

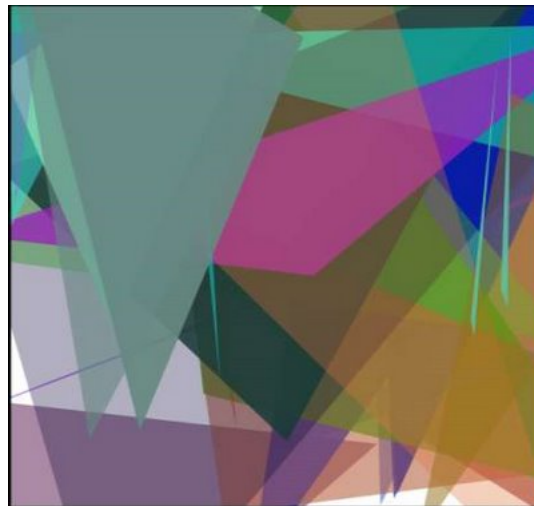


ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ



Πτυχιακή εργασία

Μουσική Σύνθεση Με Εξελικτικούς Αλγορίθμους



Του φοιτητή
Γεωργιάδη Κωνσταντίνου
Αρ. Μητρώου: 03/2275

Επιβλέπων Καθηγητής
Αδαμίδης Παναγιώτης

Θεσσαλονίκη 2010

Μουσική σύνθεση με εξελικτικούς αλγορίθμους

Γεωργιάδης Θ. Κωνσταντίνος

Εισηγητής: Αδαμίδης Παναγιώτης

ΑΤΕΙΘ - Τμήμα Πληροφορικής

Θεσσαλονίκη 2010

Πρόλογος

Η μουσική αποτελεί την πιο διαδεδομένη, και μία από τις πιο άμεσες μορφές τέχνης. Δεν είναι λίγοι αυτοί που ξεκινούν ή κλείνουν την μέρα τους με ένα μουσικό άκουσμα, για να της προσδώσουν ένα διαφορετικό χρώμα ή να απαλύνουν την καθημερινή ρουτίνα. Δεν είναι λίγοι και αυτοί που ακούνε μουσική καθόλη τη μέρα ή στο μεγαλύτερο διάστημά της. Οι πολλές μορφές που αυτή έχει, μπορούν να αλλάξουν την ψυχολογία και την οπτική που έχει κάποιος για κάτι όπως επίσης μπορούν να γίνουν αιτίες ένωσης αλλά και διαχωρισμού των ανθρώπων. Οι μελωδίες στιγματίζουν εύκολα πράγματα και καταστάσεις, και οποιοδήποτε άκουσμα μπορεί να ξυπνήσει ανάμνησεις και να μεταφέρει κάποιον πίσω στον χρόνο.

Η μουσική σύνθεση από την άλλη, είναι μια διαδικασία στην οποία εμπλέκονται σαφέστερα λιγότεροι από αυτούς που εμπλέκονται μόνο με την ακρόαση. Για αυτούς, αυτή η διαδικασία μπορεί να αποτελέσει ένα ρήγμα σε οποιαδήποτε ρουτίνα και οι μελωδίες που δημιουργούνται στο μυαλό τους αποτελούν σε πολλές περιπτώσεις ενώσεις και τομές από εικόνες, μνήμες και καταστάσεις. Το υποκειμενικό στοιχείο είναι διάχυτο στο πώς και το γιατί κάποιος θα συνθέσει κάτι, όσο και στο πώς αυτό θα γίνει δεκτό από έναν ακροατή.

Στο χώρο της επιστήμης υπολογιστών το καλλιτεχνικό στοιχείο παρατηρείται σε ένα πολύ περιορισμένο και εξαιρετικά αφαιρετικό βαθμό. Η ενασχόληση με έναν καλλιτεχνικό τομέα σε αυτόν τον χώρο περικλύει μέσα του τον ενθουσιασμό της δημιουργίας. Όση ικανοποίηση μπορεί να προσδώσει σε κάποιον η λειτουργικότητα ενός προγράμματος, τόση επιπλέον χαρά μπορεί να του δώσει κάτι το οποίο μπορεί να έχει μία αίσθηση ευφύιας και δημιουργίας.

Πάντα όμως σε έναν τέτοιο χώρο κρύβεται ένας διπλός φόβος. Αφενός, ο προδιαγεγραμμένος φόβος της αποτυχίας: Κάτι το οποίο δεν έχει συναίσθηση πώς μπορεί να την προκαλέσει; Και αφετέρου, κάτι στο οποίο δίνονται πολύ μικρότερες πιθανότητες αλλά το οποίο μπορεί να ανησυχήσει ενδεχομένως και τον πιο σκληρό τεχνοκράτη: Πόσο, και προς ποια κατεύθυνση μπορεί να αλλάξει η ανθρώπινη αντίληψη αν επιτευχθεί η μηχανική

συναίσθηση;

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία κάνει χρήση των εξελικτικών αλγορίθμων για να γίνει δημιουργία μουσικών συνθέσεων. Μία βιβλιογραφική επισκόπηση απομονώνει συγκεκριμένα σημεία που δείχνουν κατάλληλα για περαιτέρω διερεύνηση και η επιλεγμένη υλοποίηση προσπαθεί να τις συνθέσει σε μία ενότητα. Χαρακτηριστικά σημεία αποτελούν οι επανεκκινήσεις της εξέλιξης για την αποφυγή των συγκλίσεων και η αυτοματοποιημένη συνάρτηση αξιολόγησης που μπορεί να παραμετροποιηθεί. Γίνεται ανάλυση των προβλημάτων που περιλαμβάνουν την συμφόρηση της αξιολόγησης και της συνολικής πολυπλοκότητας του προβλήματος. Τα παραγώμενα αποτελέσματα βρίσκονται στη μορφή MIDI και αξιολογούνται στο ευρύτερο σύνολο τους. Επιπλέον, αναλύεται η σχέση που υπάρχει με τις παραμέτρους παραγωγής τους. Μία επιλογή αυτών αποτελεί το υλικό για μία διαδικτυακή φόρμα (στη σελίδα <http://evoltrio.co.cc/>) όπου άλλοι χρήστες μπορούν να τα ακούσουν και να υποβάλουν τη δική τους κριτική θέση. Παρότι τα μουσικά κομμάτια έλαβαν καλές βαθμολογίες μέχρι τώρα, υπακούοντας τους μουσικούς κανόνες, εμφανίζονται προβλήματα που έχουν να κάνουν με το υποκειμενικό στοιχείο στη μουσική ακρόαση. Η αρκετά θετική αξιολόγηση και σχολιασμός, όπως και επίσης τα μουσικά κομμάτια αυτά καθαυτά δίνουν το κίνητρο για την πραγμάτωση ενός αριθμού μελλοντικών προτινόμενων ιδέων.

Λέξεις κλειδιά: μουσική σύνθεση, μουσική αξιολόγηση, εξελικτικοί αλγόριθμοι, αυτοματοποιημένη συνάρτηση αξιολόγησης, MIDI

abstract

This final year thesis makes use of evolutionary algorithms in order to compose musical pieces. The implementation draws ideas from related research work and published papers. The major improvement consists of a customisable fitness function whose premature convergence is avoided by re-initializing the evolutionary cycle. The problems related to the fitness bottleneck and the overall theme complexity have been analyzed too. The produced (in MIDI format) musical pieces are assessed in conjunction with the parameters that generated them. A selection of samples was available in a web form so that other users could listen and evaluate them. Although the samples have been generally positively assessed until now and abide by the musical theory rules, problems appear concerning the subjectiveness of music aesthetics. The positive assessment and feedback, as well as the tracks themselves, motivate the implementation of numerous suggestions and ideas.

key words: musical composition, music assessment, evolutionary algorithms, automated fitness function, MIDI

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους παρακάτω ανθρώπους, η συμβολή των οποίων ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας:

Τους γονείς μου και την αδερφή μου.

Τον εισηγητή μου Παναγιώτη Αδαμίδη, για την κατανόηση, καθοδήγηση και συμπαράσταση.

Την Ιωάννα Σουρούδη, για την συντακτική και μουσικολογική επιμέλεια, την σχεδίαση του εξωφύλλου και των εικονιδίων, καθώς και πολύ περισσότερο για την στήριξη και ενθάρρυνση.

Τον Άγγελο Κράλλη, που προσδιόρισε το σημείο κλειδί που έλειπε για να μπορέσει να ολοκληρωθεί αυτή η δουλειά. Επιπλέον, που με βοήθησε να καταλάβω την σημασία αυτής της εργασίας για το εγγύς και το απώτερο μέλλον.

Την Πόπη Νάκου, για την μετάφραση της περίληψης και στήριξη.

Όλους τους φίλους μου.

Όλους αυτούς που αξιολόγησαν τα μουσικά κομμάτια στη σελίδα της εφαρμογής - για τις προτάσεις και το χιούμορ τους.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	1
1.1	Ευφυής μουσική σύνθεση	2
2	Εξελικτικοί Αλγόριθμοι και Μουσική Σύνθεση	7
2.1	Κωδικοποίηση	10
2.2	Αρχικοποίηση του πληθυσμού.	14
2.3	Συνάρτηση αξιολόγησης	15
2.3.1	Αυτόματοποιημένη συνάρτηση αξιολόγησης	15
2.3.2	Διαδραστική συνάρτηση αξιολόγησης	16
2.3.3	Συνεξέλιξη	18
3	ΕνοίTrio: Ανάπτυξη Λογισμικού Μουσικής Σύνθεσης με Εξελικτικούς Αλγόριθμους	21
3.1	Το πρόβλημα της μουσικής σύνθεσης	21
3.2	Προηγούμενες προσεγγίσεις	23
3.3	Σύντομη περιγραφή της τρέχουσας προσέγγισης	24
3.4	Υπάρχον λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε	26
3.4.1	args4j	26
3.4.2	jgap	26
3.4.3	jfugue	26
3.4.4	javafx	27
3.5	Θεμελιώδεις μουσικές έννοιες και βοηθητικές κλάσεις	27
3.5.1	Βασικές μουσικές έννοιες	27
3.5.2	Η ματζόρε κλίμακα	29
3.5.3	Βοηθητικές κλάσεις	29
3.6	Λειτουργία	31
3.7	Η συνάρτηση αξιολόγησης SoloFitness	33

3.7.1	Η αίσθηση της τονικότητας	33
3.7.2	Η αίσθηση του χρόνου	34
3.7.3	Υπακοή στην κλίμακα	34
3.7.4	Πλήρη μέτρα	34
3.7.5	Μονότονη μουσική	35
3.7.6	Πολύ ψηλά και πολύ χαμηλά	35
3.7.7	Επαναλήψη της νότας κλειδί	35
3.7.8	Επαναληψη μιας μικρής φράσης	35
3.7.9	Άνοδοι και κάθοδοι	36
3.8	Σύνοψη	36
4	Αποτελέσματα	37
4.1	Η έκταση του προβλήματος	37
4.2	Αυτοκριτική	38
4.3	Κριτική	39
5	Συμπεράσματα - Μελλοντικές κατευθύνσεις	41
5.1	Συμπεράσματα	41
5.2	Μελλοντικές κατευθύνσεις	42
5.2.1	Λεπτομερής εξέταση των δυνατοτήτων που έχουν οι υπάρχουσες παράμετροι	42
5.2.2	Έλεγχος απόδοσης των φίλτρων της συνάρτησης αξιολόγησης	42
5.2.3	Διευρυνση των μουσικών δυνατοτήτων	43
5.2.4	Μία πιο ουσιαστική αξιολόγηση	43
6	Παραρτήματα	45
6.1	Οδηγός χρήσης	45
6.1.1	Περιβάλλον γραμμής εντολών	45
6.1.2	Γραφικό περιβάλλον	46
6.2	Πίνακας παραμέτρων	48
	Ευρετήριο	53
	Bibliography	55

Κατάλογος Πινάκων

3.1	Ονοματολογία τονικότητας	28
3.2	Τιμές για τις διάρκειες των νοτών.	28
4.1	Αξιολόγηση χρηστών	39
6.1	Πίνακας παραμέτρων	48

Κατάλογος Σχημάτων

3.1	Η ματζόρε κλίμακα	29
3.2	Μετατροπή χρωμοσώματος σε μουσική φράση	30
6.1	Γραφικό περιβάλλον	47

Στη Ζαν, την πιο όμορφη γυναίκα του κόσμου.

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

the grace is being able to like rock music,

symphony music, jazz . . .

anything that contains the original energy of

joy.

Charles Bukowski, One For The Shoeshine Man

Τα λόγια του Bukowski αποτυπώνουν με σαφήνεια την ουσία που μπορεί να έχει το μουσικό άκουσμα για κάποιον. Η μουσική ακρόαση κρύβει μέσα της την αυθεντική αίσθηση της απόλαυσης, μια δυνατότητα την οποία φαινομενικά έχει ο καθένας. Παρόλη την εξέλιξη που έχει λάβει η μουσική και τα πολλά διαφορετικά ρεύματα που έχει ακολουθήσει και ακολουθεί στις μέρες μας, την δυνατότητα της μουσικής σύνθεσης έχουν λίγοι. Με την εξέλιξη της μουσικής τεχνολογίας οι Η/Υ άρχισαν να διεισδύουν ως εργαλεία στην μουσική παραγωγή, αναπαραγωγή και εξερεύνηση. Ήταν αναπόφευκτο το να μην δοκιμαστούν οι δυνατότητες που έχει η τεχνητή νοημοσύνη στη μουσική σύνθεση.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί μία προσπάθεια αυτοματοποιημένης μουσικής σύνθεσης και για την πραγματοποίησή της έχει επιλεγεί η χρήση των εξελικτικών αλγορίθμων. Η επόμενη υποενότητα περιλαμβάνει μία σύντομη ιστορική αναδρομή για την αντιμετώπιση της μουσικής ως αλγοριθμικής διαδικασίας. Επισημαίνεται η σημασία του υποκειμενικού στοιχείου καθώς και το πρόβλημα των αισθητικών κριτηρίων, δύο τομείς οι οποίοι από την φύση τους δεν μπορούν να αποσαφηνιστούν.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια βιβλιογραφική επισκόπηση της χρήσης των εξελικτικών αλγορίθμων στην μουσική σύνθεση.

Στο κεφάλαιο 3 αναλύεται το τεχνικό κομμάτι αυτής της εργασίας, το οποίο περιλαμβάνει ένα πρόγραμμα μουσικής σύνθεσης. Πιο συγκεκριμένα, στην αρχή αναφέρονται ποιές ήταν οι πρώτες προσεγγίσεις στο θέμα, και έπειτα με συνδέσεις σε κάποιες από τις βιβλιογραφικές αναφορές του 2ου κεφαλαίου, τεκμηριώνεται το γιατί και πώς υλοποιήθηκε η τρέχουσα προσπάθεια.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα μέσα από την κριτική του συγγραφέα αλλά και τρίτων.

Στο κεφάλαιο 5 εξάγονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Στο τέλος αναλύονται οι ιδέες για το πως μπορεί η τρέχουσα προσέγγιση να επεκταθεί περαιτέρω.

Άρθρα από τα συνέδρια EnoMusArt και αρκετά κεφάλαια από το βιβλίο Evolutionary Computer Music αποτέλεσαν την βιβλιογραφική βάση αυτής της εργασίας.

Στα σημεία του 2ου κεφαλαίου όπου γίνεται αξιολόγηση, η πραγματοποίηση της επιτυγχάνεται κατόπιν ακρόασης των παραγόμενων αποτελεσμάτων. Στις περιπτώσεις που αυτά δεν ήταν διαθέσιμα, παρατίθεται η κριτική των εκάστοτε συγγραφέων - εφόσον αυτή υπάρχει.

1.1 Ευφυής μουσική σύνθεση

Η μουσική σύνθεση αποτελεί μια καλλιτεχνική διαδικασία, και ως κάτι που έχει να κάνει με τέχνη, οδηγεί στην αντικειμενική δυσκολία κατανόησης και αξιολόγησής της. Είναι εμφανές ότι η μουσική σύνθεση δεν αποτελεί μια δημιουργία από το κενό, αλλά έχει να κάνει με τις γνώσεις και τις εμπειρίες του δημιουργού. Επιπλέον καθοριστικό ρόλο σε αυτήν παίζει το πολιτισμικό περιβάλλον όπου αυτός βρίσκεται αλλά και η ιδιαίτερη στιγμή που αυτός θα δημιουργήσει[29].

Μια μεγάλη - αλλά αναμενόμενη - δυσκολία στην οποία υπάγεται αυτή η διαδικασία είναι η διαφορά στην αντίληψη που υπάρχει από άτομο σε άτομο για το τι μπορεί να είναι η μουσική. Η διαφορά αυτή διευρύνεται σε χάσμα αν κάποιος συμπεριλάβει τους πολιτισμικούς παράγοντες[3] και τους παράγοντες της μόδας[7] - κάτι που μπορεί να είναι αρεστό σε έναν τόπο δε σημαίνει ότι θα είναι σε έναν άλλο και κάτι το οποίο αρέσει

σήμερα μπορεί άυριο να θεωρείται παρωχημένο και αδιάφορο. Η διαφοροποίηση που υπάρχει στην κατανόηση και την αντίληψη της μουσικής φαίνεται από το ότι μεγάλο μέρος των συγγραφέων επισημαίνει ότι κάποιες επιλογές γίνονται καθαρά βάση των δικών τους προσωπικών εκτιμήσεων και προτιμήσεων, κάτι που υπογραμίζει το γενικότερο πρόβλημα των αισθητικών κριτηρίων. Επιπλέον, αν κάποιος περάσει το πρώτο πρόβλημα και κάνει κάποιες επιλογές, προκύπτει το ερώτημα: Ποιος είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος να εμψύσει κάποιος αυτά τα κριτήρια σε ένα σύστημα. Η αναγωγή της μουσικής σε μια καθαρά αλγοριθμική διαδικασία βάζει το δίλημμα για το αν θα πρέπει να εισαχθούν πολλοί κανόνες που μπορούν να την κάνουν αρκετά προβλέψιμη και βαρετή[8] ή αν το σύστημα θα είναι πιο ελεύθερο για εξερεύνηση, κάτι που θέτει το κίνδυνο της ακουστικής παραφωνίας.

Η αντιμετώπιση της μουσικής ως μιας αλγοριθμικής διαδικασίας φαίνεται να ξεκίνησε το 1026 από τον ιταλό μοναχό Guido D'arezzo ο οποίος αναγκάστηκε να συστηματικοποιήσει την σύνθεση λόγω του όγκου των Γρηγοριανών ψαλμωδιών που έπρεπε να παράγει[36]. Αρκετό καιρό αργότερα ο Μότσαρτ, χρησιμοποίησε αυτό που ονομάστηκε 'παιχνίδια ζαριών' (Mozart Dice Games) στα οποία τα αποτελέσματα των ρίψεων καθόριζαν την σειρά που θα έπαιρναν προϋπάρχουσες αριθμημένες παρτιτούρες. Άλλο ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα στα μέσα του 20ου αιώνα αποτελεί ο Γιάννης Ξενάκης[9] ο οποίος δημιούργησε μουσική από τύπους μαθηματικών, φυσικής αλλά και από τα μαθηματικοποιημένα σχέδια αρχιτεκτονικών κτισμάτων (στην προσπάθειά του να ταιριάζει μουσική σε ένα χώρο). Η συμβολή του Ξενάκη στον χώρο ήταν μεγάλη και πρωτοστάτησε στην χρήση εναλλακτικών τεχνικών όπως αυτής των κυτταρικών αυτομάτων (cellular automata).

Από τις αρχικές απόπειρες αλγοριθμικής σύνθεσης με την χρήση υπολογιστικών συστημάτων ήταν η χρήση των αλυσίδων Μάρκοφ (Markov chains). Η μεθοδολογία αυτή έκανε στατιστική ανάλυση ενός συνόλου μουσικών κομματιών. Το αποτέλεσμα της ήταν η δημιουργία πινάκων που περιείχαν τις πιθανότητες με τις οποίες μια νότα θα μπορούσε να διαδεχτεί μια άλλη ή μια σειρά από άλλες. Ενώ αυτό το μοντέλο είναι αρκετά αποτελεσματικό στην ανάλυση μικρών μουσικών ακολουθιών, για να μπορέσει να γίνει καταχώρηση ακολουθιών σημαντικού μήκους το μέγεθος των πινάκων μεγαλώνει εκθετικά[24]. Η ανθρώπινη αντίληψη της μουσικής όμως γίνεται με σύνθετους και 'υπόγειους' τρόπους που απλά στατιστικά μοντέλα δεν είναι σε θέση να αποτυπώσουν[17], κάτι το οποίο εξηγεί γιατί το προηγούμενο στατιστικό μοντέλο είχε πολύ περιορισμένη επιτυχία.

