

-Pi loop console-

Στάδιο 1: Έρευνα και Σχεδιασμός

[Μελισσάς Πασχάλης]

-Νοέμβριος 2020-

Περιεχόμενα Εγγράφου

1. Ανάλυση	3
1.1 Η ιδέα	3
1.2 Εργαλεία ανάπτυξης.....	3
Υλικός Φορέας(Hardware)	3
Λογισμικό(Software)	4
1.3 Προεπισκόπηση σχετικών εφαρμογών(State of the art)	6
1.4 Σχεδιασμός λειτουργιών σχετικά με το λογισμικό (Software)	6
Instrument signal	6
SoundBank(Προ-ηχογραφημένοι ήχοι)	7
Loop station	7
Effects	7
Master settings.....	7
Menu for saving presets/sessions if a screen will be included in hardware	7
1.5 Σχεδιασμός φυσικής διεπαφής (Hardware).....	7
Instrument signal	8
SoundBank(Προ-ηχογραφημένοι ήχοι)	8
Loop station	9
Effects	11
Master settings.....	11
Menu for saving presets/sessions if a screen will be included in hardware	11
1.6 Στόχος	11
Εναλλακτικό-(auto - machine drum)	12

1.Ανάλυση

Στο παρών έγγραφο αναλύεται η κεντρική ιδέα η οποία παρατάθηκε ως εναλλακτική πρόταση του θέματος προς ανάθεση της διπλωματικής μου εργασίας.

1.1 Η ιδέα

Η κεντρική ιδέα αφορά την ανάπτυξη μιας κονσόλας (κοινώς ως πεταλιέρα) μέσω της οποίας ο υποθετικός χρήστης, ως μουσικός θα έχει την δυνατότητα να δημιουργεί/αναπαράγει/επεξεργάζεται-παρουσιάζει μουσικό περιεχόμενο σε πραγματικό χρόνο. Η κονσόλα αυτή απευθύνεται αποκλειστικά σε μουσικούς, και η μέθοδος ανάπτυξης της ως πτυχιακή εργασία αναλύεται στο λογισμικό(1) και στο υλικό(2) του μέρους.

(1) Ανάπτυξη ενός συστήματος ψηφιακής επεξεργασίας ήχου σε πραγματικό χρόνο, μέσω της χρήσης ψηφιακών προγραμμάτων μεταφορτωμένα σε τοπικό υπολογιστή μικρού μεγέθους, καθώς και

(2) κατασκευή μιας διεπαφής ως μέσο διασύνδεσης του ψηφιακού συστήματος προς τον χρήστη η οποία θα δίνει την δυνατότητα σε αυτόν να αλληλοεπιδρά με το ψηφιακό πρόγραμμα με φυσικό τρόπο.

1.2 Εργαλεία ανάπτυξης

Τα εργαλεία ανάπτυξης διακρίνονται σε αυτά του υλικού φορέα καθώς και σε αυτά που αφορούν την ανάπτυξη του λογισμικού.

Υλικός Φορέας(Hardware)

Αναλυτικότερα και προς επεξήγηση των παραπάνω, δεδομένου ότι το λογισμικό που αναμένεται να αναπτυχθεί με σκοπό την υλοποίηση των λειτουργιών που ορίζονται παρακάτω, δύναται να μεταφορτωθεί σε ένα μικρό-υπολογιστή (rasberry pi) “μεγέθους μίας πιστωτικής κάρτας”, δίνεται εν κατακλείδι η δυνατότητα δημιουργίας μιας κονσόλας, η οποία ως προς το υλικό της κομμάτι, θα αποτελείται από:

- Ένα μικρό-υπολογιστή *rasberry pi* στο οποίο θα μεταφορτωθεί το προς ανάπτυξη ψηφιακό πρόγραμμα μέσω του οποίου θα υλοποιούνται οι λειτουργίες της κονσόλας ως προς το κομμάτι της επεξεργασίας του ήχου.

