ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΦΙΛΟΣΟΦΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

Χ-ΝΟΙΑ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΧΡΗΣΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΝΩΝ ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΩΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΚΟ ΜΕΣΟ

Αυτόματη Μουσική Σύνθεση σε Πραγματικό Χρόνο

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΣΩΤΗΡΙΟΥ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ ΣΚΕΝΤΟΥ

ΑΜ: 150309

Επιβλέποντες: Αναστασία Γεωργάκη, Ιωάννης Ζάννος

Αθήνα, Φεβρουάριος 2017

(Υπογραφή)

.....

ΣΩΤΗΡΙΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΣΚΕΝΤΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία δέκα χρόνια, σημαντικές εξελίξεις στον ερευνητικό χώρο του ευρύτερου τομέα της μουσικής τεχνολογίας έχουν εγείρει νέες προκλήσεις για τη μουσική σύνθεση και την πληροφορική. Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με θέματα γύρω από την αυτόματη μουσική σύνθεση με ανθρώπινα εγκεφαλικά κύματα. Η εμπορική βιομηχανία έχει κάνει ευρέως προσιτή τεχνολογία που πριν από δέκα χρόνια θεωρούνταν απρόσιτη. Οι προγραμματιστές ήχου, συνθέτες και καλλιτέχνες χρησιμοποιούν τον προγραμματισμό για δημιουργικούς σκοπούς. Με γνώμονα την μουσική δημιουργία θα αναλύσω τους τρόπους σύνθεσης μουσικής χρησιμοποιώντας ανθρώπινα εγκεφαλικά κύματα ως πηγή δεδομένων. Εν συνεχεία θα διαχειριστώ κώδικα προγραμματισμού για να αυτοματοποιήσω την διαδικασία σε ένα πρότζεκτ με χρήση φορητού εγκεφαλογράφου (πρότζεκτ x-noia). Ο απώτερος στόχος του πρότζεκτ είναι ο έλεγχος του παραγόμενου μουσικού αποτελέσματος να είναι διαχειρίσιμος από τον ίδιο τον καλλιτέχνη και πιο συγκεκριμένα τα εγκεφαλικά κύματα του. Η έρευνα των εγκεφαλικών κυμάτων είναι μια ανερχόμενη επιστήμη η οποία βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς ερευνητικούς τομείς όπως πληροφορική, ρομποτική, βιολογία, ιατρική και μουσική. Στην εργασία αυτή θα εξετάσω τα μέχρι τώρα επιτεύγματα συνθετών στην διαχείριση εγκεφαλικών σημάτων γενικά και ειδικά στις τεχνοτροπίες που χρησιμοποιήθηκαν για την άντληση δεδομένων από τα εγκεφαλικά κύματα. Το πρότζεκτ επίσης εξετάζει και την τεχνική που επιβάλλεται να χρησιμοποιήσει ο χειριστής έτσι ώστε να αποδώσει το μουσικό αποτέλεσμα που επιθυμεί. Αυτό θα υποβοηθηθεί από συνοδευτικά γραφικά αναφοράς τιμών των μηνυμάτων στο πρότζεκτ x-noia. Το όλο πρότζεκτ θα θα ανέβει στο github.com και θα είναι ελεύθερα προ βάσιμο σε όλους. Σημαντικοί τομείς της έρευνας είναι: το υπόβαθρο, το τεχνικό και το αισθητικό μέρος. Στο πρώτο μέρος γίνεται ανασκόπηση των μέχρι τώρα πρότζεκτς. Το τεχνικό σκέλος περιλαμβάνει το υλισμικό και λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί και το αισθητικό μέρος υποστηρίζει το μουσικό συμπέρασμα ως μέσο έκφρασης και δημιουργίας. Μέρος της έρευνας αποτελεί η μελέτη των εγκεφαλικών κυμάτων και ο τρόπος χρήσης τους από τον καλλιτέχνη. Στην εργασία αυτή διαφαίνεται ο τρόπος με τον οποίο ο εκτελεστής-καλλιτέχνης μπορεί να ελέγχει την συσκευή ώστε να παράγει τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Λέξεις Κλειδιά: <<εγκεφαλικά κύματα, ΗΕΓ, BCI, διάδραση, βιοσήματα>>

ABSTRACT

During the last ten years, important developments have arisen in the research field of the Music Technology and have raised new challenges for the musical synthesis and informatics. This project involves automated musical synthesis utilizing human brainwaves. The industry in our days has made this technology affordable for the wider public, when it wasn't available ten years ago. Audio programmers, composers and artists are using programming for creative purposes. With musical creativity in mind I will analyze composition ways in music using human brainwaves as a source of data. I will manipulate programming code to automate the whole process in the self-made project x-noia. The ultimate goal of the project is to be able to control the musical product thus to be manageable by the artist himself and more precisely by his/her brainwaves. Brainwave research is an emerging science that has found involvement in a lot of sections of science like computing, robotics, biology, medicine and music. This project examines the technique that the operator must use to produce the wanted musical outcome that will be underlined by accompanying visual graphics with the data values. Moving on, the whole project code will be uploaded to github.com and will be free to access. Important sectors of the research are: the background, the technical and the aesthetics.

The background refer to the production of the projects so far. The technical section includes the hardware and software that will be used and the aesthetic part will support the musical outcome from the expression and creativity perspective. Part of this research is the study of brainwaves and the way of use from the artist himself. In this paper all the uses of the brainwaves and their utility is being discussed on the perspective of how the user-artist can control the device to get the desired results.

Keywords: <<brainwaves, EEG, BCI, interaction, bio signals>>

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Νέες έρευνες στον τομέα των βιοτεχνολογιών εξερευνούν την δυνατότητα της αλληλεπίδρασης του εγκεφάλου σε σχέση με τις τεχνολογικές εφαρμογές. Τα τελευταία χρόνια ο άνθρωπος έχει συσχετίσει και συμπεριλάβει τον εγκέφαλο ως μέσο για την διάδραση μεταξύ ατόμου και υπολογιστή. Στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού μουσικολογία με κατεύθυνση μουσική τεχνολογία εξετάζω την δυνατότητα του μουσικού-περφόρμερ να δημιουργεί μουσική με την χρήση των εγκεφαλικών κυμάτων. Παράλληλα εφαρμόζω τεχνικές και τεχνολογικά μέσα για την δημιουργία και παρουσίαση προσωπικού πρότζεκτ με τίτλο x-noia.

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος παράγει κύματα τα οποία είναι μετρήσιμα. Αυτό μας δίνει την δυνατότητα να αποκωδικοποιήσουμε συμπεριφορές του εγκεφάλου και να τις αντιστοιχίσουμε με τεχνολογικές διαδράσεις. Παρακάτω θα δούμε μερικά από τα σύγχρονα έργα που έχουν δημιουργηθεί με την χρήση των εγκεφαλικών κυμάτων ως μια ιστορική αναδρομή. Επίσης θα γίνει μια σύστομη ανάλυση σύγχρονων μουσικών έργων από τον Lucier και τον Teitelbaum μέχρι τον Garcia.

Σε επόμενη ενότητα θα δούμε τεχνικές εκμετάλλευσης σημάτων από τον εγκεφαλογράφο και πως αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται στην μουσική παραγωγή και σύνθεση. Μέσα από παραδείγματα συνθετών-πειραματιστών θα διαπιστώσουμε ότι εν τέλει παρόλο που τα τεχνολογικά μέσα διαφέρουν κατά προτίμηση η βασική φιλοσοφία παραμένει η ίδια. Ο κάθε συνθέτης παραθέτει σε επιστημονικό έργο-πείραμα μεθόδους εκμετάλλευσης δεδομένων με διαφορετικά εργαλεία και τεχνοτροπίες. Στην συνέχεια γίνεται μια μικρή ανάλυση-επεξήγηση του Neurosky Mindwave, φορητού εγκεφαλογράφου όπου χρησιμοποιώ για αυτό το πρότζεκτ, το πρότζεκτ x-noia.

Στο επόμενο κεφάλαιο αναπτύσσω την διαδικασία δημιουργίας του πρότζεκτ x-noia. Το πρότζεκτ ξεκινά με το αισθητικό μέρος για το οποίο αναλύεται η αιτία και ο σκοπός δημιουργίας αυτού. Εν συνεχεία περνάμε στην επεξήγηση του τεχνικού μέρους και τέλος στην υλοποίηση του πρότζεκτ. Ο κώδικας είναι διαθέσιμος στην ιστοσελίδα:

https://github.com/humanbeing1981/xnoia_project_source

Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται μια επισήμανση των μελλοντικών εφαρμογών ως προς την αποκωδικοποίηση των εγκεφαλικών σημάτων. Η μέχρι τώρα έρευνα για τα εργαλεία μας καθιστά ανήμπορους στο να εκμεταλλευτούμε πλήρως το εγκεφαλικό γίγνεσθαι. Στο κοντινό μέλλον και με την βοήθεια της επεξεργαστικής ανόδου των υπολογιστών ίσως ο άνθρωπος να καταφέρει να κατασκευάσει ποιοτικότερα συστήματα και μεθόδους διάδρασης εγκεφάλου και υπολογιστή.

Κλείνοντας στο μέρος του επιλόγου γίνεται μια ανασκόπηση των παραπάνω και αναλύεται το πρότζεκτ x-noia σε σχέση με τις μελλοντικές εφαρμογές. Επίσης αναφέρεται ο κοινωνικός αντίκτυπος τέτοιων τεχνολογιών καθώς και το πως θα μπορούσε να επηρεάσει την μουσική κοινότητα.

Πίνακας περιεχομένων

1 ΜΟΥΣΙΚΗ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ 1

1.1 Ανθρώπινος εγκέφαλος και εγκεφαλικά κύματα 1

1.2 Σύγχρονα έργα με χρήση ΗΕΓ για παραγωγή μουσικής 6

2 ΕΞΟΡΥΞΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΗΕΓ 10

2.1 Τεχνικές εκμετάλλευσης δεδομένων ΗΕΓ 10

2.2 Εφαρμογές και πειράματα 14

2.3 Εμπορική συσκευή neurosky mindwave 17

3 ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΜΟΥΣΙΚΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ Χ-ΝΟΙΑ ΜΕ ΗΕΓ 19

3.1 Αισθητική προσέγγιση 19

3.2 Τεχνική προσέγγιση 22

3.3 Υλοποίηση 24

4 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΕΡΕΥΝΑΣ 42

4.1 Δημιουργία λεξικού σκέψεων 42

5 ΕΠΙΛΟΓΟΣ 45

5.1 Συζήτηση 45

5.2 Σύνοψη και συμπεράσματα 46

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 48

1

ΜΟΥΣΙΚΗ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ

1.1 Ανθρώπινος εγκέφαλος και εγκεφαλικά κύματα

Η εργασία αυτή καλείται να αναλύσει την σχέση-διάδραση ανθρώπινου εγκεφάλου και υπολογιστή. Θα πρέπει να αναλύσουμε πως λειτουργεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος για την εκμετάλλευση δεδομένων και την δημιουργία μουσικής. Ο εγκέφαλος διαχωρίζεται σε τέσσερις λοβούς τον μετωπιαίο, τον κροταφικό, τον βρεγματικό και τον ινιακό όπως επίσης και την παρεγκεφαλίδα. Ο μετωπιαίος λοβός σχετίζεται με τον σχεδιασμό, την αυτοσυγκράτηση και τον διαχωρισμό τον σημάτων του περιβάλλοντος. Ο κροταφικός λοβός έχει να κάνει με την ακοή και την μνήμη. Ο βρεγματικός λοβός με την κίνηση και την αντίληψη του χώρου και ο ινιακός με την όραση. Η παρεγκεφαλίδα σχετίζεται με τα συναισθήματα και των σχεδιασμό κινήσεων στον χώρο. Είναι το αρχαιότερο μέρος εξελικτικά του ανθρώπινου εγκεφάλου (Levitin 2006).

Έτσι τα μέρη του ανθρώπινου εγκεφάλου διαχωρίζονται ως εξής:

- Ο εγκεφαλικός φλοιός συντονίζει τις υψηλές λειτουργίες του εγκεφάλου όσον αφορά το γνωσιακό και συναισθηματικό επίπεδο. Διαχωρίζεται σε δύο ασύμμετρα μέρη τα εγκεφαλικά ημισφαίρια. Το κάθε ένα περιέχει τέσσερις λοβούς στους οποίους υπάρχουν κέντρα που διαχειρίζονται την συνειδησιακή

εμπειρία, την αντίληψη, το συναίσθημα, την σκέψη και τον προβληματισμό αλλά και την υποσυνείδητη γνωσιακή και συναισθηματική λειτουργία.

- Ο μετωπιαίος λοβός αφορά τον έλεγχο των κινήσεων και των γνωσιακών δραστηριοτήτων.
- Ο βρεγματικός λοβός συντονίζει τις αισθητήριες διεργασίες, την αντίληψη του χώρου, την συγκέντρωση και την γλωσσική κατανόηση.
- Ο ινιακός λοβός επεξεργάζεται οπτικά σήματα και εν συνεχεία στέλνει τις πληροφορίες στον μετωπιαίο και βρεγματικό λοβό.
- Ο κροταφικός λοβός ασχολείται με την ακουστική αντίληψη, γλωσσική κατανόηση και οπτική αναγνώριση.

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος αποτελείται από 100 εκατομμύρια νευρώνες και διακρίνεται από ηλεκτροχημική δραστηριότητα. Η δραστηριότητα αυτή υφίσταται στην επιφάνεια του κρανίου και μπορεί να καταμετρηθεί χρησιμοποιώντας αισθητήρες. Χρησιμοποιώντας ηλεκτρόδια τοποθετημένα στο κρανίο και με την βοήθεια ενισχυτών και φίλτρων μπορούμε να καταγράψουμε δεδομένα. Το ΗΕΓ είναι μια τεχνική που καταγράφει για μια δεδομένη περίοδο την ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου στα σημεία των διαφόρων ηλεκτροδίων που είναι προσκολλημένα στο ανθρώπινο κρανίο. Τα ηλεκτρικά αυτά σήματα ονομάζονται εγκεφαλικά κύματα (brainwaves). Τα κύματα αυτά έχουν μελετηθεί από πολλούς ερευνητές για να εξακριβωθούν οι σχέσεις μεταξύ συχνοτήτων της ηλεκτρικής δραστηριότητας και αντίστοιχων συναισθηματικών και γνωσιακών καταστάσεων του εγκεφάλου.

Οι ηλεκτρικές κενώσεις στον εγκέφαλο δημιουργούνται με την παράλληλη διεργασία των νευρώνων. Ο συγχρονισμός των νευρώνων ενισχύει το πλάτος των ηλεκτρικών ταλαντώσεων και η ταχύτητα των νευρώνων την συχνότητα. Οι παράμετροι αυτοί είναι τα κύρια χαρακτηριστικά των εγκεφαλικών κυμάτων. (Trans cranial technologies ltd. 2012)

Στην διάρκεια ενεργοποίησης ενός νευρώνα η ηλεκτροχημική του σύσταση παράγει ηλεκτρική δραστηριότητα. Έτσι έχουμε την δημιουργία των εγκεφαλικών κυμάτων Βήτα, Άλφα, Θήτα, Δέλτα, Γάμμα. Τα κύματα Γάμμα έχουν την υψηλότερη συχνότητα και τα Δέλτα την χαμηλότερη. Τα Άλφα, Βήτα και Γάμμα σχετίζονται με την συνειδητότητα, την επαγρύπνηση ενώ τα Δέλτα και τα Θήτα με την κατάσταση

μη συνειδητότητας. Η κυμαινόμενη συχνότητα των ταλαντώσεων που παράγονται από τη σύγχρονη δραστηριότητα των νευρώνων του φλοιού, είναι μετρήσιμη με ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG), κατηγοριοποιούνται σε γενικές ζώνες, που μετράτε σε Hertz (Hz) ως εξής:

- **Beta, 14 to 30 Hz**
- **Alpha, 8 to 14 Hz**
- **Theta, 4 to 8 Hz**
- **Delta, 0.1 to 4 Hz**
- **Gamma, 30 to 50 Hz**
- **Mu, 8 to 12 Hz**
- **Sigma (sleep spindle), 12 to 14 Hz**
- **SMR (Sensory motor rhythm), 12.5 to 15.5 Hz**

- **Beta**: Τα Βήτα κύματα σχετίζονται με την φυσιολογική κατάσταση εγρήγορσης της συνείδησης δηλαδή όταν η προσοχή στρέφεται προς τα γνωσιακά καθήκοντα της καθημερινότητας, όταν είμαστε σε εγρήγορση, την επίλυση προβλημάτων, την κρίση και τη λήψη αποφάσεων. Τα εγκεφαλικά κύματα Βήτα χωρίζονται σε τρεις ζώνες: Χαμηλά Βήτα (Beta1, 12-15Hz) άεργη κατάσταση, μεσαία Βήτα (Beta2, 15-22Hz) όταν έχουμε υψηλή συγκέντρωση ή υπολογίζουμε κάτι, υψηλά Βήτα (beta3, 22-38Hz) όταν κάνουμε μια εξαιρετικά σύνθετη σκέψη, ενσωματώνοντας νέες εμπειρίες, υψηλό άγχος ή ενθουσιασμό.