Για τους παραπάνω λόγους έγιναν κάποιες προσπάθειες η οποίες μετακινήθηκαν στον

χώρο αναζήτησης ενός τρόπου που θα μπορούσε να οδηγήσει ένα πρόγραμμα στο να συνθέσει μουσική η οποία θα είχε την δικιά της μοναδικότητα. Η προσπάθεια επίτευξης αυτού του στόχου έγινε κάποιες φορές με την εισαγωγή κανόνων μουσικής θεωρίας, άλλες φορές χρησιμοποιώντας μια βάση δεδομένων εκμάθησης, όπως επίσης και με τον συνδυασμό αυτών των δύο. Η δημιουργία προγραμμάτων που προσπάθησαν να μιμηθούν μουσικά θέματα πάνω στα οποία είχαν εκπαιδευτεί στέφθηκε με μεγαλύτερη επιτυχία, για τον λόγο ότι τα κριτήρια έγιναν περισσότερο αντικειμενικά. Η σύγκριση είναι μία πιο ξεκάθαρη διαδικασία από την αξιολόγηση ενός αποτελέσματος που εμπεριέχει κατεξοχήν αισθητικά κριτήρια.

Η κωδικοποίηση του προβλήματος της σύνθεσης ως ένα πρόβλημα συνδυαστικής - δηλαδή την διάταξη μουσικών στοιχείων και των χαρακτηριστικών τους σε μία χρονική γραμμή - έδειξε ότι ο χώρος αναζήτησης είναι αχανής και ένα μεγάλο μέρος αυτού είναι πρακτικά δίχως κανένα μουσικό ενδιαφέρον. Τον καλύτερο εξερευνητή ενός τέτοιου χώρου μπορεί να αποτελέσει ένας Η/Υ. Η εξερεύνηση τμημάτων αυτού του χώρου, όπου ο ανθρώπινος νους δεν θα μπορούσε, ή δεν θα είχε φανταστεί να κινηθεί, δείχνει το ενδιαφέρον που έχει αυτό το πεδίο. Επίσης φαίνεται και ο εναλλάκτικος ρόλος που μπορεί να έχει ένα υπολογιστικό σύστημα ως βοηθός ενός συνθέτη σε μία αμφίδρομη σχέση. Ο συνθέτης μπορεί καθοδηγήσει το μηχάνημα ώστε αυτό να τον οδηγήσει σε καινούργιες μουσικές 'τοποθεσίες'. Με αυτόν τον τρόπο η υπολογιστική μουσική σύνθεση μπορεί να βοηθήσει κάποιον εάν αυτός έχει φτάσει σε ένα τέλμα μουσικών ιδεών.

Παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον το γεγονός ότι μία ευρετική μέθοδος που μπορεί να προστεθεί σε ένα μηχανισμό αναζήτησης μπορεί να βρει λύσεις που έχουν ξεφύγει από τον δημιουργό του συστήματος[13]. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το πρόγραμμα GenDash, το οποίο ο Waschka II χρησιμοποίησε για να τον βοηθήσει σε διάφορα μέρη της σύνθεσης, π.χ. ενορχηστρώσεις ενός ή περισσότερων μερών, παράγοντας ενδιαφέροντα και εύηχα αποτελέσματα τα οποία δεν μπορούν να αξιολογηθούν καθαρά ως μια δημιουργία μηχανής. Σε αντιπαράθεση με αυτό, προκύπτει ένα από τα πιο κρίσιμα προβλήματα στον χώρο και είναι η αυτόματη αξιολόγηση ενός μουσικού κομματιού - ένα πρόβλημα το οποίο μέχρι σήμερα δεν φαίνεται να έχει καλυφθεί επαρκώς.[27, 8]

Στον τομέα της ΤΝ, παλαιότερες τεχνικές όπως οι εξελικτικοί αλγόριθμοι, τα νευρωνικά δίκτυα και τα κυτταρικά αυτόματα, αλλά και πιο καινούργιες όπως η νοημοσύνη σμήνους (swarm intelligence) στο γενικότερο πλαίσιο της τεχνητής ζωής (artificial life), ενέπνευσαν ερευνητές του χώρου να δοκιμάσουν κατά πόσο αυτές οι τεχνικές - ή συνδυασμοί

αυτών - θα είχαν την δυνατότητα να δημιουργήσουν συστήματα που θα μπορούσαν να παράγουν κάτι το οποίο θα είχε αισθητικό ενδιαφέρον. Κάθε μία από αυτές διαθέτει κάποια ξεχωριστά χαρακτηριστικά για αυτό και σε πολλές δουλειές του χώρου γίνεται δημιουργία υβριδικών προγραμμάτων έτσι ώστε να γίνει εκμετάλλευση των στοιχείων του καθενός. Η μουσική σύνθεση, και - πόσο περισσότερο - αυτή που έχει αισθητικό ενδιαφέρον, όπως λέει ο Jacob[18] επιτυγχάνεται είτε έχοντας έμπνευση, είτε μέσα από σκληρή δουλειά. Η κατανόηση της έμπνευσης δεν γίνεται σε ένα ικανοποιητικό βαθμό μέχρι σήμερα, συνεπώς υπάρχει πολύ μικρή πιθανότητα τεχνητής αναπαραγωγής της. Για αυτόν τον λόγο είναι αναμενόμενο τα υπολογιστικά συστήματα να προσφέρονται περισσότερο για τον δεύτερο τρόπο, κάτι στο οποίο ειδικεύονται. Αξίζει να σημειωθεί ότι το συντριπτικό μέρος των αναφορών κάνουν χρήση MIDI (Musical Instrument Digital Interface), ως διασύνδεση με μουσικά όργανα (π.χ. συνθεσάιζερ) ή ως μορφή για την παραγόμενη μουσική.

Ακολουθεί βιβλιογραφική επισκόπηση των εξελικτικών αλγορίθμων για τον λόγο ότι είναι η τεχνική που χρησιμοποιείται στην παρούσα δουλειά. Η επιλογή αυτής της μεθοδολογίας έχει γίνει για δύο λόγους: Ο πρώτος αφορά την παρουσία εκτεταμένης βιβλιογραφίας και προσπάθειας από ερευνητές σε αυτό το πεδίο και ο δεύτερος αφορά το πιστεύω ότι αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για να δώσει θετικά αποτελέσματα, παρόλο που η λειτουργική της επιτυχία είναι ανεξιχνίαστη.

Κεφάλαιο 2

Εξελικτικοί Αλγόριθμοι και Μουσική Σύνθεση

Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι (evolutionary algorithms - EA) αποτελούν μια ευρετική τεχνική βελτιστοποίησης. Η ευελιξία τους είναι αυτή που υπόσχεται ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για την δημιουργία μουσικής με την πορεία τους να καθοδηγείται από ένα είδος τυφλότητας η οποία καθορίζει την κίνησή τους σε έναν αχανή χώρο[31]. Η ιδέα των EA έχει εμπνευστεί από την θεωρία του Δαρβίνου για την εξέλιξη των ειδών. Ένας πληθυσμός αποτελεί ένα σύνολο λύσεων και ανά τις γενεές τα άτομα του πληθυσμού διασταυρώνονται (crossover) μεταξύ τους δίνοντας με αυτόν τον τρόπο ένα νέο σύνολο λύσεων. Από τους διαδοχικούς πληθυσμούς επιλέγονται (natural selection) - τις περισσότερες φορές - να διατηρηθούν οι καλύτερες λύσεις (επικράτηση του ισχυροτέρου) κάτι το οποίο γίνεται με μια συνάρτηση απόδοσης ποιότητας (fitness function). Γενετικοί τελεστές (genetic operators) όπως οι μεταλλάξεις (mutations) προσπαθούν να εισάγουν καινούργιο γενετικό υλικό στον πληθυσμό κάτι που δίνει ένα μεγαλύτερο εύρος δυνατών λύσεων, πράγμα που πολλές φορές βοηθά την αποφυγή της πρόωρης σύγκλησης.

Ένα χαρακτηριστικό είδος μουσικής σύνθεσης είναι η τροποποίηση μιας μουσικής ιδέας σε μια καινούργια αλλά σχετική[13]. Οι EA δείχνουν να είναι κατάλληλοι για μια τέτοια διαδικασία χάρη στον τρόπο λειτουργίας τους. Οι γενετικοί τελεστές όπως η διασταύρωση και η μετάλλαξη μπορούν να ενώσουν δύο κομμάτια σε ένα ή να τροποποιήσουν ένα υπάρχον αντίστοιχα, χωρίς να χάνεται η αίσθηση του αρχικού κομματιού. Αυτή η διαδικασία δεν μειώνει την μουσική σύνθεση, καθότι ακόμα και στο μυαλό του πιο ταλαντούχου συνθέτη υποβόσκουν υπάρχουσες μελωδίες οι οποίες μπορούν να 'μεταλλαχτούν' σε κάτι καινούργιο.

Στο παραπάνω, που μπορεί να ονομαστεί θεματική μετάβαση ή γεφύρωση (thematic bridging) έγινε και μια από τις πρώτες δουλειές στον χώρο των γενετικών αλγορίθμων¹. Οι A. Horner και E. Goldberg δημιούργησαν ένα πρόγραμμα το οποίο έκανε μια ομαλή μετάβαση από μια μουσική φράση σε μια άλλη με την δημιουργία ενδιάμεσων. Η δημιουργία τελεστών μετάλλαξης οι οποίοι δεν λειτουργούσαν στο χαμηλό επίπεδο αλλαγής τυχαίων σημείων του γονότυπου αλλά σε ένα υψηλότερο επίπεδο βασιζόμενοι σε μουσικούς κανόνες, οδήγησαν το πρόγραμμα σε κάποια σχετική επιτυχία[2]. Η εφαρμογή μεταλλάξεων χαμηλού επιπέδου εγκαταλείφθηκε πρόωρα στο μεγαλύτερο σύνολο των δοκιμών αφού και αργότερα χρησιμοποιήθηκαν τελεστές με ακόμα μεγαλύτερη γκάμα δυνατοτήτων, οι οποίοι όχι μόνο έδιναν ποικιλομορφία στην μουσική, αλλά είχαν και την δυνατότητα να δομήσουν τα μουσικά θέματα με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι περισσότερο ευχάριστα στον ακροατή[16, 11].

Σε παρόμοιο λογικό πλαίσιο με την δουλειά των A. Horner και E. Goldberg κινήθηκε ο Andrew Gartland-Jones στο πρόγραμμά του MusicBlox. Ο χρήστης μέσα από ένα γραφικό περιβάλλον είχε την δυνατότητα να δημιουργήσει κύβους καθένας εκ των οποίων εμπεριείχε μία μουσική φράση. Ο χρήστης είχε την δυνατότητα επιλέγοντας δύο κύβους να κάνει αυτόν με την μουσική που του άρεσε να επηρεάσει τον άλλο - να κάνει δηλαδή μία θεματική μετάβαση, κάτι που αποτελεί το θέμα της προηγούμενης παραγράφου. Το πρόγραμμα αυτό έλυσε δύο σημαντικά προβλήματα. Το ένα ήταν η αποφυγή της συμφόρησης της συνάρτησης αξιολόγησης χωρίς να την αυτοματοποιεί και το δεύτερο ήταν η αποφυγή περιορισμού του χώρου αναζήτησης[12, 13].

Επιπλέον, οι ΕΑ χρησιμοποιήθηκαν σε μια πληθώρα προσπαθειών σε διάφορους επιμέρους χώρους όσον αφορά την μουσική σύνθεση. Κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η δημιουργία ρυθμών[10], στο οποίο πρέπει να σημειωθεί ότι η αναπαράσταση των δεδομένων είναι διαφορετική από αυτό της τονικής μουσικής[22], η εναρμόνιση (harmonization) μιας μουσικής μελωδίας ή μιας μπασσογραμμής (bass line)[30].

Σημαντικός διαχωρισμός επίσης γίνεται στο εάν το σύστημα θα δημιουργεί ένα κομμάτι και θα το αποθηκεύει, εάν θα παίζει δυναμικά καθοριζόμενο από τις ρυθμίσεις ενός γραφικού περιβάλλοντος ή εάν θα δέχεται ως εισαγωγή αυτό που θα 'ακούει' από κάποιον μουσικό εκτελεστή.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια έντονη απόκλιση από τον παραδοσιακό τρόπο

¹Οι γενετικοί αλγόριθμοι αποτελούν μία παραπλήσια τεχνική με τους ΕΑ. Η διαφορά τους έχει να κάνει κατά κύριο λόγο με την υλοποίηση που χρησιμοποιεί η καθεμία.

λειτουργίας των ΕΑ. Η εισαγωγή ευφών τελεστών μετάλλαξης, η διασταύρωση σε σημεία όπου ευνοείται περισσότερο η μουσική συνοχή, καθώς επίσης η ανανέωση του πληθυσμού από έναν γονέα και όχι δύο είναι μερικά από αυτά. Οι Prisco και Zaccagnino[30] χρησιμοποιούν μία ευφή διασταύρωση στην οποία τα σημεία τομής επιλέγονται όχι τυχαία, αλλά με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνεται λιγότερη παραβίαση μουσικών κανόνων. Η διασταύρωση επενεργεί 2 φορές αλλάζοντας τους ρόλους των 2 χρωμοσωμάτων. Με ανάλογο τρόπο λειτουργεί και η μετάλλαξη η οποία λειτουργεί μόνο εάν βρεθεί ένα ζευγάρι συγχορδιών που έχουν δημιουργηθεί τυχαία και το εισάγει σε ένα χρωμόσωμα έτσι ώστε και πάλι να μην γίνεται παραβίαση σημαντικών κανόνων.

Ο Eigenfeldt[10] δημιούργησε ένα εξελικτικό σύστημα το οποίο παράγει μουσικούς ρυθμούς. Στην τρίτη έκδοση του, το πρόγραμμα Kinetic Engine έχει σύμφωνα με τον δημιουργό του κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που είναι τα παρακάτω: Η εξελικτική πορεία συμβαίνει με μεταβάσεις που βρίσκονται μέσα στον πληθυσμό, παρά με την ευθεία τροποποίηση του. Οι μεταβάσεις αυτές δημιουργούν τους πετυχημένους επόμενους πληθυσμούς οι οποίοι έχουν παραλλαγές φράσεων παρά γενικευμένες τομείς. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση ενός γονέα γιατί πειραματικά η διασταύρωση γονέων έδειξε ότι οδηγεί σε μη-μουσικούς ρυθμούς. Ένα επιπλέον ιδιαίτερο χαρακτηριστικό είναι η χρήση ενός είδους μουσικής μνήμης που κρατάει τους ρυθμούς που έχουν παιχτεί και μπορεί να τους επαναφέρει στον πληθυσμό. Επιπλέον, το σύστημα δεν μαθαίνει γενικούς κανόνες γιατί ο συγγραφέας δηλώνει πως η πετυχημένη μουσική εξαρτάται εξολοκλήρου από τά 'συμφραζόμενα'. Οι δύο τελεστές μετάλλαξης που χρησιμοποιούνται είναι ένας τύπου Στραβίνσκι που αλλάζει τις παύσεις στην αρχή και το τέλος ενός μέτρου με νότες και ο δεύτερος τοποθετεί υπομέρη σε συγκεκριμένους χτύπους. Η εκτελεστικές δυνατότητες του Kinetic Engine έχουν προοπτικές καθώς είναι ένα σύστημα που εκτελείται σε πραγματικό χρόνο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν συνοδός για αυτοσχεδιασμό. Πρέπει να σημειωθεί εδώ όμως ότι η αξιολόγηση ενός μουσικού ρυθμού μπορεί να είναι πολύ πιο ελαστική από αυτήν μιας μουσικής μελοδίας.

Κρίσιμο κομμάτι στους ΕΑ είναι η επιλογή του τρόπου κωδικοποίησης των λύσεων. Το σύνολο των ατόμων (πληθυσμός) που διατηρεί το γενετικό υλικό (γονότυπος) ο οποίος μεταφράζεται μέσα από κάποιες διαδικασίες σε κάτι το οποίο είναι μουσικά απτό (φαινότυπος). Ο πληθυσμός ακολουθεί έναν αριθμό βημάτων οι οποίοι μπορούν να συνοψιστούν στα εξής[28]:

1. Αξιολόγηση του πληθυσμού και επιλογή των γονέων.

2. Εφαρμογή γενετικών τελεστών (διασταύρωση, μετάλλαξη) για την δημιουργία απογόνων.
3. Αξιολόγηση των απογόνων και αντικατάσταση ενός μέρους του αρχικού πληθυσμού με αυτούς.

Με την ολοκλήρωση αυτών των βημάτων τα οποία παρουσιάζουν μία τυπική πάροδο εποχής ενός γενετικού αλγορίθμου, ο πληθυσμός είναι ανανεωμένος με άτομα τα οποία οδηγούν την εκτέλεση σε μία, υπό κάποιες προϋποθέσεις, μόνιμη βελτίωση. Αυτός ο κύκλος βημάτων είναι ενδεικτικός και οι διάφορες υλοποιήσεις παρουσιάζουν αρκετές αποκλίσεις από αυτόν. Παρακάτω παρουσιάζονται οι διαφοροποιήσεις που μπορεί να υπάρχουν σε καθένα από αυτά τα βήματα με αναφορές σε εργασίες που έχουν γίνει στον χώρο κατά κύριο λόγο την τελευταία δεκαετία. Για παλαιότερες δουλειές κάποιος μπορεί να ανατρέξει σε κάποιες άλλες ανασκοπήσεις[29, 13, 31].

2.1 Κωδικοποίηση

Η κωδικοποίηση είναι το πρώτο πολύ σημαντικό κομμάτι στην προσέγγιση του προβλήματος. Από αυτήν θα καθοριστούν οι μουσικές δυνατότητες που θα έχει το πρόγραμμα και αυτό έχει μεγάλη σύνδεση με τον χώρο αναζήτησης στο οποίο αυτό θα κινηθεί. Χωρίς να σημαίνει ότι κάποια από τα παρακάτω δεν θα μπορούν να καθοριστούν από κάποιο μετέπειτα μέρος της εκτέλεσης, στις περισσότερες προσεγγίσεις η κωδικοποίηση θα περιέχει όλες τις μουσικές παραμέτρους που θα χρειάζεται το πρόγραμμα και αυτές έχουν να κάνουν με τον τόνο μια νότας, την διάρκεια και την ένταση. Επιπλέον θα καθοριστεί κατά πόσο το πρόγραμμα θα αποτελείται από μια μελωδία ή πολλές, αν θα υπάρχουν σολιστικά όργανα και αν θα υπάρχουν συγχορδίες. Ένα θέμα κάπως ανώτερο επιπέδου που προκύπτει είναι ύπαρξη κάποιου επαναλαμβανόμενου, ή ελαφρώς παραλλαγμένου θέματος όπως επίσης αν θα υπάρχει μια γενικότερη δομή στο αποτέλεσμα.

Η κωδικοποίηση που έχει χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό είναι η δυαδική². Η κωδικοποίηση αυτού του τύπου παρουσιάζει ένα είδος ευελιξίας στη μετατροπή του γονότυπου στον φαινότυπο γιατί μπορεί να καθορίσει ακριβώς τι είναι τι. Μπορεί για παράδειγμα να γίνει εκχώρηση τεσσάρων, μεγέθους 7 μπιτ μερών για την κωδικοποίηση, τεσσάρων

²Ένα γνώρισμα που συναντάει κανείς πιο συχνά στους γενετικούς αλγορίθμους που αναφέρθηκαν παραπάνω

μουσικών νότων[3] - τα οποία υπερκαλύπτουν το εύρος ενός μοντέρνου πιάνου που έχει μέγεθος $7\frac{1}{4}$ οκτάβες³. Μια διαφορετική προσέγγιση είναι η χρήση 12 μπιτ, το καθένα από τα οποία παριστάνει σειριακά όλες τις νότες μιας οκτάβας. Με αυτή την κωδικοποίηση μπορούν να ακουστούν περισσότερες νότες ταυτόχρονα (αυτές που θα έχουν την τιμή ένα στον γονότυπο), πράγμα που μας δίνει μια συγχορδία. Η κωδικοποίηση αυτή δίνει επίσης μια εξερευνητική ευελιξία να γίνει χρήση 19 μπιτ για την παρουσία μιας οκτάβας αφού κάθε νότα αντιστοιχεί σε μια συχνότητα, κάτι που μας οδηγεί στην μικροτονική μουσική[6]. Παρομοίως αλλά με διαφορετική κωδικοποίηση, μπορούν να εκχωρηθούν τμήματα σε ένα δυαδικό γονίδιο για την οκτάβα μιας νότας και την έντασή της[21, 20].