Το μοντέλο που διατίθεται για την παρούσα εργασία είναι το [Raspberry Pi 3b v1.2](#)

- Μία κάρτα ήχου η οποία θα επιτρέπει την ενσωμάτωση ηχητικών εισόδων και εξόδων στο σύστημα, επιτρέποντας τη διασύνδεση μικροφώνου και μουσικών οργάνων μέσω καλωδίων jack/xlr, καθώς και μέσω αυτής θα παρέχεται η έξοδος της κονσόλας προς τα ακουστικά/ηχεία/ενισχυτή μέσω καλωδίων jack/rca. Η επιλογή της κάρτας ήχου θα καθορίσει και της προδιαγραφές των ηχητικών εισόδων και των εξόδων του συστήματος.

Η δημοφιλέστερη επιλογή κάρτας ήχου προς ενσωμάτωση στην κονσόλα είναι η [behringer u-phoria um2](#) λόγω του ότι συνδυάζει ικανοποιητικές προδιαγραφές σε σχέση με την τιμή της, καθώς και αναγνωρίζεται από το λειτουργικό του Raspberry pi.

Εναλλακτικές επιλογές : [miditech audiolink light](#) , [behringer u-phoria umc202](#)

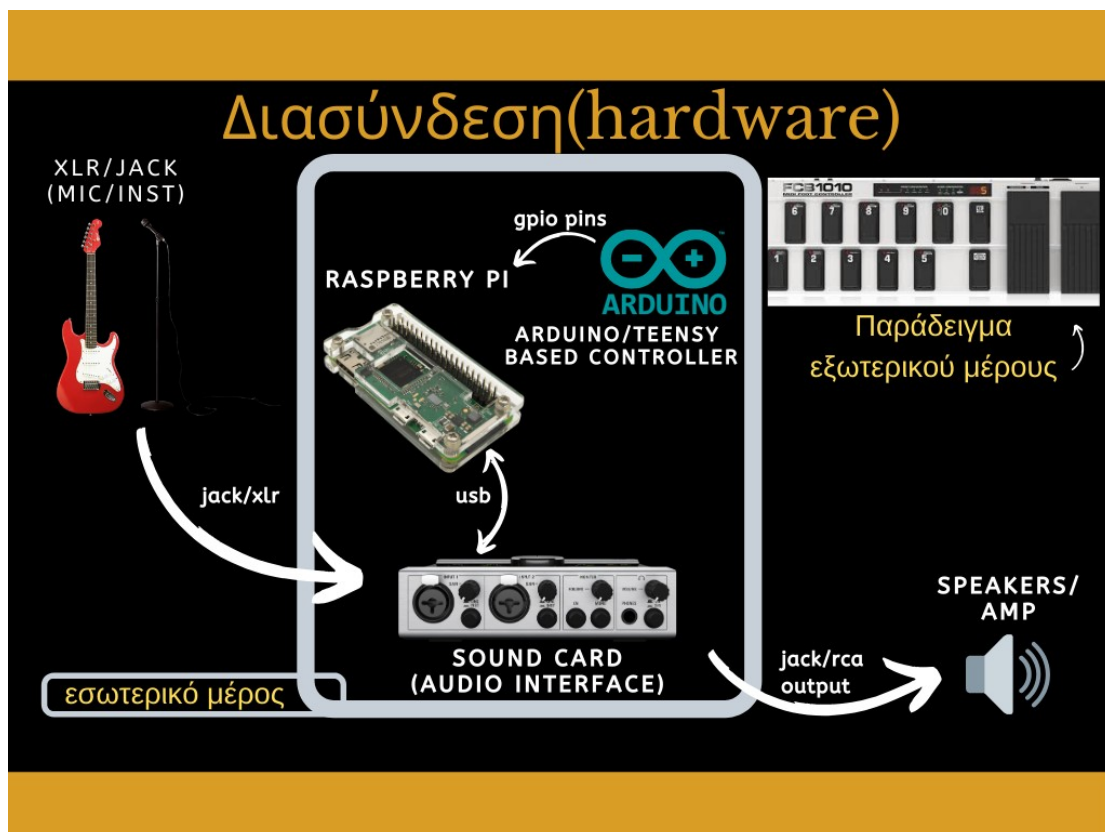
****είναι η έξοδος των ακουστικών της εκάστοτε κάρτας ήχου πιθανή επιλογή εξόδου της κονσόλας?**

- Ένα μικρό-ελεγκτή (Arduino/teensy)οποίος θα διασυνδέει τις διεπαφές (κουμπιά-πλήκτρα κονσόλας και ποτενσιόμετρα με τα οποία θα αλληλοεπιδρά ο χρήστης με