- **Alpha**: Η νευρική πυροδότηση είναι πιο αργή από ότι στα κύματα Βήτα στα 8 Hz - 12 Hz περίπου. Η κατάσταση των εγκεφαλικών κυμάτων Άλφα σχετίζεται με μια χαλαρή εγκεφαλική κατάσταση, στοχαστικού πλαισίου του μυαλού και χρησιμοποιείται επίσης για την επίλυση προβλημάτων και την αύξηση της δημιουργικότητας. Είναι η κατάσταση ηρεμίας για τον εγκέφαλο. Τα κύματα άλφα βοηθούν συνολικά τον ψυχικό συντονισμό, την ηρεμία, την εγρήγορση, το μυαλό και το σώμα.

- **Theta**: Τα κύματα Θήτα είναι πολύ πιο αργά από τα Βήτα κύματα και αντιστοιχούν με τα μέρη του εγκεφάλου που χρησιμοποιούνται στον διαλογισμό, την απελευθέρωση του στρες, και τα διαυγή όνειρα (**lucid dreaming**). Έχουν συχνότητα 4 Hz - 8 Hz. Τα Θήτα εγκεφαλικά κύματα εμφανίζονται συχνότερα στον ύπνο, αλλά είναι επίσης κυρίαρχα σε βαθύ διαλογισμό. Λειτουργούν ως πύλη εισόδου στη μάθηση και τη μνήμη. Στα Θήτα, οι αισθήσεις μας αποσύρονται από τον εξωτερικό κόσμο και επικεντρώνονται σε σήματα που προέρχονται από το εσωτερικό. Είναι η αμυδρή κατάσταση που έχουμε συνήθως μόνο ως φευγαλέα εμπειρία όταν ξυπνάμε πριν αποκοιμηθούμε.

- **Delta**: Σχετίζονται με τη βαθιά χωρίς όνειρα κατάσταση ύπνου. Είναι η πιο αργή από τις καταστάσεις των εγκεφαλικών κυμάτων στα 1 Hz - 4 Hz. Τα Δέλτα εγκεφαλικά κύματα είναι τα πιο αργά αλλά τα πιο δυνατά κύματα (χαμηλής συχνότητας και βαθιάς διεισδυτικής όπως ένας ρυθμός τύμπανου). Τα δέλτα κύματα αναστέλλουν την εξωτερική ευαισθητοποίηση και είναι η πηγή της ενσυναίσθησης. Είναι απαραίτητα για την επούλωση και την αναζωογόνηση εγκεφάλου και σώματος κατά την διάρκεια του ύπνου.

- **Gamma**: Είναι τα ταχύτερα από τα εγκεφαλικά κύματα (υψηλής συχνότητας) και σχετίζονται με την ταυτόχρονη επεξεργασία πληροφοριών από διαφορετικές περιοχές του εγκεφάλου. Διαμορφώνουν την αντίληψη και συνείδηση και εξαφανίζονται κάτω από αναισθησία. Τα Γάμμα κύματα είναι επίσης πάνω από τη συχνότητα της νευρωνικής πυροδότησης, οπότε το πώς παράγεται παραμένει ένα μυστήριο. Η παρουσία των Γάμμα αναφέρεται στη διευρυμένη συνείδηση και την πνευματική δημιουργία .

- **Mu**: τα mu κύματα, επίσης γνωστή ως mu ρυθμοί, συγχρονίζονται στα πρότυπα της ηλεκτρικής δραστηριότητας που περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό νευρώνων, πιθανότατα του τύπου πυραμιδικού, στο τμήμα του εγκεφάλου που ελέγχει την εκούσια κίνηση. Αυτά τα σχέδια, όπως μετρούνται με ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG) , μαγνητοεγκεφαλογράφημα (MEG) και ηλεκτροκορτικογράφημα (ECoG), έχουν συχνότητα 07.05 έως 12.05 (κατά

κύριο λόγο 9-11) Hz, και πιο σημαντικό, όταν το σώμα είναι σε κατάσταση ηρεμίας.

- **Sigma (sleep spindle):** Τα σίγμα κύματα είναι μια έκρηξη της ταλάντωσης της εγκεφαλικής δραστηριότητας ορατή σε (EEG) που συμβαίνει κατά τη διάρκεια του σταδίου 2 του ύπνου. Αποτελείται από συχνότητες 12-14 Hz κυμάτων που εμφανίζονται επί τουλάχιστον 0.5 δευτερόλεπτα. Οι άτρακτοι ύπνου (sleep spindles) δημιουργούνται στον δικτυωτό πυρήνα του θαλάμου και προκύπτουν από αλληλεπιδράσεις μεταξύ των κυττάρων στο θάλαμο και τον φλοιό. Έχουν αργές και γρήγορες καταστάσεις και οι ερευνητές πιστεύουν ότι ο εγκέφαλος, ιδίως στους νέους, μαθαίνει για το τι νεύρα ελέγχουν ποιους συγκεκριμένους μύες όταν το υποκείμενο κοιμάται. Κατά τη διάρκεια του ύπνου μη ταχείας κίνησης των ματιών (NREM), τα σίγμα εγκεφαλικά κύματα που παράγονται από άτομα με σχιζοφρένεια δεν έχουν την κανονική μορφή δηλαδή με αργές και γρήγορες ατράκτους ύπνου (sleep spindles).

- **SMR (Sensory motor rhythm):** Ο ρυθμός αισθητικοκινητικής (ΑΣΑ) είναι μια ταλάντωση των συγχρονισμένων ηλεκτρομαγνητικών δραστηριοτήτων του εγκεφάλου. Φαίνεται σε ατράκτους σε ηχογραφήσεις του (EEG), (MEG) και (EcoG) πάνω από το φλοιό αισθητικοκινητικής (sensory motor cortex). Για τα περισσότερα άτομα, η συχνότητα του (ΑΣΑ) είναι στην περιοχή από 13 έως 15 Hz. Ένα υποκείμενο παράγει έναν ισχυρότερου πλάτους (ΑΣΑ), όταν οι αντίστοιχες περιοχές αισθητικοκινητικής είναι σε αδράνεια, π.χ. κατά τη διάρκεια των καταστάσεων της ακινησίας. Ο ρυθμός αισθητικοκινητικής (ΑΣΑ) συνήθως μειώνετε σε ένταση όταν ενεργοποιούνται οι αντίστοιχες αισθητικές ή κινητικές περιοχές π.χ. κατά τη διάρκεια των καθηκόντων της κίνησης ή ακόμα και κατά τη διάρκεια της απεικόνισης της κίνησης.
  (Hasmida 2012).

Τα δεδομένα αυτά αποτελούν την πηγή της πληροφορίας για την επεξεργασία των εγκεφαλικών σημάτων. Έτσι στην έρευνα για την μουσική με εγκεφαλογράφο θα δούμε παρακάτω σημαντικά έργα σταθμούς στην μουσική και το περφόρμανς.

1.2 Σύγχρονα έργα με χρήση ΗΕΓ για παραγωγή μουσικής

Τα ανθρώπινα εγκεφαλικά κύματα μετρήθηκαν για πρώτη φορά το 1924 (Berger 1969). Σήμερα ο ηλεκτρονικός εγκεφαλογράφος (ΗΕΓ) αποτελεί ένα από τα πιο χρήσιμα εργαλεία στην ιατρική διάγνωση των εγκεφαλικών διαταραχών. Στις αρχές του 1973, ο Jacques Vidal έκανε το πρώτο σύστημα επικοινωνίας υπολογιστή-εγκεφάλου (Vidal 1973*)* Το πεδίο έρευνας αυτό αφορά την διάδραση εγκεφάλου-υπολογιστή (Brain-Computer Interface BCI), και αυξάνεται διαρκώς προς όλες τις επιστημονικές κατευθύνσεις. Το 1965 ο Alvin Lucier, συνθέτει το πρώτο μουσικό κομμάτι χρησιμοποιώντας ΗΕΓ (Lucier 1976). Επίσης σημαντικές εξελίξεις στον τομέα αυτό έκανε και ο Richard Teitelbaum όπου χρησιμοποίησε ενισχυτές και φίλτρα για να ακουστικοποιήσει τα ανθρώπινα εγκεφαλικά κύματα σε συνδυασμό με βιοσήματα τις καρδιάς και της αναπνοής (Teitelbaum 1976). Το 1990 οι ερευνητές Benjamin Knapp και Hugh Lusted έφτιαξαν το BioMuse, ένα σύστημα που δέχεται βιοσήματα από το ανθρώπινο σώμα (μυς, μάτια, κίνηση, καρδιά και εγκεφαλικά κύματα). Το 1992 ο καλλιτέχνης Atau Tanaka το χρησιμοποίησε για σύνθεση και περφόρμανς.

Music for solo performer – Alvin Lucier

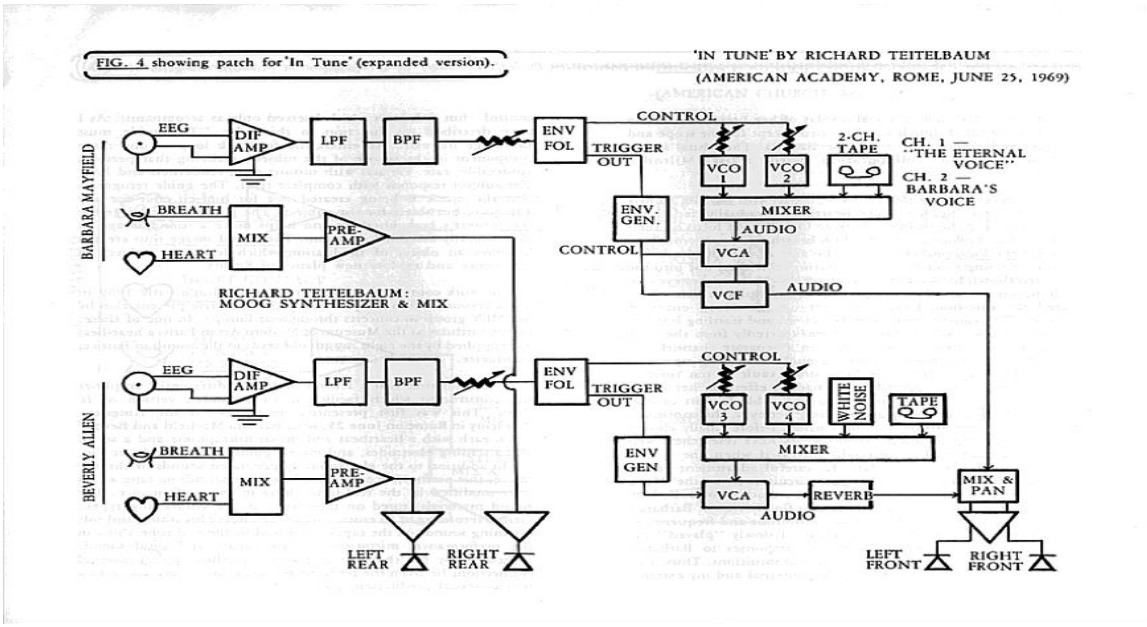
Το 1965 ο Alvin Lucier εκτέλεσε ένα μουσικό κομμάτι για ζωντανά κρουστά και εγκεφαλικά κύματα με τίτλο (Music for solo performer). Το συγκεκριμένο κομμάτι εμπνεύστηκε από τα πειράματα του ιδίου του Lucier με τον φυσικό Edmond Dewan. Πειραματίστηκαν πάνω στην δραστηριότητα των Άλφα κυμάτων κατά την κατάσταση διαλογισμού. Κατά την διάρκεια της περφόρμανς ο Lucier αύξησε τα Άλφα εγκεφαλικά του κύματα ενώ ήταν συνδεδεμένος με δύο ηλεκτρόδια στο μέτωπο του με μια σειρά ηχείων. Τα ηχεία με την σειρά τους ήταν συνδεδεμένα με μια σειρά κρουστών όπως κύμβαλα, γκόνγκ, κάσα και timpani καθώς λόγω της μικρής συχνότητας των Άλφα κυμάτων χρειαζόταν κάποιου είδους ενίσχυση (Andelkovic 2010).

Spacecraft-Richard Teitelbaum

Σε αντίθεση με τον Lucier ο οποίος χρησιμοποίησε φυσικές συχνότητες της εγκεφαλικής δραστηριότητας χωρίς ενίσχυση (παρά μόνο των κρουστών ηχείων) το 1970, ο Richard Teitelbaum χρησιμοποίησε βιοσήματα στις συνθέσεις του με την χρήση modular συνθετητών. Τα σήματα αυτά σχετίζονταν με την εγκεφαλική κατάσταση. Στην περφόρμανς του Spacecraft το 1967 χρησιμοποίησε έναν εγκεφαλογράφο με ενίσχυση ως controller για την τάση ενός Moog συνθετητή (Andelkovic 2010).

In tune-Richard Teitelbaum

Στο έργο του In Tune ο Teitelbaum επιλέγει να χρησιμοποιήσει και έναν δεύτερο περφόρμερ. Μαζί με άλλα βιοσήματα (καρδία, αναπνοή) τοποθετεί στο έργο και Άλφα κύματα. Το σήματα των δύο περφόρμερ (Beverly Allen και Barbara Mayfield) ελέγχουν δύο ξεχωριστούς συνθετητές.



Εικόνα 1

Bio-Muse- Benjamin Knapp and Hugh Lusted

Το έργο Bio-Muse είναι ένα σύστημα υλισμικού και λογισμικού που κατασκευάστηκε από τους Benjamin Knapp και Hugh Lusted το 1990. Ήταν μια καινοτομία της ψηφιακής σύνθεσης σε πραγματικό χρόνο με την χρήση ΗΕΓ. Το σύστημα αυτό ήταν φορητό και μπορούσε να μετατρέπει τα βιοσήματα σε MIDI πληροφορία. Θα μπορούσε κανείς να το χαρακτηρίσει και midi controller καθώς μπορούσε να δεχτεί είσοδο σημάτων από τα μάτια, τους μυς, το σώμα και φωνή. Με αυτόν τον τρόπο μπορούσε κανείς να συνδέσει το σύστημα αυτό με έναν συνθετητή ή μια drum machine ή ένα sequencer. Το σύστημα Bio-Muse αποτέλεσε την βάση για μετέπειτα εξέλιξη των βιοελεγχόμενων συστημάτων τόσο στο MAX/MSP αλλά και σε άλλα περιβάλλοντα. Από το 2008 το τρίο BioMuse με υπεύθυνο τον Benjamin Knapp μέχρι σήμερα συνεχίζει να δίνει περφόρμανς βασισμένες σε ακουστικά όργανα και βιοσήματα (Andelkovic 2010).