Μία εναλλακτική κωδικοποίηση είναι η αριθμητική. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα που υπάρχει έναντι της δυαδικής είναι ότι μπορεί να γίνει καλύτερη κατανόηση των νότων και κατά συνέπεια να γίνει παρατήρηση της εξελικτικής πορείας του συστήματος. Επιπλέον, μπορεί εύκολα να γίνει τροποποίηση των τιμών σε αποθηκευμένα αρχεία. Η παρουσίαση αυτών των δυνατοτήτων υπάρχει στην δουλειά του T.Oliwa[26] ο οποίος έκανε χρήση ζευγαριών γονότυπων εκ των οποίων το ένα χρησιμοποιείται για τους τόνους και ο άλλος για τις διάρκειες για κάθε μια από τις μουσικές νότες. Η προσπάθειά του έχει την ιδιαιτερότητα ότι παράγονται εξελικτικά τα όργανα μιας ροκ μπάντας (δύο κιθάρες, πλήκτρα, τύμπανα). Ανάλογα με τον ρόλο του οργάνου γίνεται και η κωδικοποίηση των γενετικών δεδομένων. Η πολυφωνία όμως που παρουσιάζεται δεν μπορεί να χαρακτηριστεί από καλή συνοχή μεταξύ των οργάνων καθώς επίσης οι παραγόμενες μελωδίες δεν μπορούν να πείσουν τον ακροατή ότι παρουσιάζουν ενδιαφέρον.

Από την κριτική σκοπιά του συγγραφέα η αριθμητική κωδικοποίηση έχει σημαντικά πλεονεκτήματα απέναντι στην δυαδική. Κάποιος θα μπορούσε να πει ότι η χρήση των γονιδίων μικρού μήκους, όπως για παράδειγμα μήκους τριών ακεραίων που αντιπροσωπεύουν την τονικότητα, την διάρκεια, και την ένταση, μειώνει το εύρος χώρου αναζήτησης άρα και μειώνει τις δυνατότητες του ΓΑ. Αυτό το μειονέκτημα λύνει όμως το πρόβλημα που δημιουργείται από μια τυφλή διασταύρωση δύο γονέων και οδηγεί σε νότες οι οποίες είναι μεν απρόοπτες αλλά το πιθανότερο να είναι ελάχιστα ταιριαστές ή πολύ πιθανόν παράφωνες για το υπόλοιπο μουσικό σύνολο. Για τον ίδιο λόγο έχει περιοριστεί η χρήση τελεστών μετάλλαξης η οποίοι μπορούν να αλλάζουν κάποιες τιμές του γονοτύπου χωρίς καμία λογική. Η κάλυψη του κενού που δημιουργείται από ένα γονότυπο υψηλότερου επι-

³Μια οκτάβα (στην δυτική μουσική θεωρία) αποτελείται από 12 νότες, δηλαδή έχουμε $7 \times 12 + 12/4 = 87$ νότες ενώ 7 μπιτ δίνουν 128 διαφορετικές τιμές.

πέδου μπορεί να καλυφθεί με άλλους ευφυείς τελεστές (π.χ. μετάλλαξη), κάτι το οποίο θα αναλυθεί παρακάτω.

Τα τελευταία χρόνια έγινε μια διαφοροποίηση από τις συνηθισμένες κωδικοποιήσεις. Ο Dahlstedt χρησιμοποίησε την δενδρική δομή δεδομένων σε ένα πρόγραμμα γενετικού προγραμματισμού⁴, κάτι το οποίο είχε το πλεονέκτημα της ευελιξίας και της προσαρμοστικότητας, μιας και η μουσική μπορεί να περιγραφεί ως μια ιεραρχική δομή[27]. Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα αυτής της υλοποίησης ήταν η ευκολία με την οποία μπορούσε να γίνει η επανάληψη φράσεων με κρεσέντο ή ντε-κρεσέντο. Η επανάληψη στην μουσική προσδίδει πολλές φορές την παρουσία ενός θέματος στο γενικότερο πλαίσιο της συνοχής. Αυτό διευκολύνει τον ακροατή να εξοικειωθεί με μία φράση η οποία μπορεί εύκολα να αποτυπωθεί στο μυαλό του. Το Ossia Suite[1] αποτελεί μία πολύ ενδιαφέρουσα προσπάθεια η οποία έχει τα προηγούμενα χαρακτηριστικά. Παρόλα αυτά δεν μπορεί να αποτελέσει ένα άκουσμα το οποίο θα κερδίσει τους περισσότερους ακροατές, εκτός και αν αυτοί έχουν πολύ πειραματικές μουσικές προτιμήσεις.

Οι Reddin et al. χρησιμοποίησαν Γραμματική Εξέλιξη (Grammatical Evolution - ΓΕ) για την κωδικοποίηση του προβλήματός τους. Η ΓΕ αποτελεί ένα είδος Εξελικτικού Προγραμματισμού στο οποίο γίνεται προσδιορισμός της φόρμας του προγράμματος με παραγόμενες γραμματικές (generative grammars) οι οποίες αποτελούνται από κανόνες και τελεστές. Αυτή η προσέγγιση προσφέρει την ευελιξία στα παραγόμενα αποτελέσματα αφού το είδος των κανόνων θα καθοριστεί από περιορισμούς και από την συνάρτηση αξιολόγησης[15]. Το πρόγραμμα των παραπάνω συγγραφέων με το όνομα EvelatedPitch παρουσιάζει ενδιαφέρον παρόλη την αίσθηση παραφωνίας σε κάποια σημεία. Τα μειονεκτήματα που εμφανίζονται εδώ είναι η δημιουργία μικρών θεμάτων μέσα σε ένα γραφικό περιβάλλον όπου ο χρήστης έχει σχετικά λίγες επιλογές. Επιπλέον, δεν είναι ιδιαίτερα εξερευνητικό και υπάρχει υπέρβαση έλλειψη παύσεων.

Οι Wolkowicz et al.[35] κάνουν μια διαφορετική κωδικοποίηση παρουσιάζοντας τα χαρακτηριστικά που έχουν οι νότες (διάρκεια, τονικότητα) όχι ως απόλυτες ακέραιες τιμές, αλλά ως τιμές που δείχνουν την συσχέτιση της μίας νότας με την επόμενη. Το ζευγάρι αυτό ονομάζεται N-gram. Έτσι, η τονικότητα παρουσιάζεται ως η διαφορά σε ημιτόνια που έχει μία νότα με μία άλλη και παίρνει αρνητικές τιμές στην περίπτωση που μία νότα

⁴Ο γενετικός προγραμματισμός (ΓΠ) έχει διαφορετική υλοποίηση και φιλοσοφία, αλλά χάρη σύμβασης εδώ καταχωρείται στο γενικότερο πλαίσιο των ΕΑ. Για μία καλή περιγραφή του ΓΠ ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στο [19].

έχει πιο χαμηλή τονικότητα από την προηγούμενή της. Η διάρκεια παρουσιάζεται με τον ίδιο τρόπο αλλά ως ο στρογγυλοποιημένος δυαδικός λογάριθμος.

Όπως και στο [4], η κωδικοποίηση αυτή έχει το σημαντικό πλεονέκτημα ότι δίνει την δυνατότητα εύκολης μετακίνησης από μία κλίμακα σε μία άλλη αλλάζοντας μόνο την αρχική νότα. Έχοντας κάποιος να αντιμετωπίσει τις μουσικές μεταβάσεις ως συσχετίσεις και όχι ως απόλυτες τιμές, προσεγγίζει το θέμα πιο ανθρωποκεντρικά. Το ανθρώπινο αυτί αντιμετωπίζει ένα μουσικό θέμα που έχει μεταφερθεί σε διαφορετικό κλειδί ως πολύ παρόμοιο με το αρχικό. Ένας μέσος ακροατής δεν καταλαβαίνει ότι μία νότα Ντο την διαδέχεται με νότα Ρε ή μία Σολ, αλλά του είναι πολύ πιο εύκολο να καταλάβει ότι το διάστημα στην πρώτη περίπτωση είναι αισθητά μικρότερο από αυτό της δεύτερης. Η προσέγγιση αυτή απαιτεί και έναν ιδιαίτερο τρόπο με τον οποίο θα γίνει η αξιολόγηση. Οι συγγραφείς κάνουν χρήση μιας παραλλαγής ενός τύπου από τον τομέα της Ανάκτησης Πληροφορίας (Information Retrieval) το οποίο δηλώνει ότι πιο σημαντικοί όροι είναι αυτοί που είναι συχνόι αλλά εμφανίζονται σε λιγότερα έγγραφα. Επιπλέον ένα τεχνούργημα (artifact) που εμφανίζεται στην υλοποίησή τους είναι το ακατάσχετο μέγλωμα των ατόμων με την πάρωδο αρκετών εξελικτικών κύκλων (note bloat).

Μία στατιστική σύγκριση των διαστημάτων κάνουν οι Oliwa και Wagner[25]. Οι δοκιμές τους περιλαμβάνουν μία στοχαστική, μια νευρωνική και μία τυχαία. Η αντίληψη των διαστημάτων είναι ένα από τα μεγαλύτερα ζητήματα στην μουσική σύνθεση και ακρόαση γενικότερα. Μία πληθώρα μουσικών κανόνων που εισάγονται σε διάφορες εργασίες έχουν ως βάση τους αυτό το θέμα. Η ανάλυση όμως και η πρόγνωση σε ένα βάθος μίας ή έναν μεγαλύτερο αριθμό από νότες μπορεί να δίνει κάτι μουσικά ορθό (βάσει θεωρίας) αλλά κάτι ανιαρό ως άκουσμα το οποίο μπορεί να μην έχει μουσική συνοχή. Στην δουλειά των δύο παραπάνω συγγραφέων η στοχαστική σύνθεση αποδίδει σαφέστατα κάτι πιο μουσικά ενδιαφέρον ενώ η νευρωνική αν και - όπως λένε οι ίδιοι οι συγγραφείς - έχει σε επιμέρους θέματα μία συνοχή, αυτή δεν παρατηρείται στο γενικότερο σύνολο του κομματιού. Η εξερευνητική πρόταση στα επιμέρους, και σταθερά, μέρη που έχει ένα μουσικό κομμάτι, ειδικά σε πιο απλά είδη μουσικής όπως είναι η ποπ ή η ροκ, αλλά και η τζαζ αξίζει να δοκιμαστεί. Η επανάληψη στη μουσική πολλές φορές κερδίζει τους ακροατές.

Ο Hochreiter[14] έκανε μια παρουσίαση του προβλήματος της σύνθεσης ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης. Η προσέγγισή του βασίζεται στην στατιστική ανάλυση των διαστημάτων του κάθε μέτρου μίας μελωδίας και ανάλογα με τα χρησιμοποιούμενα διαστήματα η συνάρτηση αξιολόγησης δίνει μία αξιολόγηση. Η διαφορά που έχει η προσπάθειά του

είναι η χρήση τυχαίας αρχικοποίησης με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνει η επέκταση μίας μουσικής μελωδίας. Κάθε μέτρο του παραγόμενου κομματιού θα έχει μία νότα του αρχικού και οι υπόλοιπες θα καθοριστούν από τον ΕΑ. Στην δουλειά του υπάρχει ένας πίνακας με τα ακούσματα που έχουν διάφορα διαστήματα στην κλασσική μουσική και στην τζαζ.

Η πορεία σε κωδικοποιήσεις υψηλότερου επιπέδου είναι αναπόφευκτες. Στην εποχή μας χωρίς περιορισμούς μνήμης και επεξεργαστικής ισχύος⁵, και με την παρουσία αντικειμενοστραφών γλωσσών προγραμματισμού, θα έπρεπε να γίνει μεγαλύτερη εκμετάλλευση αυτών των δυνατοτήτων. Η χρήση αντικειμένων που θα αναπαριστούν νότες ή συγχορδίες που μπορούν να εμπεριέχουν μεγάλο σύνολο μουσικής πληροφορίας, θα μπορούσαν να παρέχουν ευελιξία και ευκολία στον προγραμματιστή/ερευνητή.

2.2 Αρχικοποίηση του πληθυσμού.

Η αρχικοποίηση του πληθυσμού κατά κύριο λόγο μπορεί να είναι τυχαία, μπορεί να παίρνει τα δείγματά της από μια βάση δεδομένων ή μπορεί να γίνεται από εισαγωγή δεδομένων του χρήστη. Η κάθε μια από αυτές τις περιπτώσεις έχει τις περισσότερες φορές μια σύνδεση με τον γενικότερο στόχο που έχει το πρόγραμμα - χωρίς βέβαια αυτό να είναι αυστηρά απαραίτητο.

Η τυχαία αρχικοποίηση συνδέεται περισσότερο με την προσπάθεια δημιουργίας βάσει αντικειμενικών μουσικών κανόνων και έχει πολλές φορές σύνδεση με μια αυτοματοποιημένη συνάρτηση αξιολόγησης, Η προσέγγιση αυτή αποσκοπεί στην εξερεύνηση των δυνατοτήτων που έχουν οι ΕΑ ή την εξερεύνηση διαφορετικής και απρόβλεπτης μουσικής μέσω αυτών.

Στην αρχικοποίηση, χρησιμοποιώντας υπάρχοντα μουσικά θέματα από μία βάση ή από δεδομένα του χρήστη εξετάζεται η δυνατότητα των ΕΑ να λειτουργήσουν πάνω σε ένα συγκεκριμένο στυλ μουσικής ή πάνω στην μουσική προτίμηση που θέτει ο χρήστης αντίστοιχα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα με εισαγωγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από τον χρήστη πραγματοποίησε η εφαρμογή του Dahlstedt[27] το οποίο έπαιρνε είσοδο από μία μουσική φράση που θα έπαιζε ο χρήστης σε ένα πιάνο.

⁵Αυτό μπορεί να γίνει δικαιολογημένα αιτία διαφωνίας και ειδικότερα σε υλοποιήσεις η οποίες περιλαμβάνουν βαριές υλοποιήσεις ΓΑ ή νευρωνικών δικτύων η οποίες καλούνται να εκτελεστούν διαδραστικά σε πραγματικό χρόνο. Η τοποθέτηση αυτή είναι συγκριτική με τους περιορισμούς που αυτή είχε στα πρώτα χρόνια εφαρμογής αυτών των τεχνικών. Ειδικά αν λάβει κανείς υπόψη το [33] αυτή η τοποθέτηση καταλύεται.

2.3 Συνάρτηση αξιολόγησης

Η συνάρτηση αξιολόγησης είναι ένα από τα κρισιμότερα σημεία στον εξελικτικό προγραμματισμό. Ακόμα και αν έχει επιλεγεί μία κωδικοποίηση χρωμοσωμάτων με πληθώρα δυνατοτήτων, ο προσδιορισμός της είναι αυτός που θα οδηγήσει το πρόγραμμα σε μια σταδιακή βελτίωση μέχρι να δοθούν οι βέλτιστες λύσεις.

Οι δύο κύριοι τύποι συναρτήσεων αξιολόγησης είναι η αυτοματοποιημένη και η διαδραστική, οι οποίες διαφοροποιούν και το τι προσέγγιση θα γίνει στην επίλυση του προβλήματος. Η αυτοματοποιημένη οδηγεί στην προσέγγιση των αυτοματοποιημένων εξελικτικών αλγορίθμων (automated EA - AEA) και η διαδραστική, στην οποία ο χρήστης δίνει την αξιολόγηση, οδηγεί στους διαδραστικούς εξελικτικούς αλγορίθμους (intergrative EA - ΔΕΑ).

Επιπλέον υπάρχει ο τομέας της συνεξέλιξης ο οποίος αντιμετωπίζει την συνάρτηση αξιολόγησης όχι ως κάτι το στατικό αλλά ως κάτι που εξελίσσεται μαζί με τον πληθυσμό του προγράμματος. Ένα λογικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η συνεξέλιξη είναι καταλληλότερη για ένα τέτοιο πρόβλημα όπως αυτό της δημιουργίας οποιασδήποτε μορφή τέχνης, ειδικά αν λάβει κάποιος υπόψη του ότι η ανθρώπινη αξιολόγηση που γίνεται σε ένα έργο τέχνης είναι εξελισσόμενη. Η πρακτική δυσκολία που προκύπτει είναι - έχοντας ως δεδομένο - ότι το πρόβλημα δεν μπορεί να μοντελοποιηθεί με απλές υλοποιήσεις και είναι πρακτικά αδύνατο να γίνει μετακίνηση σε έναν χώρο του οποίου η πολυπλοκότητα αυξάνεται ραγδαία.

2.3.1 Αυτόματοποιημένη συνάρτηση αξιολόγησης

Η αυτοματοποιημένη συνάρτηση αξιολόγησης μπορεί να είναι ντετερμινιστική (βασισμένη σε κανόνες) , φορμαλιστική(μιμούμενη συγκεκριμένες δομές) ή νευρωνική (χρησιμοποιώντας τεχνητά νευρωνικά δίκτυα)[31].

Οι δύο πρώτες περιπτώσεις μπορούν να φανούν στην δουλειά των Y.Khalifa et al[21]. Στο πρόγραμμα τους γίνεται η δημιουργία μιας γραμματικής ελεύθερης συσχέτισης (context free grammar), στην οποία κωδικοποιούνται οι διαδοχές των συγχορδιών βάση της μουσικής θεωρίας. Σε αυτό αποτυπώνεται η υπακοή της μουσικής σε συγκεκριμένες μουσικές δομές. Η διαδοχή των συγχορδιών καθορίζει και καθορίζεται από το στυλ της μουσικής. Η θεωρητική εξήγηση είναι πέρα από τον σκοπό αυτού του κειμένου και ο αναγνώστης, έχοντας μια στοιχειώδη μουσική παιδεία μπορεί να ανατρέξει στο παραπάνω κείμενο.

Επιπλέον, στην ίδια συνάρτηση αξιολόγησης κωδικοποιούνται μουσικοί ντετερμινιστικοί

κανόνες που έχουν να κάνουν με τα διαστήματα⁶ που είναι περισσότερο συνηθισμένα (έχουν μεγαλύτερη μουσική αποδοχή) και με τις ποσοστιαίες αναλογίες που υπάρχουν σε τονικές νότες μιας κλίμακας, τις υπόλοιπες νότες και τις χρωματικές νότες. Οι συγγραφείς σημειώνουν ότι το ποσοστό τους μπορεί να αμφισβητηθεί και για αυτό μελλοντικός σκοπός τους είναι να το κάνουν παραμετροποιήσιμο από τον χρήστη ή από το είδος της ζητούμενης μουσικής.

Στην περίπτωση των ΑΕΑ, και ιδιαίτερα σε αυτήν που ο αρχικός πληθυσμός δημιουργείται τυχαία, γίνεται η προσπάθεια, όπως θα φανεί στην παρακάτω δολεία, εξερεύνησης κατά πόσο μπορεί να γίνει δημιουργία μουσικής η οποία βασίζεται σε μουσικούς κανόνες, και στην οποία γίνεται μια προσομοίωση της σκέψης και της χρήσης μουσικών εργαλείων που χρησιμοποιεί ένας συνθέτης. Οι Wigginiis et al.[11] ισχυρίζονται ότι σε μια τέτοια περίπτωση η προσέγγιση των ΕΑ βασίζεται κατά κύριο λόγο στην γνώση την οποία κατέχει το σύστημα. Ωστόσο λόγω της έλλειψης δόμησης στην 'σκέψη' με την οποία αυτοί λειτουργούν, τα αποτελέσματα απέχουν πολύ από τα ιδανικά που θα μπορούσε κάποιος να περιμένει. Επιπλέον, ακόμα και αν υπάρχει μια βέλτιστη λύση, λόγω της στοχαστικής φύσης τους είναι αμφίβολο κατά πόσο θα μπορούν να φτάσουν σε αυτήν.