φυσικό τρόπο) με τον μικρό-υπολογιστή, όπου και οι ενέργειες του χρήστη θα μεταφέρονται στο ψηφιακό πρόγραμμα ως ορίσματα πυροδοτώντας τις λειτουργίες που αυτό προγραμματίστηκε να διεκπεραιώνει σε πραγματικό χρόνο(στην πραγματικότητα με μικρή καθυστέρηση, μικρότερη της τάξης των 10ms). *Ο ρόλος του θα μπορούσε εύκολα να αντικατασταθεί από ένα κοινό midi controller, πλήκτρα με έξοδο midi ή ακόμη και το ποντίκι του υπολογιστή, παρόλα αυτά η εκ νέου υλοποίηση του μας παρέχει δυνατότητες σχεδιασμού του συστήματος, καθώς και την συγκεντρωτική ενσωμάτωση όλων των συνισταμένων εργαλείων σε ένα και μοναδικό προϊόν, αυτό της κονσόλας την οποία σχεδιάζουμε.

- Παρελκόμενα όπως ποτενσιόμετρα, κουμπιά, καλώδια καθώς και η επένδυση(εξωτερικό μέρος) της διεπαφής.

Στην παρακάτω εικόνα παρατίθεται μια σχηματική αναπαράσταση της διασύνδεσης του υλικού μέρους (hardware) προς σαφέστερη παρουσίαση του τρόπου διασύνδεσης των εργαλείων μέσω των οποίων αναμένεται αυτή να επιτευχθεί.



Λογισμικό(Software)

Τα εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν για τη ανάπτυξη του λογισμικού είναι τα ακόλουθα:

Pure-Data C++

Μεγάλο μέρος της εργασίας αφορά την ψηφιακή επεξεργασία σήματος με απώτερο στόχο την υλοποίηση των λειτουργιών του συστήματος τα οποία και αναλύονται στο παρακάτω υπό-κεφάλαιο. Για την υλοποίηση των λειτουργιών αυτών θα χρησιμοποιηθεί η ~~ελεύθερο λογισμικού γλώσσα οπτικού προγραμματισμού~~ Pure-Data C++. Η ανάπτυξη του κώδικα θα υλοποιείται στο λειτουργικό σύστημα των Windows, ενώ ο έλεγχος της επίδοσης-απόδοσης

θα πραγματοποιείται στον τελικό φορέα του προγράμματος ο οποίος όπως προαναφέρθηκε ορίστηκε να είναι η συσκευή raspberry pi.

Πρόληψη καθυστέρησης μέσω προγραμμάτων και ρυθμίσεων στο Raspberry Pi

Η μεγαλύτερη πρόκληση της ανάπτυξης του συστήματος αυτού είναι η εφαρμογή των λειτουργιών που ορίστηκαν να πραγματοποιούνται σε πραγματικό χρόνο(με πολύ μικρή συνολική καθυστέρηση από την είσοδο του συστήματος έως την έξοδο - της τάξης των λίγων χιλιοστών του δευτερολέπτου < 25 ms - Hass). Προκειμένου η μεταφορά των σημάτων σήματος από την κάρτα ήχου στο Raspberry pi(είσοδος) και αντιστρόφως(έξοδος) να επιτυγχάνεται με την ελάχιστη καθυστέρηση, θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό του [jackaudio](#) το οποίο παρέχει υπηρεσίες μικρής καθυστέρησης μεταφοράς του σήματος. Σημειωτέων πως στη συσκευή του μικρό-υπολογιστή Raspberry Pi πέρα από τη φυσική διασύνδεση της κάρτας ήχου, δεν θα συνδεθεί καμία εξωτερική συσκευή (πχ. οθόνη, ποντίκι, πληκτρολόγιο – γνωστό ως headless setup) ενώ η σύνδεση στη συσκευή πραγματοποιείται διαμέσω τοπικού δικτύου επιτυγχάνοντας σύνδεση SSH(διασύνδεση με τερματικό του λειτουργικού συστήματος της συσκευής - terminal) καθώς και μέσω VNC(διασύνδεση με γραφικό περιβάλλον συσκευής).

