιχειοθέτηση* και πολλές άλλες.
- εκπαιδευτικά προγράμματα για εκμάθηση μουσικής, είτε στον τομέα της σημειογραφίας, είτε σε πιο προχωρημένο στάδιο που είναι η σύνθεση ενός μουσικού έργου. Έχουμε ήδη αναφέρει το ‘**MOTIVE**’ που ανήκει σε αυτή την κατηγορία και ιδίως της σύνθεσης μιας μελωδίας. Επίσης να αναφέρουμε και το ‘**VIVACE**’, το οποίο είναι επαγγελματικό πρόγραμμα εκμάθησης μουσικών στυλ, και δεξιοτήτων, όπως και ακρόασης μουσικών έργων και ανάλυσης αυτών μέσω έξυπνης βάσης δεδομένων που έχει αναπτυχθεί για το συγκεκριμένο πρόγραμμα.
- διαδραστικά συστήματα για μουσικές παραστάσεις, όπως *ειδικοί συνθετητές και γεννήτριες ήχου, συνθεσαίзерς* για εξομοιώσεις διάφορων μουσικών οργάνων και πολλά άλλα.
- συστήματα ηχογράφησης και μουσικής παραγωγής που χρησιμοποιούν ευφυή προγράμματα για *εξομοιώσεις ακουστικής χώρων*, ευφυείς βελτιωτές ηχητικών σημάτων και πολλές άλλες αντίστοιχες διεργασίες.
- συστήματα αποθήκευσης και εξόρυξης πληροφοριών από βάσεις μουσικών δεδομένων, όπου οι πληροφορίες που αποθηκεύονται πρέπει να εμπεριέχουν γνώση, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν ευφυή συστήματα για εύκολη και χρήσιμη ανάσυρση πληροφοριών.
- προγράμματα που επιχειρούν να εκτελέσουν μουσική εκφραστικά,
- προγράμματα που επιχειρούν την άμεση και σε *πραγματικό χρόνο συνοδεία μουσικών εκτελέσεων* από ανθρώπους. Υλοποιήσεις αυτού του είδους προγραμμάτων έχουν γίνει στα συνθεσαίзерς με τη μορφή αυτόματων αρμονικών συγχορδιακών διαδοχών σε αρχικό στάδιο όμως.
- και στην **παρούσα Διδακτορική Διατριβή**: Ευφυές Σύστημα ανίχνευσης μουσικών σχημάτων – *εξόρυξης μουσικών δεδομένων (music data mining)* για αυτόματη σύνθεση μουσικών έργων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Ιστορία του MIDI

Το διασυνδεδετικό MIDI [90] έχει πλέον ζωή περίπου 25 χρόνων, από τις αρχές της δεκαετίας του '80 και προέκυψε από την ανάγκη εύρεσης ενός κοινά αποδεκτού τρόπου επικοινωνίας ανάμεσα στις συσκευές των διάφορων κατασκευαστών ώστε να επιτευχθεί ένα μεγαλύτερο άνοιγμα στην αγορά που είχε βρεθεί σε αδιέξοδο.

Μέχρι τότε, κάθε κατασκευαστής υιοθετούσε τον δικό του τρόπο επικοινωνίας για τις συσκευές της εταιρείας του και δεν φαινόταν με ποιο τρόπο θα μπορούσαν να εκμεταλλευτούν την επερχόμενη άνοδο των προσωπικών υπολογιστών, ενώ η απουσία κοινής γλώσσας επικοινωνίας των μηχανημάτων διαφορετικών εταιρειών οδηγούσε σε μια κλειστή αγορά.

Έτσι, ειδικοί προερχόμενοι από τους τότε μεγάλους κατασκευαστές ηλεκτρονικών οργάνων συνεργάστηκαν ώστε να πετύχουν την επικοινωνία των μικροεπεξεργαστών που όλα σχεδόν τα μουσικά όργανα διέθεταν την εποχή εκείνη. Αυτό οδήγησε σε μια μεγάλη επιτυχία όπου δύο διαφορετικοί συνθετητές (synthesizer) συνδεδεμένοι με καλώδιο, μπόρεσαν να αναγνωρίσουν τα μεταδιδόμενα μηνύματα ο ένας του άλλου, ώστε να μπορούν να παιχτούν νότες και εντάσεις στο κλαβιέ (πλήκτρα) του ενός και να αναπαράγονται ταυτόχρονα από το άλλο, ακριβώς σαν να παίζονταν στα δικά του πλήκτρα.

Πλέον τα όργανα μπορούσαν να επικοινωνούν με μια κοινή γλώσσα και για πρώτη φορά τα χαρακτηριστικά μιας μουσικής εκτέλεσης, όπως π.χ. το ύψος των ήχων που παίζονται, η έντασή τους κ.ά. μεταδίδονται υπό μορφή πληροφόρησης από και προς διαφορετικές συσκευές ή προσωπικούς υπολογιστές.

- Το 1981 παρουσιάστηκε το πρωτόκολλο επικοινωνίας **USI** (*Universal Synthesizer Interface*).
- Το 1982 το **USI** βελτιώθηκε και μετονομάστηκε σε **MIDI**. Το πρώτο διασυνδεδετικό MIDI στην ιστορία ενσωματώθηκε σε ένα Sequential Circuits Prophet 600 και κατόπιν σε ένα Jupiter 6 της εταιρείας *Roland*.
- Το 1983 παρουσιάστηκε και επίσημα το πρωτόκολλο **MIDI 1.0**, το οποίο γρήγορα έγινε πολύ δημοφιλές με τη βοήθεια του πολύ καλού και εμπορικού οργάνου της Yamaha, του DX-7.
- Από το 1985 και μετά σχεδόν κάθε νέα συσκευή που παρουσιαζόταν διέθετε ενσωματωμένο το διασυνδεδετικό MIDI, πέρα από την κλασική υποδοχή για σύνδεση της ηχητικής του εξόδου (*audio out*) σε ενισχυτή με ηχεία. Από εκεί και πέρα το MIDI εξελίσσεται από τις εταιρείες και το συναντάμε σε διάφορες

ορολογίες: *MIDI Language* (γλώσσα MIDI), *MIDI Code* (MIDI κώδικας), *MIDI Protocol* (πρωτόκολλο MIDI), *MIDI Specification* (προδιαγραφή MIDI) και *MIDI Standard* (πρότυπο MIDI).

Όσον αφορά τον τρόπο μετάδοσης των πληροφοριών του πρωτοκόλλου MIDI, επιλέχθηκε ο *σειριακός* και όχι ο *παράλληλος*. Αν και η σειριακή μετάδοση είναι αισθητά πιο αργή από την παράλληλη, ταυτόχρονα όμως είναι πιο οικονομική, άρα και προσιτή στο μέσο καταναλωτή. Πράγματι, η επιλογή αυτή δικαιώσε τους τεχνικούς καθώς, η οικονομικότερη λύση βοήθησε στην γρηγορότερη διάδοση της τεχνολογίας. Επίσης η ταχύτητα μετάδοσης των **31.250 bits/sec** κρίθηκε ικανοποιητική ακόμη και για τους πιο απαιτητικούς χρήστες.

Λειτουργία του MIDI

Το διασυνδεδετικό MIDI αποτελείται από το πρωτόκολλο επικοινωνίας (Software) και το υλικό του μέρος (Hardware). Το πρώτο περιέχει τις εντολές (*MIDI Language*) που χρειάζονται για την "περιγραφή" μιας μουσικής εκτέλεσης, ενώ το δεύτερο αναφέρεται στα χαρακτηριστικά των κυκλωμάτων που παράγουν και ερμηνεύουν την πληροφόρηση MIDI και προσδιορίζει τον τύπο των συνδέσεων και το είδος των καλωδίων που πρέπει να χρησιμοποιηθούν.

Κάθε συνθετητής (synthesizer) ή H/Y ή άλλη συσκευή παραγωγής και επεξεργασίας ήχου έχει τις εξής υποδοχές MIDI:

- **MIDI OUT:** Είναι η υποδοχή που "στέλνει" τις πληροφορίες. Αυτή η υποδοχή συνδέεται με την **MIDI IN** υποδοχή άλλης συσκευής ώστε να λάβει τα μηνύματα. Το όργανο που στέλνει τις πληροφορίες ονομάζεται "*master*" (κύριος/οδηγός) και το όργανο που τις δέχεται "*slave*" (εξαρτώμενος).
- **MIDI IN:** Είναι η υποδοχή από όπου εισάγονται οι πληροφορίες. Συνδέεται πάντα στο MIDI OUT ή στο MIDI THRU άλλων οργάνων που είναι master ή ενδιάμεσο (THRU).
- **MIDI THRU:** Είναι η υποδοχή που εξάγει *απαράλλαχτες* τις πληροφορίες που εισάγονται στο MIDI IN του ίδιου οργάνου. Χρησιμοποιείται για να **στείλει** τις πληροφορίες που δέχεται το ίδιο στο MIDI IN του προς ένα επόμενο όργανο.

Κανάλια του MIDI

Οι προδιαγραφές [90] του MIDI έχουν προβλέψει ώστε οι MIDI πληροφορίες να μπορούν να μεταδοθούν μέχρι και σε 16 διαφορετικά "κανάλια". Τα σύγχρονα Synthesizer είναι όλα εξοπλισμένα με τη δυνατότητα αυτή.

Τα MIDI κανάλια προσφέρουν την πολύ σημαντική υπηρεσία της ταυτόχρονης αναπαραγωγής 16 διαφορετικών ήχων από ένα και μόνο synthesizer, αλλά και άλλες που θα δούμε παρακάτω.

Για παράδειγμα, ένας χρήστης που συνθέτει Jazz μουσική κατέχει τον παρακάτω εξοπλισμό:

- Συνθετητή εξοπλισμένο με MIDI και συνδεδεμένο με τα κατάλληλα καλώδια με
- Η/Υ εξοπλισμένο με κάρτα ήχου που έχει δυνατότητα MIDI και ειδικό software που μπορεί να καταγράφει MIDI πληροφορίες και λέγεται **Sequencer**.

Αφού συνδέσει σωστά τα σχετικά καλώδια και ελέγξει την ορθή λήψη και αποστολή των MIDI μηνυμάτων, φορτώνει το πρόγραμμα εγγραφής (Sequencer) που μπορεί να είναι ένα από τα κορυφαία των Sibelius, Finale, Encore, Cakewalk και Cubase ή άλλο λιγότερο γνωστό αλλά εξίσου καλό πρόγραμμα.

Sequencer

MIDI κανάλια και οι ρυθμίσεις τους

Στα προγράμματα εγγραφής το κάθε κανάλι είναι οπτικοποιημένο και αντιπροσωπεύεται από μία χρωματιστή λουρίδα. Πατώντας επάνω στην κάθε λουρίδα μπορούμε να της αναθέσουμε το κανάλι που θα αντιπροσωπεύει το όργανο που θα αναπαράγει την ένταση και πολλά άλλα. Από τη στιγμή που ο συνθετητής είναι συνδεδεμένος με τον Η/Υ, τα πατήματα και οι ρυθμίσεις που γίνονται στην κάθε λουρίδα-κανάλι, ταυτόχρονα γίνονται αντιληπτά και από τον συνθετητή και αντίστροφα.

Ο παραπάνω χρήστης, προκειμένου να συνθέσει τη Jazz μουσική του, ας πούμε ότι θα χρησιμοποιήσει:

- Το **κανάλι 1** όπου θα ορίσει να καταγράφει και να αναπαράγει το Πιάνο.
- Το **κανάλι 2** όπου θα ορίσει να καταγράφει και να αναπαράγει το Μπάσο.
- Το **κανάλι 3** όπου θα ορίσει να καταγράφει και να αναπαράγει η Τρομπέτα.
- Το **κανάλι 4** όπου θα ορίσει να καταγράφει και να αναπαράγει το Σαξόφωνο.
- Το **κανάλι 10** όπου θα ορίσει να καταγράφει και να αναπαράγει τη Ντραμς ή τα Κρουστά. Είναι μία από τις προδιαγραφές του MIDI να θεωρείται το κανάλι 10 ως το κανάλι που συνήθως καταγράφεται και αναπαράγεται ο ήχος ντραμς και κρουστών γενικά.

Κατά τη διαδικασία εγγραφής θα ακολουθήσει την εξής σειρά:

- Επιλέγει τη λουρίδα που αντιπροσωπεύει το **κανάλι 10** και πατώντας με το ποντίκι το σχετικό πλήκτρο εκκίνησης εγγραφής του Sequencer (που συνήθως είναι στρογγυλό και κόκκινου χρώματος) καταγράφει τον ρυθμό με την βοήθεια των πλήκτρων του συνθετητή (που "μιμείται" τους ήχους της ντραμς). Μόλις τελειώσει, σταματά την εγγραφή.

- Κατόπιν, επιλέγει τη λουρίδα που αντιπροσωπεύει το **κανάλι 2** και πατώντας με το ποντίκι το σχετικό πλήκτρο εκκίνησης εγγραφής παίζει στα πλήκτρα του synthesizer τις νότες που αντιστοιχούν στο μπάσο (με ήχο μπάσου φυσικά). **Παρατηρούμε όμως ότι οι ήχοι Ντραμς που λίγο πριν καταγράφηκαν, ακούγονται και έτσι μας βοηθούν στο να καταγραφεί με σωστό χρόνο το μπάσο.**
- Αφού τελειώσει η εγγραφή το μπάσου, ακολουθεί την ίδια διαδικασία ώστε να παίζει τις νότες του πιάνου. **Και πάλι, την ώρα της εγγραφής του πιάνου, ακούγονται και η ντραμς αλλά και το μπάσο που λίγο πριν κατέγραψε κ.ο.κ.**

Έτσι, με αυτόν τον σταδιακό τρόπο ο χρήστης μπορεί να καταγράψει ένα-ένα μέχρι και 16 όργανα (αν και υπάρχουν τρόποι, ώστε στο ίδιο κανάλι να ακουστούν περισσότερα του ενός όργανα αρκεί να μην τα θέλουμε ταυτόχρονα) και κατόπιν να επιλέξει την αναπαραγωγή τους ώστε να ακουστεί ολοκληρωμένο το μουσικό έργο.

Το Sequencer επιστρέφει όλες τις καταγεγραμμένες MIDI πληροφορίες (νότες, εντάσεις, κανάλια κ.λπ.) προς τον συνθετητή και από εκεί ακούγεται το τελικό αποτέλεσμα.

Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι τα MIDI μηνύματα που αποστέλλονται με το πάτημα των πλήκτρων του συνθετητή και καταγράφονται στο Sequencer, δεν είναι τίποτε άλλο παρά ψηφιακές πληροφορίες όπως: *"ο χρήστης πάτησε τη νότα Λα της τρίτης οκτάβας", "ο χρήστης πάτησε τη νότα Ντο της 5ης οκτάβας", "η ένταση της νότας ήταν 75 (στην κλίμακα των 128)", "χρησιμοποιήθηκε το κανάλι 7"* κ.λπ.

Αυτό που τελικά θα ακούσουμε όταν πατήσουμε το κουμπί αναπαραγωγής του Sequencer, δεν είναι τίποτε άλλο από τον ήχο του συνθετητή μας, καθώς λαμβάνει πίσω όλες μαζί τις πληροφορίες δηλ. όλα τα καταγεγραμμένα MIDI μηνύματα, που λίγο πριν έστειλε προς τον H/Y. Έτσι, κατά την αναπαραγωγή, το Sequencer απλώς στέλνει πίσω στο συνθετητή όλες τις καταγεγραμμένες εντολές και ελέγχει πλέον το synthesizer *"δίνοντας εντολή"*, ώστε να παίζει την τάδε νότα με τη συγκεκριμένη ένταση, στο τάδε κανάλι με τον τάδε ήχο κ.ο.κ.

Σε άλλη χρήση των καναλιών MIDI είναι δυνατόν ο χρήστης αντί για H/Y να συνδέσει περισσότερα του ενός όργανα μέσω MIDI, τα οποία να ελέγχει μέσω του πρώτου στη σειρά.

Είναι λοιπόν δυνατό το synthesizer *master* να μεταδίδει τις MIDI πληροφορίες του σε δύο ακόμη όργανα ως εξής:

Το συνθεσάιζερ **A** (*master*) στέλνει πληροφορίες MIDI και το συνθεσάιζερ **B** τις δέχεται στο κανάλι 2, ενώ το συνθεσάιζερ **Γ** στο κανάλι 3. Με τον τρόπο αυτό μπορεί ο χρήστης να επιλέξει ώστε το **A** να αναπαράγει ήχο πιάνου, ενώ το **B** ήχο από βιολιά και το **Γ** ήχο από βιολοντσέλα.

Με τον τρόπο αυτό ο χρήστης παράγει έναν ήχο γεμάτο, πλήρη και ισχυρό παίζοντας σε ένα και μόνο κλαβιέ (πλήκτρα) αλλά ελέγχοντας ταυτόχρονα 3 διαφορετικά όργανα συνδεδεμένα μέσω MIDI.

Χρησιμότητα

Ο μουσικός που θα γνωρίσει τις συγκινήσεις που προσφέρει το MIDI είναι πολύ δύσκολο να φανταστεί τον κόσμο χωρίς αυτό. Οι δυνατότητες που ανοίγονται είναι τεράστιες σε κάθε τομέα της μουσικής: διδασκαλία, σύνθεση, μάθηση, διασκέδαση. Οι δημιουργοί λογισμικού έχουν αναπτύξει κάθε δυνατή πλευρά της μουσικής μέσω ειδικών προγραμμάτων και για κάθε επίπεδο αγοραστικής δύναμης.

Οι κυριότερες κατηγορίες λογισμικού που θα μπορούσε κάποιος να βρει σήμερα είναι:

Προγράμματα μουσικής σημειογραφίας (Notation Software)

Τα προγράμματα αυτά επιτρέπουν την ηλεκτρονική εισαγωγή (μέσω MIDI) και επεξεργασία της μουσικής σημειογραφίας. Ο παραδοσιακός τρόπος γραφής της μουσικής (πεντάγραμμο, μολύβι, σβήστρα κ.λπ.) αντικαθίσταται από τα αντίστοιχα εργαλεία στο περιβάλλον του υπολογιστή.

Μπορούμε να παίξουμε τη μουσική μας στο synthesizer, αυτή να καταγραφεί με κάθε λεπτομέρεια (θέση στο πεντάγραμμο, διάρκεια, ένταση κ.λπ.) και κατόπιν με το ποντίκι να διορθώσουμε τα λάθη ή εξαρχής με τα εργαλεία του προγράμματος να καταγράψουμε την παρτιτούρα με τη βοήθεια ποντικιού και πληκτρολογίου.

Προγράμματα μουσικής εγγραφής (Sequencer)

Τα προγράμματα αυτά επιτρέπουν στον συνθέτη να καταγράψει τη μουσική του στο δάσκαλο να ετοιμάσει μουσικά παραδείγματα ασκήσεων ή ενορχηστρώσεων στο μαθητή να λύσει τις μουσικές του ασκήσεις στη μουσική Θεωρία, Αρμονία, Αντίστιξη, Χορωδία κ.λπ.