Παρόλη την απαισιοδοξία της παραπάνω θέσης, οι ερευνητές του χώρου έχουν εξακολουθήσει να χρησιμοποιούν τους ΕΑ ερχόμενοι τις περισσότερες φορές σε πολύ πιο θετικά συμπεράσματα.

2.3.2 Διαδραστική συνάρτηση αξιολόγησης

Η προσέγγιση του προβλήματος μέσω των ΔΕΑ αποτελεί μια πιο υποκειμενική προσέγγιση του θέματος, επειδή σε αυτήν ο χρήστης καλείται να επιλέξει το μουσικά ωραίο και με αυτόν τον τρόπο οδηγεί το σύστημα σε αποτελέσματα τα οποία θα είναι αρεστά κατά κύριο λόγο στον ίδιο. Η προσέγγιση αυτή εξερευνά το θέμα με στόχο την κατανόηση και την αντίληψη της μουσικής σε ένα πιο υποκειμενικό επίπεδο. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι ακόμα και σε άτομα τα οποία ακούν την ίδια μουσική, η μουσική αντίληψη δεν σημαίνει ότι είναι η ίδια [34].

Ένα μειονέκτημα που υπάρχει στους ΔΕΑ είναι ότι διαδραστική συνάρτηση αξιολόγησης περιορίζει την αυτοματοποίηση της μουσικής σύνθεσης[35] επειδή κάποιος προσκρούει στο πρόβλημα της συμφόρησης της συνάρτησης αξιολόγησης (fitness bottleneck). Ακόμα και

⁶Το διάστημα στην μουσική ορίζεται ως η απόσταση σε ημιτόνια ανάμεσα σε δύο διαδοχικές νότες, π.χ. η Ντο (°) από την Ρε (Δ) έχει απόσταση δύο ημιτόνια.

σε μια υλοποίηση μικρών διαστάσεων, για παράδειγμα έναν πληθυσμό 20 ατόμων για 20 γενεές, ο χρήστης θα πρέπει να ακούσει 400 μικρά ή μεγάλα θέματα για να τροφοδοτήσει τη συνάρτηση αξιολόγησης με τις ανάλογες τιμές. Είναι αναπόφευκτο ότι οι περισσότεροι χρήστες θα κουραστούν και ενδεχομένως θα βαρεθούν πριν ακόμα το πρόγραμμα φτάσει στα μισά της εκτέλεσής του.

Για την επίλυση του προβλήματος αυτού έγιναν διάφορες προσεγγίσεις. Ο Biles στο πρόγραμμά του GenJam αντιμετώπισε το πρόβλημα, αφαιρώντας τη συνάρτηση αξιολόγησης και χρησιμοποίησε ευφυείς γενετικούς τελεστές μετάλλαξης. Αυτό με την σειρά του όμως απαλλάσσει από τους ΕΑ την εξελικτική φύση τους μετατρέποντας το πρόγραμμά του σε μια μηχανή ευφύων ανασυνδυασμών. Παρόλο που όπως λέει και ο ίδιος το πρόγραμμά του αποτελεί έναν συνεπή και ανταγωνιστικό μουσικό, δεν πληρεί τις προϋποθέσεις για να αξιολογηθεί ως ένα πρόγραμμα εξελικτικού προγραμματισμού [16].

Οι Unehara και Onisawa[34] έκαναν μια τομή των ΑΕΑ και των ΔΕΑ για να ξεπεράσουν το παραπάνω πρόβλημα με διαφορετικό τρόπο. Γενικότερος στόχος τους ήταν να περιορίσουν την κούραση του χρήστη στην αξιολόγηση αλλά και να διατηρήσουν την πολυπλοκότητα του συστήματος διατηρώντας τον μεγάλο πληθυσμό ο οποίος θα μπορούσε να εκτελεστεί για έναν σημαντικό αριθμό γενεών. Στην υλοποίησή τους χρησιμοποίησαν αυτοματοποιημένη συνάρτηση αξιολόγησης ώστε από έναν πληθυσμό 200 ατόμων να παρουσιάζονται στον χρήστη μόλις 12 σε ένα φιλικό διαδραστικό περιβάλλον στο οποίο αυτός θα είχε επιπλέον οπτική αναπαράσταση των μουσικών θεμάτων.

Άλλη μία δουλειά διαδραστικού ΓΠ παρουσιάζεται στο [5] η οποία επισημαίνει την σημασία του γραφικού περιβάλλοντος σε αυτόν τον τομέα επειδή δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να παρατηρήσει και να τροποποιήσει την εκτέλεση. Η κωδικοποίηση που παρουσιάζεται είναι παρόμοια με αυτή της[27] με την διαφορά ότι ο χρήστης έχει την δυνατότητα να παρακολουθήσει την εκτέλεση του προγράμματος βήμα-προς-βήμα, κάτι που του δίνει την δυνατότητα να διορθώσει τους γονότυπους και να επιλέξει τα άτομα που θα διατηρηθούν στον πληθυσμό ανάλογο με την προσωπική του προτίμηση βάση της οπτικο-ακουστικής εμπειρίας που του δίνει το περιβάλλον. Από τα μεγαλύτερα προτερήματα της δενδρικής τοπολογίας είναι ο φυσικός τρόπος με τον οποίον μπορούν να αναπαραστήσουν ένα μουσικό κομμάτι. Αυτό φαίνεται ιδιαίτερα στο ότι ένας αριθμός από παραδοσιασμούς συνθέτες έχει χρησιμοποιήσει αυτήν την αναπαράσταση για να κάνει ανάλυση των μουσικών κομματιών τους. Το μειονέκτημα που αυτή έχει είναι η πολυπλοκότητα που αποκτά ένα μεγάλο θέμα. Η προσέγγιση των συγγραφέων είχε ως στόχο να ξεπεραστεί αυτό το

πρόβλημα.

2.3.3 Συνεξέλιξη

Διαφοροποιήσεις από απλή αξιολόγηση του πληθυσμού, είτε με ΑΕΑ είτε με ΔΕΑ, μπορούν να βρεθούν σε διάφορες δουλειές που έχουν γίνει. Ένα πολύ ενδιαφέρον και υποσχόμενο πεδίο εξερεύνησης είναι η συνεξέλιξη (coevolution). Ο B.Jacob[6] βασιζόμενος στη προτίμηση του χρήστη δημιούργησε έναν πράκτορα (agent) ο οποίος αποτελούνταν από έναν αριθμό χρωμοσωμάτων που εξελίσσονταν. Τα χρωμοσώματα αυτά αποτελούσαν τα φίλτρα για την παραγόμενη μουσική, τα οποία χάρη στην εξέλιξη μπορούν να χαρακτηριστούν ως εξελικτικά φίλτρα.

Κάτι παραπλήσιο με το προηγούμενο αλλά με σαφή διαφορετική υλοποίηση, δοκίμασαν οι Todd και Werner. Στην υλοποίησή τους υπήρχαν δύο πληθυσμοί, οι αρσενικοί και οι θηλυκοί. Ο πρώτος ήταν αυτός που κατείχε τις μουσικές φράσεις και ο δεύτερος ήταν αυτός που καλούνταν να τις αξιολογήσει και να προτιμήσει με αυτόν τον τρόπο το ταίρι του. Με την επιλογή τους θα έδιναν έναν απόγονο, ο οποίος θα εμπεριείχε στον γονότυπό του τις μουσικές προτιμήσεις των γονιών του. Τα θηλυκά έκριναν βάσει των μουσικών τους προτιμήσεων - αυτό δηλαδή που ήθελαν να ακούσουν - ως καλύτερο, δίνοντας ένα ποσοστό στην έκπληξη - σε μια νότα που θα ήταν εξαιρετικά απίθανο να ακουστεί για αυτές. Με τους δύο πληθυσμούς να εξελίσσονται ταυτόχρονα, έγιναν δοκιμές με διάφορες ρυθμίσεις. Σε γενικές γραμμές όμως για την αποφυγή μιας πρόωρης σύγκλησης ο πληθυσμός αποκτούσε μεγάλη ανομοιογένεια και εγκατέλειπε την ανθρώπινη μουσική αισθητική. Οι δημιουργοί δηλώνουν κάπως αποθαρρυσμένοι από το μουσικό κόστος έναντι της καινοτομίας, αλλά και ότι υπάρχει αρκετή δουλειά για περαιτέρω διερεύνηση[29].

Μιά 'συνελικτική' προσέγγιση δοκίμασαν και οι Santarosa et al[32]. Στην δουλειά τους παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος προσαρμογής της συνάρτησης αξιολόγησης ο οποίος καθορίζεται από την μουσική ροή εισόδου ο οποίος περιμένει ότι η μουσική ροή θα είναι ανάλογη με αυτήν που είχε εισαχθεί μέχρι εκείνο το χρονικό σημείο. Η χρήση μιας βάσης ανομοιογενών ατόμων εξυπηρέτησε το ενδεχόμενο η συνάρτηση αξιολόγησης να μην προλάβει να προσαρμοστεί στα καινούργια δεδομένα και τα οποία βοηθάνε στην προσαρμογή της. Για αυτόν τον λόγο οι συγγραφείς ονομάζουν τη συνάρτηση αξιολόγησης τους, μετά-συνάρτηση αξιολόγησης (meta-fitness). Η κατακλείδα των συγγραφέων θέτει μία πρόκληση στην ερευνητική κοινότητα να καταφέρει να κάνει την ανθρώπινη αλληλεπίδρα-

ση τόσο στους ΑΕΑ, όσο και στους ΔΕΑ, με τέτοιον τρόπο ώστε οι χρήστες να μπορούν να αλληλεπιδρούν με το σύστημα κάνοντας κάτι φυσικό όπως το να τραγουδάνε, να χορεύουν ή να παίζουν ένα μουσικό όργανο. Η πρόκληση αυτή καλύπτεται μέχρι ένα σημείο σε δουλειές όπως οι [16, 27] αλλά η χρήση της εισόδου γίνεται για την αρχικοποίηση του πληθυσμού και όχι για την διαμόρφωση της συνάρτησης αξιολόγησης.

Chapter 3

EnoITrio: Ανάπτυξη Λογισμικού Μουσικής Σύνθεσης με Εξελικτικούς Αλγόριθμους

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται το πρόβλημα της μουσικής σύνθεσης και η λύση που δίνεται σε αυτό με την εφαρμογή EnoITrio. Παρουσιάζονται δύο προηγούμενες προσεγγίσεις που είχαν επιλεγεί μαζί με τους λόγους που αυτές εγκαταλήφθηκαν αλλά και το ποια ήταν η συνεισφορά τους στην τρέχουσα προσέγγιση. Επιπλέον αναλύονται οι τεχνικές λεπτομέρειες της εφαρμογής που περιλαμβάνουν το υπάρχον λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε και την λειτουργία του προγράμματος.

3.1 Το πρόβλημα της μουσικής σύνθεσης

Για έναν άνθρωπο η μουσική σύνθεση δεν αποτελεί αυτό που κάποιος θα χαρακτήριζε πρόβλημα - τουλάχιστον τις περισσότερες φορές. Η μουσική έρχεται ως η λύση σε ένα ή περισσότερα προβλήματα που μπορεί να απασχολούν κάποιον και συμβαίνει με έναν τρόπο φυσικό.

Παρόλο αυτά σε μία αυτοματοποιημένη διαδικασία, ακόμα και αυτό το ζήτημα οφείλει να αντιμετωπιστεί ως πρόβλημα και πρέπει να εξεταστούν οι παράμετροι που απαρτίζουν την λύση του.

Στην πιο απλή του μορφή η σύνθεση μπορεί να αποτελεί την δημιουργία μιας απλής μελωδίας που θα αναπαράγει κάποιος. Μία από τις πλέον σύνθετες αποτελεί η συγγραφή ενός έργου που θα αναπαράγει μια μουσική ορχήστρα. Έχοντας ως δεδομένο ότι ο χώρος

της TN δεν έχει δώσει ικανοποιητικές λύσεις στο πρώτο, σίγουρα δεν μπορεί να προσεγγίσει καν το δεύτερο.

Αν εξετάσουμε μια μουσική μελωδία ως μία τοποθέτηση από μουσικές νότες σε ένα χρονικό διάστημα έχουμε να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα στην πιο απλή του μορφή. Η δυσκολία στην οποία αυτό υπάγεται είναι ότι ακόμα και σε αυτή την πολύ απλουστευμένη μορφή μπορεί να έχει τεράστιες διαστάσεις.

Η απλοποίηση του για να μπορεί να γίνει μια μαθηματική εξέταση, μπορεί να περιλαμβάνει έναν αριθμό από νότες που θα χαρακτηρίζονται μόνο από την τονικότητα και την διάρκεια. Όπως θα αναλυθεί παρακάτω, η προσέγγιση που έχει επιλεγεί αντιμετωπίζει της νότες ως σχετικές τιμές, δηλαδή κάθε νότα δείχνει την μεταβολή της τονικότητας και της διάρκειας αναφορικά με την προηγούμενη. Η μόνη νότα που έχει απόλυτες τιμές είναι η πρώτη και αυτή καθορίζει το από που θα ξεκινάνε οι δύο αυτές παράμετροι.

Εάν έχουμε μία μελωδία από τέσσερις νότες, ενδεχόμενως την απλούστερη αποδεκτή μορφή μιας μικρής μελωδίας, η μαθηματική θεώρηση έχει ως εξής:

- Η πρώτη νότα είναι δεδομένη, συνεπώς έχουμε τρία ζευγάρια από μεταβολές τονικότητας-διάρκειας.
- Η τονικότητα μπορεί να μεταβληθεί στο διάστημα $[-12,12]$, πράγμα που σημαίνει ότι η επόμενη νότα μπορεί να είναι μέχρι 12 ημιτόνια πιο ψηλά ή πιο χαμηλά. Με το 0 να δίνει μη μεταβολή, έχουμε 25 δυνατές μεταβολές τιμών.
- Αντίστοιχα η διάρκεια μπορεί να μεταβάλλεται στο διάστημα $[-3,3]$. Δηλαδή, οποιαδήποτε διάρκεια μπορεί να μεταβληθεί σε οποιαδήποτε άλλη και με την μηδενική τιμή πάλι να καθορίζει μη μεταβολή.

Οι πιθανές διατάξεις με αυτές τις τιμές είναι $25^3 \times 7^3 = 5359375$. Παρόλο που αυτό το νούμερο είναι αρκετά μεγάλο, όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, το μεγαλύτερο μέρος του χώρου λύσεων είναι μουσικά παράφωνο ή δίχως κανένα μουσικό ενδιαφέρον.

Σε μία όμως μεγαλύτερη μελωδία, όπως για παράδειγμα μία με 12 νότες, ένα μήκος σίγουρα πολύ πιο ενδιαφέρον για μουσική εξερεύνηση οι διαστάσεις του προβλήματος μεγαλώνουν εκθετικά : $25^{11} \times 7^{11} \simeq 4.7 \times 10^{24}$. Αντίστοιχα εκθετικά μεγαλώνει και ο χώρος που περιλαμβάνει μελωδίες δίχως ενδιαφέρον.

Η πολυπλοκότητα του προβλήματος και η απροσδιοριστία στο που κινούνται οι ζητούμενες λύσεις, δημιουργούν την δυσκολία προσέγγισης του με απλές αλγοριθμικές μεθόδους.

Ο τρόπος λειτουργίας των εξελικτικών αλγορίθμων, ο οποίος και αυτός διακατέχεται από μία απροσδιοριστία, αλλά και η δυνατότητα τους να δώσουν λύσεις σε προβλήματα τέτοιων όγκων είναι οι λόγοι για τους οποίους επιλέγεται η χρήση τους. Θα μπορούσε επιπλέον κάποιος να αποσαφηνίσει ότι ο ρόλος των ΕΑ στην τρέχουσα περίπτωση είναι να εξερευνήσει έναν τομέα και όχι να δώσει λύση σε κάτι το οποίο κάτω από μία ανθρωποκεντρική προσέγγιση αποτελεί ήδη λύση.

3.2 Προηγούμενες προσεγγίσεις

Η τελική μορφή του προγράμματος επήλθε ύστερα από το πέρασμα δύο εναλλακτικών προσεγγίσεων. Η πρώτη από αυτές ήταν μία εμπειρική δοκιμή εξέτασης των ΕΑ. Το ερώτημα περιλάμβανε το αν ένας ΕΑ μπορούσε να δημιουργήσει αλληλουχίες από νότες οι οποίες θα βρίσκονταν σε μία κλίμακα καθώς και το αν θα μπορούσαν να ξεκινάνε από μία καθορισμένη νότα και να καταλήγουν και πάλι σε αυτή. Το πρόγραμμα κατάφερε να δημιουργήσει κάτι τέτοιο υπακούοντας αρκετά καλά και στους δύο απλούς κανόνες. Όμως, παρόλο που είχε την δυνατότητα να μην δημιουργεί παραφωνίες και να δημιουργεί μία αίσθηση τονικότητας, το γενικότερο αποτέλεσμα δεν μπορούσε να χαρακτηριστεί ως κάτι το αξιοσημείωτο. Επιπλέον, ο στόχος δημιουργίας ενός δωδεκάμετρου θέματος αν και εκπληρωνόταν, η μπλουζ κλίμακα δεν γινόταν αισθητή. Τα αποτελέσματα αυτά σήμαιναν ότι χρειαζόταν κάτι πιο σύνθετο για να μπορεί να επιτευχθεί κάτι πιο ενδιαφέρον.

Η ανάγνωση άρθρων με πολλές εναλλάκτικές προσεγγίσεις που χρησιμοποιήθηκαν στον χώρο της ΤΝ, αποτέλεσαν ένα έναυσμα για μία συνδυαστική προσέγγιση με την χρήση ΕΑ και ενός νευροασαφούς ελεγκτή ο οποίος κατόπιν εκπαίδευσης θα μπορούσε να καθοδηγήσει την εξελικτική πορεία βάσει κάποιων επιλογών που θα έκανε ο χρήστης. Οι επιλογές αυτές περιλάμβαναν τόσο το στυλ της μουσικής (τυποποιημένο/πειραματικό, γρήγορο/αργό) αλλά και χαρακτηριστικά της μουσικής όπως η ελευθερία που θα είχε το πρόγραμμα να ξεφύγει από συγκεκριμένα μοτίβα και κλίμακες.

Δίχως αυτή η προσέγγιση να καταφέρει να ολοκληρωθεί ώστε να δώσει κάποια αποτελέσματα, η πολυπλοκότητα της άρχισε να γίνεται αποθαρρυντική. Η ανάγνωση περειαίρω επιστημονικών άρθρων στα οποία έγιναν παρόμοιες προσεγγίσεις, άρχισε να αποθαρρύνει την χρήση αυτού του συστήματος λόγω της ενδεχόμενης δυσκολίας ολοκλήρωσης και ελέγχου του. Μία ακόμα πρόκληση, αποτέλεσε το γεγονός ότι στην συγκεκριμένη προσέγγιση γινόταν εκπαίδευση από υπάρχοντα μουσικά θέματα, και έτσι το πρόγραμμα θα ήταν εξ'

αρχής περιορισμένο στην δική του ‘δημιουργική’ προσπάθεια.

Κάποιες πολύ απλές, αλλά με καλά αποτελέσματα, ιδέες χρησιμοποιήθηκαν για να πάρει το πρόγραμμα την τελική του μορφή. Αυτή βασίστηκε καθαρά στις δυνατότητες αναζήτησης που έχουν οι ΕΑ. Η τυχαιότητα που διέπει την συμπεριφορά τους ήταν αυτή που αποτέλεσε το στήριγμα ότι θα καταφέρουν να παράγουν ,αν όχι κάτι το καινοτομικό τότε, σίγουρα κάτι το ενδιαφέρον.