Brain opera (1996)

Το 1996 ο Tod Machover παρουσιάζει το έργο Brain opera. Το έργο αυτό συμπεριλαμβάνει το κοινό ως ενεργό μέλος. Το κοινό κατά την διάρκεια της προετοιμασίας περνάει τυχαία ανάμεσα σε σταθμούς που ό καθένας κάνει κάτι το διαφορετικό. Υπάρχουν 5 σταθμοί, για ηχητική δομή, δειγματοληψίας φωνής και παραμετροποίησης ήχων. Στην συνέχεια ένα τρίο μουσικών εκτελεί την όπερα με παρόμοια μουσικά όργανα (hyperinstruments) με αυτά που πειραματίστηκε το κοινό. Ο σκοπός της Brain Opera είναι να σχηματίσει μια μουσική δομή το κοινό η οποία θα εκτελεστεί αργότερα από το μουσικό τρίο. Τα κύρια μουσικά όργανα είναι η μουσική καρέκλα, τα rhythm trees, το gesture wall, το driving joystick και το speaking tree. Το speaking tree είναι μια εγκατάσταση όπου ο χρήστης απαντά σε κάποιες ερωτήσεις σε ένα μικρόφωνο και ηχογραφείται η φωνή του. Αργότερα μέσω sampler χρησιμοποιείται στην εκτέλεση. Το driving joystick είναι μια εγκατάσταση arcade όπου ο χρήστης χρησιμοποιεί ένα joystick για να οδηγήσει ένα φανταστικό όχημα. πέφτοντας πάνω σε μουσικά εμπόδια. Τα rhythm trees αποτελούν μια εγκατάσταση με pads όπου ο χρήστης χτυπά και παράγει ρυθμούς. Το gesture wall είναι μια εγκατάσταση στην οποία ο χρήστης προβάλει την σκιά του σε έναν τοίχο. Στην συνέχεια με την βοήθεια κεραιών και ενισχυτών συγκρίνεται το σήμα αναφοράς με το σήμα του σώματος του χρήστη και έτσι παράγεται μουσική. Τέλος η μουσική

καρέκλα λειτουργεί με την ίδια φιλοσοφία διαφοράς τάσης με τον χρήστη να μεταβάλει το πεδίο ανάμεσα σε δύο στήλες. Για το εγχείρημα αυτό το σημαντικό κομμάτι είναι ότι παρουσιάστηκε στο κοινό μια σειρά διαδραστικών μέσων δημιουργίας μουσικής (Paradiso 1999).

Music for Sleeping and Waking Minds (2011)

Το έργο αυτό είναι μια οκτάωρη σύνθεση από τους Gascia Ouzounian, R. Benjamin Knapp και Eric Lyon. Αποτελείται από τέσσερις περφόρμερ που φορούν ΗΕΓ κατά την διάρκεια του ύπνου. Τα δεδομένα που συγκεντρώνονται τροφοδοτούν σε πραγματικό χρόνο συναρτήσεις επεξεργασίας ήχου και εικόνας. Το περφόρμανς αυτό έχει να κάνει με την συλλογική συνείδηση των περφόρμερ κατά την διάρκει ύπνου και όταν ξυπνούν (Gascia 2011-2012).

Στην επόμενη ενότητα θα αναλύσουμε μερικές τεχνοτροπίες και θα δούμε μεθόδους χρήσης εγκεφαλογράφου για την παραγωγή μουσικής. Οι μέθοδοι που εξετάζονται ποικίλουν σύμφωνα με την χρήση μέσων και λογισμικών-υλισμικών αλλά και φιλοσοφία προσέγγισης.

2

ΕΞΟΡΥΞΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΗΕΓ

2.1 Τεχνικές εκμετάλλευσης δεδομένων ΗΕΓ

Η δημιουργία μουσικής χρησιμοποιώντας εγκεφαλικά κύματα έχει διάφορες τεχνοτροπίες. Για την αναζήτηση αυτών των τεχνοτροπιών θα αναλύσουμε συστήματα και δημοσιεύσεις που έχουν γίνει πάνω σε αυτόν τον τομέα και θα αναλύσουμε τα προβλήματα που αντιμετωπίζει κάθε σύστημα. Η καταγραφή των απαιτήσεων ανά περίπτωση αλλά και τον μεθοδολογιών θα μας οδηγήσει σε συμπεράσματα για το πέρας του συγκεκριμένου πρότζεκτ όπου συνοδεύει την εργασία αυτή.

Κατά καιρούς παρατηρούμε διάφορες μεθόδους και τεχνικές απόκτησης και εκμετάλλευσης δεδομένων των εγκεφαλικών κυμάτων πάντα σε σχέση με κάποιου είδους ηλεκτρική συσκευή που είναι παρόμοια ενός εγκεφαλογράφου. Στην πραγματικότητα λειτουργούν με την ίδια αρχή της αναγνώρισης διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στην πηγή αναφοράς και την πηγής μέτρησης.

Ο πιο κοινός τρόπος είναι να πάρουμε τρία ηλεκτρόδια και να τα τοποθετήσουμε ως εξής: ένα ηλεκτρόδιο στο σημείο όπου αναμένεται η μεγαλύτερη δραστηριότητα, ένα ηλεκτρόδιο σε σημείο με χαμηλή δραστηριότητα (σημείο αναφοράς) και ένα ηλεκτρόδιο σε σημείο γείωσης. Τα δύο πρώτα ηλεκτρόδια

τροφοδοτούν έναν διαφορικό ενισχυτή όπου ενισχύει την διαφορική τάση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων.

Ο τρόπος που χρησιμοποιούμε το ΗΕΓ είναι τέτοιος ώστε τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται στο τριχωτό της κεφαλής. Αυτή η μέθοδος είναι από μόνη της προβληματική με την έννοια ότι έχουμε παραμόρφωση και αποδυνάμωση στο σήμα λόγω της παρεμβολής του κρανίου. Αυτό μπορεί να παρακαμφθεί εμφυτεύοντας τα ηλεκτρόδια στο κρανίο του υποκειμένου διαπερνώντας το κρανίο. Η προσέγγιση αυτή δίνει καλύτερα αποτελέσματα αλλά είναι και πιο δύσκολα εφαρμόσιμη. Ένας άλλος τρόπος μέτρησης της εγκεφαλικής λειτουργίας είναι η μαγνητική τομογραφία (MRI). Χρησιμοποιείται κυρίως για αναλυτικούς σκοπούς όταν θέλουμε να μετρήσουμε συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου και για συγκεκριμένες λειτουργίες.

Σε μια συνήθη προσέγγιση τα δεδομένα προέρχονται από την ενίσχυση των σημάτων των ηλεκτροδίων. Ο μουσικός-περφόρμερ διαμέσου των εγκεφαλικών σημάτων του ελέγχει μια συσκευή MIDI. Η χρήση του πρωτοκόλλου αυτού επιτρέπει στον μουσικό-περφόρμερ να παράγει τον ήχο της επιλογής του, για παράδειγμα οργάνων όπως βιολί, πιάνο και κρουστά. Επίσης έχει την δυνατότητα ψηφιακή καταγραφής και δημιουργίας παρτιτούρας. Το σκεπτικό της συγκεκριμένης προσέγγισης είναι ως εξής:

- Παροχή σήματος
- Ενίσχυση σήματος
- Φιλτράρισμα σήματος
- Μετατροπή σήματος σε ψηφιακό
- MIDI mapping
- Αντιστοίχιση ήχων σε συνθετητή

Το σήμα προερχόμενο από τον ενισχυτή θα περάσει από φίλτρα για την αποκοπή ανεπιθύμητων συχνοτήτων. Οι συχνότητες αυτές είναι κυρίως κάτω των 2Hz και άνω των 60KHz. Όσον αφορά το MIDI mapping το σήμα θα πρέπει να αντιστοιχηθεί ως προς το εύρος του με μουσικές νότες. Η συνολική μέτρηση της

διαφοράς χαμηλού και υψηλού σήματος θα μας δώσει την περιοχή που κινείται το εύρος και εν συνεχεία θα χωριστεί σε ζώνες όπου θα αντιστοιχηθούν με νότες. Οι νότες αυτές θα μπορούν να αναπαραχθούν σε έναν συνθετητή με προκαθορισμένο ήχο όπως επίσης να γίνει ψηφιακή καταγραφή του αποτελέσματος ή καταγραφή ψηφιακά παρτιτούρας.

Η ψηφιοποίηση του αναλογικού σήματος έχει δύο παραμέτρους: το ρυθμό δειγματοληψίας (*sampling rate*) και την ανάλυση (*resolution*). Για την πρώτη παράμετρο και σύμφωνα με το θεώρημα Shannon-Nyquist ο ρυθμός δειγματοληψίας πρέπει να είναι διπλάσιος της ανώτατης συχνότητας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση 2x60Hz=120Hz. Επίσης για την χρήση 128 νοτών MIDI δηλαδή μέγιστο εύρος νοτών θα πρέπει να έχουμε ανάλυση 8 bit. Άρα 120Hz x 8bits = 960 bps.

Η μέθοδος αυτή επιβάλλει την λειτουργία λογισμικού που θα μεταφράσει τα δεδομένα του ενισχυτή σε MIDI πληροφορία. Αυτό θα μπορεί να επιτευχθεί μέσω ενός ADRUINO BOARD ή ενός RASPBERRY PI. Εν συνεχεία η τάση σε Volt που λαμβάνεται θα πρέπει να αντιστοιχηθεί σε νότες MIDI. Έτσι κρίνεται απαραίτητη η χρήση ενός προγράμματος για την μετατροπή αυτή. Το πρόγραμμα αυτό μπορεί να είναι γραμμένο σε Python, JavaScript, Java η C γλώσσα προγραμματισμού.

Σε μια προσπάθεια αποκωδικοποίησης των δεδομένων ενός εγκεφαλογράφου, υφίστανται δύο κατηγορίες (Andelokovic 2010). Στην πρώτη κατηγορία (Parameter Mapping Approach) ο μουσικός-περφόρμερ χρησιμοποιεί μαθηματικά και στατιστική για να μεταφράσει ηλεκτρικά σήματα σε ηχητικά χαρακτηριστικά όπως τονικό ύψος, χροιά και πυκνότητα νοτών. Στην συγκεκριμένη προσέγγιση έχει βασιστεί και το έργο του Alvin Lucier «Music for Solo Performer». Μια άλλη χρήση της τεχνικής αυτής θα μπορούσε να είναι η μετάφραση της περιόδου σήματος σε χρόνο και το εύρος του κύματος σε συχνότητα.

Στην δεύτερη κατηγορία (Event triggering approach) ο ΗΕΓ σαρώνει συνεχώς για δεδομένα και καταγράφει τις αλλαγές σε αυτά. Με αυτόν τον τρόπο οι αλλαγές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ελεγκτές της μουσικής παραγωγής. Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορεί να είναι το μάξιμουμ και μίνιμουμ της παραγόμενης τάσης σε Volt και η διαφορά τάσης ανάμεσα σε χρονικές περιόδους. Με την μέθοδο αυτή γίνονται αντιληπτές ξαφνικές αλλαγές στο σήμα (*Events*) και δίνεται η δυνατότητα να έχουμε επιπλέον στοιχεία για την δημιουργία μουσικής (Miranda 2005).

Μια άλλη τεχνική, το Power Spectrum Analysis προέρχεται από την ανάλυση Fourier όπως η Discrete Fourier Transform (DTF). Η προσέγγιση αυτή αντιστοιχεί την κατανομή της ενέργειας στο φάσμα με τα εγκεφαλικά κύματα. Έτσι ένα φάσμα με χαμηλά συχνότητα στοιχεία μπορεί να συσχετιστεί με το αίσθημα της χαλάρωσης ενώ ένα φάσμα με υψηλής συχνότητας στοιχεία μπορεί να συσχετιστεί με την κατάσταση εγρήγορσης ή συγκέντρωσης.

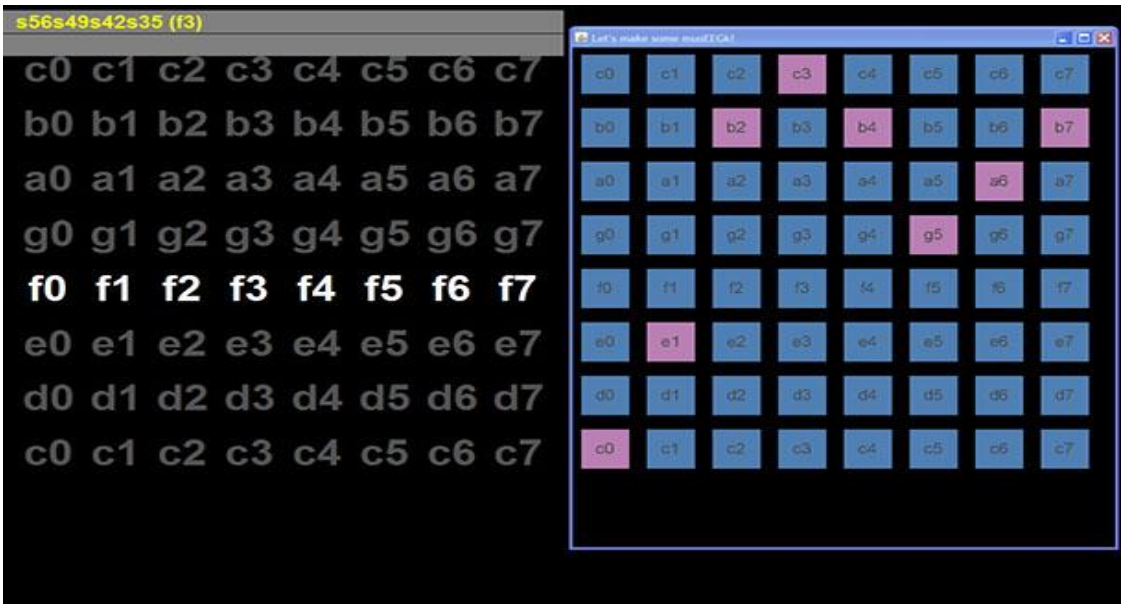
Επίσης στην περίπτωση του Hjorth Analysis μετριούνται 3 παράμετροι του ΗΕΓ: Η δραστηριότητα, η κινητικότητα και η πολυπλοκότητα. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί παράθυρα του ενός δευτερολέπτου ή και περισσότερο για να καταγράφει το εύρος του σήματος. Έτσι κάθε φορά προκύπτουν οι τιμές των 3 παραμέτρων σύμφωνα με τις αλλαγές που γίνονται στο σήμα. Αυτή η προσέγγιση δεν σχετίζεται με τα εγκεφαλικά κύματα αλλά είναι ένα τρόπος άντλησης δεδομένων για περαιτέρω χρήση (Miranda 2006).

Εικόνα 2

2.2 Εφαρμογές και πειράματα

Διάφορα πειράματα και εφαρμογές έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια. Στον τομέα της μουσικής με εγκεφαλογράφο έχουμε περάσει σε μια εποχή όπου η πρόσβαση σε μηχανήματα και λογισμικό είναι πιο εύκολη. Όπως θα δούμε παρακάτω με την μορφή πειραμάτων ή πρακτικών εφαρμογών ο καλλιτέχνης αναζητά νέους τρόπους έκφρασης και χρησιμοποιεί νέες τεχνικές και μεθόδους.

Σε πρότζεκτ που έγινε από τους Yee Chieh Chew και Eric Caspary το 2011, χρησιμοποιήθηκε το P300 ή αλλιώς ERP (event related potential). Το ERP είναι ένα εγκεφαλικό σήμα που παράγεται μετά από διέγερση του εγκεφάλου. Συμβαίνει περίπου 300ms μετά από μια ακανόνιστης συχνότητας διέγερση κυρίως όταν υπάρχει μια τυχαία σειρά από events διέγερσης. Στο πρότζεκτ αυτό σκοπός ήταν ο σχεδιασμός ενός συστήματος μουσικής σύνθεσης με εγκεφαλογράφο που να δίνει τα αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο. Για την υλοποίηση χρησιμοποίησαν το BCI2000 ένα πρόγραμμα για την αποκόμιση δεδομένων από τον εγκεφαλογράφο. Το πρόγραμμα αυτό στην συνέχεια στέλνει τα δεδομένα μέσω UDP σε πρόγραμμα Clojure όπου με την σειρά του οδηγεί το λογισμικό Processing για τα οπτικά. Μια loop τρέχει στο matrix από τα αριστερά προς τα δεξιά και παίζει τις νότες που έχουν επιλεγεί. Για την παραγωγή ήχου χρησιμοποιείται το Supercollider.