Προγράμματα μουσικής εκπαίδευσης

Εδώ ανήκουν κατάλληλα προγράμματα που θα βοηθήσουν χωρίς ή και μαζί με έναν δάσκαλο στο να αποκτηθεί το υψηλότερο δυνατό επίπεδο τεχνικής και μουσικής γνώσης με προγράμματα που:

- επιτρέπουν την ανάπτυξη μουσικής δεξιοτεχνίας και διδάσκουν νέο ρεπερτόριο επάνω σε διάφορα είδη μουσικής και μουσικά όργανα
- παρουσιάζουν και αναλύουν μουσικά κομμάτια παιγμένα από δεξιότεχνες
- βοηθούν στη θεωρητική μουσική εξάσκηση με προοδευτικής δυσκολίας ερωτήσεις επάνω σε ποικίλα μουσικά θέματα
- παρουσιάζουν τον βίο και το έργο σημαντικών συνθετών
- διδάσκουν την ιστορία διαφόρων ειδών μουσικής
- παρουσιάζουν την ιστορία και τον τρόπο κατασκευής των μουσικών οργάνων.

Προγράμματα επεξεργασίας-ταξινόμησης ήχων

Πρόκειται για ειδικό λογισμικό που παρέχεται από τις εταιρείες που κατασκευάζουν τα μουσικά όργανα ή και από τρίτες εταιρείες και βοηθά στη γρήγορη επεξεργασία των ήχων που διαθέτει ο συνθετητής στη μνήμη του και την αποθήκευση αυτών. Ο βασικός σκοπός των προγραμμάτων αυτών είναι να παρακάμψουμε τη συνήθως μικρή οθόνη του synthesizer και τα πολλαπλά πατήματα κουμπιών που απαιτούνται και να κάνουμε όλη την εργασία στη μεγάλη οθόνη του υπολογιστή με τη βοήθεια του ποντικιού. Οι νέοι ή οι επεξεργασμένοι ήχοι μπορούν και αποθηκεύονται όπως οποιαδήποτε άλλα αρχεία σε κάποιο μαγνητικό μέσο και αποστέλλονται ξανά προς τη μνήμη του synthesizer μέσω MIDI, όταν τους χρειαστούμε.

Προγράμματα αναγνώρισης μουσικών χαρακτήρων

Όταν μιλάμε για επεξεργασία ενός ήχου από συνθετητή, εννοούμε π.χ. τη διαδικασία όπου ένας ήχος πιάνου μπορεί να αλλαχτεί με την προσθήκη βάθους ή άλλου ηχητικού εφέ.

Προγράμματα αναγνώρισης μουσικών χαρακτήρων

Εδώ περιλαμβάνεται το λογισμικό που έχει τη δυνατότητα να αναγνωρίσει πεντάγραμμα, νότες, κλειδιά και άλλα μουσικά σύμβολα, όταν του εισάγουμε τη σαρωμένη εικόνα μίας παρτιτούρας. Κάτι παρόμοιο δηλαδή με τη λειτουργία αναγνώρισης χαρακτήρων ενός τυπωμένου κειμένου (OCR).

Μηνύματα MIDI

Στη σύντομη παρουσίαση του MIDI [90] που ακολουθήθηκε θεωρούμε ότι οι ήχοι παράγονται από ένα ή περισσότερα synthesizer, δηλαδή από μια γεννήτρια ήχων στην οποία είναι δυνατός ο έλεγχος του ύψους (νότας), της έντασης και της χροιάς (είδος μουσικού οργάνου π.χ. πιάνο ή βιολί) του παραγόμενου ήχου. Ένα sequencer είναι μια συσκευή με την οποία είναι δυνατή η συγγραφή μουσικών κομματιών στον υπολογιστή. Τέλος, ένα MIDI keyboard είναι ένα πληκτρολόγιο παρόμοιο με αυτό του πιάνου το οποίο δεν παράγει ήχους αλλά μηνύματα MIDI με μήκος λίγων bytes τα οποία και αποστέλλονται σε επιλεγμένα ηλεκτρονικά μουσικά όργανα για αναπαραγωγή.

Τα μηνύματα MIDI ανήκουν σε δύο κατηγορίες (βλ. Σχήμα Ιεραρχίας Μηνυμάτων). Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα channel messages με τα οποία καθορίζεται το κανάλι στο οποίο απευθύνεται το μήνυμα. Κάθε κανάλι θεωρείται ότι αντιστοιχεί σε ένα ηλεκτρονικό μουσικό όργανο το οποίο είναι συνδεδεμένο με το υπολογιστικό σύστημα. Το MIDI υποστηρίζει μέχρι 16 κανάλια. Κάθε channel message μπορεί να είναι είτε voice message είτε mode message και έχει μήκος μέχρι 3 bytes (βλ. Σχήμα Ιεραρχίας Μηνυμάτων).

Τα voice messages περιέχουν πληροφορίες για το ποια νότα θα πρέπει να αναπαραχθεί (note on message) ή να σταματήσει η αναπαραγωγή της (note off message) όπως και για την ταχύτητα με την οποία θα πρέπει να εκτελεστεί καθένα από τα παραπάνω γεγονότα (η οποία και αντιστοιχεί στο πόσο δυνατά θεωρούμε ότι πατήθηκε ή πόσο γρήγορα απελευθερώθηκε μια νότα στο πληκτρολόγιο του πιάνου). Στα περισσότερα synthesizer η ένταση με την οποία αναπαράγεται μια νότα είναι ανάλογη της ταχύτητας με την οποία αυτή δηλώνεται σε ένα note on message. Στις περισσότερες περιπτώσεις η παράμετρος της ταχύτητας αγνοείται σε ένα note off message.

Σχήμα Ιεραρχίας μηνυμάτων MIDI

Είδος μηνύματος	Παράμετρος 1	Παράμετρος 2
Note on	Κωδικός νότας	Ταχύτητα
Note off	Κωδικός νότας	Ταχύτητα
Polyphonic key pressure	Κωδικός νότας	Ποσό
Control change	Αριθμός ελεγκτή	Τιμή ελεγκτή
Program change	Αριθμός προγράμματος	-
Channel pressure	Τιμή πίεσης	-
Pitch bend	MSB	LSB

Το μήνυμα channel pressure αντιστοιχεί στην πίεση με την οποία κρατιέται πατημένη μια νότα στο πληκτρολόγιο του πιάνου και συνήθως καθορίζει διάφορα εφέ (π.χ. vibrato, fader) που θα εφαρμοστούν κατά την αναπαραγωγή μίας νότας.

Το μήνυμα polyphonic key pressure αντιστοιχεί στην πίεση με την οποία κρατιέται πατημένη μια νότα μιας συγχροδίας και συνήθως καθορίζει σε ένα synthesizer το ποσοστό με το οποίο συμμετέχει στη συνολική ένταση του ήχου η νότα μιας συγχροδίας.

Το μήνυμα control change καθορίζει συγκεκριμένες λειτουργίες που προσφέρονται σε κάθε synthesizer και οι οποίες δεν είναι προτυποποιημένες (π.χ. επεκτάσεις των μουσικών οργάνων που μπορούν να προσομοιωθούν από το synthesizer), αλλά διαφέρουν από κατασκευαστή σε κατασκευαστή.

Το μήνυμα pitch bend μεταβάλλει το ύψος των ήχων που παράγονται σε ένα κανάλι.

Τέλος το μήνυμα program change καθορίζει το είδος του μουσικού οργάνου το οποίο παράγεται από ένα κανάλι.

Τα μηνύματα channel mode καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο ένα synthesizer διαχειρίζεται τα voice messages που λαμβάνει. Για παράδειγμα μηνύματα που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία καθορίζουν τον αριθμό των καναλιών που θα ενεργοποιηθούν σε ένα synthesizer για την αναπαραγωγή εισερχόμενων μηνυμάτων MIDI, όπως και το αν οι νότες θα μπορούν να αναπαραχθούν πολυφωνικά (πολλές μαζί συγχρόνως) ή μονοφωνικά (μόνο μία νότα κάθε στιγμή).

Τέλος τα system messages καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο συγχρονίζονται διαφορετικά synthesizers, τον κωδικό διαφόρων μουσικών κομματιών τα οποία θέλουμε να αναπαράγουμε κ.ο.κ.

Το πρωτόκολλο MIDI προβλέπει την αποστολή και αποδοχή μηνυμάτων από 128 διαφορετικούς Controllers. Απ' αυτούς, οι πρώτοι 32 (0-31) ονομάζονται Continuous Controllers (Ελεγκτές συνεχούς ροής) και λειτουργούν σαν ποτενσιόμετρα καλύπτοντας μια συνεχή σειρά τιμών.

Οι ελεγκτές συνεχούς ροής στέλνουν ή δέχονται μηνύματα σε χαμηλή ανάλυση (Low Resolution) ή υψηλή ανάλυση (High Resolution).

Σε χαμηλή ανάλυση (Low Resolution) η κίνηση του ελεγκτού συνεχούς ροής αναλύεται σε 128 βήματα ενώ σε υψηλή ανάλυση (High Resolution) σε 16.384 βήματα.

Για τους ελεγκτές συνεχούς ροής που στέλνουν μηνύματα σε χαμηλή ανάλυση, το πρωτόκολλο MIDI εκχωρεί τις θέσεις των Controllers από 0 έως 31. Για τις σπάνιες εκείνες περιπτώσεις που κάποιοι ελεγκτές με σκοπό την ομαλότερη μεταβολή της πληροφόρησης στη διάρκεια του χρόνου στέλνουν μηνύματα σε υψηλή ανάλυση, το πρωτόκολλο εκχωρεί επιπροσθέτως και τις θέσεις από 32 έως 63.

Για την περιγραφή των χαμηλής ανάλυσης μηνυμάτων χρειάζεται ένα Byte, ενώ για την περιγραφή των υψηλής ανάλυσης μηνυμάτων δύο Bytes.

Η χρήση των ελεγκτών συνεχούς ροής εξαντλεί τη μνήμη ενός Sequencer πολύ γρήγορα. Με την πληροφόρηση τους μπορούμε να μεταβάλλουμε με έναν ή περισσότερους τρόπους τις παραμέτρους ενός ήχου (π.χ.: την ένταση (Volume), τη θέση του στο χώρο (Pan), την περιβάλλουσα (Envelope) κ.α.).

Οι ελεγκτές από 64 έως 95 δεν είναι συνεχούς ροής, αλλά λειτουργούν σαν διακόπτες (On/Off), ενώ η χρήση των ελεγκτών 96 έως 121 θα προσδιοριστεί μελλοντικά.

Οι ελεγκτές 122 έως 127 εντάσσονται στην κατηγορία μηνυμάτων Mode Messages που περιγράφονται παρακάτω.

Μερικοί από τους ελεγκτές που χρησιμοποιούνται συχνά είναι:

Controller 1: Modulation Wheel.
Controller 2: Breath Controller.
Controller 4: Foot Controller.
Controller 5: Portamento time.
Controller 6: Data Entry.
Controller 7: Volume.
Controller 8: Balance Control.
Controller 10: Pan.
Controller 11: Expression.
Controller 64: Hold 1
Controller 65: Portamento.
Controller 66: Sostenuato.
Controller 67: Soft Pedal.
Controller 91: External Effect depth.
Controller 92: Tremolo depth.
Controller 93: Chorus depth.
Controller 95: Phaser depth.

Channel Mode Messages

Τα μηνύματα αυτά προσδιορίζουν τον τρόπο με τον οποίο οι αποδέκτες της πληροφόρησης θα ανταποκριθούν στα Voice Messages που περιγράψαμε. Εντάσσονται στην κατηγορία των Controllers και είναι τα εξής:

α) Local / Remote Keyboard Control. Controller 122: Το μήνυμα αυτό αφορά τα Synthesizers ή Samplers με κλαβιέ και τους επιτρέπει - αν το λειτουργικό τους το υιοθετεί - να αξιοποιηθούν και σαν Mother Keyboards.

Όταν ένα Synthesizer βρίσκεται σε LOCAL ON Mode, η πληροφόρηση που παράγεται από τη μουσική εκτέλεση στο κλαβιέ του, ενεργοποιεί τα κυκλώματα των φωνών του και παράλληλα εμφανίζεται στο MIDI Out.

Όταν τώρα το Synthesizer βρίσκεται σε LOCAL OFF Mode, μπορεί να αξιοποιηθεί σαν Mother Keyboard, διότι η πληροφόρηση που παράγεται από τη μουσική εκτέλεση του κλαβιέ δεν ενεργοποιεί τα κυκλώματα των φωνών, αλλά εμφανίζεται μόνο στο MIDI Out. Παράλληλα, τα κυκλώματα φωνών του Synthesizer και σύμφωνα με τον οριζόμενο από το χρήστη τρόπο πρόσληψης πληροφόρησης, θα ανταποκριθούν τα μηνύματα που θα εμφανιστούν στη θύρα MIDI IN (π.χ: από ένα Sequencer).

β) All Notes Off. Controller 123. Το μήνυμα αυτό δίνει εντολή στα κυκλώματα φωνών (Voice Circuitry) των αποδεκτών ενός συστήματος να σωπάσουν και είναι ο μόνος τρόπος να σταματήσουμε κάποιες νότες που παρά τη διακοπή της μουσικής εκτέλεσης ή αναπαραγωγής (στην περίπτωση ενός Sequencer), εξακολουθούν να ηχούν χωρίς να σβήσουμε κάποιο μηχανήμα.

γ) Controller 124: Omni Off. - Controller 125: Omni On. - Controller 126: Mono On. Controller 127: Poly On. Τα μηνύματα αυτά καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο θ' ανταποκριθεί ένας αποδέκτης στα Voice Messages.

Κάθε ηλεκτρονικό μουσικό όργανο λειτουργεί σε ένα από τα MIDI Modes που προαναφέραμε και το οποίο μπορούμε να αλλάξουμε στέλνοντας το κατάλληλο μήνυμα.

System Messages

Αυτή η δεύτερη μεγάλη κατηγορία μηνυμάτων του πρωτοκόλλου MIDI απευθύνεται σε όλο το σύστημα ανεξαρτήτως του καναλιού MIDI που δέχεται πληροφόρηση κάθε αποδέκτης.

Αποτελείται από τα μηνύματα *Song Position Pointer*, *Song Select* και *Tune Request*.

Song Position Pointer: Το μήνυμα αυτό περιγράφει με ακρίβεια τη θέση ενός Sequencer ή Drum Machine αναφορικά με την αρχή ενός τραγουδιού (Song) ή Pattern, μετρώντας πόσα δέκατα έκτα παρήλθαν.

Song Select: Το πρωτόκολλο MIDI προβλέπει την επιλογή 128 τραγουδιών. Το μήνυμα αυτό επιλέγει ένα από τα Songs που βρίσκονται αποθηκευμένα στη μνήμη ενός Sequencer ή Drum Machine.

System Exclusive

Μηνύματα που μέσω του πρωτοκόλλου MIDI επιτρέπουν την αποκλειστική επικοινωνία και μεταφορά πληροφόρησης μεταξύ ηλεκτρονικών μουσικών οργάνων, MIDI περιφερειακών ή MIDI εφέ του ιδίου κατασκευαστού. Οι χειριστές των σύγχρονων Sequencers χρησιμοποιούν *System Exclusive* μηνύματα για την αποθήκευση ήχων, δημιουργία ηχοθηκών, τη μεταβολή των παραμέτρων ενός ήχου κ.λ.π.

System Real Time Messages.

Τα μηνύματα αυτά αφορούν όλο το σύστημα και έχουν προτεραιότητα έναντι των άλλων μηνυμάτων, προκειμένου να κρατήσουν συγχρονισμένα τα μέλη εκείνα του συστήματος, που η λειτουργία τους βασίζεται σε χρονικές πληροφορίες.

Τα μηνύματα αυτά είναι: *System*

Κατηγορίες Αρχείων MIDI

Standard MIDI FILES (SMF, Το Ισχυρό Πρότυπο)

Το μυστικό όπλο στη διακίνηση αρχείων MIDI

Κάποια μόλις χρόνια πριν η ιδέα ανταλλαγής αρχείων MIDI ανάμεσα σε μουσικά προγράμματα ή σε διαφορετικούς υπολογιστές ήταν ένα απραγματοποίητο όνειρο. Με την ονομασία «Standard MIDI FILES» και με σκεπτικό όμοιο με εκείνο που θέσπισαν οι προδιαγραφές του πρότυπου συνόλου χαρακτήρων ASCII έγινε δυνατή η μεταφορά κειμένου σε διαφορετικά προγράμματα. Η υπεύθυνη επιτροπή για την εξέλιξη του πρωτοκόλλου MIDI καθόρισε τις αναγκαίες προδιαγραφές για τη μεταφορά αρχείων MIDI τον Ιούλιο του 1988. Αν και αρχικά οι προδιαγραφές αυτές προέβλεπαν την ανταλλαγή αρχείων μόνο μεταξύ προγραμμάτων εγγραφής μουσικών ακολουθιών, ο δρόμος ήταν πλέον ανοιχτός για τις εξελίξεις που ακολούθησαν.

Προϋποθέσεις για τη δημιουργία και την αναγνώριση αρχείων MIDI:

Τα μουσικά προγράμματα αποθηκεύουν τα αρχεία που δημιουργούμε με διαφορετικό σκεπτικό το καθένα που καθορίζεται από τους κατασκευαστές τους (native format). Η δυνατότητα μεταφοράς και αναγνώρισης αυτών των αρχείων μεταξύ των διαφορετικών προγραμμάτων εξασφαλίζεται με την προσθήκη των κατάλληλων εντολών που επιτρέπουν:

- τη μετατροπή και την αποθήκευση του μουσικού αρχείου από τη μορφή που προβλέπει κάθε κατασκευαστής σε αυτήν που καθορίζουν οι προδιαγραφές για τα αρχεία Standard MIDI.
- την εισαγωγή και ακολούθως τη μετατροπή και την αποθήκευση αρχείων Standard MIDI στη μορφή που κάθε κατασκευαστής ορίζει για το πρόγραμμά του.

Η ελευθερία που παρέχει το πρωτόκολλο MIDI στον τρόπο αποθήκευσης των προαναφερόμενων πληροφοριών δημιουργεί ορισμένες φορές προβλήματα στην αναγνώριση και τη σωστή τοποθέτησή τους στα διαφορετικά προγράμματα. Με την πάροδο του χρόνου όμως και όσο η επικοινωνία μεταξύ των κατασκευαστών γίνεται καλύτερη, τα προβλήματα αυτά αναμένεται να εξαλειφθούν.

Κατηγορίες αρχείων με βάση τις προδιαγραφές των αρχείων Standard MIDI

Υπάρχουν τρεις τύποι Standard MIDI FILES. Η επιλογή μετατροπής ενός αρχείου από το φορμά που προβλέπει ο κατασκευαστής του σε Standard MIDI File γίνεται συνήθως με τη χρήση της εντολής «Save As» του μουσικού προγράμματος. Από το πλαίσιο που εμφανίζεται επιλέγουμε την εντολή «Standard MIDI FILE» και στη συνέχεια καθορίζουμε τον τύπο του αρχείου Standard MIDI στο οποίο θα μετατραπεί το πρωτότυπο αρχείο μας.

Αντίστοιχα, η εισαγωγή ενός αρχείου Standard MIDI στο πρόγραμμά μας γίνεται με την εντολή «Open» και την επιλογή του από το πλαίσιο διαλόγου που εμφανίζεται. Οι μορφές αποθήκευσης των μουσικών αρχείων σε αρχεία τύπου Standard MIDI είναι οι ακόλουθες:

* **MIDI FILE Type 0.** Κατά τη μετατροπή τοποθετεί την πληροφόρηση σε ένα track, χωρίς όμως να αλλάζει το κανάλι MIDI (1-16) στο οποίο απευθύνεται κάθε γεγονός. Αυτό το είδος αρχείου περιορίζει τη δυνατότητα αναλυτικής επεξεργασίας της πληροφόρησης, είναι όμως ιδιαίτερα χρήσιμο για την αναπαραγωγή ακολουθιών

(sequences) με τη χρήση φθηνών φορητών συσκευών που συναντάμε συχνά σε εκπαιδευτικά ιδρύματα και ζωντανές εμφανίσεις (SMF Players).