3.3 Σύντομη περιγραφή της τρέχουσας προσέγγισης

Το πρόγραμμα EvilTrio αποτελεί μία ακόμα προσπάθεια ώστε να καταφέρουν μεθοδολογίες της τεχνητής νοημοσύνης να περάσουν ένα τεστ δημιουργίας. Η τοποθέτηση του McCormack[23] το προσδιορίζει με εξαιρετική σαφήνεια λέγοντας ότι χρειάζεται να δημιουργηθεί μία παραλλαγή του Turing Test που θα εστιάζει σε καλλιτεχνικούς τομείς και θα κάνει αυτό που έκανε και το αρχικό: θα αξιολογεί κατά πόσο το δημιούργημα μιας μηχανής μπορεί να ‘ξεγελάσει’ τον δέκτη ότι έχει γίνει από άνθρωπο. Ακόμα όμως και αν κάτι τέτοιο δεν επιτευχθεί, πάλι τίθεται η πρόκληση εάν το παραγόμενο έργο να σταθεί μόνο του ως ένα αυτοτελές δημιούργημα. Είναι χαρακτηριστικό πως πολλές φορές το δημιούργημα μιάς μηχανής κρίνεται με μεγαλύτερη επιείκεια από αυτήν που θα αναλογούσε σε έναν άνθρωπο-δημιουργό. Με αυτό ήρθε αντιμέτωπη και η τρέχουσα προσέγγιση όπως θα φανεί στα επόμενα δύο κεφάλαια.

Στην προσπάθεια αυτή γίνεται χρήση των εξελικτικών αλγορίθμων οι οποίοι όπως φάνηκε στην βιβλιογραφική επισκόπηση έχουν χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα σε αυτόν τον χώρο. Τα αποτελέσματά τους δεν είναι αρκετά ικανοποιητικά τις περισσότερες φορές αλλά η γενικότερη αξιολόγησή τους δίνει ελπίδες για το ότι μπορούν να προσφέρουν περισσότερο. Φαίνεται πως υπάρχει κάτι κοινό ανάμεσα στην δυσκολία αποσαφήνισης της έμπνευσης που οδηγεί στη δημιουργία ενός μεγάλου έργου και στην δυσκολία προσδιορισμού του γιατί οι ΕΑ καταφέρνουν να δώσουν λύσεις με εξαιρετική ταχύτητα σε κάποια προβλήματα.

Η τελική μορφή του προγράμματος μοιάζει να είναι ένα υπερσύνολο της πρώτης προσπάθειας που αναφέρθηκε προηγουμένως. Την κύρια διαφορά αποτελεί η λογική με την οποία γίνεται η αναπαράσταση των δεδομένων. Πέραν τούτου δόθηκε έμφαση στο να γίνει δημιουργία μιας ευέλικτης συνάρτησης αξιολόγησης. Ζητούμενο αποτελεί το να μην είναι αυτή σταθερή, αλλά παραμετροποιήσιμη ανάλογα με το τι μουσικό αποτέλεσμα θέλει ο χρήστης. Με αυτόν τον τρόπο το πρόγραμμα αποκτά μεγαλύτερο ενδιαφέρον για κάποιον

ο οποίος μπορεί να αγνοεί την λειτουργία των ΕΑ και δίνει την δυνατότητα ελέγχου επιμέρους πραγμάτων αλλά και διαφόρων συνδυασμών αυτών.

Το πρόγραμμα στο σύνολό του δεν παρουσιάζει κάποια σημαντική καινοτομία αλλά προσπαθεί να κάνει ένα κράμα βελτιώσεων σε υπάρχουσες προσεγγίσεις και τροποποιήσεις σε κάποιες μεθόδους που είχαν καλές ιδέες αλλά ενδεχομένως η υλοποίηση να μην κατάφερνε να δώσει αποτελέσματα τα οποία θα μπορούσαν να αξιολογηθούν αρκετά θετικά.

Η κωδικοποίηση που έχει χρησιμοποιηθεί είναι η αριθμητική για λόγους οι οποίοι έχουν ήδη αναφερθεί στην επισκόπηση. Η επιλογή χρήσης σχετικών τιμών, δηλαδή αυτών που καθορίζουν τονικές και χρονικές μεταβάσεις και όχι απολύτες, έγινε για να υπάρχει μεγαλύτερη ποικιλία και απόκλιση μεταξύ των εξελισόμενων φράσεων. Η επιλογή αυτή έχει βασιστεί στο [35]. Το πρόβλημα της σύγκλισης της συνάρτησης αξιολόγησης έχει αντιμετωπισθεί με την επανεκίνηση της εξέλιξης για κάθε νέα φράση. Αυτή η προσέγγιση δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως λύση, παρά ως αποφυγή του προβλήματος. Η επιλογή της έχει γίνει γιατί δεν υπάρχει κάποια πρόταση για το πως αυτή μπορεί να αντιμετωπισθεί αποτελεσματικά και επιπλέον επειδή μπορεί να δώσει κάποια καλά αποτελέσματα. Σε αυτό το σημείο ο εξελικτικός προγραμματισμός, αλλά και οποιαδήποτε άλλη προσέγγιση φαίνεται να 'σκοντάφτει' στο πρόβλημα της μουσικής αξιολόγησης. Με ποιόν τρόπο μια μουσική μπορεί να χαρακτηριστεί πιο 'καλή' από κάποια άλλη; Και επιπλέον, εάν η συνάρτηση αξιολόγησης μπορεί να αποδώσει μια μέγιστη τιμή, αυτή αντιστοιχεί στην 'καλύτερη' δυνατή μουσική που το πρόγραμμα μπορεί να προσφέρει;

Το πρόβλημα της μουσικής βαθμολόγησης, το οποίο πιο ειδικά αποτελεί μία απόδοση τιμής από τη συνάρτηση αξιολόγησης, προσεγγίστηκε με το διαχωρισμό σε επιμέρους συναρτήσεις το σύνολο της συνάρτησης αξιολόγησης. Από τις συναρτήσεις αυτές που έχουν, χάριν απλότητας, ονομαστεί φίλτρα ένας αριθμός αξιολογεί αρνητικά και ένας θετικά, με αυτόν τον τρόπο μειώνεται το απόλυτο της αξιολόγησης γιατί είναι εξαιρετικά δύσκολο να γίνει πρόβλεψη του ποια/ες συναρτήσεις θα υπερισχύσουν έναντι ποιον.

Δίχως και αυτό να αποτελεί κάτι το καινοτομικό, το κλείσιμο της περιγραφής ολοκληρώνεται με ένα σύνολο διαφορετικών παραμέτρων που ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει για να δώσει διαφορετικό μουσικό αποτέλεσμα καθαρά τροποποιώντας τον ήχο που θα χρησιμοποιηθεί για να παραχθεί το κομμάτι. Στο μέρος του ήχου καθορίζονται παράμετροι σχετικά με το ποιο θα είναι το σολιστικό όργανο, με ποια ταχύτητα θα αναπαράγεται το κομμάτι κτλ.

3.4 Υπάρχον λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε

Για την δημιουργία του προγράμματος χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού java στα ide eclipse και netbeans σε περιβάλλον gentoo linux. Η επιλογή αυτής της γλώσσας έγινε επειδή παρέχει προγραμματιστική ευκολία, cross-platform συμβατότητα και εν ενεργεία βιβλιοθήκες γενετικού και μουσικού προγραμματισμού. Οι βιβλιοθήκες αυτές είναι η args4j, η jgar και η jfugue. Για την ανάπτυξη του γραφικού περιβάλλοντος έγινε χρήση της javafx, μίας διερμηνευόμενης πλατφόρμας βασισμένη στην java.

3.4.1 args4j

Η args4j (<https://args4j.dev.java.net/>) παρέχει ευκολία στο πέρασμα παραμέτρων από γραμμή εντολών. Αποτελεί ουσιαστικά έναν 'ευφυή' parser ο οποίος θα αντιστοιχίσει τιμές σε μεταβλητές που θα δώσει ο χρήστης. Η χρήση του αφορά αποκλειστικά την χρήση της εφαρμογής σε περιβάλλον γραμμής εντολών.

Με την χρήση class annotations της java γίνεται προσδιορισμός των τιμών που θα λαμβάνει η κάθε μεταβλητή. Πέρα από αυτό δίνεται η δυνατότητα εύκολης κατασκευής μενού βοήθειας. Ο πίνακας βοήθειας που παράγεται υπάρχει στην ενότητα X του παραρτήματος.

3.4.2 jgar

Η jgar (<http://jgar.sourceforge.net/>) αποτελεί βιβλιοθήκη γενετικών αλγορίθμων και εξελικτικού προγραμματισμού. Το εξελικτικό κομμάτι του προγράμματος βασίζεται καθαρά πάνω της και η ύπαρξη πολλών παραμέτρων που μπορεί να τροποποιήσει ο χρήστης δίνει την δυνατότητα εξερεύνησης των δυνατοτήτων της στην τρέχουσα υλοποίηση.

Η επέκταση της προεπιλεγμένης συνάρτησης αξιολόγησης οδηγεί στην δημιουργία της SoloFitness η οποία περιγράφεται στην ενότητα 3.7 .

3.4.3 jfugue

Η jfugue (<http://www.jfugue.org/>) είναι η βιβλιοθήκη που εξυπηρετεί την εύκολια μετατροπής των χρωμοσωμάτων σε μουσικές φράσεις MIDI. Επιπλέον, μέσω αυτής συμπληρώνονται και δύο φωνές ακόμα, αυτές του μπάσσο και των τυμπάνων.

3.4.4 javafx

Η javafx (<http://javafx.com/>) αποτελεί μία πλατφόρμα λογισμικού για την δημιουργία εφαρμογών RIA (Rich Internet Applications) που μπορούν να εκτελεστούν σε διαφόρων ειδών συσκευές (υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα, κονσόλες παιχνιδιών κλπ.). Στην τρέχουσα εφαρμογή η πλατφόρμα javafx χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη του γραφικού περιβάλλοντος το οποίο αποτελεί ένα cross-browser applet. Τα applets αυτά είναι αντίστοιχα αυτών της java με την διαφορά ότι παρέχει ένα οπτικά ένα πιο αισθητικό αποτέλεσμα. Πέρα από αυτό στο sdk της javafx υπάρχουν ενσωματωμένες κλάσεις για την δημιουργία γραφημάτων που χρησιμοποιούνται για την οπτική αναπαράσταση των τιμών της συνάρτησης αξιολόγησης.

Οι λόγοι αυτοί, καθώς και η άμεση σύνδεση της με την γλώσσα προγραμματισμού java που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του πυρήνα της εφαρμογής, ενθάρρυνε την χρήση της ακόμα περισσότερο.

3.5 Θεμελιώδεις μουσικές έννοιες και βοηθητικές κλάσεις

Για την κατανόηση των παρακάτω εννοιών ο αναγνώστης πρέπει να έχει στοιχειώδεις μουσικές γνώσεις για τον λόγο ότι το λειτουργικό κομμάτι της εφαρμογής ερμηνεύεται καθαρά μέσω στοιχείων μουσικής.

3.5.1 Βασικές μουσικές έννοιες

Στον πίνακα 3.1 φαίνονται το ονομάτα που έχουν οι νότες και οι αντίστοιχες τιμές στους σε MIDI στην τέταρτη οκτάβα. Στην πρώτη στήλη υπάρχουν οι αγγλικές ονομασίες που χρησιμοποιούνται διεθνώς και είναι αυτές που αντιλαμβάνεται η βιβλιοθήκη jfugue. Π.χ. το F#5i Rs σε ένα μουσικό string είναι η νότα Φα δίεση στην πέμπτη οκτάβα η οποία διαρκεί για ένα διάστημα ογδού (i) και ακολουθείται από μία παύση (rest) διάρκειας δεκάτου έκτου.

Στο πίνακα 3.2 υπάρχουν οι διάρκειες και οι χαρακτήρες που μπορεί να χειριστεί η jfugue¹.

¹Σημείωση: η βιβλιοθήκη μπορεί να χειριστεί και 2 μικρότερες διάρκειες (64th και 128th) αλλά είναι εξαιρετικά αμφίβολο το κατά πόσο η χρήση τους θα οδηγήσει στην παραγωγή κάτι μουσικά ωραίου.

Αγγλικό όνομα	Ελληνικό όνομα	Τιμή MIDI στην τέταρτη οκτάβα
C	Ντο	60
C# / Db	Ντο δίεση / Ρε ύφεση	61
D	Ρε	62
D# / Eb	Ρε δίεση / Μι ύφεση	63
E	Μι	64
F	Φα	65
F# / Gb	Φα δίεση / Σολ ύφεση	66
G	Σολ	67
G# / Ab	Σολ δίεση / Λα ύφεση	68
A	Λα	69
A# / Bb	Λα δίεση / Σι ύφεση	70
B	Σι	71

Πίνακας 3.1: Ονοματολογία τονικότητας

Διάρκεια	Χαρακτήρας j'fugue	Δεκαδική τιμή	Τιμή γονιδίου
ολόκληρο	w	4	1
μισό	h	2	2
τέταρτο	q	1	3
όγδοο	i	0.5	4
δέκατο έκτο	s	0.25	5
τριακοστό δεύτερο	t	0.0625	6

Πίνακας 3.2: Τιμές για τις διάρκειες των νοτών.



Σχήμα 3.1: Η ματζόρε κλίμακα

3.5.2 Η ματζόρε κλίμακα

Στην παρούσα έκδοση το πρόγραμμα χρησιμοποιεί μόνο την ματζόρε κλίμακα. Η προεπιλεγμένη νότα εκκίνησης είναι C5 (72). Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1 η τιμή της Ντο ματζόρε στην πέμπτη οκτάβα ξεκινά από το 72 και τελειώνει στο 83 (B5). Η επόμενη νότα είναι η 84 που αποτελεί την C6, η οποία είναι η ίδια νότα με την αρχική με την διαφορά όμως ότι βρίσκεται μία οκτάβα πιο ψηλά.

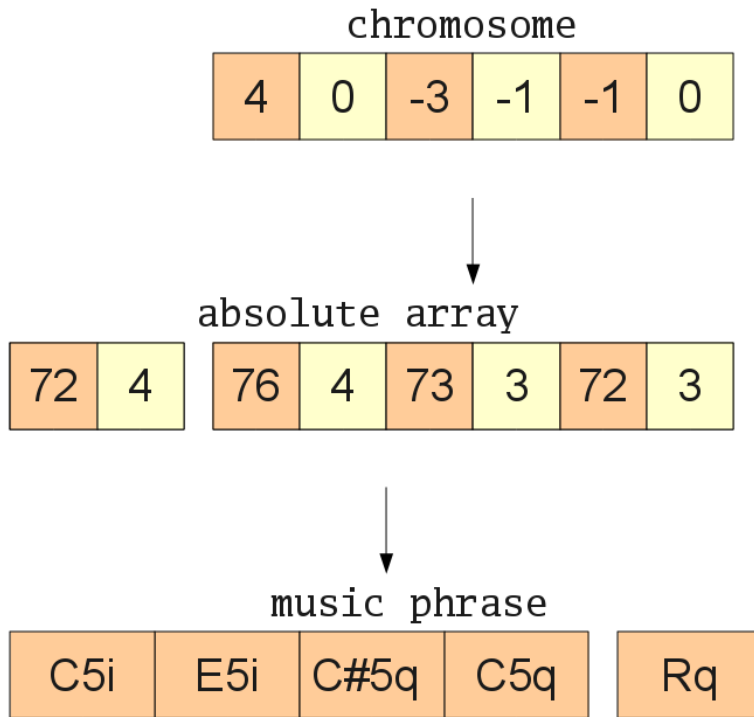
Η καθαρή μαθηματική αποτύπωση εξυπηρετεί την αριθμική κωδικοποίηση. Η σύγχρονη δυτική μουσική έχει 12 νότες σε κάθε οκτάβα και οι 7 από αυτές δομούν την ματζόρε κλίμακα. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι οι νότες που το υπόλοιπο τους στη διαίρεση με το 12 δίνουν 1,3,6,8 και 10 είναι αυτές οι οποίες δεν ταιριάζουν στην κλίμακα και δίνουν - τις περισσότερες φορές - μία παράφωνη χροιά. Πραγματοποιώντας αυτούς του υπολογισμούς γίνεται ο έλεγχος για το αν ένα μουσικό θέμα υπακούει την μουσική θεωρία. Το κομμάτι αυτό θα επεξηγηθεί επιπλέον στην ενότητα της συνάρτησης αξιολόγησης.

3.5.3 Βοηθητικές κλάσεις

Υπάρχουν δύο βοηθητικές κλάσεις στην εφαρμογή εκ των οποίων η πρώτη έχει λειτουργική σημασία (`chromoManipulation`) και η δεύτερη χρησιμοποιείται για ελέγχους που αφορούν το αν οι μετατροπές έχουν γίνει με ορθό τρόπο (`reverseChromoManipulation`).

Ο ρόλος της `chromoManipulation` είναι να μετατρέπει τα χρωμοσώματα σε δεδομένα τα οποία θα μπορούν να επεξεργαστούν από τη συνάρτηση αξιολόγησης και εν τέλει θα μπορούν να μετατραπούν σε μουσικά string. Τα παραγώμενα μουσικά string, μέσω της `jfugue` μετατρέπονται σε MIDI που μπορούν να αναπαραχθούν ή να αποθηκευτούν.

Αντιθέτως, λόγω της τυχαιότητας που καθορίζει την λειτουργία των EA, το αναμενόμενο είναι αυτές οι νότες να εμφανίζονται σε τυχαία σημεία και να επιφέρουν το επιπλέον πρόβλημα της συνολικής διάρκειας που θα έχει μια φράση.



Σχήμα 3.2: Μετατροπή χρωμοσώματος σε μουσική φράση

Πιο αναλυτικά, η λειτουργική σημασία της είναι να μετατρέπει τις σχετικές τιμές που υπάρχουν στο χρωμόσωμα σε απόλυτες. Η μετατροπή αυτή εξηπυρετεί τα φίλτρα της συνάρτησης αξιολόγησης για τον λόγο ότι η επεξεργασία απόλυτων τιμών είναι πιο εύκολη τόσο σε θέματα λειτουργικότητας όσο και σε θέματα αποσφαλμάτωσης.

Χρησιμοποιώντας έναν πίνακα ακεραίων τίθονται στις δύο πρώτες θέσεις η εναρκτήρια νότα (keyNote) και η εναρκτήρια διάρκεια (begginingDuration). Έπειτα, σύμφωνα με τις τιμές που υπάρχουν στα γονίδια των χρωμοσωμάτων οι τρέχουσες τιμές μεταβάλλονται αναλόγως.

Η λειτουργία αυτή αποτυπώνεται πιο παραστατικά στην εικόνα 3.2. Το χρωμόσωμα θα μετατραπεί σε έναν πίνακα απόλυτων τιμών, το μέγεθος του οποίου θα είναι κατά δύο κελιά μεγαλύτερο. Στην αρχική νότα (72,4) θα προστεθούν τα χαρακτηριστικά των δύο πρώτων γονιδίων (4,0) για να παράξουν την δεύτερη νότα (76,4). Σε αυτήν θα προστεθούν

τα χαρακτηριστικά των επόμενων δύο γονιδίων (-3,-1) για να δώσουν την τρίτη νότα (73,3) κ.ο.κ.

Η απόλυτη τιμή κάθε νότας εμπεριέχει την οκτάβα και τιμή μιας από τις 12 νότες που υπάρχουν στην κλίμακα όπως ήδη φάνηκε στις εικόνες 3.1 και 3.1. Το πηλίκο και το υπόλοιπο της ακέραιας διαίρεσης με το 12 δίνει οκτάβα και νότα αντίστοιχα. Για τις χρονικές τιμές το μόνο που χρειάζεται να γίνει είναι μία αντιστοίχιση βάσει των τιμών που υπάρχουν στην εικόνα 3.2 .