Εικόνα 3

Στο πείραμα που ακολούθησε πήραν μέρος 11 υποκείμενα (10 άνδρες, 1 γυναίκα) με μέσο όρο ηλικίας 25.6 χρόνια. Στους συμμετέχοντες δόθηκε χρόνος να εξοικειωθούν με το σύστημα. Τα ηλεκτρόδια τοποθετήθηκαν σύμφωνα με το διεθνές σύστημα 10-20. Το 10 και 20 αναφέρεται στο 10% και 20% της απόστασης ανάμεσα στα ηλεκτρόδια σύμφωνα με τη συνολική απόσταση του κρανίου σε 2 διαστάσεις. Το ηλεκτρόδιο γείωσης τοποθετήθηκε στον δεξί μαστό και το ηλεκτρόδιο αναφοράς στο μέτωπο. Το πείραμα έγινε σε τρείς φάσεις: φάση εκπαίδευσης, φάσης ελεύθερου πειραματισμού και φάση συμπλήρωσης ερωτηματολογίου. Το συνολικό ποσοστό επιτυχίας για τους συμμετέχοντες ήταν 86% ενώ τρείς κατάφεραν 100%. Το πείραμα αυτό δείχνει ότι υπάρχει δυνατότητα για μετέπειτα εξέλιξή ενός BCI με μεγαλύτερη ακρίβεια και ποιότητα (Chew 2011).

Στο πρότζεκτ της Sylvain Le Croux και του Paul Verschure το 2009 έχουμε έναν διαφορετικό και πιο προσιτό τρόπο διεξαγωγής μουσικής με εγκεφαλογράφο. Στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ο φορητός εγκεφαλογράφος ENOBIO των εργαστηρίων Starlab Barcelona. Ο εγκεφαλογράφος αυτός είναι φορητός και άνευ καλωδίων, έχει 4 κανάλια και διαθέτει επιδερμικά επιθέματα χωρίς γέλη. Επίσης σε αυτήν την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε ο κανόνας 10-20 για την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων.

Η συσκευή ENOBIO στέλνει δυαδικό κώδικα μέσω ενός TCP-IP server που ονομάζεται JENOBIO. Εν συνεχεία χρησιμοποιήθηκε ένα πρόγραμμα σε γλώσσα C για να στέλνει τα δεδομένα στο λογισμικό MAX/MSP.

Το φιλτράρισμα των σημάτων έγινε με μια σειρά φίλτρων, High Pass με cutoff συχνότητα στα 0Hz και Low Pass με cutoff συχνότητα στα 35Hz. Κατόπιν χρησιμοποιήθηκαν 4 Band Pass φίλτρα στις συχνότητες 10, 22, 4 και 8Hz.

Το σκεπτικό του πρότζεκτ ήταν να επεμβαίνει ο μουσικός-περφόρμερ με τα εγκεφαλικά του κύματα στις παραμέτρους προσυμφωνημένης σύνθεσης στο MAX/MSP. Σε GUI (Graphical User Interface) που σχεδιάστηκε στο MAX/MSP απεικονίζονταν παράμετροι όπως ADSR envelopes, loudness, noiseness, inharmonicity και vibrato. Ο μουσικός-περφόρμερ ανάλογα με τα εγκεφαλικά κύματα που έστελνε μπορούσε να μεταβάλλει αυτές τις παραμέτρους.

Το σύστημα αυτό είναι φορητό και εύκολο στην κατασκευή του. Έχει μεταβλητότητα ως προς τη μουσική σύνθεση καθώς κάθε φορά μπορεί να οριστεί διαφορετική κλίμακα και ρυθμός (Croux 2009).

Σύμφωνα με την δημοσίευση From Biological Signals to Music (Arslan 2005) έχουμε μια άλλη προσέγγιση στην δημιουργία μουσικής με εγκεφαλογράφο. Αν και στο συγκεκριμένο πρότζεκτ χρησιμοποιήθηκε εκτός του εγκεφαλογράφου ηλεκτροκαρδιογράφος, ηλεκτρομυογράφος και electro-oculogram (μέτρηση του πίσω και μπροστά μέρους των ματιών) η παρούσα ανάλυση θα επικεντρωθεί μόνο στον ηλεκτροεγκεφαλογράφο.

Στο πρότζεκτ αυτό η απόκτηση του σήματος, η επεξεργασία και η σύνθεση ήχου γίνεται σε διαφορετικά σύστημα που επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω Ethernet. Η λήψη δεδομένων γίνεται μέσω ιδιοκατασκευής όπου εν συνεχεία συνδέεται με τον κεντρικό υπολογιστή που τρέχει το λογισμικό Matlab. Από το Matlab και διαμέσου OSC (Open Sound Control) τα δεδομένα στέλνονται στο λογισμικό της εικόνας και της σύνθεσης ήχου. Η σύνθεση ήχου γίνεται στο λογισμικό Max/MSP.

Οι αλγόριθμοι για το Matlab όπου κάνουν την ανάλυση σήματος είναι κυρίως Wavelet Transform Analysis. Ο συνεχής μετασχηματισμός κυματιδίων (CWT) χρησιμοποιείται για να διαιρέσει μια συνάρτηση συνεχούς χρόνου σε κυματίδια (μικρές συναρτήσεις). Σε αντίθεση με το μετασχηματισμό Fourier, ο συνεχής μετασχηματισμός κυματιδίων έχει τη δυνατότητα να κατασκευάσει μια αναπαράσταση χρόνου-συχνότητας ενός σήματος που προσφέρει πολύ καλή χρονική και συχνοτική απόκριση. Σε σύγκριση με το μετασχηματισμό Fourier (FFT) ο συνεχής μετασχηματισμός κυματιδίων (CWT) είναι μια σχετικά νέα μέθοδος ανάλυσης του σήματος. Και οι δύο εργάζονται με την ίδια αρχή της αποσύνθεσης σήματος αλλά στον μετασχηματισμό κυματιδίων η μετατροπή κυμάτων στο σήμα αποσυντίθεται σαν τροποποιημένα κομμάτια μιας επιλεγμένης κυματομορφής.

Όσον αφορά τα την απόκτηση δεδομένων ο κώδικας έχει γραφτεί σε γλώσσα C++. Στην συνέχεια μέσω OSC μηνυμάτων το λογισμικό Max/MSP αναλαμβάνει την σύνθεση του ήχου. Η μεταφορά δεδομένων ανάμεσα στις συσκευές λαμβάνει χώρα σε UDP/IP πρωτόκολλο μέσω Ethernet.

Για την σύνθεση ενός ήχου χρησιμοποιήθηκε η κίνηση του αριστερού η δεξιού μέρους του σώματος (κύματα Mu), το άνοιγμα και κλείσιμο των ματιών (Alpha Bandwidth) και ο μέσος όρος της εγκεφαλικής δραστηριότητας (Alpha Bandwidth). Το Max/MSP μέσω MIDI χρησιμοποιεί αυτά τα δεδομένα για να ελέγξει events τριών ταλαντωτών, τριών ταλαντωτών χαμηλής συχνότητας και τριών φίλτρων τύπου notch.

Συμπερασματικά το πρότζεκτ αυτό δείχνει την χρήση βασικών αρχών απόκτησης δεδομένων μέσω εγκεφαλογράφου. Διατηρεί την χρήση πρωτόκολλων όπως UDP/IP, OSC και MIDI. Το σύστημα αυτό θα μπορούσε να είχε χρησιμοποιήσει περισσότερες επιλογές σύνθεσης με άλλα λογισμικά όπως το SuperCollider. Η αντιστοίχιση των δεδομένων με μουσικά events βασίζεται στους αλγόριθμους αποκωδικοποίησης του σήματος και για μελλοντικές εφαρμογές αυτός είναι ένας τομέας που χρήζει βελτίωσης (Arslan 2005).

2.3 Εμπορική συσκευή neurosky mindwave

Για την υλοποίηση του πρακτικού μέρους αυτής της εργασίας χρησιμοποιείται η εμπορική συσκευή NEUROSKY MINDWAVE. Η συσκευή αυτή είναι φορητή, λειτουργεί με μπαταρία τύπου AAA και φοριέται στο κεφάλι. Διαθέτει αισθητήρα που αγγίζει το μέτωπο και σημείο αναφοράς με clip στο αυτί. Το chip που περιέχεται στην συσκευή επεξεργάζεται όλα τα δεδομένα όπου αποστέλλονται από αυτήν. Χρησιμοποιεί την τεχνολογία Thinkgear των προϊόντων NeuroSky. Η επικοινωνία headset και υπολογιστή γίνεται μέσω Bluetooth. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει στον χρήστη να έχει στην διάθεση του τα παρακάτω κύρια δεδομένα:

- Poor Signal
- Attention
- Meditation
- Raw Value

Η ένδειξη Poor Signal κυμαίνεται σε τιμές μεταξύ 0 και 255. Είναι σήμα ενδεικτικό της ποιότητας του λαμβανόμενου σήματος. Εάν λοιπόν το σήμα είναι διάφορο του μηδενός τότε υπάρχει παρεμβαλόμενος θόρυβος. Η τιμή 200 μας υποδεικνύει ότι το ηλεκτρόδιο δεν έχει επαφή με το δέρμα του χρήστη.

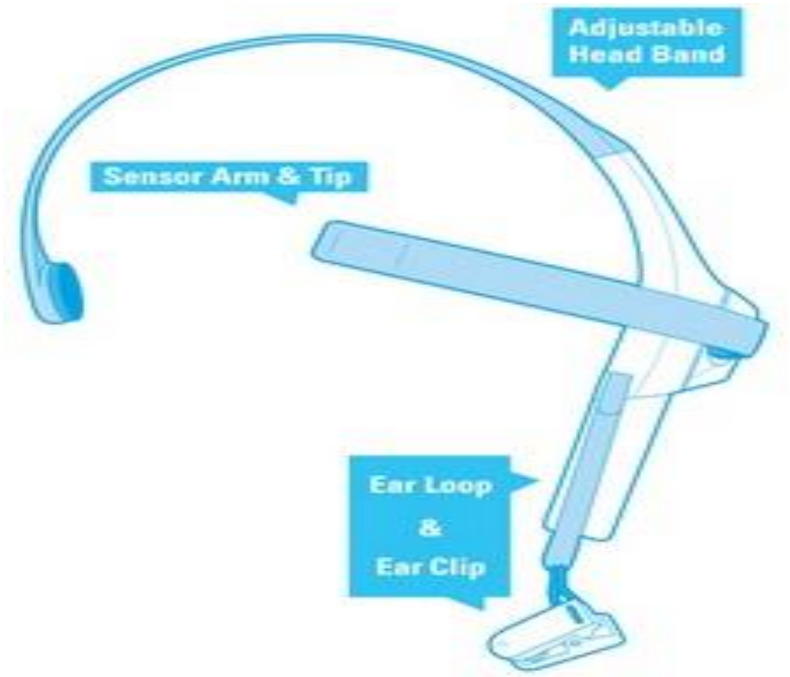
Η ένδειξη Attention κυμαίνεται σε τιμές μεταξύ 0 και 100. Αυτό το σήμα είναι ενδεικτικό της ποσότητας της συγκέντρωσης κατά την διάρκεια της εγκεφαλικής

λειτουργίας. Όσο περισσότερο συγκεντρώνεται ο χρήστης τόσο μεγαλύτερες τιμές έχει η ένδειξη.

Η ένδειξη Meditation κυμαίνεται και αυτή μεταξύ 0 και 100 και είναι αντίθετη της προηγούμενης. Σηματοδοτεί την εγκεφαλική λειτουργία σε κατάσταση ηρεμίας και χαλάρωσης. Έτσι όσο αυξάνεται η χαλάρωση τόσο μειώνεται η συγκέντρωση και ανάποδα.

Στην ένδειξη Raw Value έχουμε τιμές των μεμονωμένων κυμάτων σε 2 bit πληροφορίας. Δεν αντιστοιχεί σε κάποια εγκεφαλική λειτουργία αλλά δίνει τιμές μεταξύ -32768 και 32767. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ελεύθερα από τον χρήστη και να αντιστοιχηθεί για κάποια χρήση.

Το neurosky mindwave έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλά πρότξεκτ τα τελευταία χρόνια. Από παιχνίδια υπολογιστή μέχρι εφαρμογές κινητών τηλεφώνων η συσκευή αυτή έχει εφαρμογή και στον ερευνητικό τομέα. Έχει χρησιμοποιηθεί σε πρότζεκτ όπως ο χειρισμός ρομπότ και quadcopters, στη δημιουργία μουσικής και τα video games.



Εικόνα 4

3

ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΜΟΥΣΙΚΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ Χ-ΝΟΙΑ ΜΕ ΗΕΓ

3.1 Αισθητική προσέγγιση

Για το πρότζεκτ αυτό το θέμα θα εμπεριέχει το concept της αντίθεσης. Ανέκαθεν κατά την ιστορία ο άνθρωπος αναγνώριζε τα αντίθετα σαν μέρος της ζωής. Είτε πρόκειται για χρώματα, συναισθήματα, καταστάσεις και λέξεις η έννοια των αντιθέτων παίζει σημαντικό ρόλο στην γνωσιακή λειτουργία. Έτσι και οι λέξεις φανερώνουν συναισθηματικές καταστάσεις και επεξηγούν την καθημερινότητα του ανθρώπου.

Στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια έχει γίνει αρκετά αισθητό το φαινόμενο της διχόνοιας των Ελλήνων. Η διχόνοια τρώει της σάρκες του Ελληνισμού και διαχρονικά στην ιστορική πορεία του αποφέρει καταστροφικά αποτελέσματα. Πού οφείλεται η εμφύλια διχόνοια των Ελλήνων;

Το φαινόμενο της εμφύλιας διχόνοιας των Ελλήνων είναι γνωστό από τα πανάρχαια χρόνια. Οι έλληνες κατάφεραν μια μοναδική στρατιωτική δύναμη, νικώντας τον πολυάριθμο στρατό και στόλο της περσικής αυτοκρατορίας και στη συνέχεια καταστράφηκαν με τον εξοντωτικό τριακονταετή εμφύλιο πελοποννησιακό πόλεμο.

Το φαινόμενο όμως αυτό συνεχίζεται και στα νεότερα χρόνια. Η εμπάθεια, το κομματικό μίσος, η ιδιοτέλεια και ο εγωισμός, στέκονται ενάντια στην ομόνοια, την ενότητα και την συνοχή ως έθνος.

Με αφορμή το πρόβλημα αυτό της διχόνοιας των Ελλήνων θα παρουσιάσω μια περφόρμανς οπτικοακουστική με θέμα το δίπολο ομόνοια-διχόνοια. Μέσα από μια οπτικοακουστική ιστορία θέλω να αναδείξω τα συναισθήματα της κάθε λέξης που υπάγεται στο δίπολο ομόνοια-διχόνοια.

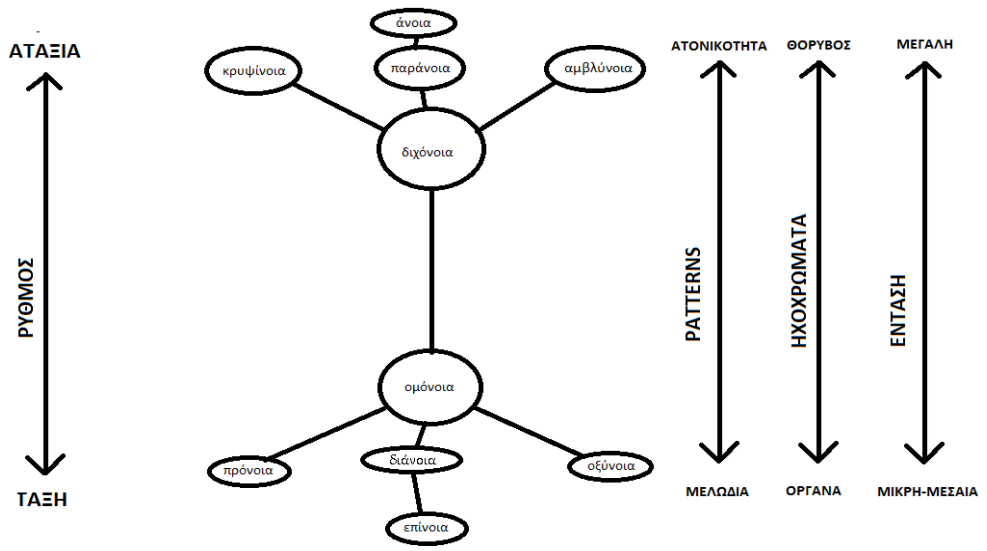
Ομόνοια και διχόνοια είναι ομόριζες λέξεις αλλά αντίθετες σε συναισθηματική βαθμίδα. Για το συγκεκριμένο πρότζεκτ έχω επιλέξει 10 ομόριζες λέξεις: ομόνοια, διχόνοια, διάνοια, παράνοια, επίνοια, άνοια, οξύνοια, αμβλύνοια, πρόνοια, κρυψίνοια.