* **MIDI FILE Type 1.** Τοποθετεί την πληροφορήση σε περισσότερα από ένα track, καθένα από τα οποία στέλνει την πληροφορήσή του σε ένα ή περισσότερα κανάλια MIDI. Η μετατροπή σε αυτό το είδος αρχείου συνιστάται στην περίπτωση που θέλουμε να το μεταφέρουμε για επεξεργασία σε κάποιο άλλο πρόγραμμα.

* **MIDI FILE Type 2.** Αυτό το είδος αρχείου συναντάται σπάνια. Όπως και το προηγούμενο, περιέχει ξεχωριστά track, καθένα από τα οποία μπορεί να μεταδώσει την πληροφορήση του σε ένα ή περισσότερα κανάλια MIDI. Σε αυτό το είδος αρχείου MIDI κάθε track μπορεί να αντιπροσωπεύει ένα pattern ή μία υποακολουθία (subsequence) με διαφορετικό χρόνο έναρξης, κανάλια MIDI ή Tempo Map.

Μεταφορά μουσικών αρχείων σε διαφορετικές πλατφόρμες υπολογιστών:

Οι προδιαγραφές του πρωτοκόλλου MIDI προβλέπουν μεταξύ άλλων και τη μεταφορά αρχείων Standard MIDI μεταξύ διαφορετικών υπολογιστών. Η μεταφορά τους μπορεί να γίνει με τη χρήση δισκέτας ή άλλου αποθηκευτικού μέσου μέσω e-mail ως προσάρτημα του μηνύματος ή μέσω δικτύου. Για να χρησιμοποιήσετε σε περιβάλλον Windows ένα αρχείο που δημιουργήθηκε σε περιβάλλον Macintosh, πρέπει να προσθέσετε το extension .mid στο όνομα του αρχείου. Για να χρησιμοποιήσετε σε περιβάλλον Macintosh ένα αρχείο Standard MIDI που δημιουργήθηκε σε περιβάλλον Windows, δεν έχετε παρά να αντιγράψετε το αρχείο στο σκληρό σας δίσκο και από εκεί να το ανοίξετε μέσω του προγράμματός σας. (Σε περίπτωση που το αρχείο βρίσκεται σε δισκέτα διαμορφωμένη για PC, πρέπει να ενεργοποιήσετε τη δυνατότητα του λειτουργικού συστήματος της Apple να αναγνωρίζει δίσκους και δισκέτες σε διαμόρφωση PC). Μια πρόσφατη προσθήκη στο πρωτόκολλο επικοινωνίας MIDI καθιστά δυνατή τη μεταφορά αρχείων Standard MIDI μεταξύ διαφορετικών υπολογιστών με τη χρήση καλωδίων MIDI.

Τα αρχεία Standard MIDI και η χρήση τους σε άλλες κατηγορίες προγραμμάτων:

Όπως για το πρωτόκολλο επικοινωνίας MIDI, έτσι και για τα αρχεία MIDI επινοήθηκαν με τον καιρό πολλές διαφορετικές χρήσεις. Τα προγράμματα αλγοριθμικής σύνθεσης, για παράδειγμα, μπορούν να αποθηκεύσουν το αποτέλεσμα της επεξεργασίας τους σε μορφή αρχείου MIDI, το οποίο στη συνέχεια μπορεί να εισαχθεί σε ένα πρόγραμμα εγγραφής μουσικών ακολουθιών για μελέτη και περαιτέρω επεξεργασία. Με το ίδιο σκεπτικό τα προγράμματα μουσικής σημειογραφίας επικοινωνούν με τα προγράμματα εγγραφής μουσικών ακολουθιών και το αντίστροφο.

Standard MIDI Files και πολυκαλωδιακά διασυνδεδετικά MIDI:

Οι προδιαγραφές του πρωτοκόλλου MIDI για τα αρχεία Standard MIDI δεν προβλέπουν την ανταλλαγή πληροφορήσης σε περισσότερα από 16 κανάλια MIDI. Όσοι χρησιμοποιούν πολυκαλωδιακά διασυνδεδετικά MIDI, πρέπει να γνωρίζουν ότι η μετατροπή μιας μουσικής ακολουθίας σε Standard MIDI FILE δεν αποθηκεύει τον αριθμό της θύρας όπου έχουμε αναθέσει κάθε track, γιατί κάτι τέτοιο δεν προβλέπεται. Η μεταφορά ενός αρχείου SMF μεταξύ προγραμμάτων που υιοθετούν τη χρήση πολυκαλωδιακών διασυνδεδετικών πρέπει να γίνει ως εξής: στο πρώτο πρόγραμμα με την κατάλληλη εντολή μετατρέπουμε το αρχείο σε MIDI FILE Type 1· στη συνέχεια, το εισάγουμε στο άλλο πρόγραμμα και προχωράμε στη χειροκίνητη ανάθεση της θύρας

στην οποία απευθύνεται η πληροφόρηση κάθε track. Τέλος, το αποθηκεύουμε ως αρχείο native του δεύτερου προγράμματος και οι όποιες ρυθμίσεις μας σώζονται με αυτό.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

MSQ Project

Το MSQ Project είναι μία ανεξάρτητη πλατφόρμα, εύκολα αναγνώσιμη και παραμετροποιήσιμη, της οποίας τα αρχεία παραγωγής “file format” είναι ικανά για αλγοριθμικό χειρισμό και αλγοριθμικής σύνθεσης τόσο καλά όσο και η διαχείριση σε πραγματικό χρόνο των οργάνων μέσω πρωτοκόλλου MIDI (midi instruments).

Το *MSQ file format*, είναι αρχείο κειμένου τύπου *plain ASCII*, το οποίο αναπαριστά σειρές από εντολές midi με καθαρά χρονολογική σειρά των γεγονότων που συμβαίνουν ανεξάρτητα από το ποιο κανάλι Midi συμβαίνει το συγκεκριμένο γεγονός (event). Εκτός των άλλων, δεν είναι μόνο για μετάφραση των αρχείων Midi σε αρχεία τύπου ASCII αλλά ορίζει ξεκάθαρα της εντολές του midi αρχείου και είναι άμεσα συμβατό με οποιοδήποτε τύπου αρχείων συμβατό με κωδικοποίηση midi.

Το πακέτο MSQ package περιλαμβάνει τα παρακάτω δομικά προγραμματιστικά στοιχεία:

msq2mid	MSQ to MIDI converter Μετατροπή MSQ files σε Standard MIDI files
mid2msq	MIDI to MSQ converter Μετατροπή Standard MIDI files σε MSQ files
merge	MSQ file merge Ενοποίηση δύο (2) MSQ αρχείων μαζί
play	MSQ file player (sequencer) Αναπαραγωγή MSQ αρχείων σε οποιαδήποτε MIDI συσκευή
mmid	Multi Media device ID finder Εύρεση του IDs από τις διαθέσιμες πολυμεσικές συσκευές που υπάρχουν σε ένα υπολογιστικό σύστημα προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για αναπαραγωγή πολυμεσικών αρχείων (τύπου midi ή τύπου msq).

Όλα τα εργαλεία του πακέτου MSQ είναι εργαλεία κονσόλας (console applications).

Το MSQ Project δημιουργήθηκε από τους Siegfried Koepf και Bernd Haerpfer το 1998 ικανοποιώντας την ανάγκη για ένα σύστημα συμβατό με το MIDI για αλγοριθμική σύνθεση (algorithmic composition) και σύνθεση μέσω παρτιτούρας (score synthesis).

The MSQ 2.0 Specification

The MSQ 2.0 standard υποστηρίζει αρχεία MIDI τύπου 0 και 1. Είναι συμβατό με ότι έχει να κάνει σχετικά με το πρότυπο 'The MIDI Standard' όπως περιγράφεται σε πολλές πηγές βιβλιογραφίας αλλά και στο διαδίκτυο σχετικά με τα εκδόσεις πρωτοκόλλων midi.

The MSQ file format

Τα MSQ αρχεία είναι αρχεία κειμένου τύπου ASCII. Για την απλοποίηση της αναγνωρισιμότητας των αρχείων msq η κατάληξη των συγκεκριμένων αρχείων είναι της μορφής .MSQ.

Παρακάτω αναφέρουμε την μορφή που έχουν οι εντολές των αρχείων MSQ. Χρησιμοποιούμε την αγγλική γλώσσα για να είναι πιο κατανοητοί οι όροι που χρησιμοποιούνται και που εμείς στην πορεία του συστήματος εισαγωγής μέσω εργαλείου Java που υλοποιήσαμε και χρησιμοποιήσαμε στην βάση δεδομένων.

Η πρώτη γραμμή του αρχείου MSQ file περιλαμβάνει τις ρυθμίσεις για τα «MIDI TICKS». Αυτά καθορίζουν και τον τεμαχισμό του χρόνου στη μονάδα υποδιαίρεσης με βάση τη μετρική αξία του μουσικού έργου.

TICKS = 120

Κάθε γραμμή κώδικα του αρχείου MSQ που παράγεται από το project MSQ περιλαμβάνει ένα ολοκληρωμένο Midi μήνυμα με απόλυτη τιμή στο χρόνο με βάση τα TICKS που ορίζονται στην πρώτη γραμμή κώδικα του αρχείου. Στη συνέχεια ακολουθείται από το “track number”, μέσω ενός συμβόλου MSQ (βλέπε παρακάτω), και έπεται από έναν αριθμό καναλιού “channel number” στην περίπτωση που υπάρχει τέτοιο μήνυμα από το κανάλι με αντίστοιχα δεδομένα. Για αναλυτική παρουσίαση της σύνταξης της γραμμής MSQ έχουμε δώσει τα παρακάτω γενικά παραδείγματα καθώς και τα ειδικά παραδείγματα που έγιναν εξαγωγή από τα αρχεία midi που χρησιμοποιήσαμε για εισαγωγή τους στη βάση δεδομένων που δημιουργήσαμε. Μεταξύ τους τα χαρακτηριστικά (tokens) χωρίζονται από ένα ή περισσότερα κενά.

Σημειώνουμε ότι δεν υπάρχει όριο για το μέγεθος των αρχείων MSQ παρά μόνο σε ότι έχει να κάνει με τη γραμμή που ο μέγιστος αριθμός χαρακτήρων είναι 256.

Μορφή της γραμμής MSQ

```
xxx xxx xxx xx xxx xxx etc...
|   |   |   |   |
|   |   |   |   data byte (optional)
|   |   |   data byte (optional)
|   |   channel number (optional: Channel Messages only)
|   MSQ symbol
| track number
time value of the event in ticks
```

Examples of MSQ lines:

1. Channel Messages

0 1 NOF 0 64 100

0 1 NON 0 64 100

0 1 PCH 0 2

2. System Messages

0 1 SEX 67 16 53 13 0 0 17 0 64

0 1 ASE

3. Meta Events

0 0 _CR some text

0 0 _ST 500000

0 0 _TS 3 2 24 8

The MSQ Symbols

The first column shows the MSQ symbol, the second one shows the name of the corresponding MIDI message, the last one shows the data expected:

MSQ	1. Channel Messages	MSQ DATA
NOF	Note Off	channel number, 2 data bytes
NON	Note On	channel number, 2 data bytes
PAF	Poly Aftertouch	channel number, 2 data bytes
CCH	Controller	channel number, 2 data bytes
PCH	Program Change	channel number, 1 data byte
CAF	Channel Aftertouch	channel number, 1 data byte
PWH	Pitch Wheel	channel number, 2 data bytes
MSQ	2. System Messages	MSQ DATA
SEX	System Exclusive	? data bytes
MTC	MTC Quarter Frame Message	1 data byte
SPP	Song Position Pointer	2 data bytes
SEL	Song Select	1 data byte
TRE	Tune Request	no data
MCL	MIDI Clock	no data
TIC	Tick	no data
STA	MIDI Start	no data
CON	MIDI Continue	no data
STO	MIDI Stop	no data
ASE	Active Sense	no data
SRE	Reset	no data
MSQ	3. Meta Events	MSQ DATA
_SN	Sequence Number	2 data bytes
_TE	Text Event	ASCII text
_CR	Copyright Notice	ASCII text
_TN	Sequence/Track Name	ASCII text
_IN	Instrument Name	ASCII text

_LY	Lyric	ASCII text
_MA	Marker	ASCII text
_CU	Cue Point	ASCII text
_CP	MIDI Channel Prefix	1 data byte
_MP	MIDI Port	1 data byte
_ST	Set Tempo	1 data DWORD
_SM	SMPTE Offset	5 data bytes (not implemented)
_TS	Time Signature	4 data bytes
_KS	Key Signature	2 data bytes
_SQ	Sequencer Specific	? data bytes

Ranges and Conditions

Ranges of MSQ values:

<u>MSQ values</u>	<u>min.</u>	<u>max.</u>
TICKS in the first line of a MSQ file:	1	32767
Number of characters in a line in a MSQ file:	0	256
Time value in ticks, the first row in a MSQ file:	0	4294967295
Difference of two successive time values:	0	268435455
Track number, the second row in a MSQ file:	0	65535
Channel number in Channel Messages:	0	15
Channel number, the value in META EVENT _CP (MIDI Channel Prefix):	0	15
Tempo, the value in META EVENT _ST (Set Tempo):	1	16777215
Numerator, first value in META EVENT _TS (Time Signature):	1	127
Exponent, second value in META EVENT _TS (Time Signature):	0	7
Clocks, third value in META EVENT _TS (Time Signature):	1	127
32nds, fourth value in META EVENT _TS (Time Signature):	1	127
Flats/sharps, first value in META EVENT _KS (Key Signature):	-7	7
Scale, second value in META EVENT _KS (Key Signature):	0	1
Other data bytes:	0	127

The META EVENT **_SN** (Sequence Number) must occur at the beginning of a track.

Παραθέτουμε αντίστοιχα παραδείγματα που έχουν δημιουργηθεί από δικά μας μουσικά αρχεία midi, προκειμένου να εισαχθούν μέσω της εφαρμογής Java που δημιουργήσαμε στη βάση δεδομένων.

Παράδειγμα ενός μουσικού κομματιού σε παρτιτούρα:

Example: *motive*

Από το συγκεκριμένο παράδειγμα το οποίο δημιουργήθηκε από τον γράφοντα, έγινε η αναπαραγωγή του μέσω ενός Midi-Keyboard διασυνδεδεμένο μέσω ενός midi διασυνδετικού στο υπολογιστικό σύστημα. Στη συνέχεια μέσω του προγράμματος διαχείρισης παρτιτούρας (Scoring - Sibelius) τροποποιήθηκε ελαφρώς ως προς τα βασικά μουσικά χαρακτηριστικά, όπως μέτρο, τυχόν παύσεις, ρύθμιση οργάνου αναπαραγωγής, ρύθμιση ρυθμικών αξιών και άλλων παραμέτρων.

Αφού ολοκληρώθηκε αυτή η διαδικασία αποθηκεύτηκε με τη μορφή του προγράμματος (.sib) αλλά και με τη μορφή αρχείου .mid, με ρύθμιση της παραμέτρου ticks=64. Στη συνέχεια με τη βοήθεια του MSQ Project μετατράπηκε το αρχείο .midi σε αρχείο .msq. Ο πηγαίος κώδικας του .msq παρουσιάζεται παρακάτω:

Παράδειγμα [πηγαίος κώδικας] ενός αρχείου msg από τη σύνθεση «*motive*»

TICKS = 16

```

0 0 _TN A1
0 0 _CR Copyright © halkion
0 0 _TS 4 2 24 8
0 0 _KS 0 0
0 0 _ST 600000
0 1 _TN
0 1 NON 1 60 42
16 1 NON 1 64 87
16 1 NON 1 60 0
24 1 NON 1 64 0
24 1 NON 1 60 68
32 1 NON 1 60 0
32 1 NON 1 62 78
48 1 NON 1 62 0
48 1 NON 1 64 80
56 1 NON 1 64 0
56 1 NON 1 65 83
63 1 NON 1 67 50
64 1 NON 1 65 0
79 1 NON 1 59 49
80 1 NON 1 67 0
95 1 NON 1 59 0
96 1 NON 1 60 75
128 1 NON 1 60 0

```

(πηγαίος κώδικας από το msg αρχείο)

Στη συνέχεια μέσω ενός προγράμματος που υλοποιήσαμε σε Java (msq parser) γίνεται εισαγωγή των συγκεκριμένων γραμμών κώδικα του αρχείου msq στη βάση δεδομένων με κάθε γραμμή κώδικα να είναι και μια συναλλαγή στη βάση (*id7705*, *id7706*...). Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον αγαπητό φίλο και συνάδελφο Ιωάννη Δημητρακόπουλο για την αμέριστη βοήθειά του κατά τη διάρκεια δημιουργίας και βελτιστοποίησης των προγραμμάτων που υλοποιήσαμε σε Java.

<i>id</i>	<i>line</i>	<i>track_no</i>	<i>midi_file_id</i>	<i>time_value</i>	<i>midi_note</i>	<i>velocity</i>
7705	...	...	...	...	...	...
7706	0 1 NON 1 60 42	1	45	0	60	42
7707	16 1 NON 1 64 87	1	45	16	64	87
7708	24 1 NON 1 60 68	1	45	24	60	68
7709	32 1 NON 1 62 78	1	45	32	62	78
7710	48 1 NON 1 64 80	1	45	48	64	80
7711	56 1 NON 1 65 83	1	45	56	65	83
7712	63 1 NON 1 67 50	1	45	63	67	50
7713	79 1 NON 1 59 49	1	45	79	59	49
7714	96 1 NON 1 60 75	1	45	96	60	75
7715	...	...	...	...	...	...

Στιγμιότυπο της βάσης(Πίνακας «non_lines»)

Η εκμετάλλευση των δεδομένων που εισάγονται στη βάση καθώς και διάφορες λεπτομέρειες σχετικά με την εισαγωγή των δεδομένων από το αρχείο .msq στη βάση δεδομένων παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο και συγκεκριμένα στην ενότητα 6.2.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Διαδρομή ενός κομματιού από τη μορφή Midi μέχρι τη μορφή που εισάγεται στη βάση και δημιουργούνται οι Πίνακες μελωδικών και ρυθμικών τεμαχισμών.

MSQ FILE motive1.mid -> motive1.msq-> DB

Σχήματα (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)

```
TICKS = 16

0 0 _TN A1
0 0 _CR Copyright © halkion
0 0 _TS 4 2 24 8
0 0 _KS 0 0
0 0 _ST 600000
0 1 _TN
0 1 NON 1 60 42
16 1 NON 1 64 87
16 1 NON 1 60 0
24 1 NON 1 64 0
24 1 NON 1 60 68
32 1 NON 1 60 0
32 1 NON 1 62 78
48 1 NON 1 62 0
48 1 NON 1 64 80
56 1 NON 1 64 0
56 1 NON 1 65 83
63 1 NON 1 67 50
64 1 NON 1 65 0
79 1 NON 1 59 49
80 1 NON 1 67 0
95 1 NON 1 59 0
96 1 NON 1 60 75
128 1 NON 1 60 0
```

Σχήμα 1 (source code of msq file)

<i>id</i>	<i>line</i>	<i>track_no</i>	<i>midi_file_id</i>	<i>time_value</i>	<i>midi_note</i>	<i>velocity</i>
7705	...	...	...	...	...	...
7706	0 1 NON 1 60 42	1	45	0	60	42
7707	16 1 NON 1 64 87	1	45	16	64	87
7708	24 1 NON 1 60 68	1	45	24	60	68
7709	32 1 NON 1 62 78	1	45	32	62	78
7710	48 1 NON 1 64 80	1	45	48	64	80
7711	56 1 NON 1 65 83	1	45	56	65	83
7712	63 1 NON 1 67 50	1	45	63	67	50

7713	79 1 NON 1 59 49	1	45	79	59	49
7714	96 1 NON 1 60 75	1	45	96	60	75
7715	...	...	...	...	...	...