Μία ακόμα λειτουργία της εν λόγω κλάσης είναι να 'στογγυλεύει' την τρέχουσα φράση προσθέτωντας τις απαραίτητες παύσεις. Αυτό δημιουργεί μια φράση πιο 'σωστή' μιας και αυτή αναγκάζεται να 'κλείνει' στο μέτρο σωστά, για τον λόγο ότι στην τρέχουσα υλοποίηση οι φράσεις έχουν χρόνο 4/4. Αν κάποιος παρατηρήσει ξανά στην εικόνα 3.2 τις τέσσερις νότες που απεικονίζονται, η συνολική διάρκειά τους είναι $0.5 + 0.5 + 1 + 1$ ($i + i + q + q$) το οποίο ισούται με 3, δηλαδή 3/4. Η λειτουργία αυτής της κλάσης υπολογίζει τον χρόνο από όλες τις νότες και προσθέτει τις παύσεις που χρειάζονται ώστε η φράση να γίνει 4/4. Έτσι, στην συγκεκριμένη περίπτωση προσθέτει μια παύση (R) διάρκειας q μεταβάλλοντας τον συνολικό χρόνο σε 4. Με ανάλογο τρόπο εάν είχαμε π.χ. συνολικό χρόνο 10.5, η κλάση θα προσέθετε μία παύση τετάρτου (q) και μία παύση ογδού (i) ώστε ο συνολικός χρόνος να γίνει 12, που αποτελεί 3 μέτρα 4/4.

Αυτή η διόρθωση λειτουργεί μόνο τις φορές που τα παραγώμενα θέματα δεν είναι σωστά. Το φίλτρο `timeViolation()` της συνάρτησης αξιολόγησης το οποίο θα αναλυθεί στην μεθεπόμενη ενότητα, φροντίζει να αποθαρρύνει παραγώμενα αποτελέσματα που έχουν λανθασμένα τελειώματα. Από την άλλη μεριά όμως, τα λανθασμένα τελειώματα είναι ο μόνος τρόπος για να γίνει εισαγωγή παύσεων, κάτι που μπορεί να προσθέσει φυσικότητα σε μία μουσική φράση.

Η μη ύπαρξη παύσεων που μπορούν να παραχθούν εξελικτικά, αποτελεί ένα χαρακτηριστικό μειονέκτημα της τρέχουσας κωδικοποίησης για τον ξεκάθαρο λόγο ότι οι παύσεις να αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι της μουσικής.

3.6 Λειτουργία

Η λειτουργία του προγράμματος αποτελεί μία τυπική μορφή ενός λογισμικού που χρησιμοποιεί τους εξελικτικούς αλγορίθμους.

Έπειτα από τη ρύθμιση των παραμέτρων, είτε σε περιβάλλον γραμμής εντολών είτε

στο γραφικό περιβάλλον, το πρόγραμμα ξεκινά των εξελικτικό κύκλο. Οδηγός χρήσης για την πρώτη περίπτωση υπάρχει στην ενότητα 6.1.1 και για την δεύτερη στη 6.1.2, του παραρτήματος.

Συγκριτικά με τις περισσότερες υλοποιήσεις υπάρχει η διαφορά ότι το πρόγραμμα θα εκτελέσει των εξελικτικό του κύκλο τόσες φορές όσες είναι οι μουσικές φράσεις που έχουν καθοριστεί από το μουσικό μοτίβο. Στην τρέχουσα έκδοση του προγράμματος υπάρχει μόνο η μορφή I-IV-V-I που αποτελεί το πλέον γνωστό μοτίβο στην σύγχρονη ποπ μουσική, πράγμα που σημαίνει ότι ο εξελικτικός κύκλος θα εκτελεστεί τέσσερις φορές.

Η επανεκκίνηση της εξέλιξης έχει επιλεγεί ώστε να αντιμετωπισθεί η σύγκλιση της εξέλιξης σε κάποιες τιμές. Όπως αναφέρθηκε στην βιβλιογραφική επισκόπηση, ο Biles[16] αντιμετώπισε το πρόβλημα της συμφόρησης της συνάρτησης αξιολόγησης, ένα πρόβλημα παραπλήσια σημαντικό, εξαλείφοντας τη ΣΑ. Με την επανεκκίνηση του εξελικτικού κύκλου η αξιολόγηση της συνάρτησης αξιολόγησης φτάσει σε ανάλογες τιμές, αλλά ακολουθεί διαφορετική εξελικτική πορεία. Η διαδικασία αυτή, ακόμα και στην απλή περίπτωση όπου μια μουσική φράση έχει μόλις τέσσερις νότες, λόγω πολυπλοκότητας δίνει ένα διαφορετικό αλλά παραπλήσιο αποτέλεσμα. Με αυτόν τον τρόπο το τελικό αποτέλεσμα, παρόλο που είναι μία ένωση τεσσάρων εξελικτικών κύκλων, δημιουργεί μία αίσθηση μουσικής συνοχής.

Η μορφή I-IV-V-I, αποτελεί τρεις μουσικές μεταβάσεις πχ. από Ντο σε Φα, από Φα σε Σολ και από Σολ ξανά σε Ντο. Κάθε μία από αυτές τις νότες που αποτελούν την αρμονική βάση του κομματιού πλαισιώνεται από μία εξελικτική μουσική φράση.

Κατόπιν, αυτές θα περαστούν στο τμήμα του προγράμματος που θα τις 'ερμηνεύσει' και θα ενσωματώσει σε αυτές τις δύο άλλες φωνές, τύμπανων και μπάσσου. Η φωνή των τυμπάνων είναι συγκεκριμένη, ενώ του μπάσσου αποτελεί η εκάστοτε τονική νότα. Τα πρότυπα αυτά είναι προεπιλεγμένα στην τρέχουσα έκδοση αλλά σε μελλοντικές βελτιώσεις της εφαρμογής θα έχει περισσότερες από μία επιλογές για την κάθε φωνή.

Θα μπορούσε κανείς να πει πως το εξελικτικό κομμάτι του προγράμματος είναι ο σολίστας και τα καθορισμένα πρότυπα δημιουργούν ένα χαλί πάνω στο οποίο αυτός θα αυτοσχεδιάσει. Την καρδιά του σολίστα αποτελεί η συνάρτηση αξιολόγησης η οποία θα περιγραφεί παρακάτω.

3.7 Η συνάρτηση αξιολόγησης SoloFitness

Η συνάρτηση αξιολόγησης αποτελεί την ‘καρδιά’ του εξελικτικού αλγορίθμου αλλά και του προγραμμάτος συνολικά. Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή και στην βιβλιογραφική επισκόπηση, ο ορισμός της συνάρτησης αξιολόγησης στον χώρο της μουσικής σύνθεσης μπορεί να πάρει οποιεσδήποτε διαστάσεις. Είναι δυνατόν να εισαχθούν απλοί μουσικοί κανόνες που να κάνουν ελέγχους νότα προς νότα, ή μπορεί κάποια τμήματα του θέματος. Η δυσκολία του προβλήματος βρίσκεται όχι στο να γίνει εισαγωγή των κανόνων αλλά στην εξαγωγή των αναμενόμενων αποτελεσμάτων. Επιπλέον, υπάρχει ο διπλός κίνδυνος από την μία η συνάρτηση αξιολόγησης να γίνει πολύ ελαστική και από την άλλη πολύ αυστηρή. Καθένα από τα δύο αυτά ακρότατα μπορούν να οδηγήσουν αντίστοιχα σε κάτι σωστό αλλά μονότονο ή κάτι καινοτομικό αλλά παράφωνο.

Όπως έχουν πράξει πολλοί ερευνητές στον χώρο, έτσι και εδώ τα κριτήρια που έχουν επιλεγεί χαρακτηρίζονται από προσωπική αισθητική προοπτική, συνεπώς είναι καθαρά υποκειμενικά.

Για να υπάρχει ευελιξία, έχουν χρησιμοποιηθεί δέκα συναρτήσεις φίλτρα, οι οποίες αποτελούν τους κριτές του μουσικού θέματος, και οι οποίες μπορούν να επιλεγούν ανάλογα με τις προτιμήσεις του χρήστη. Έξι από αυτές δίνουν αρνητική βαθμολογία η οποία αφαιρείται από την συνολική επίδοση της συνάρτησης αξιολόγησης και τέσσερις θετική η οποία προστίθεται.

Η αριθμητική βάση της συνάρτησης αξιολόγησης είναι το 10000 και όσο ψηλότερη είναι η συνολική βαθμολογία που υπολογίζεται από τις συναρτήσεις φίλτρα τόσο θεωρητικά ‘καλύτερη’ είναι η παραγόμενη φράση.

Παρακάτω, παρουσιάζεται λεπτομερικά η λειτουργία του κάθε φίλτρου.

3.7.1 Η αίσθηση της τονικότητας

Το πρώτο φίλτρο κάνει μία άθροιση από τις σχετικές τιμές που υπάρχουν στις άρτιες θέσεις των γονιδίων του χρωμοσώματος (τονικότητες) και επιστρέφει το υπόλοιπο διαίρεσης με το δώδεκα. Το ιδανικό αποτέλεσμα είναι μηδέν πράγμα που σημαίνει ότι το κομμάτι έχει μία αίσθηση τονικότητας προσπαθώντας να κινείται γύρω από την τονική νότα. Η διαίρεση επίσης θα δώσει μηδέν αν το κομμάτι καταλήξει σε μία ή δύο οκτάβες ψηλότερα ή χαμηλότερα. Σε αυτές τις περιπτώσεις αυτό που αναμένεται είναι το κλείσιμο του θέματος στην ίδια τονική νότα αλλά σε ψηλότερες ή χαμηλότερες οκτάβες.

3.7.2 Η αίσθηση του χρόνου

Το φίλτρο αυτό έχει παρόμοια λειτουργικότητα με αυτή της προηγούμενης υποενότητας με την διαφορά ότι προσπαθεί να κρατήσει το κομμάτι γύρω από μία συγκεκριμένη χρονική αξία νότας. Η διαφορά είναι ότι εδώ ελέγχονται οι μονές θέσεις του χρωμοσώματος και στο τέλος επιστρέφεται η απόλυτη τιμή του αθροίσματος επί το τρία. Η επίλογη του τρία είναι αυθαίρετη και έχει επιλεγεί για να υπάρχει μεγαλύτερη βαρύτητα στο αποτέλεσμα. Όσο πιο μεγάλη είναι η απόκλιση από την αρχική διάρκεια τόσο μεγαλύτερη γίνεται η ποιμή για αυτό.

3.7.3 Υπακοή στην κλίμακα

Το τρίτο φίλτρο είναι αυτό με την μεγαλύτερη σημασία. Όσο ορθή και αν είναι η λειτουργία των υπόλοιπων φίλτρων, εάν οι παραγώμενες νότες βρίσκονται εκτός κλίμακας, το αποτέλεσμα θα είναι παράφωνο. Αυτός είναι και ο λόγος που ο χρήστης ενθαρρύνεται να ενεργοποιήσει αυτό το φίλτρο όποιες και αν είναι οι υπόλοιπες επιλογές του, εκτός και αν δείχνει ιδιαίτερη προτίμηση στην ατονική μουσική.

Η λειτουργία του περιλαμβάνει τον έλεγχο εάν η απόλυτη τιμή κάθε τονικότητας βρίσκεται στη ματζόρε κλίμακα. Για κάθε νότα που βρίσκεται εκτός κλίμακας δίνεται μία τιμωρία της τάξεως του 20. Η επιλογή μίας τιμής αισθητά μεγαλύτερης από αυτές των άλλων φίλτρων κάνει την βαρύτητα αυτού του φίλτρου μεγαλύτερη από τα υπόλοιπα.

3.7.4 Πλήρη μέτρα

Ο ρόλος αυτού του φίλτρου είναι αθροίζει όλες τις δεκαδικές τιμές για τις χρονικές διάρκειες που έχει η κάθε νότα. Οι τιμές αυτές υπάρχουν στην τρίτη στήλη του πίνακα 3.2. Η μόνη συνολική διάρκεια που είναι αποδεκτή είναι κάποια πολλαπλάσια του 4 που υποδεικνύει ότι είμαστε σε χρόνο 4/4. Εάν αυτό καταπατάται η μέθοδος αφαιρεί 100 από την συνολική αξιολόγηση του θέματος.

Η χρήση αυτού του φίλτρου οδηγεί σε αρκετά αυστηρά αποτελέσματα σχετικά με την χρονική ορθότητα. Η επιλογή του είναι προαιρετική καθώς η διόρθωση των μουσικών φράσεων με εισαγωγές παύσεων είναι μία διαδικασία που θα λάβει χώρα σε κάθε περίπτωση μετά την εξέλιξη.

3.7.5 Μονότονη μουσική

Η περίπτωση της επανάληψης όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι ένα μέρος που μπορεί να πάρει δύο διαστάσεις. Η θετική του όψη είναι ότι παρέχει μία ομοιογενή απλότητα η οποία πολλές φορές αρέσει στο μέσο ακροατή. Ωστόσο εάν μία νότα επαναληφθεί πάρα πολλές φορές ενδέχεται αυτό να καταλήξει κουραστικό.

Το φίλτρο αυτό όπως υποδηλώνει και το όνομα του καλείται για να αξιολογήσει αρνητικά 'επίμονες' επαναλήψεις μιας νότας. Ελέγχοντας τον αριθμό επαναλήψεων κάθε νότας που εμφανίζεται στο θέμα, η τιμωρία της πολλαπλασιάζεται με το 1,7. Αυτό σημαίνει ότι η εμφάνιση μίας νότας τέσσερις φορές δίνει την τιμή 8,35 αλλά για οκτώ φορές η τιμή της φτάνει στα 69,75. Ο εκθετικός ρυθμός της αρνητικής αξιολόγησης φροντίζει να κρατήσει την ανομοιογένεια του θέματος σε ένα σημαντικό επίπεδο.

3.7.6 Πολύ ψηλά και πολύ χαμηλά

Οι διασταυρώσεις μπορούν πολύ εύκολα να οδηγήσουν ένα θέμα στο να ανεβάζει συνέχεια την τονικότητά του. Όσο και αν αυτό μπορεί να δώσει ποικιλομορφία, τόσο εύκολα μπορεί να δώσει μία αίσθηση ασυναρτησίας. Κάθε νότα που βρίσκεται μία μία οκτάβα ψηλότερα από την αρχική τιμωρείται με 5, ενώ εάν αυτό συμβεί για δύο οκτάβες η τιμωρία είναι 30.

3.7.7 Επανάληψη της νότας κλειδί

Κάθε φορά που εμφανίζεται η αρχική νότα από την οποία ξεκινάει το θέμα αυτό αξιολογείται με ένα συν τέσσερα. Η αρχική νότα θυμίζει πολλές φορές το που βρίσκεται το μουσικό θέμα.

Η μέθοδος αυτή όπως και η καθεμία από τις μεθόδους θετικής αξιολόγησης είναι ευθέως αντικρουόμενη με αυτές της αρνητικής. Εάν η τονική νότα εμφανιστεί 4 φορές, με την χρήση του φίλτρου για την μονότονη μουσική, από το συνολικό 16 θα αφαιρεθεί το 8,35 που τιμωρεί τις επαναλήψεις.

3.7.8 Επανάληψη μιας μικρής φράσης

Η μέθοδος αυτή προσπαθεί να βρει επαναλήψεις των πρώτων τριών νοτών στην συνέχεια του θέματος. Κάθε ίδια τονικότητα επιβραβεύεται με συν 15 και κάθε ίδια διάρκεια με συν 5. Σε περίπτωση που η πρώτη νότα είναι ίδια με την δεύτερη ή με την τρίτη, επισυνάπτεται

μία τιμωρία της τάξεως των 40. Η επιλογή αυτή έχει γίνει για να παρεμποδίσει την θετική αξιολόγηση συνεχόμενων ίδιων συνεχόμενων νοτών. Την περίπτωση αυτή μπορεί εύκολα να την αντιμετωπίσει το φίλτρο για την βαρετή μουσική, αλλά σε περίπτωση που αυτό δεν έχει ενεργοποιηθεί, διασφαλίζεται η ανεξάρτητη λειτουργία του τρέχοντος φίλτρου.

Η επιλεγμένη κωδικοποίηση καθιστά πολύ δύσκολη την εμφάνιση των ακολουθιών που αναζητά να επιβραβεύσει αυτό το φίλτρο. Ωστόσο η χρήση του θεωρείται ότι προσδίδει εξελικτική ποικιλία και σε ελάχιστες περιπτώσεις που η δράση του έγινε ορατή, το παραγόμενο αποτέλεσμα είχε μία αίσθηση μιας 'ανθρώπινης' επαναλάλησης.

3.7.9 Άνοδοι και κάθοδοι

Τα δύο τελευταία φίλτρα θετικής αξιολόγησης δίνουν θετική αξιολόγηση όταν βλέπουν συνεχόμενες ανόδους ή καθόδους της τονικότητας. Τα 'ανεβάσματα' ή 'κατεβάσματα' πολλές φορές ακούγονται φυσικά και εύηχα, τόσο στην μουσική σύνθεση όσο και στον αυτοσχεδιασμό.

3.8 Σύνοψη

Σε αυτό το κεφάλαιο έγινε η περιγραφή του προγράμματος EnoITrio, μιας εφαρμογής ΕΑ για αυτοματοποιημένη μουσική σύνθεση. Όπως είναι ορατό σε πολλά σημεία, στην προσέγγιση ενός υποκειμενικού ζητήματος, όπως είναι αυτό της μουσικής, πολλές φορές πρέπει να γίνουν αυθαίρετες υποθέσεις και επιλογές. Επιπλέον, η στοχαστική φύση των ΕΑ καθιστά αβέβαιη την αποτελεσματικότητα αυτών των επιλογών.

Συνοψίζοντας θα σημειώναμε πως ο σχεδιασμός και διαχωρισμός των φίλτρων της συνάρτησης αξιολόγησης σε θετικά και αρνητικά, προσπάθησε να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε οι αξιολογήσεις να συγκρούονται σε βαθμό αλληλοαναίρεσης. Ο γενικότερος στόχος αυτής της επιλογής είναι η πολυπλοκότητα να φτάσει σε έναν βαθμό που το μουσικά 'τέλειο' αναφορικά με τη συνάρτηση αξιολόγησης να πάψει να υφίσταται.

Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύεται κατά πόσο τα αποτελέσματα που επήλθαν από αυτές τις επιλογές ήταν τα αναμενόμενα - αν και σε έναν υποκειμενικό τομέα το αναμενόμενο είναι και αυτό δύσκολο στον ορισμό του. Ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης η αξιολόγηση που έγινε από άλλους πάνω στα παραγόμενα μουσικά κομμάτια.

Κεφάλαιο 4

Αποτελέσματα

Η εξαγωγή και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αποτελούν το πιο περίπλοκο κομμάτι αυτής της δουλειάς. Ο μεγάλος αριθμός ρυθμίσεων παρέχει ευελιξία και σημαντικές δυνατότητες εξερεύνησης του χώρου, αλλά οδηγεί σε ένα πρόβλημα ανάλογο με τη συμφόρηση της συνάρτησης αξιολόγησης. Πολλα μουσικά θεμάτα απαιτούν χρόνο τόσο για τη παραγωγή όσο και για την ακρόασή τους. Για να γίνει λεπτομερειακή ανάλυση των αποτελεσμάτων απαιτείται χρόνος ανάλογος με αυτόν που δαπανήθηκε για την παρούσα εργασία.

Η αξιολόγηση είναι ένα κρίσιμο κομμάτι σε κάθε εργασία. Στο παρόν, η αξιολόγηση δεν μπορεί να μετρηθεί με απόλυτες τιμές επειδή προσκρούει στην υποκειμενική φύση της μουσικής αισθητικής. Για αυτόν το λόγο μία προσωπική κριτική δεν είναι πάντα επαρκής και παρόλες τις δυσκολίες που μπορεί να αντιμετωπίσει, μία κριτική από τρίτους είναι απαραίτητη.

Παρακάτω αναλύεται το πρόβλημα της έκτασης που υπάρχει στο συγκεκριμένο ζήτημα και το πως αντιμετωπίστηκε αυτό για να μπορεί να γίνει η αξιολόγηση τόσο από τον συγγραφέα όσο και από τρίτους.

4.1 Η έκταση του προβλήματος

Λόγω του μεγάλου συνόλου παραμέτρων, εν ενεργεία 8 παράμετροι μουσικής, 10 εξελικτικοί παράμετροι και 10 παράμετροι της συνάρτησης αξιολόγησης, το να καλυφθεί όλο το μέρος των δυνατοτήτων του προγράμματος είναι εξαιρετικά απίθανο. Αν θεωρήσουμε ότι οι παράμετροι έχουν δύο δυνατές τιμές για απλότητα, τότε έχουμε ένα σύνολο με

$2^{28} = 268435456$ διαφορετικές ρυθμίσεις¹.

Σε περιβάλλον γραμμής εντολών και σε συνδυασμό με ένα shell script παράχθηκε ένας σημαντικός αριθμός κομματιών (100) με διάφορα σύνολα παραμέτρων².