- Ομόνοια-η ταυτότητα αντιλήψεων και η αίσθηση της ενότητας που προκύπτει από αυτήν. Ειρηνική-φιλική συνύπαρξη στο πλαίσιο κοινών αρχών, συναινετική συνύπαρξη. Τα συναισθήματα που εκφράζονται είναι η αγάπη, χαρά, εμπιστοσύνη.
- Διχόνοια-η διάσταση απόψεων ή συμφερόντων που υπάρχει ανάμεσα σε δύο μέρη και η συνακόλουθη διχογνωμία και εχθρότητα που προκύπτει απ' αυτή. Τα συναισθήματα που εκφράζονται είναι η εκδίκηση, λύπη, αηδία.
- Διάνοια-άτομο που επιδεικνύει εξαιρετικές διανοητικές ικανότητες, πολύ έξυπνος.
- Παράνοια-παρεκτροπή τής διάνοιας, παραλογισμός. Τα συναισθήματα που εκφράζονται είναι ο θυμός, η λύπη, ο φόβος.
- Επίνοια-σκέψη, ιδέα, γνώμη, αντίληψη, ιδέα. Τα συναισθήματα που εκφράζονται είναι η χαρά, η έκσταση, η αποδοχή και η προσμονή.
- Άνοια- βαθμιαία απώλεια των πνευματικών λειτουργιών του ανθρώπου. Τα συναισθήματα που εκφράζονται είναι η λύπη, η απόσπαση προσοχής, η ενόχληση.
- Οξύνοια-εξυπνάδα, οξύτητα πνεύματος. Τα συναισθήματα που εκφράζονται είναι η αισιοδοξία, εμπιστοσύνη, ενδιαφέρον, χαρά.
- Αμβλύνοια-η έλλειψη εξυπνάδας, οξυδέρκειας. Τα συναισθήματα που εκφράζονται είναι η βαρεμάρα, αηδία, λύπη.

- Πρόνοια-η φροντίδα που υπάρχει εκ των προτέρων για την κάλυψη αναγκών ή την αντιμετώπιση κινδύνων. απρονοησία. Σύνεση. η μέριμνα, ιδίως αυτή που εκδηλώνεται οργανωμένα και δημόσια, προς ανθρώπους που έχουν ανάγκη. Τα συναισθήματα που εκφράζονται είναι η χαρά, ενδιαφέρον, προσμονή.
- Κρυψίνοια-η απόκρυψη, η μη έκφραση της σκέψης κάποιου, (κατ' επέκταση) η ανειλικρίνεια, η προσποίηση, η υποκρισία. Τα συναισθήματα που εκφράζονται είναι η φόβος, απόσπαση προσοχής, ζήλια.

Οι λέξεις παρουσιάζονται οπτικοακουστικά με την παρακάτω σειρά: Ομόνοια, επίνοια, διάνοια, αμβλύνοια, παράνοια, διχόνοια, κρυψίνοια, άνοια οξύνοια, πρόνοια. Με αυτό τον τρόπο θέλω να δείξω τον κύκλο που κάνουν τα ανθρώπινα συναισθήματα από θετικά σε αρνητικά και πάλι σε θετικά, ένας αέναος κύκλος.

Η αισθητική προσέγγιση έχει γίνει με βάση το μουσικό, το οπτικό και το σημειολογικό κομμάτι. Όσον αφορά το μουσικό μέρος οι ήχοι που σχετίζονται με τις λέξεις χωρίζονται σε δύο κατηγορίες σύμφωνα με το παρακάτω σχεδιάγραμμα:



Εικόνα 5

Στο πρότζεκτ αυτό δίνεται έμφαση στο στοιχείο του πειραματισμού, αφαιρετισμού και της έννοιας της διαδραστικότητας. Ο κριτικός Clement Greenberg

ορίζει ότι τα συστατικά πρέπει να είναι αδιάκριτα στην τέχνη, να μην μπορεί δηλαδή κανείς να διακρίνει ή να ερευνήσει το πώς αλλά να εστιάζει στο αποτέλεσμα, το όλον. (Greenberg 1961).

3.2 Τεχνική προσέγγιση

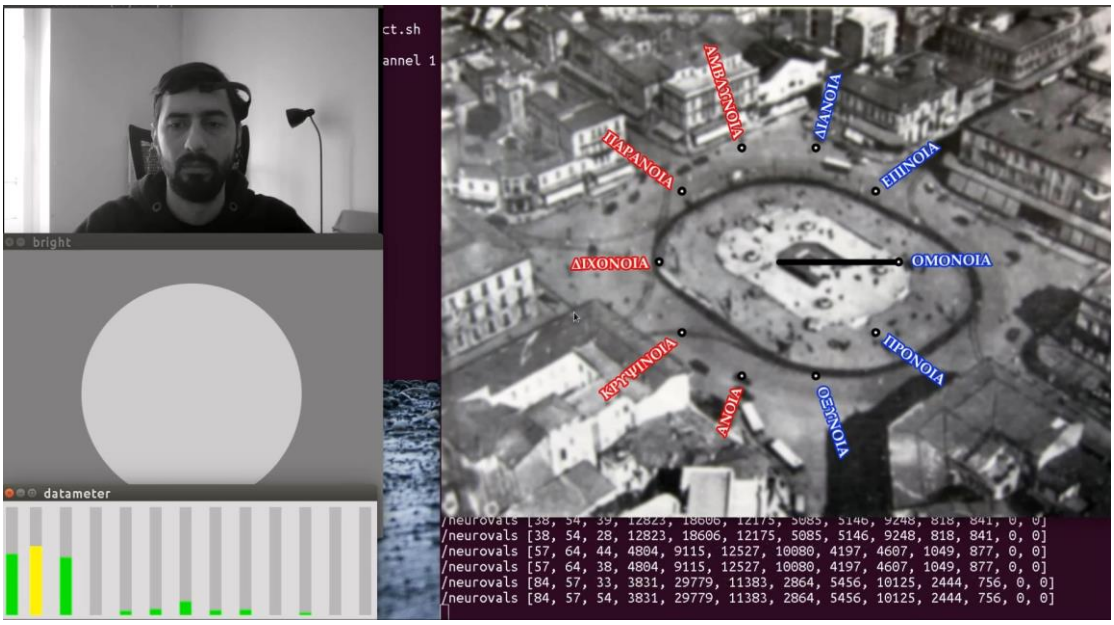
Το πρότζεκτ x-noia βασίζεται σε 10 λέξεις κλειδιά που έχουν κοινή μεταξύ τους την ρίζα νους. Οι λέξεις κλειδιά είναι: επίνοια, πρόνοια, ομόνοια, διάνοια, οξύνοια, άνοια, κρυψίνοια, διχόνοια, παράνοια, αμβλύνοια. Η κάθε λέξη θα έχει ηχητικά χαρακτηριστικά αναλόγως θετικής ή αρνητικής σημασίας. Στις αρνητικές ατονικότητα, θόρυβος, μεγάλη ένταση, αταξία και στις θετικές μελωδία, οργανικότητα, μεσαία ένταση και τάξη.

Οι ήχοι θα παρουσιάζονται με μια σειρά που αντιστοιχεί με την σειρά των λέξεων κλειδιών που αντιπροσωπεύονται ως εξής: Πρώτα ξεκινά από τις θετικές - Ομόνοια, επίνοια, διάνοια, και συνεχίζει με τις αρνητικές αμβλύνοια, παράνοια, διχόνοια, κρυψίνοια, άνοια έν συνεχεία με τις θετικές οξύνοια, πρόνοια και τέλος ξανά με την λέξη ομόνοια. Κάθε φόρα που ο χρήστης ανοιγοκλείνει τα μάτια σταματά ο ήχος που αντιστοιχεί στην τρέχουσα λέξη και ξεκινά ο επόμενος. Επίσης ο χρήστης μπορεί να επηρεάσει το τονικό ύψος, την χροιά, το tempo και την ένταση του κάθε ήχου σύμφωνα με την νοητική του κατάσταση όπως αυτή γίνεται καταληπτή από το neurosky mindwave.

Συγχρόνως το σύστημα προβάλλει σε μια οθόνη την λέξη που αντιστοιχεί στον ήχο που ακούγεται ανά πάσα στιγμή. Σαν φόντο για την εγκατάσταση θα προβάλλω μια εικόνα την πλατείας ομονοίας. Τοποθετώ τις λέξεις πάνω στην εικόνα σε διάταξη κύκλου με τις θετικές λέξεις στο δεξί ημικύκλιο και τις αρνητικές στο αριστερό. Χρησιμοποιώ μια μαύρη ακτίνα μέσα στον κύκλο σαν δείκτη για να σημαδεύω κάθε φορά την λέξη που αντιστοιχεί στον ήχο που ακούγεται.

Το περφόρμανς ξεκινά με τον εκτελεστή να φορά τον φορητό ΗΕΓ (Neurosky Mindwave). Εν συνεχεία με το πρώτο Blink (γρήγορο άνοιγμα κλείσιμο ματιών) ξεκινά ο πρώτος ήχος και οπτικά καταδεικνύεται η πρώτη λέξη. Ο χρήστης-περφόρμερ έχει την δυνατότητα να παραμείνει σε έναν ήχο-λέξη μέχρι εκείνος να επιλέξει τον επόμενο με ένα καινούργιο Blink. Σε κάθε ήχο ανάλογα με τα συστατικά

σύνθεσης του υπάρχει η δυνατότητα να αλλάζουν κάποια χαρακτηριστικά του σύμφωνα με τις τιμές χαλάρωσης-συγκέντρωσης που λαμβάνει ο υπολογιστής από τον εγκεφαλογράφο. Έτσι ο μουσικός-περφόρμερ χειρίζεται το σύστημα και μπορεί να παρουσιάσει το έργο ρυθμίζοντας αυτός τον χρόνο ολοκλήρωσης του.



Εικόνα 6

Το πρότζεκτ χρησιμοποιεί τα εξής υλισμικά και λογισμικά:

- Neyrosky Mindwave
- Laptop Linux Ubuntu 16.04 LTS (i7 720Q, 8GB)
- Python
- Supercollider
- Processing 3

Ο κώδικας διατίθεται ελεύθερα στην διεύθυνση:

https://github.com/humanbeing1981/xnoia_project_source

3.3 Υλοποίηση

Για την υλοποίηση του πρότζεκτ έγιναν τα παρακάτω βήματα:

- Δημιουργία script για την επικοινωνία Neyrosky Mindwave μέσω Bluetooth.
- Δημιουργία κώδικα σε Python για την μετάφραση των δεδομένων Neurosky Mindwave σε OSC μηνύματα.
- Δημιουργία κώδικα σε SuperCollider για την σύνθεση και εκτέλεση του ηχητικού μέρους.
- Δημιουργία κώδικα σε SuperCollider για την σύνθεση και εκτέλεση του οπτικού μέρους.
- Δημιουργία κώδικα σε Java για την σύνθεση και εκτέλεση του οπτικού μέρους.
- Εικόνα Background

Δημιουργία script για την επικοινωνία Neyrosky Mindwave μέσω Bluetooth

Για να συνδεθεί το Neurosky Mindwave με τον υπολογιστή μέσω Bluetooth χρειάζεται να εκτελεστεί μια εντολή στο τερματικό των Linux. Αυτή η εντολή είναι (rfcomm connect 0 xx:xx:xx:xx:xx:xx) , όπου x είναι ο αριθμός συσκευής για αναγνώριση σε Bluetooth δίκτυο.

Δημιουργία κώδικα σε Python για την μετάφραση των δεδομένων Neurosky Mindwave σε OSC μηνύματα.

Για να μπορέσω να εκμεταλλευτώ τα δεδομένα που δίνει το Neurosky Mindwave χρησιμοποίησα ένα module της γλώσσας Python το NeuroPy. (*https://github.com/lihas/NeuroPy*). Εν συνεχεία έγραψα κώδικα Python ο οποίος λαμβάνει τα δεδομένα και τις τιμές τους και στέλνει OSC μηνύματα με τιμές στο SuperCollider ανά 0.5 δευτερόλεπτα.

Πρώτα γίνονται import τα modules:

```
from NeuroPy import NeuroPy
import time
import OSC
```

Στην συνέχεια δηλώνεται το port ως μεταβλητή. Το sc έχει το message όπου στέλνει OSC και το object1 ως μεταβλητή με το ορισμό της συσκευής που βρίσκεται στον φάκελο dev (devices).

```
port = 57120
sc = OSC.OSCClient()
sc.connect(('127.0.0.1',port)) #send locally to sc
object1 = NeuroPy("/dev/rfcomm0")

zero = 0

time.sleep(1)
```

Δίνεται η εντολή να ξεκινήσει το object.

```
object1.start()
```

Ορίζεται η συνάρτηση sendOSC με παραμέτρους όνομα και τιμή. Στο παρακάτω block κώδικα ορίζονται τα μηνύματα που θα στέλνονται με OSC μαζί με τις τιμές τους.

```
def sendOSC(name, val):
    msg = OSC.OSCMessage()
    msg.setAddress("/neurovals")
    msg.extend([object1.attention, object1.meditation,
object1.rawValue, object1.delta, object1.theta, object1.lowAlpha,
object1.highAlpha, object1.lowBeta, object1.highBeta,
object1.lowGamma, object1.midGamma, object1.poorSignal,
object1.blinkStrength])
    try:
        sc.send(msg)
    except:
```

```
        pass
    print msg #debug
```

Σε αυτό το block η συνάρτηση if για τιμές διαφόρου του μηδενός στέλνει το μήνυμα /neurovals μαζί με την τιμή του κάθε φορά.

```
while True:
    val = [object1.attention, object1.meditation, object1.rawValue,
object1.delta, object1.theta, object1.lowAlpha, object1.highAlpha,
object1.lowBeta, object1.highBeta, object1.lowGamma,
object1.midGamma, object1.poorSignal, object1.blinkStrength]
        if val!=zero:
            time.sleep(0.5)
            sendOSC("/neurovals", val)
```

Δημιουργία κώδικα σε SuperCollider για την σύνθεση και εκτέλεση του ηχητικού μέρους

Ο ηχητικός κώδικας στο SuperCollider αποτελείται από δύο αρχεία. Το πρώτο αρχείο εμπεριέχει μια λίστα από SynthDefs και αποτελεί τους ήχους για τις δέκα λέξεις. Το δεύτερο αρχείο εμπεριέχει τις εντολές για το πότε θα ενεργοποιούνται οι ήχοι και για το πως θα αλλάζουν οι παράμετροι τους.