Σχήμα 2 (Table non_lines)

T1	1	60	64			
T2	0	60	64			
T3	1	60	62	64	65	67
T4	0	59	67			
T5	1	59	60			
...	...	...	...	...	...	...

Σχήμα 3 (melody ASCII file)

stable_id	midi_note	stable_item_seq	midi_file_id	midi_sort
1	60	1	45	1
1	64	2	45	
2	64	1	45	0
2	60	2	45	
3	60	1	45	1
3	62	2	45	
3	64	3	45	
3	65	4	45	
3	67	5	45	
4	67	1	45	0
4	59	2	45	
5	59	1	45	1
5	60	2	45	
...	...	...	...	...

Σχήμα 4 (Table stable)

*stable_id	0	1	...	59	60	...	62	...	64	65	...	67	..
T1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
T2	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
T3	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
T4	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
T5	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
..	..	..	..		..	..			..	..	..	..	..

Σχήμα 5 (melody_s ASCII file)

midi_file_id	time_value
45	0
45	16
45	24
45	32
45	48
45	56
45	63
45	79
45	96
...	...

Σχήμα 6 (rhythmic values)

T1	0	16	24	32	48	56	63	79	96
T2	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Σχήμα 7 (rhythm ASCII file)

T	0	1	...	16	...	24	...	32	...	48	...	56	...	63	...	79	...	96	...	127
T1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
T2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
T3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Σχήμα 8 (rhythm_s ASCII file)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

Πειραματικά Αποτελέσματα Αξιολόγησης Μέτρων Ομοιότητας

Στο σημείο αυτό παρουσιάζουμε τα πειραματικά αποτελέσματα από το σύστημα με βάση του κανόνες που παρουσιάσαμε στις παραπάνω ενότητες, όπως αυτοί εφαρμόστηκαν στην ομοιότητα μουσικών μοτίβων.

Συγκεκριμένα το πρώτο πακέτο πειραματικής δοκιμής έγινε σε εφαρμογή σε 40 Χορικά του Bach (www.jsbchorales.net), αφού μετασχηματίστηκαν όλα στην κλίμακα της Ντο Μείζονας (C Major) και υιοθετήθηκε το σχήμα αναπαράστασης για ύψος και διάρκεια που προτάθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Συγκεκριμένα, δομήθηκαν δύο διαφορετικά σύνολα δεδομένων για το ύψος και τη διάρκεια αντίστοιχα. Για τα σύνολα δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ως πηγή τυπικά MIDI κανάλια ήχου.

Χρησιμοποιήθηκε η μελωδία της πρώτης φωνής (κωδική ονομασία _1) από τις τέσσερις (με την συγκεκριμένη κωδική ονομασία βρίσκονται στο διαδίκτυο επίσημα καταχωρισμένα στη βάση δεδομένων midi αρχείων του Bach) που χρησιμοποιήσαμε για εισαγωγή στο σύστημα.

id	ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ
1	000106b_1
2	000306b_1
3	000806b_1
4	000907b_1
5	001106b_1
6	001207b_1
7	001306b_1
8	001707b_1
9	001907b_1
10	002007b_1
11	002506b_1
12	002706b_1
13	002908b_1
14	003006b_1

15	003109b_1
16	003206b_1
17	003604b2_1
18	003706b_1
19	003907b_1
20	004311b_1
21	004407b_1
22	004507b_1
23	004803b_1
24	005206b_1
25	005505b_1
26	005708b_1
27	005903b_1
28	006005b_1
29	006404b_1
30	006707b_1
31	006906ba_1
32	007007b_1
33	007906b_1
34	008008b_1
35	008606b_1
36	009106b_1
37	009507b_1
38	009606b_1
39	009709b_1
40	009906b_1

Το σύνολο δεδομένων για το ύψος αποθηκεύτηκε σε έναν Πίνακα, στον οποίο κάθε νέα εγγραφή (γραμμή) αντιστοιχεί σε ένα τελικό απόσπασμα μελωδίας που αναπαριστάται ως 128-διάστατο δυαδικό διάνυσμα. Το σύνολο δεδομένων για το ύψος είχε 950 γραμμές (πίνακας melody). Για την πειραματική εφαρμογή στο ρυθμό/διάρκεια, κάθε απόσπασμα περιλαμβάνει μέχρι 2 ή 4 μέτρα από «ολόκληρο», δηλαδή μέχρι $64 \times 2 = 128$ ή $64 \times 4 = 256$ (64 κτυπήματα –ticks- για το «ολόκληρο»). Έτσι χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά σύνολα δεδομένων για το ρυθμό. Τα σύνολα δεδομένων για το ρυθμό, αποθηκεύτηκαν σε Πίνακες, στους οποίους κάθε νέα εγγραφή (γραμμή) αντιστοιχεί σε ένα τελικό απόσπασμα μελωδίας. Κάθε τελικό απόσπασμα αναπαριστάται ως 128-διάστατο ή 256-διάστατο δυαδικό διάνυσμα. Τα σύνολα δεδομένων για το ρυθμό είχε 40 γραμμές (πίνακας rhythm), αφού επιλέχθηκαν τα πρώτα 2 ή 4 μέτρα από κάθε Χορικό.

Επιπλέον υιοθετώντας το ίδιο φυσικά σχήμα αναπαράστασης, διαμορφώθηκαν δύο σύνολα δεδομένων ελέγχου που αποτελούνται από μελωδίες προς εξέταση της ομοιότητάς τους με εκείνες στα σύνολα δεδομένων εισόδου. Σε αυτά, τα αποσπάσματα μελωδίας έχουν γραφτεί από ένα μουσικό με τέτοιο τρόπο όπου το καθένα από αυτά είναι περισσότερο όμοιο με ένα από τα αποσπάσματα στα σύνολα δεδομένων εισόδου, όσον αφορά το ύψος ή τον ρυθμό. Το σύνολο δεδομένων ελέγχου για το ύψος αποτελείται από 99 γραμμές, ενώ εκείνο για το ρυθμό από 10 γραμμές. Για κάθε απόσπασμα από τα σύνολα δεδομένων ελέγχου το πλέον όμοιο από τα αποσπάσματα στα αντίστοιχα σύνολα δεδομένων εισόδου βρίσκεται αυτόματα με βάση τη μετρική edit distance, τη μετρική επικάλυψης (overlap measure) που παρουσιάζεται στην εργασία [30], και η μετρική που παρουσιάζεται στην εργασία [39]. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Νικόλαο Μαστρογιάννη για την αμέριστη βοήθειά του κατά τη διάρκεια των ελέγχων της αξιολόγησης των μέτρων ομοιότητας.

Πίνακας «melody» (950 μελωδικοί τεμαχισμοί)

1;60;67;	1;62;64;65;	1;62;64;64;64;65;67;69;69;	1;72;74;76;
0;60;64;67;	0;64;65;	0;68;69;	0;74;76;
1;60;67;69;69;	1;64;69;71;	1;68;69;71;72;	1;74;76;
0;67;67;69;	0;68;71;	0;64;72;	0;69;71;72;76;
1;67;69;71;72;	1;68;69;	1;64;65;	1;69;74;74;
0;64;67;69;69;71;72;	0;66;67;69;	0;62;62;64;65;	0;71;72;74;
1;64;69;	1;66;67;67;	1;62;67;69;	1;71;72;
0;60;60;62;64;65;67;69;	0;66;67;	0;60;60;62;62;64;65;67;69;	0;67;67;69;72;
1;60;67;	1;66;67;	1;67;72;74;76;77;79;	1;67;72;72;74;74;76;
0;60;64;67;	0;62;62;67;	0;76;77;79;	0;74;76;
1;60;67;69;69;	1;62;67;	1;76;81;	1;74;76;
0;67;67;69;	0;64;65;67;	0;76;77;79;81;	0;72;72;76;
1;67;69;71;72;	1;64;69;	1;76;77;	1;72;77;77;
0;64;67;69;69;71;72;	0;68;69;	0;67;72;74;77;	0;74;76;77;
1;64;69;	1;68;69;	1;67;72;74;76;77;79;	1;74;76;
0;60;62;64;65;67;69;	0;68;69;	0;76;77;79;	0;74;74;76;
1;60;67;	1;68;69;72;	1;76;81;	1;74;76;76;77;77;79;
0;64;67;	0;67;72;	0;76;77;79;81;	0;72;79;
1;64;67;	1;67;69;	1;76;77;	1;72;76;
0;62;62;64;64;64;67;	0;64;69;	0;72;74;77;	0;71;72;74;76;
1;62;64;64;	1;64;65;67;	1;72;79;81;81;	1;71;72;
0;62;64;	0;59;60;62;64;65;67;	0;74;74;81;	0;67;67;69;72;
1;62;64;65;	1;59;60;	1;74;79;79;	1;67;72;
0;60;62;64;65;	0;59;60;	0;72;79;	0;67;69;71;72;
1;60;72;	1;59;60;	1;72;76;	1;67;74;76;
0;60;62;64;65;67;69;71;72;	0;67;67;67;67;69;70;	0;71;72;74;76;	0;74;76;
0;69;72;72;72;	0;65;67;69;70;	1;71;72;	1;74;76;77;
1;69;71;72;74;	1;65;67;	0;67;69;72;	0;71;72;74;76;77;
0;69;69;71;72;74;	0;60;62;64;65;67;	1;67;79;	1;71;72;74;76;
1;69;71;72;74;	1;60;62;64;66;67;69;	0;74;76;77;79;	0;72;74;76;
0;67;74;	0;67;67;67;67;67;69;	1;74;76;	1;72;74;76;
1;67;69;71;72;	1;67;69;70;	0;72;74;76;	0;67;69;71;72;74;76;
0;67;69;72;	0;65;67;69;70;	0;72;76;	1;67;72;74;76;77;
1;67;74;76;76;	1;65;67;	1;72;74;76;77;79;	0;72;72;74;76;77;
0;72;76;	0;60;62;64;65;67;	0;76;76;77;79;	1;72;74;76;
1;72;74;76;77;	1;60;62;64;66;67;69;	1;76;77;79;79;	0;67;69;71;72;74;76;
0;72;74;76;77;	0;67;67;69;	0;74;79;	1;67;72;74;76;77;
1;72;74;76;	1;67;72;	1;74;76;	0;72;74;76;77;
0;71;72;72;74;76;	0;69;71;72;	0;72;76;	1;72;76;77;79;
1;71;72;	1;69;71;72;	1;72;74;	0;74;76;77;79;
0;67;67;72;	0;67;67;69;71;72;	0;67;74;	1;74;76;79;79;81;
0;67;72;	1;67;72;	1;67;72;74;76;76;77;	0;74;76;77;79;81;
1;67;69;	0;67;72;	0;74;77;	1;74;76;79;
0;65;67;69;	1;67;69;	1;74;76;	0;72;76;77;79;
1;65;67;	0;64;69;	0;72;76;	1;72;74;76;
0;62;64;65;67;	1;64;65;67;	1;72;74;76;77;79;	0;72;76;
1;62;67;	0;62;64;64;65;67;	0;76;76;77;79;	1;72;76;79;
0;64;65;67;	1;62;64;65;	1;76;77;79;79;	0;74;76;77;79;
1;64;69;	0;57;62;64;65;	0;74;79;	1;74;76;
0;62;66;67;69;	1;57;59;60;	1;74;76;	0;72;74;76;
1;62;67;	0;60;60;62;64;66;67;67;	0;67;71;72;76;	1;60;62;64;65;67;67;69;71;
0;66;67;	0;66;67;	1;67;72;74;76;77;	72;
1;66;67;67;67;72;	1;66;67;	0;72;74;76;77;	0;60;72;
0;67;72;	0;64;67;	0;67;69;71;72;72;	1;60;62;64;65;67;67;
1;67;69;	1;64;65;	1;67;72;74;76;76;76;	0;62;64;65;67;
0;65;67;69;	0;60;60;60;62;62;64;65;	0;74;76;	1;62;64;
1;65;67;	1;60;62;64;66;67;67;	1;74;76;76;	0;60;60;64;
0;62;64;65;67;	0;66;67;	0;72;74;76;	1;60;65;
1;62;67;	1;66;67;	1;72;74;	0;60;60;62;64;65;
0;64;65;67;	0;64;67;	0;67;69;71;72;72;74;	1;60;62;64;65;67;67;69;71;
1;64;69;	1;64;65;	1;67;72;74;76;76;76;	72;
0;62;66;67;69;	0;60;62;62;64;65;	0;74;76;	0;60;72;
1;62;67;	1;60;62;62;64;65;65;	1;74;76;76;	1;60;62;64;65;67;67;
0;66;67;	0;62;64;65;	0;72;74;76;	0;62;64;65;67;
1;66;67;	1;62;64;	1;72;74;	1;62;64;
0;62;67;	0;62;64;	0;72;72;72;74;	0;60;60;64;

1;60;65;	1;69;74;74;	1;72;74;76;	0;74;76;77;79;
0;60;62;64;65;	0;71;72;74;	0;67;69;71;72;74;76;	1;74;77;
1;60;67;	1;71;72;	1;67;72;74;76;77;	0;74;76;77;
0;62;67;	0;67;67;69;71;72;	0;72;72;74;76;77;	1;74;79;
1;62;64;65;65;	1;67;72;72;74;74;76;	1;72;74;76;	0;72;74;76;77;79;
0;62;64;64;65;	0;74;76;	0;67;69;71;72;74;76;	1;72;74;76;
1;62;67;69;71;72;	1;74;76;	1;67;72;74;76;77;	0;72;74;76;
0;60;62;64;72;	0;72;72;76;	0;72;74;76;77;	1;72;74;76;
1;72;74;76;	1;72;77;77;	1;72;76;77;79;	0;67;69;71;72;74;76;
0;67;69;71;72;74;76;	0;74;76;77;	0;74;76;77;79;	1;67;72;74;76;77;
1;67;72;74;76;	1;74;76;	1;74;76;79;79;81;	0;72;72;74;76;77;
0;74;76;	0;74;74;76;	0;74;76;77;79;81;	1;72;74;76;
1;74;76;77;	1;74;76;76;77;77;79;	1;74;76;79;	0;67;69;71;72;74;76;
0;72;72;72;74;76;77;	0;72;74;76;77;79;	0;72;74;76;77;79;	1;67;72;74;76;77;
1;72;74;76;	1;72;76;	1;72;74;76;	0;72;74;76;77;
0;67;69;71;72;74;76;	0;71;72;74;76;	0;72;76;	1;72;76;77;79;
1;67;72;74;76;	1;71;72;	1;72;76;77;79;	0;74;76;77;79;
0;74;76;	0;67;67;69;71;72;	0;74;76;77;79;	1;74;76;79;79;81;
1;74;76;77;	1;67;72;	1;74;76;	0;74;76;77;79;81;
0;72;72;74;76;77;	0;67;69;71;72;	0;72;74;76;	1;74;76;77;79;
1;72;76;77;79;	1;67;74;76;	1;60;67;	0;72;74;76;77;79;
0;74;76;77;79;	0;74;76;	0;60;62;64;67;	1;72;74;76;
1;74;76;79;79;81;	1;74;76;77;	1;60;67;69;71;72;	0;72;76;
0;74;76;77;79;81;	0;74;76;77;	0;67;67;69;72;	1;72;76;77;79;
1;74;76;79;	1;74;76;77;	1;67;69;71;72;	0;74;76;77;79;
0;72;74;76;77;79;	0;72;74;77;	0;69;71;72;	1;74;76;
1;72;74;76;	1;72;74;76;	1;69;72;	0;72;74;76;
0;72;76;	0;67;69;71;72;74;76;	0;64;67;69;71;72;	0;72;72;74;76;77;79;79;
1;72;76;79;	1;67;72;74;76;77;	1;64;69;	0;78;79;
0;72;74;76;77;79;	0;72;72;74;76;77;	0;60;60;62;64;65;67;69;	1;78;79;
1;72;74;	1;72;74;76;	1;60;67;	0;76;79;
0;72;74;	0;67;69;71;72;74;76;	0;60;62;64;67;	1;76;77;
0;76;76;79;79;	1;67;72;74;76;77;	1;60;67;69;71;72;	0;71;72;74;76;77;
0;74;77;79;	0;72;74;76;77;	0;67;67;69;72;	1;71;72;72;72;74;76;77;79;
1;74;76;	1;72;76;77;79;	1;67;69;71;72;	79;79;
0;71;72;72;72;74;76;	0;74;76;77;79;	0;69;71;72;	0;78;79;
1;71;72;74;76;	1;74;76;79;79;81;	1;69;72;	1;78;79;
0;72;74;76;	0;74;76;77;79;81;	0;64;67;69;71;72;	0;76;79;
1;72;76;78;79;	1;74;76;77;79;	1;64;69;	1;76;77;
0;69;71;72;74;76;79;	0;72;74;76;77;79;	0;60;62;64;65;67;69;	0;71;72;74;76;77;
1;69;76;76;77;	1;72;74;76;	1;60;67;	1;71;72;74;74;76;77;77;
0;71;71;72;74;74;76;77;	0;72;76;	0;64;67;	0;74;76;77;
1;71;72;74;76;76;	1;72;76;77;79;	1;64;67;	1;74;76;
0;75;76;	0;74;76;77;79;	0;62;62;64;64;64;67;	0;74;76;
1;75;79;79;	1;74;76;77;	1;62;64;64;	1;74;76;76;76;77;79;81;81;
0;76;78;79;	0;72;74;77;	0;62;64;	0;80;80;81;
1;76;78;78;	0;67;72;	1;62;64;65;	1;80;81;83;84;
0;72;76;78;	1;67;69;71;72;74;76;	0;60;62;64;65;	0;76;84;
1;72;74;76;79;	0;72;76;	1;60;72;	1;76;77;
0;76;77;77;79;	1;72;76;77;79;79;	0;60;62;64;65;67;69;71;72;	0;74;74;76;77;
1;76;79;79;79;	0;76;79;	0;72;72;72;72;74;	1;74;79;81;
0;72;74;77;79;	1;76;77;79;	0;67;69;70;74;	0;72;74;76;77;79;81;
0;67;69;71;72;72;	0;67;72;76;77;79;	1;67;74;76;	0;72;76;
1;67;72;74;76;76;76;	1;67;69;71;72;74;76;	0;69;71;72;74;76;	1;72;74;76;77;79;
0;74;76;	0;72;76;	1;69;71;	0;76;76;77;79;
1;74;76;76;	1;72;76;77;79;79;	0;67;67;69;71;	1;76;77;79;79;
0;72;74;76;	0;76;79;	1;67;72;72;72;74;	0;74;79;
1;72;74;74;	1;76;77;79;	0;67;69;71;74;	1;74;76;
0;67;69;71;72;72;72;74;	0;76;76;77;79;	1;67;74;76;	0;67;71;72;76;
1;67;72;74;76;76;76;	1;76;77;	0;69;71;72;74;76;	1;67;72;74;76;76;
0;74;76;	0;72;74;76;77;	1;69;71;	0;74;74;76;
1;74;76;76;	1;72;74;76;76;	0;67;69;71;	1;74;76;
0;72;74;76;	0;72;74;76;	1;67;79;	0;72;76;
1;72;74;74;	1;72;74;76;76;	0;72;72;74;76;77;79;	1;72;74;76;77;79;
0;72;72;72;74;	0;69;76;	1;72;74;76;	0;76;76;77;79;
1;72;74;76;	1;69;71;72;	0;74;76;	1;76;79;79;
0;74;76;	0;67;67;69;71;72;	1;74;76;77;	0;74;79;
1;74;76;	1;67;72;74;76;	0;73;74;76;77;	1;74;76;
0;72;74;76;	0;74;76;	1;73;74;	0;67;71;72;76;
1;72;74;	1;74;76;77;	0;67;74;	1;67;72;74;76;77;
0;69;71;74;	0;72;74;74;76;77;	1;67;72;74;76;77;79;	0;72;74;74;76;77;