Για να μπορεί να γίνει μια πιο συνολική κριτική των αποτελεσμάτων, παρουσιάζεται παρακάτω η θέση του συγγραφέα καθώς και τα στατιστικά στοιχεία από την αξιολόγηση τρίτων.

4.2 Αυτοκριτική

Το άκουσμα και των 100 διαφορετικών θεμάτων, συνδυάζοντας κάθε φορά το αποτέλεσμα με τις εκάστοτε ρυθμίσεις, ήταν απαραίτητο για δύο λόγους.

Ο πρώτος περιλάμβανε μία εξέταση των δυνατοτήτων του προγράμματος και τον έλεγχο των ρυθμίσεων της συνάρτησης αξιολόγησης. Η συνολική ανομοιογένεια που καθοριζόταν από το 'στυλ' της μελωδίας ήταν αρκετά μεγάλη. Παρόλο που, σε αρκετές περιπτώσεις διαφορετικές ρυθμίσεις έδιναν παραπλήσια αποτελέσματα, κάτι που έχει να κάνει με τον τρόπο λειτουργίας των ΕΑ. Η στοχαστική φύση τους, μπορεί ακολουθώντας διαφορετικά μονοπάτια να φτάσει σε παρόμοια μουσικά 'μέρη'.

Το σύνολο των μουσικών παραμέτρων που καθορίζουν τον τρόπο που θα ακουστεί η μελωδία (σολιστικό όργανο, τέμπο κτλ.) δεν λήφθηκε υπόψη γιατί δεν επηρεάζει την εξελικτική λειτουργία. Η σημασία τους δεν παύει να είναι μεγάλη καθώς η αναπαραγωγή ενός συνόλου από νότες μπορεί να ακουστεί τελείως διαφορετικά σε ένα διαφορετικό τέμπο και με ένα διαφορετικό όργανο.

Στο σύνολο τους τα κομμάτια κάλυψαν διάφορους τομές ειδών μουσικής, από ποπ μέχρι - κάτι που μοιάζει με - τζαζ και από ηλεκτρονική μέχρι ψυχεδελική. Στα περισσότερα από αυτά δεν υπήρχε μεγάλη αίσθηση παραφωνίας, χωρίς αυτό να σημαίνει όμως ότι θα μπορούσαν να κρατήσουν το ενδιαφέρον ενός ακροατή. Σε ελάχιστα από αυτά, ένας αρκετά πετυχημένος συνδυασμός παραμέτρων, έδινε μια υποτυπώδη αίσθηση μουσικής αντίληψης. Πάλι όμως στα κομμάτια αυτά, υπήρχαν σημεία τα οποία ήταν ασυνάρτητα. Η λειτουργίες των φίλτρων που δημιουργούσαν μικρές αλλά αισθητές επαναλήψεις και συνεχόμενα ανεβάσματα ή κατεβάσματα έδειξαν ότι υπήρξε ορθή λειτουργία τους.

¹Κάποιοι μουσικοί παράμετροι δεν τροποποιούν την εξελικτική πορεία παρά το πως αυτό θα ακουστεί στο τέλος.

²Παρόλο που μια πρόχειρη εκτίμηση δείχνει πως αυτό καλύπτει μόλις το 0.000037253% των διαφορετικών συνδυαστικών επιλογών που υπάρχουν.

Κομμάτι	Μέση βαθμολογία	Τυπική απόκλιση
Song 20	6.43	2.52
Song 39	6.44	2.76
Song 46	5.46	2.74
Song 50	6.33	2.71
Song 55	6.23	2.54
Song 57	6.30	2.55
Song 59	6.06	2.76
Song 80	6.16	2.56

Πίνακας 4.1: Αξιολόγηση χρηστών

Τα λίγα επιλεγμένα μουσικά θέματα που είχαν το στοιχείο της μουσικότητας μπορούν να χαρακτηριστούν σαν ένα γενικό θετικό αποτέλεσμα. Τα 8 πιο ενδιαφέρονται από αυτά, που παρουσιάζαν ανομοιογένεια τόσο στις ρυθμίσεις όσο και στο αποτέλεσμα, αποτέλεσαν ένα δείγμα αξιολόγησης για άλλους χρήστες.

4.3 Κριτική

Η ιστοσελίδα της εφαρμογής (<http://evoltrio.co.cc/>) περιέχει μια φόρμα στην οποία κάποιος μπορεί να αξιολογήσει τα 8 επιλεγμένα κομμάτια. Μέχρι αυτό το χρονικό σημείο τα αποτελέσματα από 42 αξιολογήσεις χρηστών παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1.

Παρόλη την ενθάρρυνση να είναι αυστηροί στην αξιολόγησή τους, οι βαθμολογίες στο σύνολο τους είναι αρκετά μεγάλες. Αν και τα κομμάτια βαθμολογούνται άνω του μετρίου, είναι δύσκολο οι τιμές αυτές να χαρακτηριστούν ως ένα καλό κριτήριο για δύο λόγους. Ο πρώτος αφορά τις πολύ υψηλές τυπικές αποκλίσεις. Δεν φαίνεται κανένα μουσικό κομμάτι να δημιούργησε συνολικά πολύ καλή ή κακή εντύπωση. Ο δεύτερος αφορά την πολύ μικρή διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στη καλύτερη και τη χειρότερη βαθμολογία. Η διαφορά αυτή είναι ακόμα πιο μικρή μεταξύ των τυπικών αποκλίσεων.

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα ένα προς ένα, φάνηκε ότι οι αξιολογήσεις των περισσότερων ακροατών ήταν σε ένα παρόμοιο επίπεδο. Κάποιοι βαθμολόγησαν με μ.ο περίπου 2 ενώ άλλοι 9 ή 10. Το χάσμα αυτό φαίνεται ξεκάθαρα στις τυπικές αποκλίσεις.

Με την πλειοψηφία των χρηστών να αποτελούν τον φιλικό κύκλο του συγγραφέα, οι συζητήσεις μαζί τους οδήγησαν σε συμπεράσματα τα οποία μπορούν να χαρακτηριστούν ως πολύ πιο πολύτιμα, από την αριθμητική αξιολόγηση.

Το πρόβλημα των αισθητικών κριτηρίων εμφανίστηκε για άλλη μία φορά, με ένα σημαντικό αριθμό ατόμων να εκφράζει την απορία: με ποιά βάση πρέπει να αξιολογήσει:

Η παρότρυνση, τα μουσικά θέματα να αξιολογηθούν ως αυτούσια μουσική δεν φαίνεται να είχε αποτέλεσμα γιατί στα σχόλια αναφέρεται ότι υπάρχει μια επιείκεια λόγω της γνώσης ότι ο μουσικός 'καλλιτέχνης' είναι ένα πρόγραμμα.

Πέρα από αυτό, εμφανήστηκε και το αισθητικό πρόβλημα του ήχου. Το πρόγραμμα timidity++ , που χρησιμοποιήθηκε ως το λογισμικό συνθεσάιζερ για την αναπαραγωγή των MIDI αλλά και για την μετατροπή τους σε πιο συνηθισμένα μουσικά αρχεία (mp3), δημιουργεί έναν ήχο αρκετά ξεπερασμένο για τα τωρινά δεδομένα.

Όσο παρωχημένος όμως και αν μπορεί να χαρακτηριστεί ένας τέτοιος ήχος, αρκετά παραπλανητική μπορεί να αποτελέσει μία πιο ραφιναρισμένη ερμηνεία των MIDI με την χρήση επαγγελματικών soundfonts. Δεν αποκλείεται καθόλου σε μία τέτοια περίπτωση η αξιολόγηση να ήταν πολύ πιο θετική αλλά η εστία του θέματος θα μετατοπιζόταν: Το ζητούμενο είναι να αξιολογηθεί η μελωδία και όχι ο ήχος του μουσικού όργανου που θα την αναπαράγει.

Κάποιοι χρήστες εξέφρασαν την άποψη ότι μερικά κομμάτια μοιάζουν πάρα πολύ μεταξύ τους κάτι που δείχνει ότι το δείγμα που λήφθηκε δεν ήταν αρκετά ανομοιογενές.

Παρόλα τα καλά νούμερα, και τη συνολικά θετική εικόνα που δημιουργήθηκε από την μουσική, η αξιολόγηση είναι ένα θέμα σε εκρεμμότητα και η πρόταση για την αντιμετώπισή του θα αναλυθεί πιο διεξοδικά στο επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα - Μελλοντικές κατευθύνσεις

5.1 Συμπεράσματα

Η ακρόαση προσεκτικά επιλεγμένων αποτελεσμάτων έχει την δυνατότητα να δημιουργήσει σε κάποιον μία θετική εντύπωση. Η χρήση του προγράμματος για να παράγει κάτι το οποίο θα μπορεί να ακουστεί και να είναι αρεστό σε βαθμό που κάποιος θα θελήσει να το ξανακούσει, είναι μάλλον άτοπη. Ωστόσο η χρήση του για να παρέχει μουσικές ιδέες δεν είναι καθόλου απίθανη. Η επιλογή και ένωση φράσεων από έναν αριθμό μουσικών κομματιών μπορεί να δώσει πιο ολοκληρωμένες και μεγάλες σε διάρκεια μελωδίες. Με αυτή τη παρέμβαση και κάποιες επιπλέον διορθώσεις σε επίπεδο νότας, θα μπορούσαν να πλαισιώσουν ένα ολοκληρωμένο μουσικό θέμα.

Η συνάρτηση αξιολόγησης λειτούργησε θετικά αλλά όπως το κομμάτι της αξιολόγησης, έτσι και αυτό απαιτεί μία πιο διεξοδική μελέτη για την βελτίωση της λειτουργίας της. Η διεύρυνσή της είναι μία πρόκληση καθώς καινούργιες και πιο σύνθετες λειτουργίες μπορούν να την οδηγήσουν σε κάτι πιο ολοκληρωμένο μουσικά. Η διάθεση για την εξερεύνησή της είναι ανάλογη με αυτήν ενός καλλιτέχνη που θέλει να φέρει στο φως ένα καινοτομικό έργο - τα ενδεχόμενα της επιτυχίας αλλά και της αποτυχίας είναι ανοιχτά.

Η μικρή έκταση που είχε η αξιολόγηση από τρίτους μπορεί να μην κατάφερε να ξεχωρίσει κάποια θέματα όμως η διεξαγωγή της ήταν πολύ σημαντική. Η συμβολή των σχολίων και απόψεων, όπως και η συνολική αντιμετώπιση με χιούμορ και ενδιαφέρον ήταν ιδιαίτερα ενθαρρυντική.

5.2 Μελλοντικές κατευθύνσεις

Η παρούσα μορφή του προγράμματος διαγράφει τις κατευθύνσεις που μπορεί αυτή να κινηθεί και κάποιες από αυτές αποτελούν επιτακτικά βήματα για την μελλοντική βελτίωση του.

Παρακάτω περιγράφεται η καθεμία κατεύθυνση ξεχωριστά.

5.2.1 Λεπτομερής εξέταση των δυνατοτήτων που έχουν οι υπάρχουσες παράμετροι

Όπως αναφέρθηκε ήδη στο προηγούμενο κεφάλαιο ο αρκετά μεγάλος αριθμός παραμέτρων δίνει ένα συνδυασμό ρυθμίσεων που είναι πρακτικά αδύνατο να εξεταστούν συνολικά. Παρόλα αυτά, χρειάζεται να γίνει μία μεγάλη και εκτεταμένη δοκιμή για να βρεθούν ποιές παράμετροι είναι αυτές που διαφοροποιούν σημαντικά τα παραγώμενα αποτελέσματα. Με την εύρεση αυτών των παραμέτρων οι δυνατοί συνδυασμοί θα πρέπει να εξεταστούν διεξοδικά με μικρές διαφοροποιήσεις στις τιμές για να καλυφθεί το μεγαλύτερο σύνολο των δυνατοτήτων που υπάρχουν.

5.2.2 Έλεγχος απόδοσης των φίλτρων της συνάρτησης αξιολόγησης

Τα δέκα φίλτρα που περιγράφηκαν στην ενότητα της συνάρτησης αξιολόγησης δημιουργήθηκαν βάση προσωπικών προτιμήσεων. Οι τιμές που καθορίζουν την αποδοτικότητα και την βαρύτητά τους ορίστηκαν και αυτές με τρόπο αυθαίρετο. Ένας μικρός αριθμός δοκιμών δεν μπορεί να αποτελεί το κριτήριο μιας ουσιαστικής επιλογής.

Για την δημιουργία μουσικής, η αισθητική της οποίας θα είναι αποδεκτή σε ένα ευτύτερο σύνολο, πρέπει να γίνει μελέτη για το τι είναι αυτό που εξιτάρει στη μουσική τον μέσο ακροατή. Η πρακτική δυσκολία ενός τέτοιου εγχειρήματος έγκειται στο ότι πρέπει να περιλαμβάνει ακροατές, αν όχι με μουσική παιδεία, τότε σίγουρα ιδιαίτερα παρατηρητικούς -έως σχολαστικοί- στην μουσική που ακούν.

Η δυνατότητα ρύθμισης των φίλτρων δεν επιτράπηκε στον χρήστη λόγω της ακόμα μεγαλύτερης πολυπλοκότητας στην οποία θα ανερχόταν το πρόγραμμα. Τα ενδεχόμενα σφάλματα και η απαιτούμενη αποσφαλμάτωση θα έθεταν απαγορευτικές απαιτήσεις σε χρόνο. Ακόμα όμως και με την μεγαλύτερη δυνατή παραμέτροποίηση που θεωρητικά είναι

αυτή που μπορεί να δώσει στην μουσική των προσωπική ευελιξία, υπάρχει ο κίνδυνος το πρόγραμμα να λειτουργεί μη-ελέγξιμα λόγω πολυπλοκότητας.

5.2.3 Διευρυνση των μουσικών δυνατοτήτων

Υπάρχει ένας αριθμός μουσικών παραμέτρων (bass, drums, pattern) οι οποίες έχουν μόνο τις προεπιλεγμένες τιμές. Η εισαγωγή φράσεων για τα τύμπανα και το μπάσο δεν είναι αυτά που θα αλλάξουν ριζικά το πρόγραμμα, αλλά θα δώσουν δυνατότητες για περεταίρω πειραματισμούς.

Αν θεωρηθεί ότι το πρόγραμμα κάνει έναν ικανοποιητικό αυτοσχεδιασμό στην μουσική φόρμα I-IV-V-I τότε παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον το πως θα κινηθεί αυτό σε άλλα μουσικά μοτίβα. Στην παρούσα μορφή έναν μεγάλο περιορισμό αποτελεί η ύπαρξη μόνο μιας μουσικής κλίμακας. Σε ένα δεύτερο βήμα πρέπει να γίνει η εισαγωγή πολύ διαδεδομένων μουσικών κλιμάκων όπως είναι οι φυσική και αρμονική μινόρε αλλά και της πεντατονικής. Σε ένα πιο προχωρημένο στάδιο η εισαγωγή άλλων μουσικών τρόπων και κλιμάκων από μουσικές πέρα της δυτικής παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον. Ειδικότερα, η δυναμική αλλαγή χρήσης της κλίμακας ανάλογα με την συγχορδία, μπορεί να δώσει μία μεγαλύτερη ανομοιογένεια στις παραγώμενες μουσικές φράσεις.

Η έλλειψη παύσεων είναι ένα αρνητικό στοιχείο και παρόλο που δεν γίνεται τόσο έντονα αισθητό, θα ήταν καλό να προληφθεί. Η ενδεχόμενη ανάπτυξη της εφαρμογής μπορεί να καταστήσει αυτή την τροποποίηση πολύ δυσκολότερη σε ένα μελλοντικό στάδιο.

5.2.4 Μία πιο ουσιαστική αξιολόγηση

Η αξιολόγηση που έγινε ήταν καθαρά ενδεικτική. Τα αριθμητικά της αποτελέσματα έχουν πολύ μικρότερη, έως καθόλου, αξία σε σχέση με τα γραπτά και προφορικά σχόλια που έγιναν.

Η μουσική που είναι το προϊόν ενός Η/Υ, διαφοροποιεί ακαριαία την εικόνα που έχει για αυτήν ένας μέσος ακροατής, καθιστώντας τον άλλες φορές πιο ελαστικό και άλλες πιο επικριτικό. Παραπλήσιο θέμα αποτελεί και η αίσθηση μη αληθοφάνειας των μουσικών οργάνων αναπαραγωγής.

Η ερμηνεία των παραγόμενων θεμάτων μέσα από υψηλής ποιότητας soundfonts και η έκθεσή τους με τρόπο ώστε να μην γνωρίζει ο ακροατής ότι η παραγωγή είναι υπολογιστική, μπορεί να δείξει πιο ρεαλιστικά σε πιο επίπεδο βρίσκεται αυτός ο τομέας.

Τα γραπτά σχόλια που έγιναν μαζί με την αξιολόγηση στη διαδικτυακή φόρμα μπορεί να επεκταθεί με την ύπαρξη ενός μικρού ερωτηματολογίου. Ο υποκειμενικός παράγοντας είναι αυτός που ενθαρρύνει τον γραπτό σχολιασμό της μουσικής, καθότι ένας αριθμός δεν μπορεί να δείξει τι έχει σκεφτεί κάποιος για να τον βάλει.

Κεφάλαιο 6

Παραρτήματα

6.1 Οδηγός χρήσης

Το πρόγραμμα EvolTrio παρουσιάζεται σε δύο εκδόσεις: Στην έκδοση γραμμής εντολών και στην έκδοση γραφικού περιβάλλοντος. Λειτουργικά δεν υπάρχει κάποια διαφορά. Το γραφικό περιβάλλον χρησιμοποιεί το παραγόμενο jar της γραμμής εντολών ως βιβλιοθήκη για να χρησιμοποιήσει τις ίδιες λειτουργίες λειτουργίες.

Συνήσταται η χρήση της γραμμής εντολών, ειδικά για κάποιον που θα θελήσει να κάνει πολλές δοκιμές λόγω αμεσότητας και πιο ορθής λειτουργίας. Το περιβάλλον javax λόγω μικρής εμπειρίας σε αυτό ενδέχεται να περιέχει κάποια μικρά σφάλματα που δεν έχουν αποσφαλματωθεί. Το πλεονέκτημα όμως που έχει είναι ότι υπάρχει γράφημα για τις τιμές των καλύτερων χρωμοσωμάτων του εκάστοτε εξελικτικού κύκλου.

Το πρόγραμμα μεταγλωττίστηκε με την έκδοση 1.6.0_18 της java πράγμα που συνηστά ανάλογη ή νεώτερη έκδοση.

Παρακάτω περιγράφεται η λειτουργία του προγράμματος με παραδείγματα.

6.1.1 Περιβάλλον γραμμής εντολών

Σε περιβάλλον γραμμής εντολών ο χρήστης είναι υποχρεωμένος να εκτελέσει το πρόγραμμα μέσω της θαα περνώντας τουλάχιστον την παράμετρο για το όνομα του αρχείου. Σε περίπτωση που το αρχείο υπάρχει ήδη, το νέο θα μετονομαστεί. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, το νέο αρχείο θα έχει το όνομα Song1.mid.

Εντολή: `java -jar EvolTrio.jar Song.mid`

Στο παραπάνω παράδειγμα θα γίνει χρήση των προεπιλεγμένων ρυθμίσεων οι οποίες

κατόπιν αρκετών δοκιμών έχει φανεί ότι δεν αποδίδουν τόσο καλά. Ένα καλύτερο παράδειγμα αποτελεί το εξής:

Εντολή: `java -jar EvolTrio.jar -r 10 -h 3 -w 8 -t Allegro -1 Song.mid`

Με αυτές τις ρυθμίσεις, παράγεται ένα απλό μουσικό θέμα, με κάθε φράση να παίζεται μία φορά. Δίνεται δυνατότητα για μεγάλα άλματα και ενεργοποιούνται όλα τα φίλτρα. Ο ρυθμός συνίσταται να είναι γρήγορος για να μην κουράζει το θέμα σε περίπτωση που απαιτεί ακρόαση και είναι δίχως ενδιαφέρον. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα χρησιμοποιούνται οι προεπιλεγμένες εξελικτικές τιμές. Για να τροποποιηθούν μερικές από αυτές, μπορούν να πραγματοποιηθούν οι παρακάτω προσθήκες:





Εντολή: `java -jar EvolTrio.jar -r 7 -h 1 -w 16 -y 2 -t Pretissimo -1 -p 2 -c 0.4 -m 15 -p 50 -i 1000 -s 50 Song.mid`

Σε αυτό το παράδειγμα γίνεται αύξηση των τιμών τεσσάρων εξελικτικών παραμέτρων. Επίσης, γίνεται ρύθμιση ώστε κάθε παραγόμενη φράση να αναπαράγεται δύο φορές.