Επιπλέον σε περίπτωση που επεκτείνοντας τις δυνατότητες του λογισμικού, η απόδοση μικρής καθυστέρησης εκ του αποτελέσματος παρουσιάζει αστάθεια και αποτελεί περιορισμό του συστήματος αποτρέποντας την χρησιμότητά του, παρουσιάζεται μια αμφιβόλου αποτελεσματικότητας λύση ως εναλλακτική αξία δοκιμής. Διαμόρφωση του λειτουργικού συστήματος ώστε να επεξεργάζεται τις ουρές διεργασιών χωρίς διακοπές και με υψηλή προτεραιότητα(patchd Soft Real Time Kernel in Ubuntu/Debian) με στόχο να παρέχουμε σταθερότερο χρόνο καθυστέρησης, διεκπεραίωσης των διεργασιών, αποτρέποντας παράλληλα οποιαδήποτε διακοπή του επεξεργαστή κατά την εξυπηρέτηση των ορισμένων αυτών διεργασιών. Η επιλογή αυτή δεν θα ελαττώσει απαραίτητα την συνολική καθυστέρηση, παρά θα παρέχει σταθερότερο χρόνο καθυστέρησης, για αυτό και παρουσιάζεται ως εναλλακτική σε περίπτωση αστάθειας του συστήματος ως προς ζήτημα αυτό, και όσο οι λειτουργίες και παράλληλα ο φόρτος διεργασιών επεκτείνεται. Παρόλα αυτά η επιλογή αυτή και ευτυχώς, δεν κρίνεται απαραίτητη σε αρχικό στάδιο της εργασίας.