0;60;62;64;67;	0;72;72;72;74;76;77;79;	1;74;76;	0;67;69;71;72;74;76;
1;60;67;67;69;69;	0;72;72;79;	0;74;76;	1;67;72;74;76;77;
0;62;62;69;	0;71;72;74;76;79;	1;74;77;	0;72;72;74;76;77;
1;62;67;	1;71;72;	0;74;76;76;77;	1;72;74;76;
0;60;62;64;65;67;	0;67;69;71;72;	1;74;79;	0;67;69;71;72;74;76;
1;60;67;69;69;	1;67;72;74;76;77;	0;72;74;76;79;	1;67;72;74;76;77;
0;62;64;65;67;69;	0;72;72;72;74;77;	1;72;79;	0;72;74;76;77;
1;62;64;66;67;69;71;	1;72;79;	0;72;74;76;79;	1;72;76;77;79;
0;67;67;67;67;67;69;71;	0;71;72;74;76;79;	0;60;64;67;	0;74;76;77;79;
1;67;72;	1;71;72;	1;60;67;67;69;69;	1;74;76;79;79;81;
0;69;69;69;69;70;72;	0;67;69;71;72;	0;62;62;69;	0;74;76;77;79;81;
1;69;74;	1;67;72;74;76;77;	1;62;67;	1;74;76;77;79;
0;67;71;72;74;	0;72;74;77;	0;60;64;65;67;	0;72;76;77;79;
1;67;69;	1;72;79;	1;60;67;69;69;	1;72;74;76;
0;67;69;	0;72;74;76;77;79;	0;62;64;65;67;69;	0;72;76;
1;67;69;71;72;	1;72;81;	1;62;64;66;67;69;	1;72;76;77;79;
0;60;62;62;64;65;67;67;72;	0;76;81;	0;66;69;	0;74;76;77;79;
0;67;67;69;71;72;	1;76;77;79;79;81;	1;66;67;67;67;67;72;	1;74;76;
1;67;69;71;72;74;	0;67;74;76;77;79;81;	0;69;69;69;69;70;72;	0;72;74;76;
0;69;71;72;74;	1;67;69;71;72;74;76;77;	1;69;74;	0;69;71;72;72;
1;69;71;72;	0;72;74;77;	0;67;71;72;74;	1;69;71;72;74;
0;67;69;72;	1;79;81;	1;67;69;	0;72;72;72;74;
1;67;72;	0;76;77;79;81;	0;67;69;	1;72;74;
0;71;72;	1;76;77;79;	1;67;69;71;72;	0;71;74;
1;71;72;74;74;76;	0;74;79;	0;60;62;62;64;65;67;67;72;	1;71;72;74;
0;72;74;76;	1;74;76;78;79;79;81;	0;72;76;	0;71;71;72;74;
1;72;74;	0;74;79;81;	1;72;74;76;79;	1;71;72;72;74;76;
0;67;74;	1;74;76;77;	0;76;77;77;79;	0;74;74;76;
1;67;69;71;72;74;76;	0;72;72;74;76;77;	1;76;79;	1;74;76;77;
0;72;74;76;	1;72;74;76;77;	0;74;74;76;77;79;	0;74;76;77;
1;72;74;	0;76;77;	1;74;76;76;	1;74;76;
0;72;74;	1;76;77;79;	0;72;76;	0;72;74;76;
0;60;60;67;67;	0;67;67;69;71;72;74;79;	1;72;74;76;79;	0;67;72;72;72;
0;62;64;65;67;	1;67;72;74;76;77;79;	0;76;77;77;79;	1;67;69;71;72;
1;62;64;65;	0;74;76;77;79;	1;76;79;	0;67;69;71;72;
0;60;60;62;64;65;	1;74;76;76;77;79;81;	0;74;74;76;77;79;	1;67;72;
1;60;62;64;65;	0;74;79;81;	1;74;76;	0;67;69;71;72;
0;62;65;	1;74;76;78;79;79;81;	0;74;74;74;76;	1;67;69;
1;62;67;69;	0;74;79;81;	1;74;76;	0;60;62;64;65;67;69;
0;66;69;	1;74;76;77;	0;72;74;76;	1;60;72;72;72;
1;66;67;	0;72;72;74;76;77;	1;72;74;	0;67;72;
0;64;64;67;	1;72;74;76;77;	0;71;71;74;	1;67;69;71;72;
1;64;65;67;	0;76;77;	1;71;72;74;76;	0;67;69;71;72;
0;60;62;64;65;67;	1;76;77;79;	0;74;76;	1;67;72;
1;60;62;64;	0;67;67;69;71;72;74;79;	1;74;76;77;	0;67;69;71;72;
0;62;64;	1;67;72;74;76;77;79;	0;72;74;76;77;	1;67;69;
1;62;64;	0;69;74;76;77;79;	1;67;72;74;76;77;79;	0;60;60;62;64;65;67;69;
0;60;62;64;	1;69;71;72;74;76;	0;76;77;79;	1;60;67;69;
1;60;62;64;65;	0;67;69;71;72;74;76;	1;76;81;	0;66;67;69;
0;62;64;65;	1;67;74;76;	0;76;77;79;81;	1;66;67;
1;62;64;65;	0;72;74;76;	1;76;77;	0;60;67;
0;60;62;64;65;	1;72;74;76;78;78;79;	0;67;72;74;77;	1;60;67;69;71;72;
1;60;67;	0;74;74;79;	1;67;72;74;76;77;79;	0;71;72;
0;62;64;65;67;	1;74;77;	0;76;77;79;	1;71;72;
1;62;64;65;	0;74;76;77;	1;76;81;	0;67;69;71;72;
0;60;62;65;	1;74;76;78;79;79;	0;76;77;79;81;	1;67;69;69;
1;76;77;79;79;	0;78;79;	1;76;77;	0;67;69;
0;74;74;76;77;79;	1;78;79;	0;72;74;77;	1;67;69;
1;74;76;77;79;	0;72;79;	1;72;79;81;81;	0;64;65;67;69;
0;72;72;74;76;77;79;	1;72;74;76;78;78;79;	0;74;74;81;	1;64;72;
1;72;76;77;79;79;	0;74;74;79;	1;74;79;79;	0;67;69;71;72;
0;74;74;76;77;79;	1;74;77;	0;72;79;	1;67;69;
1;74;76;77;79;	0;74;76;77;	1;72;76;	0;60;62;64;65;67;69;
0;72;72;74;76;77;79;	1;74;76;78;79;79;	0;71;72;74;76;	0;67;67;67;67;70;
1;72;74;76;77;77;	0;78;79;	1;71;72;	0;65;67;69;70;
0;74;76;76;77;	1;78;79;	0;67;69;72;	1;65;67;
1;74;77;79;81;81;	0;74;74;74;79;	1;67;79;	0;60;64;67;
0;76;77;79;79;81;	1;74;76;	0;74;76;77;79;	1;60;62;64;66;67;69;
1;76;77;79;79;	0;74;76;	1;74;76;	0;67;67;67;67;69;
0;74;74;76;77;79;	1;74;77;	0;72;74;76;	1;67;70;
1;74;76;77;79;	0;74;74;74;76;76;77;	1;72;74;76;	0;65;67;69;70;

1;65;67;
 0;60;64;67;
 1;60;62;64;66;67;69;
 0;67;67;69;
 1;67;72;
 0;69;71;72;
 1;69;71;72;
 0;67;67;69;71;72;
 1;67;72;
 0;67;72;
 1;67;69;
 0;64;69;
 1;64;65;67;
 0;62;64;64;65;67;
 1;62;65;
 0;57;62;64;65;
 1;57;59;60;
 0;72;72;72;74;
 0;72;74;
 1;72;77;79;
 0;76;77;79;
 1;76;77;79;81;
 0;72;72;74;76;77;79;81;
 1;72;77;
 0;76;77;
 1;76;77;79;
 0;67;67;69;71;72;74;79;
 1;67;74;74;74;76;77;
 0;72;74;76;77;
 1;72;74;76;
 0;72;72;72;72;74;76;
 0;67;72;
 1;67;69;71;72;74;76;
 0;72;76;
 1;72;76;77;79;79;
 0;76;79;
 1;76;77;79;
 0;76;76;77;79;
 1;76;77;
 0;72;74;76;77;
 1;72;74;76;76;
 0;72;74;76;
 1;72;76;79;79;
 0;76;79;
 1;76;79;
 0;76;76;77;79;
 1;76;77;
 0;72;74;76;77;
 1;72;74;76;76;
 0;72;76;
 1;72;74;76;76;
 0;69;76;
 1;69;71;72;
 0;67;67;69;71;72;
 1;67;74;74;76;
 0;74;76;
 1;74;76;77;
 0;72;74;76;77;
 0;60;60;62;64;
 0;57;59;60;62;64;
 1;57;64;65;
 0;62;65;
 1;62;64;
 0;60;60;60;62;64;
 1;60;62;64;
 0;57;59;60;62;64;
 1;57;64;65;
 0;62;65;
 1;62;64;
 0;60;60;62;64;
 1;60;62;64;64;65;65;67;

0;62;67;
 1;62;67;
 0;57;59;60;62;64;64;67;
 1;57;64;65;
 0;62;65;
 1;62;64;
 0;60;62;64;
 0;72;76;
 1;72;74;76;77;79;
 0;76;76;77;79;
 1;76;77;79;79;
 0;74;79;
 1;74;76;
 0;67;71;72;74;76;
 1;67;72;74;76;77;79;
 0;74;76;77;79;
 1;74;76;
 0;72;76;
 1;72;74;76;77;79;
 0;76;76;77;79;
 1;76;77;79;79;
 0;74;79;
 1;74;76;
 0;67;71;72;76;
 1;67;72;74;76;77;
 0;72;74;76;77;
 1;67;72;74;76;77;79;
 0;76;77;79;
 1;76;81;
 0;74;76;77;79;81;
 1;74;76;
 0;67;72;74;76;
 1;67;72;74;76;77;79;
 0;76;77;79;
 1;76;81;
 0;74;76;77;79;81;
 1;74;76;
 0;67;72;74;76;
 1;67;72;74;76;77;79;
 0;76;77;79;
 1;76;81;
 0;74;76;77;79;81;
 1;74;76;
 0;72;74;76;
 1;72;76;
 0;69;71;72;74;76;
 1;69;71;
 0;67;69;71;
 1;67;79;
 0;74;76;77;79;
 1;74;76;77;
 0;72;74;77

Πίνακας «rhythm» (40 ρυθμικές γραμμές)

1. 48;64;80;96;112;128;144;160;176;192;208;224;240;256;272;288;304;320;336;352;368;384;416;432;448;464;480;496;512;528;544;560;576;592;608;624;640;656;672;688;704;720;736;752;768;800;832;864;896;928;960;976;992;1008;1024;1040;1056;1072;1088;1104;1120;1152;1184;1200;1216;1232;1248;1264;1280;1312
2. 64;80;96;104;112;128;136;144;160;176;192;208;224;240;248;256;264;272;288;304;320;336;352;360;368;384;400;416;432;448;464;480;496;512;528;544
3. 24;32;48;64;80;96;120;124;128;144;176;184;192;208;216;224;232;240;272;288;336;344;352;368;384;400;416;440;444;448;464;496;504;512;528;536;544;552;560;592;608;656;664;672;688;704;728;736;784;792;800;816;832;848;864;880;888;896;920;928;944;960;976;1008;1024;1072;1080;1088;1104;1112;1120;1144;1152;1168;1176;1184;1200;1232;1248
4. 64;80;96;104;112;128;144;160;176;184;192;200;208;216;224;240;256;272;288;304;320;336;352;360;368;384;400;416;432;440;448;456;464;472;480;496;512;528;544;560;576;592;608;624;640;648;656;672;688;704;720;736;752;760;768;784;800;816;832;840;848;864;880;896;912;928
5. 16;32;48;72;80;96;128;144;176;192;224;240;288;336;384;400;416;432;456;464;480;512;528;560;576;608;624;672;720;768;784;800;816;848;864;888;896;912;960;976;992;1008;1032;1040;1056;1088;1104;1136;1152;1168;1200;1232;1248;1264;1280;1296;1320;1328;1344;1352;1360;1384;1392
6. 64;80;96;112;128;152;160;176;192;208;224;240;256;288;304;320;336;352;368;384;408;416;432;448;464;480;496;512;544;560;576;592;608;624;640;656;672;688;704;720;736;752;768;800;816;832;848;864;880;896;928
7. 64;80;96;104;112;128;160;176;184;192;208;224;240;256;288;304;320;336;352;368;376;384;432;448;464;480;488;496;512;544;560;568;576;592;608;624;640;672;688;704;720;736;752;768;784;800
8. 48;80;96;128;144;160;192;224;240;256;272;288;320;336;352;384;416;432;464;480;512;528;544;576;608;624;640;656;672;704;720;736;768;800;816;832;848;864;896;912;928;960;992;1008;1024;1040;1056;1072;1104;1136;1152;1184;1200;1232;1248;1272;1280;1296;1328;1344;1376;1392;1408;1424;1440;1472;1488;1520;1536;1568;1584;1632;1664;1680;1696;1712;1728;1744;1776;1808;1824;1856;1872;1904;1920;1936;1968;2000;2016;2048;2064;2080;2088;2096;2104;2112;2128;2160
9. 32;48;80;96;128;144;192;240;272;288;320;336;352;384;432;464;480;512;528;560;576;624;672;704;720;752;768;784;816;864;896;912;944;960;976;1008;1056;1072;1104;1136;1152;1168;1200;1248;1280;1296;1328;1344;1360;1392;1440;1488;1520;1536;1568;1584;1616;1632;1680
10. 56;64;80;96;112;128;144;160;176;184;192;208;224;240;256;272;288;304;320;336;352;368;384;416;432;440;448;464;480;496;512;528;544;560;568;576;592;608;624;640;656;672;688;704;720;736;752;768;800;816;832;848;864;880;896;912;928;944;960;976;992;1008;1024;1056
11. 16;32;48;64;80;96;112;128;144;160;176;184;188;192;208;220;224;256;272;288;304;320;336;352;368;384;400;416;432;440;444;448;464;476;480;512;528;544;560;576;592;608;640;656;672;688;704;720;736;768;784;800;816;824;832;848;864;896;928;944;960;976;992;1008;1024;1056
12. 56;64;88;96;112;128;160;208;216;224;232;240;248;256;272;288;320;336;352;368;384;400;416;448;464;472;480;528;544;568;576;640;656;672;688;704;728;736;768;784;800;816;832;856;864;896;928;944;976;992;1024;1040;1088;1120;1136;1184;1200;1232
13. 48;80;96;128;144;160;192;224;240;248;256;288;320;336;344;352;384;416;432;464;480;512;528;544;576;608;624;632;640;672;704;720;728;736;768;800;816;832;848;864;896;904;912;920;928;960;992;1008;1024;1040;1056;1064;1072;1104;1136;1152;1184;1200;1232;1248;1264;1280;1296;1328;1344;1376;1392;1400;1408;1440;1472;1488;1520;1536;1568;1584;1608;1616;1624;1632;1664;1680;1696;1712;1728;1736;1744;1776;1808;1824;1856;1872;1904;1920;1936;1968;2000;2016;2032;2048;2064;2072;2080;2112

14. 16;32;48;64;80;96;128;160;176;192;208;224;240;256;320;336;352;368;384;400;416;448;480;496;512;
;528;544;560;576;640;656;672;688;704;720;736;768;784;800;816;832;848;864;896;904;912;928;944;
952;960;976;992;1024;1056;1064;1072;1088;1104;1120;1136;1148;1152;1184
15. 64;80;96;112;128;144;160;176;184;192;208;224;232;240;256;288;304;320;336;352;368;384;400;416;
432;440;448;464;480;488;496;512;544;560;576;592;608;624;632;640;656;664;672;688;704;720;736;
752;768;776;784;800;816;832;848;864;880;888;896;912;920;928;960
16. 16;32;48;64;80;96;112;128;144;160;176;192;208;224;256;272;288;304;320;336;352;368;384;400;416
;432;448;464;480;512;528;544;560;576;592;608;640;656;672;688;704;720;736;768;784;800;816;824;
832;848;864;896;928;936;944;960;976;992;1008;1024;1056
17. 64;80;88;96;112;128;140;142;144;160;176;192;208;224;240;256;264;272;280;288;304;320;336;352;3
68;384;416;432;448;464;472;480;496;512;524;526;528;544;560;576;592;608;624;640;648;656;664;6
72;688;704;720;736;752;768;800;832;864;896;928;960;976;992;1008;1024;1040;1056;1072;1088;11
04;1120;1152;1184;1200;1216;1232;1248;1264;1280;1312
18. 64;80;96;112;128;144;160;176;192;208;224;240;248;256;272;288;304;320;336;352;368;384;400;416;
432;448;464;480;496;504;512;528;544;560;576;592;608;624;640;648;656;672;688;704;720;736;752;
768;816;832;848;864;880;896;912;920;928;944;960;976;992;1016;1024;1032;1040;1048;1056;1072;
1088
19. 16;32;48;64;80;96;112;128;144;160;176;192;208;224;256;272;288;304;320;336;352;368;384;400;416
;432;448;464;480;512;528;544;560;576;592;608;640;656;672;688;704;720;736;768;776;784;800;816;
824;832;848;864;896;928;936;944;960;976;992;1008;1024;1056
20. 16;32;48;72;80;96;112;128;144;176;192;224;240;288;304;336;384;400;416;432;456;464;480;496;512
;528;560;576;608;624;672;688;720;768;784;800;816;848;864;888;896;912;960;976;992;1008;1032;1
040;1056;1072;1088;1104;1136;1152;1184;1200;1232;1248;1264;1280;1296;1320;1328;1344;1360;1
392
21. 64;80;96;104;112;128;160;176;184;192;208;224;240;256;288;304;320;336;352;368;376;384;432;448;
464;480;488;496;512;544;560;576;592;608;624;640;672;688;704;720;736;752;768;776;784;800
22. 64;80;88;96;112;128;176;192;208;224;240;256;272;288;304;320;336;352;368;384;432;448;464;480;4
96;512;528;536;544;560;576;592;608;624;640;688;704;720;736;752;768;816;832;848;864;880;896;9
44;960;976;984;992;1008;1024
23. 64;80;96;112;128;144;160;176;192;208;224;240;248;256;288;304;320;336;352;368;384;392;400;416;
432;448;464;480;488;496;512;528;544;576
24. 64;80;96;112;120;128;144;160;168;176;192;240;256;272;288;304;320;328;336;352;400;416;424;432;
448;464;472;480;488;496;512;560;568;576;592;600;608;656;672;688;704;752;768;784;800;816;824;
832;848;856;864;896
25. 16;32;48;64;80;96;112;128;144;160;176;184;192;216;224;256;272;288;304;320;336;352;368;384;400
;416;432;440;448;472;480;512;528;544;560;576;592;608;640;656;672;688;704;720;736;768;784;800;
816;832;848;864;880;896;912;928;944;952;960;984;992;1008
26. 16;32;48;72;80;96;112;120;128;136;144;160;176;184;192;224;240;256;272;288;312;320;336;352;360
;368;376;384;400;416;424;432;464;480;496;504;512;520;528;576;592;608;624;640;648;656;664;672;
720;736;752;768;784;800;808;816;848
27. 64;80;88;96;104;112;128;160;176;192;240;256;272;288;296;304;320;336;352;400;416;424;432;448;4
56;464;496;512;528;544;576;624;640;656;672;680;688;720;736;752;768;816;824;832;848;864;880;8
96;912;928;976;992;1008;1024;1032;1040;1056;1072;1088;1136;1152;1160;1168;1184;1192;1200;1
232;1248;1264;1280;1312;1360;1376;1392;1408;1416;1424;1456;1472;1488;1504;1520;1536;1584;1
600;1608;1616;1624;1632;1664;1712;1728;1760;1792
28. 32;48;64;112;128;144;160;176;192;240;256;264;272;288;304;320;352;384;400;416;464;480;496;512;
528;544;592;608;616;624;640;656;672;720;736;752;768;784;800;816;832;864;912;928;944;960;976;
992;1008;1024;1056;1104;1120;1136;1152;1200;1216;1232;1248
29. 64;80;96;112;128;176;192;208;224;240;256;272;304;320;336;352;368;384;432;448;464;480;504;512;
544;560;576;592;608;624;640;688;704;720;736;752;768;816;832;848;864;880;896;944;960;976;984;
992;1008;1024
30. 64;80;96;112;128;144;160;176;192;208;224;240;256;304;320;336;352;368;384;400;416;432;448;464;
480;496;512;560;576;592;608;624;640;656;672;688;704;720;736;752;760;768;784;800;832