Πρώτο αρχείο:

Εδώ έχουμε το πρώτο κομμάτι (block) κώδικα και αφορά την σύνθεση του ήχου για την λέξη ομόνοια. Ο συγκεκριμένος ήχος αποτελείται από 8 συνθετητές. Οι συνθετητές αυτοί είναι ημιτόνου (SinOsc), Πριονωτοί (Saw). Συνδυάζονται με τα UGens (Unit Generators) Impulse, PMOsc και Dseq. Το Impulse δίνει έξοδο ευρέος φάσματος μονών δειγμάτων. Το PMOsc (Phase modulation sine oscillator pair) παίρνει τα ορίσματα carfreq modfreq, pmindex, modphase, mul και add. Το Dseq παίρνει ως όρισμα μια λίστα και τον αριθμό επαναλήψεων αυτής, λειτουργεί με τα UGens Demand και Trig. Έχουμε modular synthesis δηλαδή μια σταθερή συχνότητα και μεταβάλλοντας την φάση της με μία άλλη παίρνουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Έτσι προσθέτοντας τους συνθετητές έχουμε ένα σήμα το οποίο διαμορφώνεται μέσα

από τα UGen και τον φάκελο env. Το αποτέλεσμα είναι ένας ήχος γλυκός και λιτός αλλά ταυτόχρονα γεμάτος που συνδυάζει τα συναισθήματα της ηρεμίας και της γαλήνης ταυτόσημα με την σημασία της λέξης.

```
(
SynthDef(\omonoia, { | amp = 1, phase = 0, freq = 440, gate = 1, mod
= 2 |
    var env, sines, sines2, sines3, sines4, sig, trig, dseq, out;
    env = EnvGen.ar(Env.adsr, gate, doneAction: 2) * amp;
    sines = SinOsc.ar(freq, phase, amp) * SinOsc.ar(freq * mod);
    sines2 = Saw.ar(freq, amp) * SinOsc.ar(freq * mod);
    sines3 = SinOsc.ar(freq, phase, amp) * Saw.ar(freq * mod);
    sines4 = Saw.ar(freq, amp) * SinOsc.ar(freq * mod);
    sig = sines + sines2 + sines3 + sines4;
    trig = Impulse.ar(sig/2, phase, amp);
    dseq = Dseq([(freq/100), (freq/200), (freq/300), (freq/400)],
inf);
    out = PMOsc.ar(freq, mod * freq)  * (SinOsc.ar((Demand.ar(trig,
0, dseq)), phase, amp));
    Out.ar(0, out * env *1.5).dup;
}).add;
```

Στο επόμενο κομμάτι κώδικα υπάρχουν 2 συνθετητές ημιτόνου (SinOsc). Ο δεύτερος συνθετητής ή UGen δέχεται ως όρισμα για την συχνότητα το UGen Line το οποίο παράγει μια γραμμή από τιμές με αρχή και τέλος, διάρκεια και επαναληψιμότητα. Το αποτέλεσμα είναι ένας ήχος τραχύς αλλά συνάμα και ερεθιστικός έτσι συνδυάζει τα χαρακτηριστικά της διάνοιας ως σημασία.

```
SynthDef(\dianoia, {| freq = 440, amp = 1, art = 1, gate = 1 |
    var env, snd1, snd2;
    env = EnvGen.ar(Env.adsr, gate, doneAction: 2);
    snd1 = SinOsc.ar(freq/2);
    snd2 = SinOsc.ar(Line.ar((freq+15)/2, freq/2, art));
    Out.ar(0, [(snd1+snd2).dup] * amp * env);
}).add;
```

Για την λέξη πρόνοια έχω χρησιμοποιήσει 3 συνθετητές (UGens). Το VarSaw, το SinOsc και το LPF. Το πρώτο είναι ουσιαστικά ένας πριονωτός συνθετητής με

μεταβλητή φάση. Το δεύτερο είναι ημιτονοειδής ήχος με συχνότητα ένα άλλο ημιτονοειδή ταλαντωτή όπου με την σειρά του για συχνότητα έχει μια εκθετική σειρά τιμών. Το τρίτο UGen είναι το LPF (Low Pass Filter) είναι ουσιαστικά ένα φίλτρο όπου κόβει τις υψηλές συχνότητες. Έτσι έχουμε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο ήχο τύπου σειρήνας με γλυκό υπόβαθρο μιας μελωδικής γραμμής. Συνδυάζει το συναίσθημα του κινδύνου και της καθοδήγησης μέσα σε αυτόν.

```
SynthDef(\pronoia, { |freq = 440, gate = 1, amp = 1, slideTime =
0.17, width =
    0.15, detune = 1.005, preamp = 4|
    var sig, sig2,
    env = Env.adsr(0.01, 0.3, 0.4, 0.1);
    freq = Lag.kr(freq, slideTime);
    sig = Mix(VarSaw.ar([freq, freq * detune/freq*pi], 0, width,
preamp)).distort * amp * EnvGen.kr(env, gate, doneAction: 2);
    sig2 = SinOsc.ar(SinOsc.ar(XLine.kr(1, 10, freq*2), 0, 200, 800),
0, 0.25)/8;
    sig = LPF.ar(sig, freq);

    Out.ar(0, [sig + sig2] ! 2)
}).add;
```

Ο παρακάτω ήχος κυρίως από 4 βασικά UGens. Το SinOsc, Pulse, Saw και RLPF. Το Pulse ουσιαστικά είναι ένα τετράγωνο κύμα που μεταβάλλεται η φάση του και έτσι αλλάζει τιμές από 0 έως 1 με 0.5 να είναι το τέλειο τετράγωνο. Το RPLF είναι ένα φίλτρο όπου κόβει τις υψηλές συχνότητες και προσδίδει πιο γλυκό ήχο. Έχει την δυνατότητα ρυθμίσεις του εύρους που θα αναιρεί. Ένας ήχος που προσομοιάζει τα συνθεσάιζερ της δεκαετίας του 90. Είναι ήπιος αλλά ταυτόχρονα και οξύς. Μεταφέρει τα συναισθήματα της λέξης καθώς συνδυάζεται με την εγρήγορση και την εξυπνάδα.

```
SynthDef(\oxynoia, { |out, freq = 440, gate = 0.5, plfofreq = 6, mw =
0, ffreq =
    2000, rq = 0.3, freqlag = 0.05, amp = 1|
    var sig, plfo, fcurve;
    plfo = SinOsc.kr(plfofreq, mul:mw, add:1);
    freq = Lag.kr(freq, freqlag) * plfo;
```

```
    fcurve = EnvGen.kr(Env.adsr(0, 0.3, 0.1, 20), gate);
    fcurve = (fcurve - 1).madd(0.7, 1) * ffreq;
    sig = Mix.ar([Pulse.ar(freq, 0.9), Saw.ar(freq*1.007)]);
    sig = RLPF.ar(sig, fcurve, rq)
    * EnvGen.kr(Env.adsr(0.04, 0.2, 0.6, 0.1), gate, doneAction:2)
    * amp;
    Out.ar(out, sig ! 2)
}).add;
```

Ο ήχος που συνδυάζεται με την λέξη αμβλύνοια αποτελείται από τους συνθετητές VarSaw, LPF, Impulse, Dseq, SinOsc. Το ενδιαφέρον στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι ότι το σήμα περνάει μέσα από Delay του οποίου τα ορίσματα είναι ημιτονοειδής ταλαντωτής και το UGen Dseq. Αυτό μας δίνει την εντύπωση μιας καθυστέρησης στον ήχο και προσομοιάζει την νοητική κατάσταση που απορρέει από την σημασίας της λέξης. Επίσης χαρακτηριστικά θυμίζει ήχο γεννήτριας ή σειρήνας σημαίνοντας αρνητικότητα και κίνδυνο.

```
SynthDef(\amvlinoia, { |freq = 440, gate = 1, amp = 1, slideTime =
0.17, ffreq = 1100, width =
    0.15, detune = 1.005, preamp = 4, mod = 5, phase = 0|
    var sig, dseq, trig, out, env;
    env = Env.adsr(0.01, 0.3, 0.4, 0.1);
    freq = Lag.kr(freq, slideTime*mod);
    sig = LPF.ar(sig, ffreq);
    sig = Mix(VarSaw.ar([freq, freq * detune+mod], 0, width,
preamp)).distort * amp
    * EnvGen.kr(env, gate, doneAction: 2);
    trig = Impulse.ar(freq/1.2, phase, amp);
    dseq = Dseq([1,3,6,7,8,5,3,2], inf);
    out =  sig * DelayN.ar((SinOsc.ar((Demand.ar(trig, 0, dseq)),
phase, amp)),1,1);
    Out.ar(0, out+trig ! 2);
}).add;
```

Η λέξη διχόνοια συνδυάζει τα UGen LFPulse, LFNoise0, και Pulse. Το LFPulse αποδίδει μια τιμή μεταξύ 1 και 0. Το LFNoise0 δημιουργεί μια τυχαία τιμή με ρυθμό που δίνεται από την διαίρεση του κοντινότερου ψηφίου της δειγματοληψίας με το όρισμα της συχνότητας. Ο παραγόμενος ήχος είναι αποσπασματικός με την

συχνότητα επανάληψης να μεταβάλλεται συνεχώς. Το αποτέλεσμα περιγράφει την αταξία και χαοτική μεταβολή που εκφράζει η λέξη διχόνοια.

```
SynthDef.new(\dixonoia, {|ampHz = 4, freq = 40, maxPartial = 4, width
= 0.5, gate = 1, amp = 1|
    var amp1, amp2, freq1, freq2, sig1, sig2;
    var env;
    env = Env.adsr;
    amp1 = LFPulse.kr(ampHz, 0, 0.12) * 0.65;
    amp2 = LFPulse.kr(ampHz, 0.5, 0.12) * 0.65;
    freq1 = LFNoise0.kr(4).exprange(freq, freq *
maxPartial).round(freq);
    freq2 = LFNoise0.kr(4).exprange(freq, freq *
maxPartial).round(freq);
    freq1 = freq1 * LFPulse.kr(8, add:1);
    freq2 = freq2 * LFPulse.kr(6, add:1);
    sig1 = Pulse.ar(freq1, width, amp1);
    sig2 = Pulse.ar(freq2, width, amp2);
    Out.ar(0, (sig1+sig2).dup * EnvGen.kr (env, gate, doneAction: 2)
* amp);

}).add;
```

Για την δημιουργία του ήχου παράνοια χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω UGens: InFeedback, LFNoise0, SinOsc, AllpassC, Drand. Ο ήχος ξεκινά στο InFeedback όπου ουσιαστικά έχουμε ανατροφοδότηση δηλαδή Feedback. Στην συνέχεια έχουμε τον συνθετητή SinOsc όπου για ορίσματα έχει την συχνότητα για φάση τον συνθετητή LFNoise0 επί το UGen InFeedback. Το AllpassC αποτελεί ένα Delay που λειτουργεί με κυβική παρεμβολή. Ο ήχος αυτός ξεκινά ήπια αλλά δυναμώνει σε ένταση και σε πληροφορία. Συνεχίζει με διάφορους άλλους μικροήχους που προσομοιάζουν σπάσιμο γυαλιού. Έτσι συνδυάζει το νόημα και τα συναισθήματα που προκαλεί η λέξη παράνοια.

```
SynthDef(\paranoia, { |freq = 440, phase = 1, amp = 1, gate = 1,
tempo = 1, in = 0, aval = 0.2, bval = 0.5 |
    var env, dseq, trig, out, sig, n;
    in = InFeedback.ar(in,1);
    n = LFNoise0;
```

```
    sig = SinOsc.ar(freq/3000, in * n.ar(aval, aval*4, aval*8),
n.ar(bval, bval*2, bval*4)) * 0.2;
    9.do{sig = AllpassC.ar(sig, aval, bval, bval)};
    sig.tanh;
    env = Env.adsr;
    dseq = Drand([(freq/100), (freq/200)*2, (freq/300)*4,
(freq/400)*8], inf);
    trig = Impulse.ar(tempo);
    out =  ([SinOsc.ar((Demand.ar(trig, 0, dseq)), phase, amp)
        + SinOsc.ar(freq/2, phase, amp * 2)])* EnvGen.kr(env, gate,
doneAction: 2) * amp;
    Out.ar(0, (sig+out).dup * 1.2);
}).add;
```

Το κομμάτι αυτό κώδικα έχει τα UGen Impulse, DynKlank και RLPF. Το DynKlank είναι ένας συνδυασμός ταλαντωτών που έχουν συγκεκριμένη διάρκεια απόσβεσης. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται μια σειρά από δεδομένα συχνοτικά όπως και για το όρισμα του input χρησιμοποιείται το UGen Impulse. Έτσι παράγεται ένας ήχος που παραπέμπει σε ταινίες μυστηρίου δεκαετίας 90. Παρομοιάζεται με αργό και βαθύ ήχο με ξαφνικές δόσεις οξύτητας. Μεταφέρει τα συναισθήματα που προκαλούνται από την λέξη.

```
SynthDef(\krypsinoia, { | phase = 0, amp = 1, freq = 300, gate = 1,
mod = 5 |
    var synth, env, input, rlpf;
    env = EnvGen.ar(Env.adsr, gate, doneAction: 2) * amp;
    input = Impulse.ar(freq/4, phase, amp);
    synth = DynKlank.ar(`[[freq, freq/1.1, freq/1.2, freq/1.3],
[1,0.8,0.4,0.1], [1,0.8,0.4,0.1]], input, freq/300, decayscale: 10);
    rlpf = RLPF.ar(synth, 200);
    Out.ar(0, synth * rlpf * env * 1.5);
}).add;
```

Ο παρακάτω ήχος για την λέξη επίνοια χρησιμοποιεί τα UGens Impulse, Dseq και PMOsc. Είναι σχεδιασμένος ώστε τα ορίσματα του PMOsc να έχουν και τον συνθετητή Saw. Το αποτέλεσμα βασίζεται κυρίως στο UGen Impulse το οποίο είναι συνεχώς μεταβαλλόμενο. Ήχος που μοιάζει με το άνοιγμα ενός μπουκαλιού. Φανερώνει την ξαφνική ιδέα και την απότομη αλλαγή.

```
SynthDef(\epinoia, { | freq = 261, tone = 3, art = 1, amp = 1, gate =
1, mod = 5, phase = 0 |
    var env, out, dseq, trig;
    env = EnvGen.ar(Env.adsr, gate, doneAction: 2) * amp;
    trig = Impulse.ar(freq/2, phase, amp);
    dseq = Dseq([(freq/100), (freq/200), (freq/300), (freq/400)],
inf);
    out = PMOsc.ar(freq, mod * freq)  * (Saw.ar((Demand.ar(trig, 0,
dseq)), amp));
    Out.ar(0, out * env * 1.5);
}).add;
```

Για την λέξη άνοια χρησιμοποιήθηκαν τα UGens Impulse, Drand, PMOsc, DelayN και SinOsc. Το Drand δημιουργεί τυχαία σειρά sequences. Το τελικό σήμα περνάει μέσα από Delay. Το αποτέλεσμα είναι ένας βαθύς και χαοτικός ήχος που παραπέμπει στο χάος που προκαλεί η άνοια.

```
SynthDef(\anoia, {| freq = 261, tone = 3, art = 1, amp = 1, gate = 1,
mod = 5, phase = 0|
    var env, out, dseq, trig;
    env = EnvGen.ar(Env.adsr, gate, doneAction: 2) * amp;
    trig = Impulse.ar(freq/2, phase, amp);
    dseq = Drand([(freq/10), (freq/20), (freq/30), (freq/40)], inf);
    out = PMOsc.ar(freq, mod * freq)  *
DelayN.ar((SinOsc.ar((Demand.ar(trig, 0, dseq)), phase, amp)));
    Out.ar(0, out * env * 1.5);
}).add;
)
```

Δεύτερο αρχείο:

Το παρακάτω block κώδικα δηλώνει ως περιεχόμενο μεταβλητών τα ονόματα σύμβολα των λέξεων. Επίσης ορίζει το αρχείο από το οποίο θα αντληθούν δεδομένα για την αντιστοίχιση ήχων λέξεων.

```
(
{
    var synth, state_stream, word, angle, addr, last_blink_time = 0;

    Server.default.waitForBoot;

    "/home/alex/Desktop/synthdefs_file.scd".loadPaths;
    1.wait;

    state_stream = Pseq([\omonoia, \epinoia, \dianoia, \amvlinoia,
\paranoia, \dixonoia, \krypsinoia, \anoia, \oxynoia, \pronoia]
        collect: { | s, i | [s, i] }, inf).asStream;
```

Στην συνέχεια το UGen OSCdef ορίζει μια συνάρτηση όπου ακολουθούνται η εξής συνθήκες: Όταν η τιμή του τρίτου μηνύματος είναι μεγαλύτερη από 200 και ο τωρινό χρόνος μείον τον προηγούμενο χρόνο είναι μεγαλύτερος από 0.501 τότε αλλάζει η λέξη. Αυτό μας δίνει την δυνατότητα να έχουμε μια πιο σταθερή εξέλιξη της περφόρμανς αφού αποκλείει τις διπλές αθέλητες αλλαγές λέξεων.

```
    OSCdef.new(

        \selectsend,
        {
            arg msg, time, addr, port;

            if (msg[3] > 200 and: { time - last_blink_time > 0.501 })

            {
                #word, angle = state_stream.next;
                addr = NetAddr("127.0.0.1", 12001); // 12001  default
port for PROCESSING
```

```
                synth.release;
                synth = Synth (word);
                addr.sendMsg (\angle, angle);
            };

            last_blink_time = time;

        },'/neurovals'
    );
```