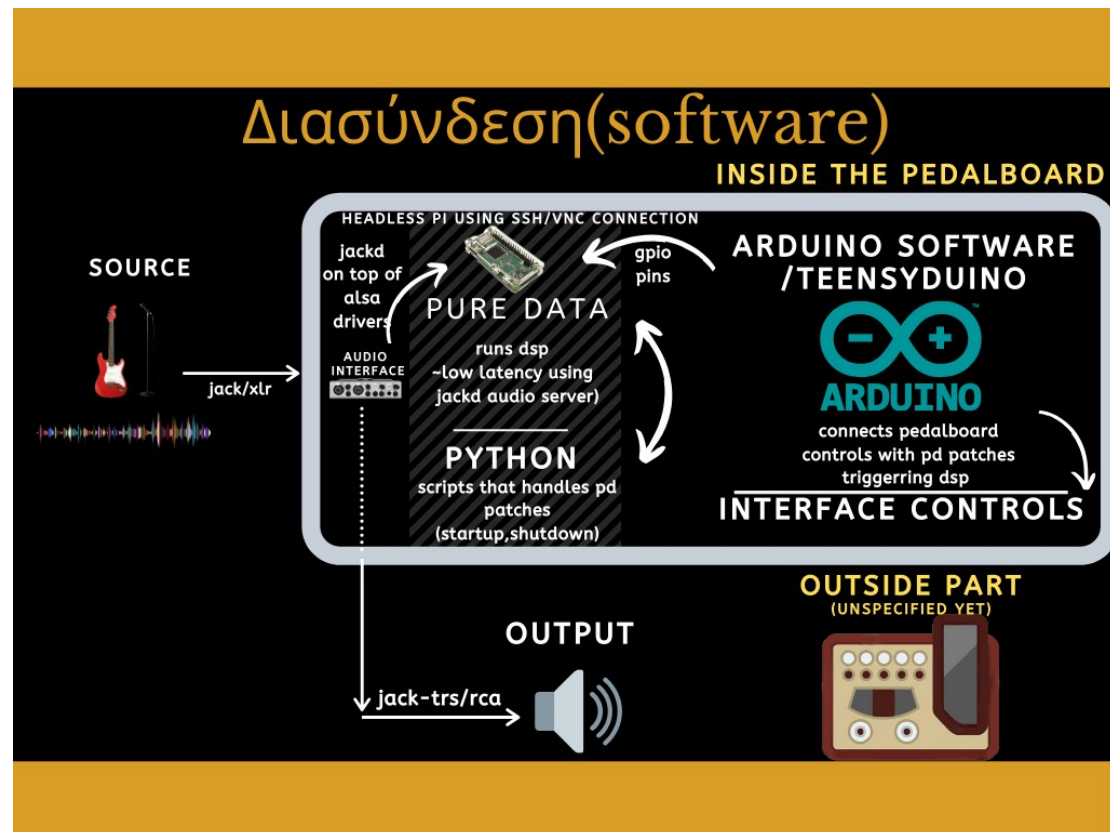
Python

Δεδομένου ότι κατά την οριστικοποίηση του λογισμικού μέρους, αναγκαία κρίνεται η αυτοματοποίηση ορισμένων διεργασιών , όπως πχ όταν ανοίγει ή κλείνει η κονσόλα. Για τέτοιου είδους διεργασίες, κρίνεται απαραίτητη η σύνταξη των κατάλληλων scripts μέσω των οποίων θα εκτελούνται εντολές ρουτίνας με σκοπό να διαχειρίζονται τα αρχεία Pure Data, για το προκείμενο παράδειγμα να ανοίγει το αρχικό αρχείο και να καθιστά την κονσόλα ενεργή και έτοιμη προς λειτουργία ή να κλείνει τα αρχεία για λόγους ασφάλειας και ακεραιότητας του λογισμικού και την κονσόλα αντίστοιχα. Βάση επισκόπησης σχετικών εφαρμογών, μέσω της γλώσσας Python, παρέχεται η δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ των προγραμμάτων.

Arduino Software/Teensyduino

Για την διασύνδεση της διεπαφής με το πρόγραμμα στο εσωτερικό του, θα χρειαστεί να γραφεί κώδικας κατάλληλος οποίος θα διασυνδέει κάθε πλήκτρο ή ποτενσιόμετρο πυροδοτώντας τις συναρτήσεις του προγράμματος (Pure Data) παρέχοντας λειτουργικότητα στο σύστημα.

Στην παρακάτω εικόνα παρατίθεται μια σχηματική αναπαράσταση της διασύνδεσης του λογισμικού μέρους (software) προς σαφέστερη παρουσίαση του τρόπου διασύνδεσης των εργαλείων ανάπτυξης του λογισμικού.



1.3 Προεπισκόπηση σχετικών εφαρμογών(State of the art)

Σχετικές εφαρμογές παρατίθενται στους παρακάτω συνδέσμους:

[Looper with Pure Data](#)

[Looper-synth-drum-thing](#)

[theLoopPI](#)

1.4 Σχεδιασμός Λειτουργιών σχετικά με το λογισμικό (Software)

Η ανάλυση του λογισμικού που παρατίθεται στο παρών κεφάλαιο θα συμπυκνωθεί στο κεφάλαιο των στόχων του τελικού εγγράφου αναφοράς. Οι λειτουργίες που παρατίθενται, παρουσιάζονται προς εξυπηρέτηση ενός γενικότερου πλάνου το οποίο ενδέχεται να αλλάξει κατά την υλοποίησή του. Επίσης η κάθε μία λειτουργία αποτελεί και από προγραμματιστική πλευρά μια ξεχωριστή «κλάση».

Instrument signal

Δυνατότητα ενσωμάτωσης μικροφώνου καθώς και μουσικών οργάνων, ανάλογα με τις δυνατότητες της κάρτας ήχου που θα επιλέξουμε προς ενσωμάτωση στο σύστημα.

SoundBank(Προ-ηχογραφημένοι ήχοι)

Δυνατότητα αναπαραγωγής προεπιλεγμένων ήχων, πιθανότατα ομαδοποιημένων θεματικά (keys, synths, drums1, drums2, ...).

Loop station

Υλοποίηση λειτουργίας επαναλαμβανόμενης αναπαραγωγής ηχητικών δειγμάτων για πολλαπλά κανάλια αναπαραγωγής με δυνατότητα επανεγγραφής(overdub). Τα ηχητικά δείγματα δύναται να είναι είτε προ-ηχογραφημένα samples είτε εισερχόμενα εκ των φυσικών οργάνων σήματα.