31. 64;80;96;112;128;152;160;176;192;208;224;240;256;288;304;320;336;352;368;384;408;416;432;448;464;480;496;512;544;560;576;592;608;624;640;656;672;688;704;720;736;752;768;800;816;832;848;864;880;896;928
32. 32;48;80;96;112;128;144;192;224;240;272;288;304;336;384;416;432;464;480;496;512;528;576;608;624;656;672;688;720;768;800;816;848;864;880;912;960;992;1008;1040;1056;1072;1104;1152;1168;1184;1200;1232;1248;1280;1296;1344;1392;1408;1424;1440;1472;1488;1504;1536;1584
33. 48;80;96;112;128;144;192;224;240;272;288;304;320;336;384;416;432;464;480;512;528;576;608;624;656;672;704;720;768
34. 64;80;96;104;112;128;136;144;160;176;192;208;224;240;248;256;264;272;288;304;320;336;352;360;368;384;392;400;416;432;448;464;480;496;504;512;520;528;544;560;576;592;608;624;640;672;688;704;720;736;752;768;784;800;832;848;864;880;896;904;912;928;944;960;976;992;1008;1016;1024;1032;1040;1056
35. 64;80;96;112;128;144;160;176;192;208;216;224;240;256;272;288;304;320;336;352;368;384;400;416;432;448;464;472;480;496;512;528;544;560;576;592;608;624;640;648;656;672;688;704;720;736;752;760;768;784;800;816;832;848;864;880;896;912;928
36. 64;80;96;112;128;144;160;192;200;208;224;240;248;256;272;288;304;320;336;344;352;368;384;392;400;416;432;448;464;480;496;512;520;528;544;552;560;576;608;624;640;672
37. 64;80;96;112;128;144;160;176;184;192;208;224;232;240;256;288;304;320;336;352;368;376;384;400;408;416;432;448;464;480;496;512;544;560;576;592;608;624;632;640;656;672;688;704;720;736;752;768;776;784;800;816;832;856;864;880;888;896;912;928;960
38. 64;72;80;96;112;128;160;176;192;208;224;240;256;304;320;328;336;352;368;384;416;432;448;464;480;496;512;560;568;576;592;608;624;640;672;688;704;720;736;752;768;800;816;832;848;864;880;896
39. 64;80;96;104;112;128;160;176;184;192;208;224;240;248;256;288;304;320;336;352;360;364;368;376;384;432;448;464;480;488;496;512;544;560;568;576;592;608;624;640;672;688;704;720;736;752;768;784;800
40. 64;80;96;112;128;152;160;176;192;208;224;232;240;256;288;304;320;336;352;368;384;408;416;432;448;464;480;488;496;512;544;560;576;592;608;624;640;656;672;688;704;720;736;744;752;768;800;816;832;848;864;880;888;896;928

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΜΕΛΩΔΙΚΩΝ ΜΟΤΙΒΩΝ

ΣΥΝΟΛΟ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ	Id
1;60;62;64;64;65;67;67;69;71;72;	1;60;62;64;65;67;67;69;71;72;	249
0;60;72;	0;60;60;64;	262
1;60;62;64;64;65;67;67;	1;60;62;62;64;65;65;	129
0;59;62;64;65;67;	0;62;64;65;67;	252
1;59;60;60;65;	1;59;60;	89
0;60;60;62;64;65;	0;62;62;64;65;	138
1;60;62;64;64;65;67;67;69;	1;60;62;64;65;67;67;	259
0;67;69;	0;66;67;69;	807
1;67;71;72;	1;67;69;71;72;	792
0;60;72;	0;60;60;64;	262
1;60;62;64;65;67;67;	1;60;62;62;64;65;65;	129
0;62;64;65;67;	0;60;62;64;65;67;	95
1;62;64;	1;62;65;	844
0;60;62;64;	0;62;64;	22
1;60;62;65;	1;60;62;64;65;	594
0;60;62;64;65;	0;62;62;64;65;	138
1;60;67;	1;64;67;	19
0;62;67;	0;62;62;64;64;64;67;	20
1;62;64;65;65;	1;62;65;	844
0;60;62;64;65;	0;62;62;64;65;	138
1;60;62;67;69;71;72;	1;60;67;69;71;72;	437
0;60;72;	0;60;60;64;	262
1;60;62;	1;60;62;64;	590
0;59;62;	0;59;60;	90
1;59;60;	1;60;67;	1
0;72;72;74;76;76;77;79;79;79;	0;72;72;74;76;77;79;81;	852

0;78;79;	0;76;78;79;	308
1;78;79;	1;76;79;	722
0;76;77;79;	0;74;76;77;79;	492
1;76;77;	1;76;79;79;	540
0;71;72;74;76;77;	0;72;74;76;77;	877
1;71;72;72;72;74;76;76;77;79;79;79;	1;67;72;74;76;77;79;	141
0;78;79;	0;76;78;79;	308
1;78;79;	1;76;79;	722
0;76;79;	0;76;76;77;79;	179
1;76;77;	1;76;79;79;	540
0;71;72;74;76;77;	0;72;74;76;77;	877
1;71;72;74;	1;71;72;74;76;76;	305
0;72;74;	0;71;72;74;	335
1;72;74;76;77;77;	1;72;74;76;	364
0;74;76;77;	0;72;74;76;77;	490
1;74;76;	1;74;76;77;79;	604
0;74;76;	0;72;74;76;	757
1;74;76;76;76;77;77;79;81;81;	1;74;79;81;	525
0;80;80;81;	0;74;74;81;	747
1;80;81;83;84;	1;76;81;	143
0;76;84;	0;76;79;	865
1;76;77;	1;76;79;79;	540
0;74;76;77;	0;72;74;76;77;	490
1;74;76;77;79;81;	1;74;79;81;	525
0;72;74;76;77;79;81;	0;74;76;77;79;81;	930
0;72;76;	0;72;74;76;	228
1;72;74;76;77;79;	1;72;76;77;79;	237
0;76;77;77;79;	0;74;76;77;79;	492

1;76;77;79;	1;76;79;79;	540
0;74;76;77;79;	0;72;74;76;77;79;	496
1;74;76;76;	1;74;76;77;79;	604
0;72;76;	0;72;74;76;	228
1;72;74;76;79;	1;72;74;76;78;78;79;	668
0;76;77;77;79;	0;74;76;77;79;	492
1;76;79;	1;76;81;	149
0;74;76;77;79;	0;72;74;76;77;79;	496
1;74;76;	1;74;76;77;79;	604
0;72;76;	0;72;74;76;	228
1;72;74;74;74;76;	1;72;74;	728
0;72;74;76;	0;74;76;	518
1;72;74;	1;72;74;76;	859
0;71;71;72;74;	0;69;71;72;74;	565
1;71;72;74;76;	1;67;72;74;76;76;76;	193
0;74;76;	0;72;74;76;	757
1;74;76;77;	1;74;76;77;79;	604
0;72;74;76;77;	0;74;76;76;77;	611
1;67;72;74;76;77;79;79;	1;71;72;72;72;74;76;77;79;79;79;	509
0;76;77;79;	0;74;76;77;79;	492
1;76;81;	1;76;79;	722
0;74;76;77;79;81;	0;72;72;74;76;77;79;81;	852
1;74;76;	1;74;76;77;79;	604
0;71;72;74;76;	0;72;74;76;	396
1;71;72;74;76;77;79;79;	1;67;72;74;76;77;79;	141
0;76;77;79;	0;74;76;77;79;	492
1;76;81;	1;76;79;	722
0;74;76;77;79;81;	0;72;72;74;76;77;79;81;	852

1;74;76;	1;74;76;77;79;	604
0;71;74;76;	0;74;76;	470
1;71;72;79;81;81;	1;71;72;	350
0;74;74;81;	0;74;79;81;	643
1;74;79;	1;76;79;79;	540
0;72;74;76;79;	0;72;74;76;77;79;	373
1;72;76;	1;72;74;76;	289
0;69;71;72;74;76;	0;71;72;72;72;74;76;	298
1;69;71;	1;69;71;72;74;	30
0;67;69;71;	0;67;69;72;	753
1;67;79;	1;76;79;	874
0;74;76;77;79;	0;72;74;76;77;79;	496
1;74;76;	1;74;76;77;79;	604
0;72;76;	0;72;74;76;	228
1;72;74;	1;72;74;76;	859
0;71;74;	0;71;71;72;74;	784
1;71;72	1;71;72;74;76;76;	305

Πίνακας με βάση την ομοιότητα (similarity no duplicates)

id 1	3	id 43	4	id 85	4	id 127	4	id 169	3
id 2	2	id 44	3	id 86	3	id 128	1	id 170	4
id 3	3	id 45	4	id 87	4	id 129	2	id 171	3
id 4	3	id 46	4	id 88	6	id 130	3	id 172	4
id 5	5	id 47	4	id 89	4	id 131	4	id 173	3
id 6	5	id 48	3	id 90	3	id 132	3	id 174	6
id 7	4	id 49	4	id 91	4	id 133	6	id 175	3
id 8	3	id 50	4	id 92	3	id 134	3	id 176	4
id 9	3	id 51	4	id 93	4	id 135	5	id 177	3
id 10	2	id 52	3	id 94	4	id 136	3	id 178	6
id 11	3	id 53	4	id 95	2	id 137	4	id 179	3
id 12	3	id 54	3	id 96	4	id 138	3	id 180	4
id 13	5	id 55	4	id 97	3	id 139	4	id 181	3
id 14	5	id 56	3	id 98	4	id 140	3	id 182	4
id 15	4	id 57	4	id 99	4	id 141	7	id 183	4
id 16	3	id 58	4	id 100	4	id 142	3	id 184	6
id 17	3	id 59	4	id 101	2	id 143	4	id 185	4
id 18	3	id 60	3	id 102	4	id 144	4	id 186	4
id 19	4	id 61	4	id 103	3	id 145	4	id 187	5
id 20	3	id 62	4	id 104	4	id 146	4	id 188	3
id 21	4	id 63	4	id 105	3	id 147	7	id 189	4
id 22	3	id 64	3	id 106	4	id 148	3	id 190	3
id 23	4	id 65	4	id 107	4	id 149	4	id 191	4
id 24	1	id 66	3	id 108	4	id 150	4	id 192	5
id 25	3	id 67	4	id 109	3	id 151	4	id 193	5
id 26	5	id 68	3	id 110	4	id 152	3	id 194	3
id 27	3	id 69	4	id 111	3	id 153	4	id 195	4
id 28	5	id 70	3	id 112	4	id 154	3	id 196	3
id 29	4	id 71	4	id 113	4	id 155	4	id 197	4
id 30	5	id 72	3	id 114	4	id 156	3	id 198	3
id 31	3	id 73	4	id 115	2	id 157	4	id 199	4
id 32	5	id 74	3	id 116	4	id 158	4	id 200	3
id 33	3	id 75	4	id 117	2	id 159	4	id 201	4
id 34	4	id 76	3	id 118	3	id 160	3	id 202	4
id 35	3	id 77	4	id 119	4	id 161	4	id 203	4
id 36	5	id 78	3	id 120	3	id 162	4	id 204	3
id 37	4	id 79	4	id 121	4	id 163	4	id 205	4
id 38	4	id 80	3	id 122	1	id 164	3	id 206	3
id 39	4	id 81	4	id 123	3	id 165	3	id 207	5
id 40	4	id 82	3	id 124	3	id 166	6	id 208	3
id 41	3	id 83	4	id 125	4	id 167	3	id 209	4
id 42	3	id 84	3	id 126	3	id 168	4	id 210	3

Ευφρές, Σύστημα, Αυτόματης, Σύνθεσης, Μουσικού, Έργου,

id 211	4	id 257	6	id 303	4	id 349	4	id 395	4
id 212	3	id 258	2	id 304	5	id 350	4	id 396	3
id 213	4	id 259	3	id 305	5	id 351	4	id 397	4
id 214	3	id 260	4	id 306	3	id 352	4	id 398	3
id 215	5	id 261	4	id 307	4	id 353	4	id 399	4
id 216	3	id 262	2	id 308	3	id 354	4	id 400	4
id 217	4	id 263	3	id 309	4	id 355	3	id 401	5
id 218	4	id 264	1	id 310	3	id 356	4	id 402	3
id 219	4	id 265	3	id 311	5	id 357	3	id 403	4
id 220	3	id 266	3	id 312	3	id 358	4	id 404	4
id 221	4	id 267	4	id 313	4	id 359	3	id 405	4
id 222	4	id 268	3	id 314	4	id 360	4	id 406	6
id 223	4	id 269	6	id 315	4	id 361	6	id 407	6
id 224	3	id 270	1	id 316	5	id 362	6	id 408	4
id 225	4	id 271	4	id 317	3	id 363	4	id 409	4
id 226	5	id 272	6	id 318	4	id 364	4	id 410	6
id 227	5	id 273	5	id 319	3	id 365	6	id 411	6
id 228	3	id 274	3	id 320	4	id 366	6	id 412	4
id 229	4	id 275	4	id 321	5	id 367	4	id 413	5
id 230	6	id 276	4	id 322	5	id 368	5	id 414	4
id 231	6	id 277	4	id 323	3	id 369	4	id 415	5
id 232	4	id 278	6	id 324	4	id 370	5	id 416	5
id 233	4	id 279	5	id 325	3	id 371	5	id 417	4
id 234	6	id 280	3	id 326	4	id 372	5	id 418	5
id 235	6	id 281	4	id 327	3	id 373	5	id 419	4
id 236	4	id 282	4	id 328	4	id 374	4	id 420	3
id 237	5	id 283	5	id 329	3	id 375	3	id 421	5
id 238	4	id 284	4	id 330	4	id 376	5	id 422	4
id 239	5	id 285	5	id 331	3	id 377	4	id 423	4
id 240	5	id 286	5	id 332	4	id 378	4	id 424	3
id 241	4	id 287	4	id 333	3	id 379	3	id 425	3
id 242	4	id 288	5	id 334	4	id 380	3	id 426	1
id 243	4	id 289	4	id 335	3	id 381	7	id 427	5
id 244	3	id 290	3	id 336	4	id 382	3	id 428	3
id 245	4	id 291	4	id 337	4	id 383	5	id 429	5
id 246	4	id 292	5	id 338	5	id 384	3	id 430	3
id 247	4	id 293	4	id 339	3	id 385	4	id 431	4
id 248	3	id 294	3	id 340	4	id 386	5	id 432	5
id 249	6	id 295	3	id 341	3	id 387	7	id 433	4
id 250	2	id 296	3	id 342	4	id 388	3	id 434	3
id 251	3	id 297	4	id 343	3	id 389	5	id 435	3
id 252	4	id 298	4	id 344	4	id 390	3	id 436	1
id 253	4	id 299	5	id 345	3	id 391	4	id 437	5
id 254	2	id 300	3	id 346	5	id 392	3	id 438	3
id 255	3	id 301	5	id 347	5	id 393	4	id 439	5
id 256	1	id 302	6	id 348	4	id 394	4	id 440	3

Ευφρές, Σύστημα, Αυτόματης, Σύνθεσης, Μουσικού, Έργου,

id 441	4	id 487	4	id 533	4	id 579	4	id 625	5
id 442	5	id 488	6	id 534	5	id 580	4	id 626	4
id 443	4	id 489	6	id 535	3	id 581	1	id 627	4
id 444	3	id 490	4	id 536	4	id 582	2	id 628	6
id 445	3	id 491	5	id 537	3	id 583	3	id 629	3
id 446	3	id 492	4	id 538	6	id 584	4	id 630	4
id 447	4	id 493	5	id 539	3	id 585	3	id 631	5
id 448	3	id 494	5	id 540	4	id 586	4	id 632	4
id 449	4	id 495	5	id 541	3	id 587	3	id 633	3
id 450	3	id 496	5	id 542	4	id 588	4	id 634	5
id 451	4	id 497	4	id 543	4	id 589	2	id 635	6
id 452	1	id 498	3	id 544	6	id 590	1	id 636	8
id 453	3	id 499	5	id 545	4	id 591	3	id 637	3
id 454	5	id 500	4	id 546	1	id 592	4	id 638	4
id 455	3	id 501	4	id 547	3	id 593	0	id 639	4
id 456	4	id 502	3	id 548	3	id 594	2	id 640	4
id 457	4	id 503	5	id 549	4	id 595	3	id 641	3
id 458	5	id 504	3	id 550	2	id 596	4	id 642	6
id 459	4	id 505	4	id 551	3	id 597	1	id 643	3
id 460	3	id 506	3	id 552	5	id 598	3	id 644	4
id 461	4	id 507	4	id 553	7	id 599	4	id 645	4
id 462	4	id 508	5	id 554	3	id 600	4	id 646	5
id 463	4	id 509	7	id 555	4	id 601	1	id 647	3
id 464	5	id 510	3	id 556	3	id 602	4	id 648	4
id 465	4	id 511	4	id 557	4	id 603	4	id 649	6
id 466	3	id 512	3	id 558	4	id 604	5	id 650	7
id 467	4	id 513	4	id 559	4	id 605	5	id 651	4
id 468	5	id 514	5	id 560	3	id 606	5	id 652	6
id 469	4	id 515	6	id 561	5	id 607	4	id 653	3
id 470	3	id 516	3	id 562	3	id 608	5	id 654	6
id 471	4	id 517	4	id 563	4	id 609	5	id 655	3
id 472	4	id 518	3	id 564	6	id 610	5	id 656	4
id 473	4	id 519	6	id 565	4	id 611	3	id 657	4
id 474	3	id 520	3	id 566	4	id 612	5	id 658	5
id 475	7	id 521	5	id 567	3	id 613	4	id 659	3
id 476	4	id 522	3	id 568	4	id 614	4	id 660	4
id 477	4	id 523	4	id 569	3	id 615	4	id 661	6
id 478	3	id 524	3	id 570	5	id 616	5	id 662	7
id 479	4	id 525	4	id 571	3	id 617	5	id 663	5
id 480	5	id 526	6	id 572	4	id 618	3	id 664	6
id 481	4	id 527	3	id 573	3	id 619	5	id 665	6
id 482	3	id 528	6	id 574	7	id 620	4	id 666	4
id 483	4	id 529	3	id 575	3	id 621	4	id 667	3
id 484	6	id 530	4	id 576	4	id 622	6	id 668	6
id 485	6	id 531	3	id 577	3	id 623	3	id 669	3
id 486	4	id 532	4	id 578	2	id 624	4	id 670	4