Το επόμενο κομμάτι κώδικα ουσιαστικά είναι και αυτό μια συνάρτηση μέσα στο UGen OSCdef όπου ισχύουν οι εξής συνθήκες: Όταν το μήνυμα 1 είναι ίσο με το μήνυμα 1 (δηλαδή πάντοτε) τότε να αλλάζουν κάποιες παράμετροι στο πρώτο αρχείο δηλαδή το αρχείο με τους ήχους (SynthDef). Αυτό διαμορφώνει τους ήχους ανάλογα με την συγκέντρωση και τον διαλογισμό καθώς τα μηνύματα 1 και 2 αντιστοιχούν ανάλογα. Το κάθε κομμάτι έχει διαμορφωθεί έτσι ώστε να μεταβάλει ανάλογα το μέγεθος από το πραγματικό εύρος των τιμών των μηνυμάτων σε εύρος από 0 έως 100. Αυτό διευκολύνει την περαιτέρω διεργασία μέσα στον κώδικα.

```
    OSCdef.new(
        \base,
        {
            arg msg, time, addr, port;
            [msg, time, addr, port].postln;

            if (msg[1] == msg[1])
            {   synth.set(\freq, msg[1].linlin(0, 100, 300, 1000););
                synth.set(\tempo, msg[1].linlin(0, 100, 1, 8););
                synth.set(\amp, msg[1].linlin(0, 100, 0.5, 1););
                synth.set(\phase, msg[1].linlin(0, 100, 0, 1););
                synth.set(\iphase, msg[1].linlin(0, 100, 0, 1););
                synth.set(\numharms, msg[1].linlin(0, 100, 2, 200););
                synth.set(\width, msg[1].linlin(0, 100, 0, 1););
                synth.set(\aval, msg[1].linlin(0, 100, 0.1, 0.5););
                synth.set(\bval, msg[1].linlin(0, 100, 0.1, 0.5););
                synth.set(\mod, msg[1].linlin(0, 100, 1, 10););
                synth.set(\ampHz, msg[1].linlin(0, 100, 2, 8););
                synth.set(\tone, msg[1].linlin(0, 100, 1, 5););
                synth.set(\maxPartial, msg[1].linlin(0, 100, 2, 8););
```

```
                synth.set(\slideTime, msg[1].linlin(0, 100, 0.1,
1.4););
                synth.set(\detune, msg[1].linlin(0, 100, 0.01,
0.3););
                synth.set(\rq, msg[1].linlin(0, 100, 1, 3););
                synth.set(\freqlag, msg[1].linlin(0, 100, 0.01,
0.1););
            }

        },'/neurovals'

    );

}.fork;
)
```

Δημιουργία κώδικα σε SuperCollider για την σύνθεση και εκτέλεση του οπτικού μέρους

Αυτό το κομμάτι κώδικα στο SuperCollider αφορά βοηθητικά οπτικά στοιχεία. Τα οπτικά αυτά αποτελούνται από δύο παράθυρα. Στο ένα έχουμε 13 δείκτες (LevelIndicators) όπου μας δείχνουν ποσοτικά το πόσο μεταβάλλεται κάθε σήμα OSC που λαμβάνουμε από το πρόγραμμα Python. Το δεύτερο παράθυρο είναι επίσης βοηθητικό και μας δείχνει ποσοτικά πόσο μεταβάλλεται η πρώτη τιμή του μηνύματος 1 OSC που αντιστοιχεί στην ποσότητα συγκέντρωσης. Παρουσιάζεται ως ένας κύκλος που η ακτίνα του αυξάνεται με την τιμή του μηνύματος καθώς επίσης και το χρώμα του τείνει προς το ανοιχτό γκρί. Το αντίθετο συμβαίνει κατά την μείωση των τιμών του πρώτου μηνύματος δηλαδή ο κύκλος μικραίνει και το χρώμα τείνει προς το μαύρο. Επίσης τα LevelIndicators μας βοηθούν να έχουμε μια πλήρη εικόνα των τιμών των μηνυμάτων που λαμβάνουμε. Αυτό κρίνεται απαραίτητο για την περφόρμανς διότι βοηθά τον χρήστη και το κοινό να κατανοήσει την θέση κάθε φορά της σκέψης. Είτε πρόκειται για συγκέντρωση ή για χαλάρωση (διαλογισμό) η διάδραση με το κοινό πρέπει να είναι άμεση.

```
(
Server.default.waitForBoot;
{
```

Στο παρακάτω κομμάτι κώδικα έχουμε μια συνάρτηση μέσα στο UGen OSCdef. Η συνάρτηση αυτή ορίζει τρεις μεταβλητές να αλλάζουν τιμές από 0 έως 100 ανάλογα με το μήνυμα 1 από το SuperCollider.

```
OSCdef.new(\getwaves, {
    arg msg, time, addr, recvPort;
    ~radius = msg[1].linlin(0, 100, 100, 200);
    ~change = msg[1].linlin(0, 100, 0.1, 1);
    ~fps = msg[1].linlin(0, 100, 0, 10);
}, '/neurovals'
);
```

Στην συνέχεια ορίζεται το GUI (Graphical User Interface) που παρουσιάζεται στο πρότζεκτ δηλαδή το παράθυρο με τον κύκλο και το datameter.

```
{
    //vars
    var width= 640, height= 480;
    var w= Window("bright", Rect(99, 99, width, height), false);
    var u= UserView(w, Rect(0, 0, width, height));

    //drawfunction
    u.drawFunc= {
```

Εδώ ως ορίσματα στα UGens έχουν δωθεί η μεταβλητές που αναφέρονται πιο πάνω στον κώδικα. Έτσι όποτε αλλάζουν αυτές αλλάζουν και οι διαστάσεις του κύκλου καθώς και το χρώμα.

```
        Pen.translate(width*0.5, height*0.5);
        Pen.fillColor= Color.grey(~change, ~change);
        Pen.fillOval(Rect.aboutPoint(Point(0, 0), ~radius,
~radius));

    };

    //--window
    u.clearOnRefresh= true;
    u.background= Color.grey(0.5);
```

```
        w.front;
        u.animate= true;

    }.defer(1);
```

Στην επόμενη περίπτωση ορίζουμε μια συνάρτηση μέσα στο UGen OSCFunc όπου συμφωνούμε ότι θα ορίσουμε τις μεταβλητές a έως n να παίρνουν τις εκάστοτε τιμές των μηνυμάτων που τους αντιστοιχούν.

```
    o = OSCFunc({arg msg;
        {
            a.value = msg[1].linlin(0, 100, 0, 1);
            b.value = msg[2].linlin(0, 100, 0, 1);
            c.value = msg[3].linlin(-500, 500, 0, 1);
            d.value = msg[4].linlin(1000, 1000000, 0, 1);
            e.value = msg[5].linlin(1000, 200000, 0, 1);
            f.value = msg[6].linlin(1000, 200000, 0, 1);
            g.value = msg[7].linlin(1000, 70000, 0, 1);
            h.value = msg[8].linlin(1000, 70000, 0, 1);
            i.value = msg[9].linlin(1000, 70000, 0, 1);
            k.value = msg[10].linlin(1000, 50000, 0, 1);
            l.value = msg[11].linlin(100, 30000, 0, 1);
            m.value = msg[12].linlin(0, 200, 0, 1);
            n.value = msg[13].linlin(0, 200, 0, 1);
        }.defer(1);

    }, '/neurovals',
    );
```

Ο παρακάτω κώδικας χρησιμοποιεί το UGen LevelIndicator το οποίο αποδίδει ένα GUI με μια κάθετη χρωματιστή μπάρα. Αυτή λειτουργεί ως monitor καθώς ανεβοκατεβαίνει ανάλογα με τις τιμές του μηνύματος που της αντιστοιχεί.

```
    {

        w = Window("datameter", Rect(700, 700, 630, 200));
        w.front;
        a = LevelIndicator(w, Rect(10, 10, 20, 180));
        a.numSteps = 100;
```

```
        b = LevelIndicator(w, Rect(50, 10, 20, 180));
        b.numSteps = 100;
        c = LevelIndicator(w, Rect(100, 10, 20, 180));
        c.numSteps = 100;
        d = LevelIndicator(w, Rect(150, 10, 20, 180));
        d.numSteps = 100;
        e = LevelIndicator(w, Rect(200, 10, 20, 180));
        e.numSteps = 100;
        f = LevelIndicator(w, Rect(250, 10, 20, 180));
        f.numSteps = 100;
        g = LevelIndicator(w, Rect(300, 10, 20, 180));
        g.numSteps = 100;
        h = LevelIndicator(w, Rect(350, 10, 20, 180));
        h.numSteps = 100;
        i = LevelIndicator(w, Rect(400, 10, 20, 180));
        i.numSteps = 100;
        k = LevelIndicator(w, Rect(450, 10, 20, 180));
        k.numSteps = 100;
        l = LevelIndicator(w, Rect(500, 10, 20, 180));
        l.numSteps = 100;
        m = LevelIndicator(w, Rect(550, 10, 20, 180));
        m.numSteps = 100;
        n = LevelIndicator(w, Rect(600, 10, 20, 180));
        n.numSteps = 100;

    }.defer(1);

}.fork;
)
)
```

Δημιουργία κώδικα σε Java για την σύνθεση και εκτέλεση του οπτικού μέρους

Για το κυρίως οπτικό μέρος του πρότζεκτ χρησιμοποίησα το λογισμικό Processing και έγραψα κώδικα σε γλώσσα Java. Ο σκοπός του κώδικα είναι να χρησιμοποιήσει ως background την εικόνα της ομόνοιας με τις λέξεις και να εφαρμόσει επάνω της αυτοματοποιημένα 10 τελείες ως σημεία αναφοράς των θέσεων

του δείκτη αλλά και την μετακίνηση του δείκτη σε πραγματικό χρόνο. Ο δείκτης μεταφέρεται ανάλογα με το OSC μήνυμα που λαμβάνει από το SuperCollider.

```
import oscP5.*;
import netP5.*;
float radius = 200; // Size of the circle
int numPoints = 10; // Number of points on the circe
float angle=TWO_PI/(float)numPoints; // Calculate the angle each
point is on
float[][] xyArray;
float x, y;
PImage bg;
OscP5 oscP5;
float angle1 = 0.0;
float segLength = 200;
float c = 1;
```

Εδώ ορίζεται η εικόνα ως background και το module που θα μεταφέρει τα OSC μηνύματα. Επίσης ορίζεται το μέγεθος και το χρώμα της γραμμής (δείκτης) καθώς και οι συντεταγμένες μέσα στην εικόνα. Στην συνάρτηση for έχουμε ορίσει την κίνηση του δείκτη σύμφωνα με τις τιμές που λαμβάνει από το SuperCollider μέσω OSC μηνυμάτων.

```
void setup() {
    size(1128, 851);
    bg = loadImage("omonoialex.jpg");
    oscP5 = new OscP5(this, 12001);
    stroke(0);
    strokeWeight(30);
    translate(width/2, height/2);
    //height = 500; // Window height
    //width = 500;  // Window width
    background(59);
    // CREATE A LIST OF x & y CO-ORDINATES
    xyArray = new float [numPoints][3]; // Setup the array dimentions
    for(int i=0;i<numPoints;i++) {
        float x = radius*cos(angle*i)+width/2;
        float y = radius*sin(angle*i)+height/2;
```

```
        xyArray[i][0] = x; // Store the x co-ordinate
        xyArray[i][1] = y; // Store the x co-ordinate
        xyArray[i][2] = 0.0;
    }
}
```

Πιο συγκεκριμένα η μεταβλητή angle1 αλλάζει σύμφωνα με τον τύπο όπου ισούται. Ο μαθηματικός τύπος περιλαμβάνει την μεταβλητή c η οποία όπως θα δούμε παρακάτω μεταβάλλεται σύμφωνα με το μήνυμα /xnoia από το SuperCollider.

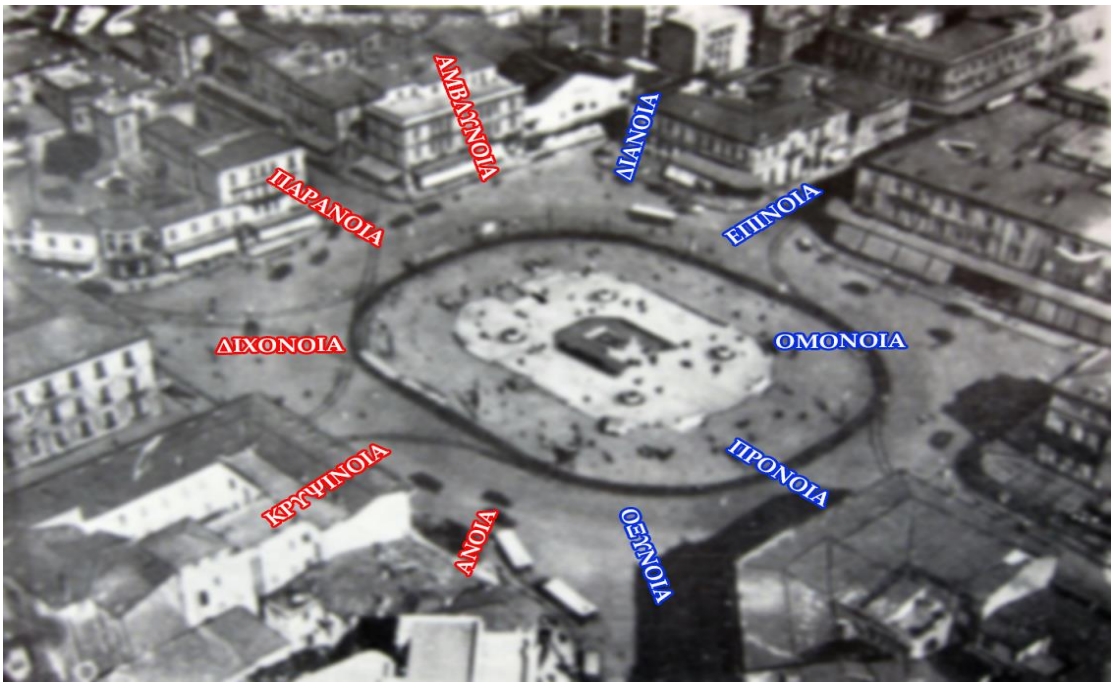
```
void draw() {
    background(bg);
    angle1 = (c*113/float(width) - 4) * -(2*PI);
    pushMatrix();
    segment(x, y, angle1);
    popMatrix();
    for(int i=0;i<numPoints;i++){
        float x = xyArray[i][0];
        float y = xyArray[i][1];
        for(int ii=i+1;ii<numPoints;ii++){
            if(ii>i){
                float xx = xyArray[ii][0];
                float yy = xyArray[ii][1];
                strokeWeight(10);
            }
        }
        strokeWeight(10);
        ellipse(x, y, 5, 5);
    }
}

void segment(float x, float y, float a) {
    translate(width/2, height/2);
    rotate(a);
    line(0, 0, segLength, 0);
}
```

Εδώ ορίζεται μια συνάρτηση που λαμβάνει το μήνυμα /xnoia από το SuperCollider και το ορίζει στην μεταβλητή c όπου χρησιμοποιείται πιο πάνω στον κώδικα.

```
void oscEvent(OscMessage xnoia) {
    if (xnoia.addrPattern().equals("/xnoia")) {
        c = xnoia.get(0).intValue();
    }
}
```

Εικόνα Background

Η εικόνα δημιουργήθηκε στο photoshop. Στο background βρίσκεται μια εικόνα της πλατεία ομονοίας με εφέ blur. Στην συνέχεια τοποθετήθηκε layer από τα σημεία του Proccesing για τις συντεταγμένες των λέξεων.