Effects

Δυνατότητα ενσωμάτωσης ποικίλων εφέ είτε κατά την αναπαραγωγή , είτε κατά την ηχογράφηση.0

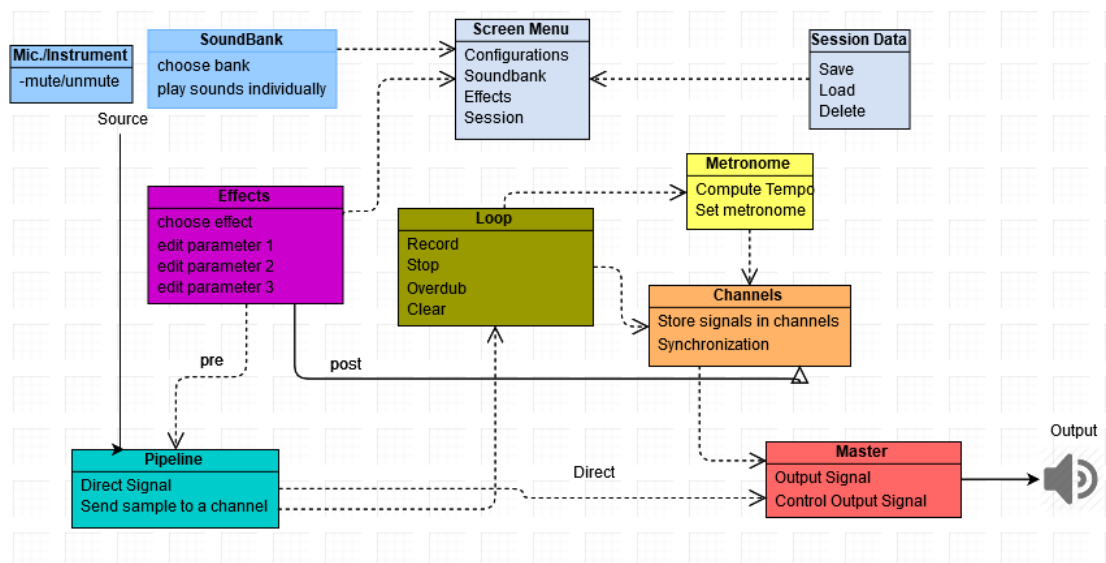
Master settings

Δυνατότητα διαχείρισης του τελικού (master) καναλιού ο οποίος και θα φέρει το σύνολο του ηχητικού περιεχομένου. Οι βασικότερες ρυθμίσεις θα ήταν φυσικά η στάθμη αναπαραγωγής, καθώς και πιθανότατα ένας ισοσταθμιστής.

Menu for saving presets/sessions if a screen will be included in hardware

Δυνατότητα έναρξης μίας «συνεδρίασης(session)», αποθήκευσης των αναπαραγόμενων ηχητικών δειγμάτων, καθώς και ανάκτηση παλαιότερων συνεδριάσεων.

Οι βασικές «κλάσεις» του προγράμματος σε σχεδιαστικό επίπεδο πρώτου καθώς και η διασύνδεση τους διαφαίνονται στην παρακάτω εικόνα :



1.5 Σχεδιασμός φυσικής διεπαφής (Hardware)

Η ανάλυση του κεφαλαίου αυτού γίνεται επιγραμματικά καθώς και σε υποθετικό επίπεδο, προκειμένου να πραγματοποιηθεί ένας προσεγγιστικός σχεδιασμός πρώτου σταδίου μιας και ο τελικός σχεδιασμός του θα καθοριστεί από τις λειτουργίες που αφορούν το λογισμικό που προηγείται χρονικά από άποψη υλοποίησης. Παρόλα αυτά ο προσεγγιστικός αυτός σχεδιασμός εξυπηρετεί την ανάπτυξη του λογισμικού μιας και θέτει προκαθορισμένους στόχους αλληλεπίδρασης μεταξύ των δύο.

Instrument signal

Στάθμες μικροφώνου καθώς και μουσικών οργάνων διασυνδεδεμένα στην κονσόλα θα δύναται να διαμορφωθούν μέσω των ρυθμίσεων της κάρτας ήχου, συνεπώς δεν χρήζεται απαίτηση περεταίρω διεπαφών προς ενσωμάτωση στο σύστημα. Παρόλα αυτά 1 κουμπί (button) για κάθε ένα από τα κανάλια εισόδου της κάρτας ήχου, το οποίο θα έθετε ως ενεργό/ανενεργό το κανάλι εισόδου στο λογισμικό σύστημα πιθανότατα θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την υλοποίηση της λειτουργίας looping , καθώς επίσης θα έδινε τη δυνατότητα άμεσης σίγασης σε περίπτωση που πχ. θα επιθυμούσαμε τη σίγαση του μικροφώνου προκειμένου να αποφευχθεί ανεπιθύμητος θόρυβος στα κανάλια εγγραφής.