Ευφρές, Σύστημα, Αυτόματης, Σύνθεσης, Μουσικού, Έργου,

id 671	3	id 717	4	id 763	6	id 809	2	id 855	4
id 672	5	id 718	4	id 764	6	id 810	5	id 856	6
id 673	3	id 719	3	id 765	4	id 811	3	id 857	5
id 674	4	id 720	5	id 766	5	id 812	4	id 858	4
id 675	3	id 721	3	id 767	4	id 813	4	id 859	4
id 676	6	id 722	4	id 768	5	id 814	4	id 860	3
id 677	3	id 723	4	id 769	5	id 815	3	id 861	3
id 678	4	id 724	4	id 770	5	id 816	4	id 862	7
id 679	3	id 725	3	id 771	4	id 817	4	id 863	3
id 680	5	id 726	4	id 772	4	id 818	4	id 864	5
id 681	3	id 727	3	id 773	3	id 819	4	id 865	3
id 682	4	id 728	4	id 774	5	id 820	4	id 866	4
id 683	3	id 729	3	id 775	4	id 821	3	id 867	3
id 684	4	id 730	5	id 776	4	id 822	3	id 868	4
id 685	3	id 731	3	id 777	3	id 823	4	id 869	4
id 686	4	id 732	4	id 778	3	id 824	4	id 870	4
id 687	3	id 733	4	id 779	5	id 825	2	id 871	3
id 688	4	id 734	7	id 780	3	id 826	4	id 872	4
id 689	3	id 735	3	id 781	4	id 827	3	id 873	3
id 690	4	id 736	4	id 782	3	id 828	4	id 874	4
id 691	3	id 737	4	id 783	4	id 829	4	id 875	3
id 692	4	id 738	4	id 784	3	id 830	4	id 876	4
id 693	4	id 739	4	id 785	5	id 831	2	id 877	4
id 694	4	id 740	7	id 786	3	id 832	4	id 878	4
id 695	4	id 741	3	id 787	4	id 833	3	id 879	3
id 696	2	id 742	4	id 788	3	id 834	4	id 880	4
id 697	3	id 743	4	id 789	4	id 835	3	id 881	3
id 698	3	id 744	4	id 790	3	id 836	4	id 882	4
id 699	4	id 745	3	id 791	3	id 837	4	id 883	4
id 700	3	id 746	4	id 792	5	id 838	4	id 884	4
id 701	3	id 747	3	id 793	4	id 839	3	id 885	3
id 702	5	id 748	4	id 794	4	id 840	4	id 886	4
id 703	6	id 749	3	id 795	4	id 841	3	id 887	4
id 704	3	id 750	4	id 796	4	id 842	4	id 888	0
id 705	4	id 751	4	id 797	3	id 843	4	id 889	5
id 706	3	id 752	4	id 798	3	id 844	4	id 890	4
id 707	4	id 753	3	id 799	3	id 845	2	id 891	3
id 708	4	id 754	4	id 800	5	id 846	4	id 892	4
id 709	4	id 755	4	id 801	4	id 847	3	id 893	0
id 710	3	id 756	4	id 802	4	id 848	3	id 894	1
id 711	5	id 757	3	id 803	4	id 849	4	id 895	5
id 712	3	id 758	4	id 804	4	id 850	3	id 896	4
id 713	3	id 759	6	id 805	3	id 851	5	id 897	3
id 714	5	id 760	6	id 806	3	id 852	6	id 898	4
id 715	3	id 761	4	id 807	3	id 853	4	id 899	0
id 716	4	id 762	4	id 808	4	id 854	3	id 900	3

Ευφρές, Σύστημα, Αυτόματης, Σύνθεσης, Μουσικού, Έργου,

id 901	3	id 947	4
id 902	4	id 948	4
id 903	6	id 949	4
id 904	4	id 950	3
id 905	3		
id 906	4		
id 907	0		
id 908	3		
id 909	6		
id 910	3		
id 911	4		
id 912	3		
id 913	4		
id 914	5		
id 915	7		
id 916	4		
id 917	4		
id 918	3		
id 919	6		
id 920	3		
id 921	4		
id 922	3		
id 923	4		
id 924	4		
id 925	6		
id 926	4		
id 927	7		
id 928	3		
id 929	4		
id 930	5		
id 931	4		
id 932	4		
id 933	7		
id 934	3		
id 935	4		
id 936	5		
id 937	4		
id 938	3		
id 939	4		
id 940	3		
id 941	4		
id 942	3		
id 943	4		
id 944	5		
id 945	4		
id 946	3		

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] R. Agrawal, H. Mannila, R. Srikant, A.I. Verkamo, Fast Discovery of Association Rules, in U.M. Fayyad, G. Piatetsky-Shapiro and P. Smyth (eds), Advances in Knowledge Discovery and Data Mining, AAAI Press/MIT Press, pp. 307-328, 1996.
- [2] G. Assayag, S. Dubnov, O. Delerue, Guessing the Composer's Mind: Applying Universal Prediction to Musical Style, Proceedings of the International Computer Music Conference, International Computer Music Association, pp. 496-499, 1999.
- [3] R. Bod, A Memory-Based Model for Music Analysis: Challenging the Gestalt Principles.
- [4] B. Boutsinas, M.N. Vrahatis, Artificial Nonmonotonic Neural Networks, Artificial Intelligence 132(1) (2001) 1-38.
- [5] B. Boutsinas, C. Siotos, A. Gerolymatos, "Distributed mining of association rules based on reducing the support threshold", International Journal on Artificial Intelligence Tools, World Scientific Publishing Company, 17(6), 2008, pp. 1109-1129.
- [6] B. Boutsinas, T. Papastergiou, On clustering tree structured data with categorical nature, Pattern Recognition, Elsevier Science, 41, 2008, pp. 3613-3623.
- [7] E. Cambouropoulos, M. Crochemore, C.S. Iliopoulos, L. Mouchard, Y.J. Pinzon, ``Algorithms for Computing Approximate Repetitions in Musical Sequences".
- [8] E. Cambouropoulos, Towards a General Computational Theory of Musical Structure, Ph.D. Thesis, University of Edinburgh, 1998.
- [9] E. Cambouropoulos, A General Pitch Interval Representation: Theory and Applications, Journal of New Music Research, 25 (3), 1996, pp. 231-251.
- [10] E. Cambouropoulos, Musical Parallelism and Melodic Segmentation, In Proceedings of the XII Colloquium of Musical Informatics, Gorizia, Italy, 1998.
- [11] E. Cambouropoulos, T. Crawford, C.S. Iliopoulos, Pattern Processing in Melodic Sequences: Challenges, Caveats and Prospects, Computers and the Humanities, 34:4, 2000.
- [12] P. Clark, T. Niblett, The CN2 Induction Algorithm, Machine Learning 3(4) (1989) 261-283.
- [13] D. Cope, An expert system from computer-assisted composition, Computer Music Journal, 11(4), 1987, pp. 30-46.
- [14] S. Cost, S. Salzberg, A Weighted Nearest Neighbor Algorithm for Learning with Symbolic Features, Machine Learning 10 (1993) 57-78.
- [15] R.B. Dannenberg, B. Thom, D. Watson, A Machine Learning Approach to Musical Style Recognition, Proceedings of International Computer Music Conference ICMC'97, 1997.
- [16] R.B. Dannenberg, Music Information Retrieval as Music Understanding, Proceedings of 2nd Annual Intern. Symposium on Music Information Retrieval, 2001, pp. 139-142.

- [17] R.C. Dubes, A.K. Jain, Clustering methodologies in exploratory data analysis, Adv. Comput. 19 (1980) 113-228.
- [18] R. Engelbrecht, Statistical Comparison Measures for Searching in Melody Databases. Tech. Report. University of Bonn. 2002.
- [19] D.P.W. Ellis, B. Whitman, A. Berenzweig, S. Lawrence, The Quest for Ground Truth in Musical Artist Similarity, 2002.
- [20] M.M. Gaber, A.Zaslavsky and S.Krishnaswamy, Mining data streams: a review, ACM SIGMOD Record, 34(1), June 2005.
- [21] M.J. Greenacre, Theory and Applications of Correspondence Analysis, Academic Press, 1984.
- [22] L. Hiller, L. Isaacson, Experimental Music. New York: McGraw-Hill, 1959.
- [23] L.J. HofmannEngl, Melodic similarity a theoretical and empirical approach, PhD thesis, Keele University, UK, 2003.
- [24] H. Hoos, K. Renz, M. Gorg, GUIDO/MIR - an experimental musical information retrieval system based on guido music notation, In ISMIR Proceedings, pages 41–50, 2001.
- [25] T. Horton, Some Formal Problems with Schenkerian Representations of Tonal Structure.
- [26] K. Hothker, D. Hornel, C. Anagnostopoulou, Investigating the Influence of Representations and Algorithms in Music Classification.
- [27] K. Hothker, Modelling the Motivic Process of Melodies with Markov Chains, Computers and the Humanities, 35(1), 2001, pp. 65-79(15).
- [28] J.L. Hsu, C.C. Liu and A.L.P. Chen, Discovering nontrivial repeating patterns in music data, IEEE Transactions on Multimedia, 3 (3), 311–325, 2001.
- [29] N. Hu, B. Dannenberg, A.L. Lewis, A Probabilistic Model of Melodic Similarity, in Proceedings of the 2002 International Computer Music Conference. San Francisco: International Computer Music Association, 2002, pp. 509-15.
- [30] Z. Huang, Extensions to the k-means algorithm for clustering large data sets with categorical values, Data mining and Knowl. Disc. 2 (1998) 283-304.
- [31] A.K. Jain and R.C. Dubes, Algorithms for Clustering Data, Prentice-Hall, Englewoods Cliffs, NJ, 1988.
- [32] R. Keller, M. Hunt, S. Jones, D. Morrison, A. Wolin, Blues for Gary: Design Abstractions for a Jazz Improvisation Assistant, Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 193, pp. 47–60, 2007.
- [33] F.J. Kiernan, Score-based style recognition using artificial neural networks.
- [34] O. Lartillot, "Generalized Musical Pattern Discovery by Analogy from Local Viewpoints".
- [35] Y. Liu, Y. Wang, A. Shenoy, W.-H. Tsai, L. Cai, Clustering Music Recordings by their Keys, ISMIR 2008.
- [36] D.O Maidin, A Geometrical Algorithm for Melodic Difference, in "Melodic Comparison: Concepts, Procedures, and Applications", Computing in Musicology, 11, pp. 65-72, Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1998
- [37] D.O Maidin, M. Fernstrom, The Best of two Worlds: Retrieving and Browsing, Proceedings of the COST G-6 Conference on Digital Audio Effects (DAFX-00), Verona, Italy, December 7-9, 2000.

- [38] R.L. de Mantaras, J.L. Arcos, AI and Music: From Composition to Expressive Performance, AI magazine, 2002, 23(3), pp.43-57.
- [39] N. Mastroyannis, I. Giannikos, B. Boutsinas, G. Antzoulatos, CL.E.KMODES: A Modified K-Modes Clustering Algorithm, Journal of the Operational Research Society, to appear.
- [40] D.L. Medin and M.M. Schaffer, Context Theory of Classification Learning, Psychological Review, vol. 85, No. 3 (1978) 207-238.
- [41] D. Mullensiefen, K. Frieler, Cognitive Adequacy in the Measurement of Melodic Similarity: Algorithmic vs. Human Judgments, Computing in Musicology, 13, 147-176, 2004.
- [42] F. Pachet, The Continuator: Musical Interaction With Style, In Proc. of International Computer music Conference, Gotheborg (Sweden), ICMA, September 2002.
- [43] G. Papadopoulos, G. Wiggins, AI Methods for Algorithmic Composition: A Survey, a Critical View and Future Prospects, 1993.
- [44] J.R. Quinlan, C4.5: Programs for Machine Learning, Morgan Kaufmann CA, 1993.
- [45] A.N. Robertson, M.D. Plumbley, Real-Time Interactive Musical Systems: An Overview.
- [46] P.Y. Rolland, J.G. Ganascia, Musical Pattern Extraction and Similarity Assessment. In Readings in Music and Artificial Intelligence. E. Miranda. (ed.), 1999.
- [47] P-Y. Rolland, FLEXPAT: A Novel Algorithm for Musical Pattern Discovery, In Proceedings of the XII Colloquium in Musical Informatics, Gorizia, Italy, 1998.
- [48] P.Y. Rolland, J.G. Ganascia, Pattern Detection and Discovery: The Case of Music Data Mining.
- [49] P.Y. Rolland, The Music Encoding Initiative (MEI).
- [50] R. Rowe, Interactive Music Systems, MIT Press, 1992.
- [51] B. Roy, Classement et choix en presence de points de vue multiples : La methode ELECTRE, R.I.R.O. 1968, 8, pp. 57-75.
- [52] D. Rumelhart, G. Hinton, R. Williams, Learning internal representations by error propagation, in: D. Rumelhart and J. McClelland (Eds.), Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition, MIT Press, (1986) 318-363.
- [53] M.K. Shan and F.F. Kuo, Music style mining and classification by melody, IEICE Transactions on Information and Systems, E86-D (4), 655–659, 2003.
- [54] L.A. Smith, R.J. McNab, and I.H. Witten, Sequence-based melodic comparison: a dynamic-programming approach, Hewlett, W. B. and Selfridge-Field, E. (eds), In Melodic Comparison: Concepts, Procedures, and Applications, Computing in Musicology, MIT Press, 11, 101-117, 1998.
- [55] C. Spevak, B. Thom, K. Hothker, Evaluating Melodic Segmentation
- [56] R. Typke, Music Retrieval based on Melodic Similarity, Doctoral thesis, Utrecht University, 2007.
- [57] UCI Repository Of Machine Learning Databases and Domain Theories, <http://www.ics.uci.edu/~mllearn/MLRepository.html>

- [58] M.N. Vrahatis, B. Boutsinas, P. Alevizos, G. Pavlides, The New k-windows Algorithm for Improving the k-means Clustering Algorithm, *Journal of Complexity* 18 (2002) 375-391.
- [59] T. Weyde, C. Datzko, Efficient Melody Retrieval with Motif Contour Classes, 2005.
- [60] G. Widmer, On the Potential of Machine Learning for Music Research.
- [61] G. Widmer, A Knowledge Intensive Approach to Machine Learning in Music.
- [62] G. Widmer, Discovering Simple Rules in Complex Data - A Meta-learning Algorithm and Some Surprising Musical Discoveries.
- [63] G. Widmer, Using AI and Machine Learning to Study Expressive Music Performance-Project Survey and First Report
- [64] G.A. Wiggins, Music, syntax, and the meaning of “meaning”.
- [65] G.A. Wiggins, Hierarchical Music Representation for Composition and Analysis.
- [66] G.A. Wiggins, E. Miranda, A. Smaill, M. Harris, Surveying Musical Representation Systems - A Framework for Evaluation
- [67] G.A. Wiggins, E. Miranda, A. Smaill, M. Harris, A Framework for the Evaluation of Music Representation Systems, *Computer Music Journal* 17(3), 1993, pp. 31–42.
- [68] A.V. Aho, J.E. Hopcroft, and J.D. Ullman. *Data Structures and Algorithms*. Addison Wesley, Reading, Massachussetts, 1983.
- [69] W. Bechtel and A. Abrahamsen. *Connectionism and the Mind*. Blackwell, 1991.
- [70] W. Buxton, R. Dannenberg, and B. Vercoe. The computer as accompanist. In *CHI '86 Conference Proceedings*, pages 41–43. ACM/SIGCHI, April 1986.
- [71] B. Bel and J. Kippen. Bol processor grammars. In O. Laske, M. Balaban, and K. Ebcioglu, editors, *Understanding Music with AI – Perspectives on Music Cognition*, pages 366–401. MIT Press, Cambridge, MA, 1992. Musical Knowledge 15
- [72] P. Boulez. *Penser la musique aujourd’hui*. Gonthier, Mayence, 1963.
- [73] Camurri, M. Frixione, C. Innocenti, and R. Zaccaria. A model of representation and communication of music and multimedia knowledge. In B. Neumann, editor, *Tenth European Conference on Artificial Intelligence*, pages 164–8, Vienna, 1992. John Wiley and Sons, Chichester, England.
- [74] D. Cope. *Computers and Musical Style*. Oxford University Press, 1991.
- [75] D. Conklin and I.H. Witten. Multiple viewpoint systems for music prediction. *J New Music Research*, 24(1):51–73, March 1995.
- [76] P. Desain. A (de)composable theory of rhythm perception. *Music Perception*, 9(4):439–454, 1992.
- [77] P. Desain. A connectionist and a traditional AI quantizer, symbolic versus sub-symbolic models of rhythm perception. *Contemporary Music Review*, 9:239–254, 1993.
- [78] F. Donini, M. Lenzerini, D. Nardi, and W. Nutt. Tractable concept languages. In *Proceedings of IJCAI-91*, volume 1, pages 458–463. International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1991.

- [79] R. Dannenberg and B. Mont-Reynaud. Following an improvisation in real time. In *Proceedings of the International Computer Music Conference*, pages 241–248. Computer Music Association, August 1987.
- [80] S. Holland and M. Elsom-Cook. Architecture of a knowledge-based music tutor. In M. Elsom-Cook, editor, *Guided Discovery Tutoring*, London, 1990. Paul Chapman Publishing Ltd.
- [81] J. Hertz, A. Krogh, and R. G. Palmer. *Introduction to the Theory of Neural Computation*. Addison-Wesley Publishing Company, Redwood City, CA, 1991.
- [82] M. Harris, A. Smaill, and G. Wiggins. Representing music symbolically. In *IX Colloquio di Informatica Musicale*, Genoa, Italy, 1991. Also available from Edinburgh as DAI Research Paper No. 562.
- [83] R. Jackendoff. *Consciousness and the computational mind*. MIT Press, Cambridge, MA., 1987.
- [84] Jacqueline A. Jones, Don L. Scarborough, and Benjamin O. Miller. Gtsim – a computer simulation of music perception. In *Colloque International - Musique et Assistance Informatique*, Marseille, 1990. From the proceedings of the Marseille conference.
- [85] M. Leman. Symbolic and subsymbolic information processing in models of musical communication and cognition. *Interface*, 18:141–60, 1988. Musical Knowledge 16
- [86] F. Lerdahl and R.S. Jackendoff. *A Generative Theory of Tonal Music*. The MIT Press, Cambridge, MA., 1983.
- [87] T. Machover. Hyperinstruments : A progress report 1987-1991. Media lab document, MIT, Cambridge, MA, 1992.
- [88] M. Minsky. Music, mind and meaning. *Computer Music Journal*, 5(3):28–44, 1981.
- [89] Stuart Russell and Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice-Hall International, London, 1995.
- [90] J. Rothstein. *MIDI : a comprehensive introduction*. Oxford University Press, Oxford, 1992.
- [91] R. Rowe. *Interactive Music Systems*. MIT Press, Cambridge, Massachetts, 1993.
- [92] J. Sloboda. *The Musical Mind*. Oxford Science Press, Oxford, 1985.
- [93] M. Smith, A. Smaill, and G.Wiggins, editors. *Music Education: An Artificial Intelligence Perspective, Edinburgh 1993*, London, 1994. Springer Verlag. Workshops in Computing series.
- [94] A. Smaill, G.Wiggins, and M. Harris. Hierarchical music representation for analysis and composition. *Computers and the Humanities*, 27:7–17, 1993. Also available from Edinburgh as DAI Research Paper No. 511.
- [95] A. Smaill, G. Wiggins, and E. Miranda. Music representation – between the musician and the computer. In M. Smith, G. Wiggins, and A. Smaill, editors, *Music Education: An Artificial Intelligence Perspective*. Springer Verlag, London, 1993. Also available as DAI Research Paper 668.
- [96] G. Wiggins, E. Miranda, A. Smaill, and M. Harris. A framework for the evaluation of music representation systems. *Computer Music Journal*, 17(3):31–42, 1993. Machine Tongues series, number XVII; Also available from Edinburgh as DAI Research Paper No. 658.