Εικόνα 7

4

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

4.1 Δημιουργία λεξικού σκέψεων

Η διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή ή αλλιώς BCI (Brain Computer Interface) αποτελεί ένα υποσύνολο της διεπαφής ανθρώπου-μηχανής, θα επιβάλει σημαντική χρησιμότητα, στην επιστήμη και στην ανθρώπινη εξέλιξη. Αυτή η τεχνολογία θα προχωρήσει και θα βρει εφαρμογή με την αύξηση της υπολογιστικής ταχύτητας, τη γνωσιακή διαδικασία λήψης αποφάσεων, την ανταλλαγή πληροφοριών, καθώς και την βελτιωμένη υπολογιστική δύναμη, με αποτέλεσμα σημαντικά αυξημένη απόδοση σε όλους του επιστημονικούς τομείς. Μια άμεση σύνδεση μεταξύ του εγκεφάλου και του υπολογιστή θα παρακάμψει τα περιφερικά νεύρα και τους μυς, επιτρέποντας στον εγκέφαλο να έχει άμεσο έλεγχο του λογισμικού και των εξωτερικών συσκευών. Οι εφαρμογές για τις επικοινωνίες, την διοίκηση, τον έλεγχο απομακρυσμένων αισθητήρων θα είναι σημαντική. Επί του παρόντος, η τεχνολογία αυτή περιορίζεται στην ιατρική κοινότητα αποκατάστασης για τα άτομα με αναπηρίες, τη βιομηχανία παιχνιδιών υπολογιστή αλλά και ως εργαλείο τέχνης τόσο από μουσικούς όσο και από περφόρμερ. Παγκόσμια, η Κίνα, η Ινδία, το Ιράν, τη Ρωσία, την Ιαπωνία και ευρωπαϊκά έθνη εργάζονται ενεργά για τη βελτίωση των υφιστάμενων τεχνικών ηλεκτροεγκεφαλογραφημάτων, μαγνητικού συντονισμού, υπέρυθρων και των μαγνητικών φασμάτων. Επιπλέον, ηθικά, δεοντολογικά και νομικά ζητήματα που θα αμφισβητήσουν την εφαρμογή BCI και την απασχόληση με αυτήν την τεχνολογία θα

παρουσιαστούν. Η τεχνολογία αυτή έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση σχεδόν με τον ίδιο τρόπο που έχει φέρει η πυρηνική ενέργεια στην ανθρωπότητα. Που βρίσκεται η τεχνολογία αυτή όμως σήμερα; Τι προβλέπεται για το κοντινό μέλλον;

Οι μελλοντικές κατευθύνσεις της έρευνας για BCI (Brain Computer Interface) γίνονται με σκοπό την καλύτερη αποτύπωση της σκέψης σε πρακτική εφαρμογή. Η τελευταία τεχνική γύρω από το BCI (Brain Computer Interface) είναι η δημιουργία λεξικού σκέψεων. Η τεχνική αυτή απορρέει από την λόγική ότι για να μπορέσουμε να ελέγξουμε τον υπολογιστή με την σκέψη θα πρέπει να συνδυάσουμε σκέψεις με αποτελέσματα ανίχνευσης. Στην πραγματικότητα είναι αρκετά δύσκολο και χρονοβόρο με αυτό να οφείλεται σε δύο παράγοντες. Ο πρώτος παράγοντας είναι η υπολογιστική δύναμη και ο δεύτερος τα εργαλεία ανίχνευσης.

Υπάρχουν δύο περιπτώσεις ανίχνευσης, η εξαρτομένη και η ανεξάρτητη. Στις εφαρμογές BCI υπάρχει ένα σύστημα επικοινωνίας στο οποίο τα μηνύματα που περνάει ο άνθρωπως στον υπολογιστή δεν γίνονται δια μέσου μυοσκελέτικής οδού αλλά απευθείας μέσω αποκωδικοποίησης των εγκεφαλικών σημάτων. Η εξαρτώμενη ανίχνευση χρησιμοποιεί το Visual evoked potential (VEP) που καταγράφεται στο κρανίο πάνω από τον οπτικό λοβό. Σε αυτή την περίπτωση η καταγραφή των δεδομένων βασίζεται στην κατευθυντικότητα του βλέμματος. Για παράδειγμα όταν στο υποκείμενο παρουσιάζεται μια σειρά γραμμάτων που αναβοσβήνουν σε έναν φωτεινό πίνακα και το υποκείμενο καλείται να διαλέξει ένα από αυτά, τότε έχουμε μεγαλύτερο VEP για το συγκεκριμένο γράμμα σε σχέση με τα άλλα γράμματα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το σήμα καταγράφεται μέσω ΗΕΓ και όχι με την θέση των ματιών.

Στην περίπτωση ανεξάρτητης ανίχνευσης δεν έχουμε μεταφορά δεδομένων από περιφερειακά νεύρα και μυς αλλά χρησιμοποιεί το P300 evoked potential. Το P300 είναι μια διαφορά δυναμικού που σχετίζεται με την λήψη αποφάσεων. Όταν ανιχνεύεται από τον εγκεφαλογράφο έχει θετικό πρόσημο και καθυστέρηση 250 με 500ms. Το σήμα καταγράφεται στον βρεγματικό λοβό. Εδώ λοιπόν έχουμε να κάνουμε με την πρόθεση του υποκειμένου και όχι με την κατευθυντικότητα των ματιών (Wolfpaw 2002).

Για την δημιουργία λεξικού σκέψεων θα πρέπει να έχουμε καταγραφή μιας σκέψης πάρα πολλές φορές για να μπορέσουμε με ασφαλή συμπεράσματα να περάσουμε τον μέσο όρο αυτού του σήματος ως αποδεκτό. Για παράδειγμα ένα

υποκείμενο βλέπει ένα γράμμα και αποτυπώνει συγκεκριμένα δεδομένα στον ΗΕΓ. Εν συνεχεία αναπαράγει την σκέψη του ιδίου γράμματος και καταγράφονται τα δεδομένα. Γίνεται συσχετισμός των δύο καταγραφών και το πείραμα επαναλαμβάνεται. Τέλος υπολογίζεται ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων και έτσι μπορεί να προγραμματιστεί ο υπολογιστής στην κατανόηση ενός σήματος που θα σχετίζεται με το συγκεκριμένο γράμμα. Όσο περισσότερες είναι οι μετρήσεις τόσο καλύτερο είναι το αποτέλεσμα. Με αυτήν την προσέγγιση έχουμε λοιπόν ένα τρόπο εργασίας χρονοβόρο και δύσκολο στην ευρεία εφαρμογή του καθώς το κάθε υποκείμενο έχει διαφορετικές μετρήσεις. Μέχρι στιγμής ένα εγχείρημα δημιουργίας λεξικού σκέψεων είναι εξατομικευμένο, αφορά δηλαδή ένα υποκείμενο και σχεδιάζεται αποκλειστικά για αυτό.

5

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

5.1 Συζήτηση

Στην εργασία αυτή αναλύθηκε η διαδραστική μουσική εφαρμογή με χρήση BCI. Στην καλλιτεχνική δραιστηριότητα με την χρήση εγκεφαλογράφου ο μουσικός-περφόρμερ χρησιμοποιεί τα εγκεφαλικά κύματα για την παραγωγή μουσικής σύνθεσης. Ανάλογα την περίπτωση έχουμε επιλογή μουσικής σύνθεσης μέσω προεπιλεγμένων επιλογών ή μουσική σύνθεση σε πραγματικό χρόνο διαμέσου συνθετητών. Η μεθοδολογία ακολουθεί την γραμμή σκέψη-bci-επεξεργασία-αποτέλεσμα.

Η πρακτική εφαρμογή xnoia είναι μια πιλοτική διαδραστική περφόρμανς με απώτερο σκοπό να αναδείξει την χρήση φορητού εγκεφαλογράφου στις μουσικές εφαρμογές. Το πρότξεκτ αυτό μας δείχνει ότι με την χρήση σχετικά οικονομικών μέσων ο μουσικός σήμερα μπορεί να συνθέσει μουσική με την χρήση εγκεφαλικών κυμάτων ως μια προσιτή και χαμηλού κόστους επιλογή. Η μέχρι τώρα εμπορική εφαρμογή αλλάζει και με νεές τεχνολογίες διαθέσιμες με μικρό κόστος και μεγάλες δυνατότητες ο καθένας μπορεί να έχει πρόσβαση σε ποιοτική μουσική διάδραση. Με την υποστήριξη διαδικτυακών δομών όπως vlogs, blogs και επίσημες ιστοσελίδες, ο μουσικός-περφόρμερ μπορεί να στήσει το δικό του σύστημα μουσικής διάδρασης με την χρήση εγκεφαλικών κυμάτων σχετικά εύκολα και με μικρό κόστος.

Αυτού του είδους εφαρμογές έχουν χρήση και σε άτομα με ειδικές ανάγκες. Στην παρούσα εργασία δεν γίνεται ανάλυση της συγκεκριμένης περίπτωσης αλλά είναι μια πτυχή της τεχνοτροπίας αυτής που μπορεί να εκμεταλευτεί και προς αυτή την κατεύθυνση. Οι νέες τεχνολογίες όχι μόνο αυξάνουν σε χρήση ολοένα και σε ευρύτερο κοινό ατόμων με κινητικές δυσκολίες, όχι μόνο αίρεται ο κοινωνικός αποκλεισμός αλλά και αναδύεται μια νέα προσέγγιση της διάδρασης με την τεχνολογία.

Αυτή η νέα προσέγγιση μουσικής σύνθεσης εμβαθύνει στην βασική γνώση της πληροφορικής, επιτρέπει την ανοιχτή αρχιτεκτονική και ευελιξία και αλλάζει τα δεδομένα της μέχρι τώρα εμπορικής εφαρμογής. Με άλλα λόγια όσο πλησιάζουμε την εποχή της παγκόσμιας τεχνολογίας, δηλαδή της διασύνδεσης των πάντων με τα πάντα ο άνθρωπος καλείται να συμμετέχει ενεργά και σε βάθος μέσα στην γνώση αυτού του οικοδομήματος και όχι να είναι δέκτης και καταναλωτής αλλά συνεργάτης, εμπνευστής και δημιουργός.

5.1 Σύνοψη και συμπεράσματα

Στην προσπάθεια του σύγχρονου μουσικού και περφόρμερ να ξεπεράσει το κλασσικό και να αναζητήσει νέα μέσα έκφρασης η τεχνολογία ήταν πάντα ο δρόμος για το μέλλον. Χρησιμοποιώντας την βιομουσική λοιπόν και πιο συγκεκριμένα τον ανθρώπινο εγκέφαλο ανοίγει μια νέα σελίδα στο τομέα αυτό. Η διάδραση ανθρωπίνου εγκεφάλου και υπολογιστή όχι μόνο διαγράφει το μέλλον σε όλους τους τομείς εξέλιξης της επιστήμης αλλά μας παρουσιάζει ένα μέσο μοναδικό και πολλά υποσχόμενο για την μουσική έκφραση.

Συνεχίζοντας το ερευνητικό έργο άλλων μουσικών και περφόρμερ βλέπουμε το έργο xnoia που παρουσιάστηκε σε αυτήν την εργασία ώς ένα μικρό κομμάτι μιας καινούργιας μορφής έκφρασης στο νέο μοτίβο τέχνης μουσικής με εγκεφαλογράφο. Οι τεχνοτροπίες ποικίλουν και ο κάθε καλλιτέχνης προχωρά σύμφωνα με τα δικά του δεδομένα και προσεγγίσεις. Αυτό όμως είναι κάτι που δίνει μια διάσταση διαφορετική στο κάθε έργο και σχηματίζει την άποψη και την αισθητική του.

Κλείνοντας θα ήθελα να αναφέρω ότι στα πλαίσια αυτού του μεταπτυχιακού μου δόθηκε η δυνατότητα να μελετήσω τον τομέα μουσικής διάδρασης

χρησιμοποιώντας λογισμικά και υλισμικά που αποτελούν την αιχμή της επιστήμης αυτής. Ας ελπίσουμε ότι στο μέλλον ο μουσικός-περφόρμερ θα διαθέτει πολύπλευρες γνώσεις και θα είναι δημιουργός έργων των οποίων οι διαστάσεις θα ξεπερνούν το φάσμα των επιστημών.

6

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Andelokovic, I. 2010. Brainwave Music. University of California. MAT: 4-5, 200B.
- Arslan, B., A. Brouse, J. Castet, J.J. Filatriau, R. Lehembre, Q. Noirhomme, and C. Simon. 2005. From Biological Signals to Music. TCTS, Facult´e Polytechnique de Mons, Belgium. CMR, University of Plymouth, UK. INP, Grenoble, France. TELE, Universit´e catholique de Louvain, Belgium.
- Berger, H. 1969. On the Electroencephalogram of Man. The Fourteen Original Reports on the Human Electroencephalogram. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. Supplement No. 28. Amsterdam: Elsevier.
- Chew, Y., E. Caspary. 2011. MusEEGk: A Brain Computer Musical Interface. Georgia Institute of Technology. Atlanta.
- Dix A., J. Finlay, G. Abowd, and R. Beale. 2004. Human-Computer Interaction, 3rd edn. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Gascia, O., R. B. Knapp, E. Lyon, and R. L. DuBois. 2011-2012. To be inside someone else’s dream: On Music for Sleeping & Waking Minds. Nimes.
- Greenberg, C. 1961. Avant-Garde and Kitsch In Art and Culture: Critical Essays. Boston, Massachusetts: Beacon Press. p 3.

- Hasmida, H., Z. H. Murat, V. Ross, N. Buniyamin. 2012. A Preliminary Study on the Effects of Music on Human Brainwaves. International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS).
- Le Croux, S., & P. Verschure. 2009. International Conference on Auditory Display. Copenhagen. Denmark.
- Levitin, D. J. 2006. This Is Your Brain on Music: The Science of a Human Obsession. New York, N.Y. Dutton.
- Lucier, A. 1976. Statement On: Music for Solo Performer. In: D. Rosenboom (Ed.). Biofeedback and the Arts. Results of Early Experiments. Vancouver: Aesthetic Research Center of Canada Publications.
- Miranda, E., A. Brouse, B. Boskamp, and H. Mullaney. 2006. Intelligent assistive technology for music-making. Computer Music Research, School of Computing, Communications and Electronics University of Plymouth, Drake Circus, Plymouth.
- Miranda, E., B. Andrew. 2005a. Toward Direct Brain-Computer Musical Interfaces. University of Plymouth. Computer Music Research.
- Oster, G. 1973. Auditory beats in the brain. Scientific American. Vol. 229. No. 4.
- Paradiso, J. L. 1999. The Brain Opera Technology: New Instruments and Gestural Sensors for Musical Interaction and Performance. MIT Media Laboratory. Cambridge. USA
- Teitelbaum, R. 1976. In Tune: Some Early Experiments in Biofeedback Music (1966-1974). D. Rosenboom (Ed.). Biofeedback and the Arts, Results of Early Experiments. Vancouver: Aesthetic Research Center of Canada Publications.
- Trans cranial technologies ltd. 2012. 2410 Fortis Tower. 77-79 Glousester Road. Wanchai. Hong Kong.
- Vidal, J. 1973. “Towards Direct Brain-Computer Communication”. Brain Research Institute. University of California. Los Angeles. California.
- Wolpaw, J.R, N. Birbaumer, D. J. McFarland, G. Pfurtscheller and V. M. Theresa. 2002. Brain–computer interfaces for communication and control. Laboratory of Nervous System Disorders, Wadsworth Center, New York State Department of Health, P.O. Box 509, Empire State Plaza, Albany, NY 12201-0509, USA. p 769.

- Zannos, I. 2005. A Very Step-By-Step Guide to SuperCollider (c) Draft.
- Διαμαντόπουλος, Τ. 2014. Η Μουσική των Υπολογιστών. εκδ. Ίων. pp 273-279.

Ιστότοποι

- http://joeleaton.co.uk/wp-content/uploads/2013/07/in-tune.png
- http://neuromusic.soc.plymouth.ac.uk/images/bci_music.jpg
- http://yeechieh.com/images/museegk.jpg?crc=3943083856
- https://en.wikipedia.org/wiki/NeuroSky#/media/File:NeuroSky_MindWaveDiagram_Low.jpg
- https://github.com/humanbeing1981/xnoia_project_source
- https://github.com/lihas/NeuroPy

Εικόνες

- Εικόνα 1 http://joeleaton.co.uk/wp-content/uploads/2013/07/in-tune.png
- Εικόνα 2 http://neuromusic.soc.plymouth.ac.uk/images/bci_music.jpg
- Εικόνα 3 http://yeechieh.com/images/museegk.jpg?crc=3943083856
- Εικόνα 4 https://en.wikipedia.org/wiki/NeuroSky#/media/File:NeuroSky_MindWaveDiagram_Low.jpg
- Εικόνα 5 Δημιουργία σχεδιαγράμματος.
- Εικόνα 6 Screenshot χρήσης του πρότζεκτ κατά την διάρκεια screencast.
- Εικόνα 7 Το background του πρότζεκτ.