Πλήρης ανάλυση παραμέτρων υπάρχει στην ενότητα 6.2 του παραρτήματος.

6.1.2 Γραφικό περιβάλλον

Το γραφικό περιβάλλον παρουσιάζεται στο σχήμα 6.1. Στο πάνω μενού ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τις βασικές λειτουργίες της εφαρμογής:

- Επαναφορά ρυθμίσεων . Με αυτή την επιλογή γίνεται διαφραφή των μερών που έχουν παραχθεί από την εξέλιξη και των δεδομένων που έχουν αναπαρασταθεί στα γραφήματα. Επιτακτική λειτουργία για κάποιον που θέλει να επανεκκινήσει τον εξελικτικό κύκλο.
- Εκκίνηση του εξελικτικού κύκλου . Η λειτουργία αυτή κάνει εκκίνηση του εξελικτικού κύκλου για τα τέσσερα χρωμοσώματα που θα αναπαραστήσουν το σύνολο του μουσικού κομματιού.
- Αποθήκευση μουσικής . Η επιλογή αυτή ανοίγει ένα παράθυρο αποθήκευσης αρχείου για να σώσει ο χρήστης το μουσικό θέμα που παρήγαγε η εξέλιξη.
- Αναπαραγωγή μουσικής . Με αυτή τη λειτουργία γίνεται αναπαραγωγή του μουσικού θέματος.

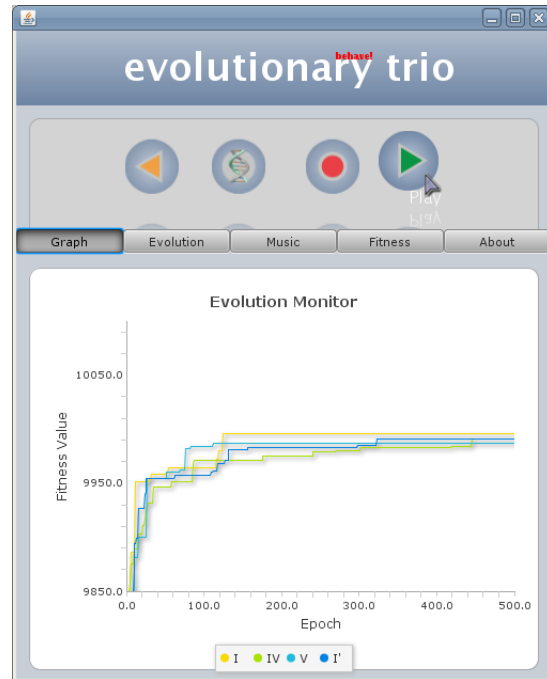
Κάτω από το μενού βασικών λειτουργιών υπάρχουν 5 καρτέλες. Η πρώτη από αυτές έχει γραφική αναπαράσταση της τιμής του καλύτερου χρωμοσώματος για κάθε πληθυσμό.

Οι επόμενες τρεις καρτέλες περιέχουν σε σειρά τις εξελικτικές, μουσικές και τις παραμέτρους που ρυθμίζουν τα φίλτρα της συνάρτησης αξιολόγησης. Οι παράμετροι είναι ίδιες με αυτές της γραμμής εντολών και παρουσιάζονται στον πίνακα 6.1.

Η πέμπτη καρτέλα περιέρχει πληροφορίες σχετικά με την τρέχουσα έκδοση της εφαρμογής.

Σημείωση: Το γραφικό περιβάλλον αποτελεί ένα νήμα εκτέλεσης και σε αυτό μέσα γίνεται εκτέλεση όλων των λειτουργιών. Η μη ενσωμάτωση πολυνηματικής εκτέλεσης έχει ως αποτέλεσμα κατά τις λειτουργίες της εξέλιξης και αναπαραγωγής το γραφικό περιβάλλον να 'κολλάει'.

Η πολυνηματική λειτουργία μπορεί να ενσωματωθεί με βιβλιοθήκες τρίτων οι οποίες δεν είχαν λειτουργικά αποτελέσματα μέχρι στιγμής.



Σχήμα 6.1: Γραφικό περιβάλλον

6.2 Πίνακας παραμέτρων

Πίνακας 6.1: Πίνακας παραμέτρων

Παράμετρος	Συντομία	Εύρος Τιμών	Προεπιλεγμένη Τιμή	Περιγραφή
ascending	A	true/false	true	Ενεργοποιεί το φίλτρο που επιβραβεύει θετικά τις διαδοχικές αυξανόμενες τονικότητες στις νότες
bass	b	default	default	Επιλογή της μπασογραμμής
begdur	x	[1,6]	4	Η τιμή διάρκειας που θα έχει η αρχική νότα
constant	f	true/false	true	Διατηρεί σταθερό τον πληθυσμό.
crossover	c	[0,1]	0.35	Ρυθμίζει το ποσοστό της μετάλλαξης σε ποσοστιαία κλίμακα
descending	Z	true/false	false	Ενεργοποιεί το φίλτρο που επιβραβεύει τετικά τις διαδοχικές μειώσεις στις τονικότητες
drums	d	default	default	Επιλογή του μοτίβου τυμπάνων
dull	B	true/false	true	Ενεργοποιεί το φίλτρο μονότονης μουσικής
duration	D	true/false	true	Ενεργοποιεί το φίλτρο για τον έλεγχο διάρκειας μιας μουσικής φράσης

Παράμετρος	Συντομία	Εύρος Τιμών	Προεπιλεγμένη Τιμή	Περιγραφή
durjump	h	[1,6]	2	Ορίζει το μέγιστο άλμα διάρκειας που μπορεί να συμβεί ανάμεσα σε δύο διαδοχικές νότες.
execBefore	u	true/false	false	Εκτέλεση των τελεστών επιλογής πριν από τους γενετικούς.
filtall	1	true/false	false	Ενεργοποιεί όλα τα φίλτρα της συνάρτησης αξιολόγησης. Η ενεργοποίηση αυτού του φίλτρου υπερβαίνει οποιαδήποτε άλλη επιλογή έχει γίνει σχετικά με αυτά.
help				Εμφανίζει το μενού βοήθειας με όλες τις παραμέτρους που περιγράφονται σε αυτόν τον πίνακα και τερματίζει την λειτουργία.
high	H	true/false	true	Ενεργοποιεί το φίλτρο για πολύ υψηλές/χαμηλές νότες.
intjump	r	[1,12]	5	Ορίζει το μέγιστο άλμα τονικότητας ανάμεσα σε δύο διαδοχικές νότες.
iterations	i	[1,10000]	100	Ο αριθμός των γενετικών κύκλων για κάθε φράση.

Παράμετρος	Συντομία	Εύρος Τιμών	Προεπιλεγμένη Τιμή	Περιγραφή
minpop	e	[0,100]	0	Το ποσοστό του ποσοστού που εγγυάται ότι θα διατηρηθεί αφού οι τελεστές φυσικής επιλογής μπορούν να τον μειώσουν.
mutation	m	[0,100]	12	Το ποσοστό της μετάλλαξης.
natural	n	[BEST THRESHOLD TOURNAMENT WEIGHTED]	BEST	Ορισμός του τελεστή φυσικής επιλογής.
note	k	[C C# .. B]	C	Η τονική νότα που θα καθορίσει από που θα ξεκινήσει μία φράση.
octave	o	[2,7]	5	Η οκτάβα από την οποία θα ξεκινήσει η προαναφερθείσα νότα.
organ	s	[0,127]	35	Ο κωδικός του σολιστικού οργάνου.
pattern	a	I-IV-V-I	I-IV-V-I	Το μουσικό μοτίβο.
phraseNotes	w	[4,32]	4	Ο αριθμός των νοτών που θα υπάρχουν σε μία μουσική φράση.

Παράμετρος	Συντομία	Εύρος Τιμών	Προεπιλεγμένη Τιμή	Περιγραφή
pitch	P	true/false	true	Ενεργοποιεί το φίλτρο για την αίσθηση της τονικότητας.
play	y	[1,16]	2	Ο αριθμός που θα επαναληθεί η κάθε φράση κατά την αναπαραγωγή.
pop	p	[1,1000]	30	Το μέγεθος του αρχικού πληθυσμού.
previousGen	g	[0,1]	1	Το ποσοστό του πληθυσμού που θα περάσει στον επόμενο.
random	q	[STOCK CAUCHY GAUSSIAN]	STOCK	Ο τύπος της γεννήτριας τυχαίων αριθμών.
repetition1	R	true/false	true	Ενεργοποιεί το φίλτρο επαναλήψεων *1 που επιβραβεύει επαναλήψεις μικρών φράσεων.
repetition2	E	true/false	false	Ενεργοποιεί το φίλτρο επαναλήψεων *1 που επιβραβεύει επαναλήψεις πιο σύνθετων φράσεων.
scale	S	true/false	true	Ενεργοποιεί το φίλτρο που ελέγχει για το εάν οι νότες τις φράσεις βρίσκονται εντός κλίμακας.

Παράμετρος	Συντομία	Εύρος Τιμών	Προεπιλεγμένη Τιμή	Περιγραφή
tempo	t	[Adagio ...]	Allegro	Καθορίζει τον ρυθμό του κομματιού.
time	T	true/false	true	Ενεργοποιεί το φίλτρο
version				Εμφανίζει την έκδοση του προγράμματος και τερματίζει την λειτουργία.

Ευρετήριο

- αισθητικά κριτήρια, 3
- αλυσίδες Μάρκοφ, 3
- ανάκτηση πληροφορίας, 13
- αντίληψη
 - διαστημάτων, 13
 - μουσική, 3
- αριθμητική
 - κωδικοποίηση, 11
- αρχικοποίηση
 - τυχαία, 14
- Δαρβίνος, 7
- δενδρική δομή, 12
- διασταύρωση, 7
 - ευφυής, 9
 - τυφλή, 11
- εκπαίδευση συστήματος, 23
- εναρμόνιση
 - μουσικής μελωδίας, 8
 - μουσικής μπασογραμμής, 8
- εξελικτικός προγραμματισμός, 12
- εξελικτικοί αλγόριθμοι, 4, 7
- φαινότυπος, 9
- φυσική επιλογή, 7
- GenDash, 4
- γενετικός προγραμματισμός, 12
 - διαδραστικός, 17
 - γενετικοί τελεστές, 7
 - Γιάννης Ξενάκης, 3
 - γονίδιο
 - δυναμικό, 11
 - γονότυπος, 9
 - υψηλότερου επιπέδου, 12
 - γραφικό περιβάλλον, 17
 - γραμματική ελεύθερης συσχέτισης, 15
 - γραμματική εξέλιξη, 12
 - Guido D'arezzo, 3
 - ημιτόνιο, 12
 - Jacob, 5
 - θεματική μετάβαση, 8
 - κλασική μουσική, 14
 - κυτταρικά αυτόματα, 4
 - κωδικοποίηση, 9
 - αριθμητική, 11
 - δυναμική, 11
 - Μότσαρτ, 3
 - ματζόρε κλίμακα, 29
 - μετάλλαξη, 7
 - ευφυής, 9, 17
 - χαμηλού επιπέδου, 8
 - MIDI, 5

μουσική
 δομή, 15
 θεωρία, 15
μουσική θεωρία, 13

νευροασαφής ελεγκτής, 23
νευρωνικά δίκτυα, 4
νοημοσύνη σμήνους, 4

παιχνίδια ζαριών, 3
πολυπλοκότητα, 17, 22
 συστήματος, 17
ποπ, 13
πράκτορας, 18
πρόβλημα
 βελτιστοποίησης, 13

χρωμόσωμα, 18

ροκ, 11, 13

Στραβίνσκι, 9
σύνθεση
 νευρωνική, 13
 στοχαστική, 13
σολιστικό όργανο, 10
συγχορδία, 10
συνάρτηση αξιολόγησης, 7, 15, 24
 αυτοματοποιημένη, 15
 ντετερμινιστική, 15
 διαδραστική, 15
 μετά-, 18
 σύγκλιση, 25
 συμφόρηση, 16, 37
συνεξέλιξη, 15, 18

τεχνητή ζωή, 4
τεχνούργημα, 13
τζαζ, 13
Waschka II, 4

Bibliography

- [1] <http://www.init.ituniv.se/palle/pmwiki/pmwiki.php?n=Works.Ossia>, visited 20.9.09.
- [2] Horner A and Goldberg. D. E. Genetic algorithms and computer-assisted music composition. *Technical Report CCSR-91-20, Center for Complex Systems Research, The Beckman Institute, University of Illinois at UrbanaChampaign*, 1991.
- [3] Moroni A., Manzolli J., Zuben F.V., and Gudwin R. Vox populi: evolutionary for music evolution. *Creative evolutionary systems, Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA*, 2001.
- [4] Manuel Alfonso, Manuel Cebrián, and Alfonso Ortega. A simple genetic algorithm for music generation by means of algorithmic information theory. In *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, pages 3035–3042, 2007.
- [5] Daichi Ando, Palle Dahlsted, Mats G. Nordahl, and Hitoshi Iba. Interactive gp with tree representation of classical music pieces. In *Proceedings of the 2007 EvoWorkshops 2007 on EvoCoMnet, EvoFIN, EvoIASP, EvoINTERACTION, EvoMUSART, EvoSTOC and EvoTransLog*, pages 577–584, Berlin, Heidelberg, 2007. Springer-Verlag.
- [6] Jacob B. Composing with genetic algorithms. *Proc. International Computer Music Conference (ICMC '95)*, pp. 452-455. Banff Alberta, 1995.
- [7] P. J. Bentley. Exploring component-based representations - the secret of creativity by evolution? In *Proc. of the Fourth International Conference on Adaptive Computing in Design and Manufacture (ACDM 2000), April 26th - 28th, University of Plymouth, UK. I. C. Parmee (ed)*, pp. 161-172, 2000.
- [8] Jacob B.L. Algorithmic composition as a model of creativity. *Cambridge University Press. Published in Organised Sound, volume 1, number 3*, 1996.

-
- [9] Vagopoulou E. Xenakis: His life in music (review). *Music and Letters - Volume 87, Number 2*, pp. 352-354, 2006.
- [10] Arne Eigenfeldt. The evolution of evolutionary software: Intelligent rhythm generation in kinetic engine. In *EvoWorkshops '09: Proceedings of the EvoWorkshops 2009 on Applications of Evolutionary Computing*, pages 498–507, Berlin, Heidelberg, 2009. Springer-Verlag.
- [11] Wiggins G., Papadopoulos G., Amnuaisuk S., and Tuson A. Evolutionary methods for musical composition. In *Proceedings of the CASYS98 Workshop on Anticipation, Music and Cognition*, 1998.
- [12] A. Gartland-Jones. Musicblox: a real-time algorithmic composition system incorporating a distributed interactive genetic algorithm. In *Proceedings of EvoWorkshops/EuroGP2003, 6th European Conference on Genetic Programming 2003, Berlin: Springer-Verlag*, 2003.
- [13] Andrew Gartland-Jones and Peter Copley. The suitability of genetic algorithms for musical composition, 2003.
- [14] Ronald Hochreiter. Audible convergence for optimal base melody extension with statistical genre-specific interval distance evaluation. In *EvoWorkshops*, pages 712–716, 2006.
- [15] Reddin J., Mcdermott J., and O'Neill M. Elevated pitch: Automated grammatical evolution of short compositions. *Proceedings of the EvoWorkshops 2009 on Applications of Evolutionary Computing: EvoCOMNET, EvoENVIRONMENT, EvoFIN, EvoGAMES, EvoHOT, EvoIASP, EvoINTERACTION, EvoMUSART, EvoNUM, EvoSTOC, EvoTRANSLOG*, 2009.
- [16] Biles J.A. Improvizng with genetic algorithms: Genjam. in *Evolutionary Computer Music*, Springer, 2007.
- [17] Biles J.A., Anderson P.G., and Loggi L.W. Neural network fitness functions for a musical iga. *Technical report, Rochester Insitute of Technology*. <http://www.it.rit.edu/jab/SOCO96/SOCO.html>, 1996.
- [18] Bruce L. Jacob. Algorithmic composition as a model of creativity. *Org. Sound*, 1(3):157–165, 1996.

-
- [19] Koza J.R. Genetic programming. *Encyclopedia of Computer Science and Technology*, 1997.
- [20] Shi H. Khalifa, Y. and G Abreu. Evolutionary music composer. In *Proceedings of Late Breaking Papers at the Genetic and Evolutionary Computation Conference GECCO '04, Seattle*, 2004.
- [21] Y.M.A.and Khan B. Khalifa, J. Begovic, and A.and Wheeler. A.M. Wisdom. Evolutionary music composer integrating formal grammar. *International Journal of Artificial Intelligence and Machine Learning, Vol. 7, Issue 1, pp 33-39.*, 2007.
- [22] Lo ManYat and S.M. Lucas. Evolving musical sequences with n-gram based trainable fitness functions. In Gary G. Yen, Simon M. Lucas, Gary Fogel, Graham Kendall, Ralf Salomon, Byoung-Tak Zhang, Carlos A. Coello Coello, and Thomas Philip Runarsson, editors, *Proceedings of the 2006 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, pages 601–608, Vancouver, BC, Canada, 16-21 July 2006. IEEE Press.
- [23] Jon McCormack. New challenges for evolutionary music and art. *SIGEVOlution*, 1(1):5–11, 2006.
- [24] Michael C. Mozer. Neural network music composition by prediction: Exploring the benefits of psychoacoustic constraints and multiscale processing. In *Connection Science*, pages 247–280, 1994.
- [25] Tomasz Oliwa and Markus Wagner. Composing music with neural networks and probabilistic finite-state machines. In *EvoWorkshops*, pages 503–508, 2008.
- [26] Tomasz Michal Oliwa. Genetic algorithms and the abc music notation language for rock music composition. *Proceedings of the 10th annual conference on Genetic and evolutionary computation*, 2008.
- [27] Dahlstedt P. Autonomous evolution of complete piano pieces and performances. in *Proceedings of MusicAL Workshop, in Fernando Almeida e Costa et al (Eds.): Advances in Artificial Life, 9th European Conference, ECAL 2007, Lisbon, Portugal, 2007.*
- [28] Husbands P., Copley P., Eldridge A., and Madelis J. An introduction to evolutionary computing for musicians. in *Evolutionary Computer Music, Springer, 2007.*

-
- [29] Todd P.M. and Werner G.M. Frankensteinian methods for evolutionary music composition. *Musical networks: Parallel distributed perception and performance*. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books., 1998.
- [30] Roberto De Prisco and Rocco Zaccagnino. An evolutionary music composer algorithm for bass harmonization. In *EvoWorkshops*, pages 567–572, 2009.
- [31] Burton A. R. and Vladimirova T.R. Generation of musical sequences with genetic techniques. *Computer Music Journal*, Volume 23 , Issue 4, Pages: 59 - 73, MIT Press Cambridge, MA, USA, 1999.
- [32] Ribamar Santarosa, Artemis Moroni, and Jônatas Manzolli. Layered genetical algorithms evolving into musical accompaniment generation. In *EvoWorkshops*, pages 722–726, 2006.
- [33] Kazuto Tominaga and Masafumi Setomoto. An artificial-chemistry approach to generating polyphonic musical phrases. In *EvoWorkshops*, pages 463–472, 2008.
- [34] M. Unehara and T. Onisawa. Construction of music composition system with interactive genetic algorithm. In *Proceedings of 6th Asian Design International Conference*, pages 84–89, 2003.
- [35] Jacek Wolkowicz, Malcolm I. Heywood, and Vlado Keselj. Evolving indirectly represented melodies with corpus-based fitness evaluation. In *EvoWorkshops*, pages 603–608, 2009.
- [36] Peter Worth and Susan Stepney. Growing music: Musical interpretations of l-systems. In *EvoWorkshops*, pages 545–550, 2005.