- [97] N. Cook. A Guide to Musical Analysis. Oxford University Press, 1987.
- [98] M. Westhead and A. Smaill. Automatic characterisation of musical style. In *Music Education: An AI Approach*, pages 157–170. Springer-Verlag, 1993.
- [99] D. Conklin and C. Anagnostopoulou. Representation and discovery of multiple viewpoint patterns. In *Proceedings of the International Computer Music Conference*, pages 479–485, Havana, Cuba, 2001. International Computer Music Association.
- [100] D. Huron. What is a musical feature? Forte’s analysis of Brahms’s Opus 51, No. 1, revisited. *Music Theory Online*, 7(4), July 2001.
- [101] P-Y. Rolland and J-G. Ganascia. Musical pattern extraction and similarity assessment.
- [102] In E. Miranda, editor, *Readings in Music and Artificial Intelligence*, chapter 7, pages 115–144. Harwood Academic Publishers, 2000.
- [103] J-L. Hsu, C-C. Liu, and A. Chen. Discovering nontrivial repeating patterns in music data. *IEEE Transactions on Multimedia*, 3(3):311–325, September 2001.
- [104] E. Cambouropoulos. Towards a General Computational Theory of Musical Structure. PhD thesis, University of Edinburgh, 1998.
- [105] A. Smaill, G. Wiggins, and M. Harris. Hierarchical music representation for composition and analysis. *Computers and the Humanities*, 93:7–17, 1993.
- [106] P. Hudak, T. Makucevich, S. Gadde, and B. Whong. Haskore music notation —an algebra of music. *Journal of Functional Programming*, 6(3):465–483, May 1996.
- [107] M. Balaban. The music structures approach in knowledge representation for music processing. *Computer Music Journal*, 20(2):96–111, 1996.
- [108] C. Agon, G. Assayag, O. Delerue, and C. Rueda. Objects, time and constraints in OpenMusic. In *Proceedings of the International Computer Music Conference*, Ann Arbor, Michigan, 1998. International Computer Music Association.
- [109] B. Pardo and W. Birmingham. Automated partitioning of tonal music. In *Conference of the Florida Artificial Intelligence Research Society*, May 2000.
- [110] O. Lartillot, S. Dubnov, G. Assayag, and G. Bejerano. Automatic modeling of music style. In *Proceedings of the International Computer Music Conference*, pages 447–453, Havana, Cuba, 2001. International Computer Music Association.
- [111] D. Conklin
- [111] C. Alamkan, W. Birmingham, and M. Simoni. Stylistic structures: an initial investigation of the stochastic generation of music. Technical Report CSD-TR-395-99, Electrical engineering and computer science department, University of Michigan, 1999.
- [112] K. Lemstrom and J. Tarhio. Searching monophonic patterns within polyphonic sources. In *Proc. Content-based multimedia information access (RIAO 2000)*, pages 1261–1279, 2000.
- [113] D. Ponsford, G. Wiggins, and C. Mellish. Statistical learning of harmonic movement. *Journal of New Music Research*, 28(2), 1999.
- [114] D. Huron. *Music Research using Humdrum: A user’s guide*.
- [115] P. Brown, V. Della Pietra, P. deSouza, J. Lai, and R. Mercer. Class-based n-gram models of natural language. *Computational Linguistics*, 18(4):467–479, 1992.
- [116] D. Gusfield. *Algorithms on strings, trees, and sequences*. Cambridge University Press, 1997.

- [117] D. Lewin. Intervallic relations between two collections of notes. *Journal of Music Theory*, 3(2):298–301, 1959.
- [118] D. Lewin. *Generalized Musical Intervals and Transformations*. Yale University Press, 1987.
- [119] D. Meredith, G. Wiggins, and K. Lemström. Pattern induction and matching in polyphonic music and other multidimensional datasets. In *Proc. Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics*, volume X, pages 61–66, 2001.
- [120] M. Farbood and B. Schoner. Analysis and synthesis of Palestrina-style counterpoint using Markov chains. In *Proceedings of the International Computer Music Conference*, pages 471–474, Havana, Cuba, 2001. International Computer Music Association.
- [121] A. Marsden. Representing melodic patterns as networks of elaborations. *Computers and the Humanities*, 35:37–54, 2001.
- [122] Cope, D. (1987). An expert system for computer-assisted composition. *Computer Music Journal* 11(4), 30–46.
- [123] Forte, A. and S. Gilbert (1982). Introduction to Schenkerian Analysis.
- [124] W.W. Norton. Hsu, J.-L., C.-C. Liu, and A. Chen (1998). Efficient repeating pattern finding in music databases. In *Proc Int Conf on Information and Knowledge Management*, pp. 281–288. Association of Computing Machinery.
- [125] Meredith, D., G. Wiggins, and K. Lemström (2001). Pattern induction and matching in polyphonic music and other multidimensional datasets. In *Proc SCI 2001: Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics*.
- [126] Mongeau, M. and D. Sankoff (1990). Comparison of musical sequences. *Computers and the Humanities* 24, 161–175.
- [127] Nattiez, J.-J. (1975). *Fondements d’une Sémiologie de la Musique*. Union Générale d’Editions.
- [128] Rolland, P.-Y. and J.-G. Ganascia (2000). Musical pattern extraction and similarity assessment. In E. Miranda (Ed.), *Readings in Music and Artificial Intelligence*, Chapter 7, pp. 115–144. Harwood Academic Publishers.
- [129] Smaill, A., G. Wiggins, and M. Harris (1993). Hierarchical music representation for composition and analysis. *Computers and the Humanities* 93, 7–17.
- [130] Westhead, M. and A. Smaill (1993). Automatic characterisation of musical style. In *Music Education: an AI approach*, pp. 157–170. Springer-Verlag.
- [131] Woods, W. (1991). Understanding subsumption and taxonomy: A framework for progress. In J. F. Sowa (Ed.), *Principles of Semantic Networks*, pp. 45–94. Morgan–Kaufmann.
- [132] Clark, P. and Niblett, T. (1989). The CN2 Induction Algorithm. *Machine Learning* 3(4), 261–284.
- [133] Cope, D. (1991). Recombinant Music: Using the Computer to Explore Musical Style. *IEEE Computer* 24(7), 22–28.
- [134] Cope, D. (1992). Computer Modeling of Musical Intelligence in EMI. *Computer Music Journal* 16(2), 69–83.
- [135] Courtot, F. (1992). Logical Representation and Induction for Computer Assisted Composition. In M.
- [136] Balaban, K. Ebcioğlu, O. Laske (eds.), *Understanding Music with AI: Perspectives on Music Cognition*. Cambridge, MA: MIT/AAAI Press.

- [137] De Jong, K. (1988). Learning with Genetic Algorithms: An Overview. *Machine Learning* 3(2/3), 121–138.
- [138] Dovey, M.J. (1995). Analysis of Rachmaninoff's Piano Performances Using Inductive Logic Programming (Extended Abstract). In *Proceedings of the 8th European Conference on Machine Learning (ECML-95)*, 279-282. Berlin: Springer Verlag.
- [139] Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., Smyth, P., and Uthurusamy, R. (eds.) (1996). *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*. Cambridge, MA: MIT Press.
- [140] Friberg, A. (1995). A Quantitative Rule System for Musical Performance. Ph.D. dissertation, Department of Speech Communication and Music Acoustics, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm.
- [141] Fujinaga, I., Pennycook, B., and Alphonse, B. (1989). Computer Recognition of Musical Notation. *Proceedings of the First International Conference on Music Perception and Cognition*, 87–90.
- [142] Kaelbling, L.P. (1994). Associative Reinforcement Learning: A Generate and Test Algorithm. *Machine Learning* 15(3).
- [143] Lavrac, N. and Dzeroski, S. (1994). *Inductive Logic Programming*. Chichester, UK: Ellis Horwood.
- [144] Marsden, A. (1989). Listening as Discovery Learning. *Contemporary Music Review* 4, 327–340.
- [145] Michalski, R.S. (1986). Understanding the Nature of Learning: Issues and Research Directions. In
- [146] R.S. Michalski, T. Mitchell & J. Carbonell (eds.), *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach*, vol. II. Los Altos, CA: Morgan Kaufmann.
- [147] Minton, S. (1988). Learning Effective Search Control Knowledge: An Explanation-based Approach. Ph.D. thesis, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA.
- [148] Miranda, E.R. (1995). An Artificial Intelligence Approach to Sound Design. *Computer Music Journal* 19(2), 59–75.
- [149] Mitchell, T.M. (1997). *Machine Learning*. McGraw-Hill.
- [150] Morales, E. and Morales, R. (1995). Learning Musical Rules. In G. Widmer (ed.), *Proceedings of the IJCAI-95 International Workshop on Artificial Intelligence and Music*, 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-95), Montr'eal, Canada.
- [151] Muggleton, S., King, R.D., and Sternberg, M.J.E. (1992). Protein Secondary Structure Prediction Using Logic-based Machine Learning. *Protein Engineering* 5(7), 647–657.
- [152] Narmour, E. (1977). *Beyond Schenkerism: The Need for Alternatives in Music Analysis*. Chicago, Ill.: Chicago University Press.
- [153] Pompe, U. and Kononenko, I. (1996). An Application of ILP in a Musical Database: Learning to Compose the Two-Voice Counterpoint. In *Proceedings of the MLNet Workshop on Data Mining with Inductive Logic Programming*, 13th International Conference on Machine Learning, Bari, Italy.
- [154] Quinlan, J.R. (1986). Induction of Decision Trees. *Machine Learning* 1(1), 81–106.

- [155] Quinlan, J.R. (1993). C4.5: Programs for Machine Learning. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann.
- [156] Quinlan, J.R. (1990). Learning Logical Definitions from Relations. Machine Learning 5(3), 239-266.
- [157] Ramalho, G.L. (1996). De la construction d'un agent rationnel qui joue du jazz. Ph.D. thesis, Universit ´e Paris VI.
- [158] Repp, B. (1992). Diversity and Commonality in Music Performance: An Analysis of Timing Microstructure in Schumann's 'Traumerei'. Journal of the Acoustical Society of America 92(5), 2546–2568.
- [159] Rolland, P.-Y. and Pachet, F. (1995). Modeling and Applying the Knowledge of Synthesizer Patch Programmers. In G. Widmer (ed.), Proceedings of the IJCAI-95 International Workshop on Artificial Intelligence and Music, 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-95), Montreal, Canada.
- [160] Rowe, R. (1992). Machine Listening and Composing in Cypher. Computer Music Journal 16(1), 43–63.
- [161] Russell, S.J. and Norvig, P. (1995). Artificial Intelligence: A Modern Approach. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.
- [162] Sloboda, J.A. (1985). The Musical Mind: The Cognitive Psychology of Music. Oxford, UK: Clarendon Press.
- [163] Sundberg, J., Askenfelt, A., and Fryd'én, L. (1983). Musical Performance: A Synthesis-by-Rule Approach. Computer Music Journal 7(1), 37–43.
- [164] Sundberg, J., Friberg, A., and Fryd'én, L. (1991). Common Secrets of Musicians and Listeners: An Analysis-by-Synthesis Study of Musical Performance. In P. Howell, R. West & I. Cross (eds.), Representing Musical Structure. London: Academic Press.
- [165] Widmer, G. (1992). A Knowledge-Intensive Approach to Machine Learning in Tonal Music. In M.
- [166] Balaban, K. Ebcioğlu, O. Laske (eds.), Understanding Music with AI: Perspectives on Music Cognition. Cambridge, MA: MIT/AAAI Press.
- [167] Widmer, G. (1993). Combining Knowledge-Based and Instance-Based Learning to Exploit Qualitative Knowledge. Informatica 17, Special Issue on Multistrategy Learning, 371–385.
- [168] Widmer, G. (1994). Studying Musical Expression with AI and Machine Learning: "Analysis by Resynthesis". In J. Sundberg (ed.), Proceedings of the Aarhus Symposium on Generative Grammars for Music Performance. Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden.
- [169] Widmer, G. (1995a). Modeling the Rational Basis of Musical Expression. Computer Music Journal 19(2), 76–96.
- [170] Widmer, G. (1995b). A Machine Learning Analysis of Expressive Timing in Pianists' Performances of Schumann's "Traumerei". In A. Friberg and J. Sundberg (eds.), Proceedings of the KTH Symposium on Generative Grammars for Music performance, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden.
- [171] Widmer, G. (1996a). What Is It That Makes It a Horowitz? Empirical Musicology via Machine Learning. In Proceedings of the 12th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI-96). Chichester, UK: Wiley & Sons.

- [172] Widmer, G. (1996b). Learning Expressive Performance: The Structure-Level Approach. *Journal of New Music Research* 25(2), 179–205.
- [173] Widmer, G. (1997). Applications of Machine Learning to Music Research: Empirical Investigations into the Phenomenon of Musical Expression. In R.S. Michalski, I. Bratko and M. Kubat (eds.), *Machine Learning, Data Mining and Knowledge Discovery: Methods and Applications*. New York: Wiley & Sons.
- [174] Baily, J. (1985) Musical structure and human movement. In P. Howell, I. Cross and R. West (Eds.) Musical structure and cognition. London: Academic Press.
- [175] Balzano, G. (1980) The group-theoretic representation of 12-fold and microtonal pitch systems. *Computer Music Journal*, 4, 66-84.
- [176] Bharucha, J. (1999) Neural nets, temporal composites and tonality. In Deutsch, D. (Ed.) The psychology of music (2nd edition). London: Academic Press.
- [177] Blacking, J. (1976) How musical is man? London: Faber.
- [178] Blacking, J. (1995) Music, Culture and Experience. London: University of Chicago Press.
- [179] Bregman, A. (1990) Auditory scene analysis: the perceptual organisation of sound. Cambridge, MA: MIT Press.
- [180] Browne, R. (1981) Tonal implications of the diatonic set. *In Theory Only*, 5, 3-21.
- [181] Burns, E. (1999) Intervals, scales and tuning. In Deutsch, D. (Ed.) The psychology of music (2nd edition). London: Academic Press.
- [182] Brown, H. Butler, D. and Jones, M. R. (1994) Musical and temporal influences on key discovery. *Music Perception*, 11 (4), 371-407.
- [183] Cook, P. (Ed.) (1999) Music, cognition and computerized sound. Cambridge, MA: MIT Press.
- [184] Cross, I. (1997) Pitch schemata. In I. Deliège and J. Sloboda (Eds.), Perception and cognition of music. Hove: Psychology Press.
- [185] Cross, I. (1999) Is music the most important thing we ever did? Music, development and evolution. In Suk Won Yi (Ed) Music, mind and science, Seoul: Seoul National University Press.
- [186] Cuddy, L. (1997) Tonal relations. In I. Deliège and J. Sloboda (Eds.), Perception and cognition of music. Hove: Psychology Press.
- [187] Damasio, A. (1994) Descartes' error: emotion, reason and the human brain. New York: G. P. Putnam's Sons.
- [188] Deutsch, D. (Ed.) (1999) The psychology of music (2nd edition). London: Academic Press.
- [189] Elman, J., Bates, E. A, Johnson, M., Karmiloff-Smith, A., Parisi, D. and Plunkett, K. (1996) Rethinking innateness: a connectionist perspective on development. Cambridge, MA: MIT Press.
- [190] Handel, S. (1989) Listening. Cambridge, MA: MIT Press.
- [191] Huron, D. (1992) The Ramp archetype and the maintenance of passive auditory attention. *Music Perception*, 10, 1, 83-92.
- [192] Jackendoff, R. (1987) Consciousness and the computational mind. Cambridge, MA: MIT Press.
- [193] Jones, M. R. (1992) Attending to musical events. In M. R. Jones and S. Holleran (Eds.), Cognitive bases of musical communication. Washington, D.C.: American Psychological Association.

- [194] Krumhansl, C. L. (1990) The cognitive foundations of musical pitch. Oxford: Oxford University Press.
- [195] Lerdahl, F. (1989) Atonal prolongational structure. Contemporary Music Review, 4, 65-87.
- [196] Lindley, M. (1984) Lutes, Viols and Temperaments. Cambridge: Cambridge University Press.
- [197] Narmour, E. (1989) The analysis and cognition of basic melodic structures. London: University of Chicago Press.
- [198] Narmour, E. (1992) The analysis and cognition of melodic complexity. London: University of Chicago Press.
- [199] Parncutt, R. (1989) Harmony: a psychoacoustical approach. London: Springer-Verlag.
- [200] Port, R. F., and van Gelder, T. (Eds.) (1995) Mind as motion: explorations in the dynamics of cognition. Cambridge, MA: MIT Press.
- [201] Stobart, H. and Cross, I. (1994) Aspects of rhythmic structure in the music on Northern Potosí, Bolivia. In I. Deliège (Ed), Proceedings of the 3rd International Conference on Music Perception and Cognition, Liège.
- [202] Terhardt, E., Stoll, G. and Seewan, M. (1982) Algorithm for extraction of pitch and pitch salience from complex tonal signals. Journal of the Acoustical Society of America, 71, 679-688.
- [203] Todd, N. (1994) The auditory "primal sketch": a multi-scale model of rhythmic grouping. Journal of New Music Research, 23, 25-70.
- [204] Kjell Lemström and Sami Perttu: SEMEX – An Efficient Music Retrieval Prototype.
- [205] D. Conklin, Representation and Discovery of Vertical Patterns in Music.

οἱ τ' αὖ κιθαρισταί, ἕτερα τοιαῦτα, σωφροσύνης
τε ἐπιμελοῦνται καὶ ὅπως ἂν οἱ νέοι μὴδ ν κακουργῶσιν·
πρὸς δ τούτοις, ἐπειδὴν κιθαρίζειν μάθωσιν, ἄλλων αὖ
ποιητῶν ἀγαθῶν ποιήματα διδάσκουσι μελοποιῶν, εἰς τὰ
κιθαρίσματα ἐντείνοντες, καὶ τοὺς ῥυθμούς τε καὶ τὰς ἁρ-
μονίας ἀναγκάζουσιν οἰκαιοῦσθαι ταῖς ψυχαῖς τῶν παίδων,
ἵνα ἡμερώτεροί τε ᾦσιν, καὶ εὐρυθμότεροι καὶ εὐαρμοστότεροι
γινόμενοι χρήσιμοι ᾦσιν εἰς τὸ λέγειν τε καὶ πράττειν·
πᾶς γὰρ ὁ βίος τοῦ ἀνθρώπου εὐρυθμίας τε καὶ εὐαρμοστίας δεῖται.

Πλάτωνος Πρωταγόρας (Stephannus236a4-326b6)