Απαιτήσεις: 2 κουμπιά (buttons) [προαιρετικά]

SoundBank(Προ-ηχογραφημένοι ήχοι)



Προ-ηχογραφημένοι ήχοι (samples) σε μορφή δειγμάτων ομαδοποιημένοι κατά x δείγματα, θα απαιτήσουν x αριθμό κουμπιών-πλήκτρων(buttons) κάθε ένα από τα οποία θα αντιστοιχεί και σε ένα ξεχωριστό ήχο. Η ανακατεύθυνση σε διαφορετική ομάδα δειγμάτων, ανάλογα με τον τρόπο υλοποίησης, θα απαιτήσει 1-2 κουμπιά επιπλέον. Θεωρούμε πως οι στάθμες των δειγμάτων ρυθμίστηκαν κατά την αποθήκευση τους στην μνήμη του συστήματος και διαχειρίζονται από ένα και μοναδικό ρυθμιστή στάθμης.

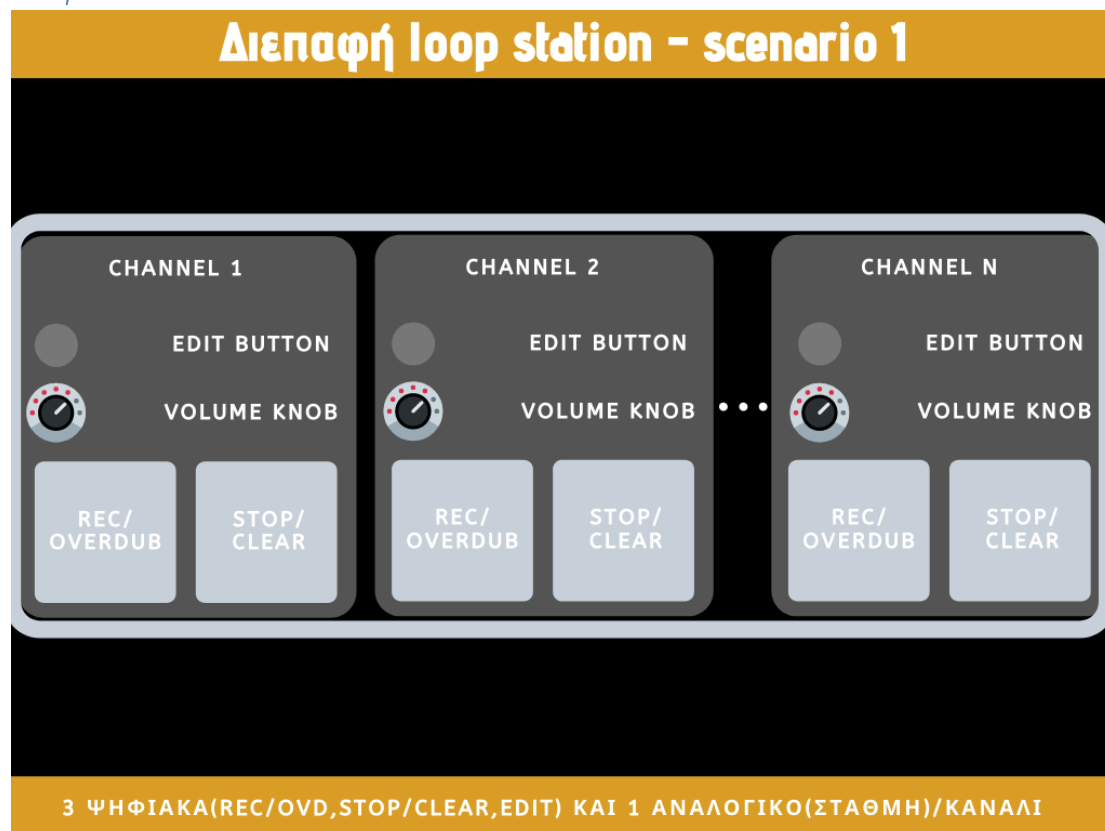
* [Εναλλακτικές λύσεις](#) σύνδεσης εξωτερικής συσκευής ως midi controller στις εισόδους του συστήματος(απευθείας στο gri) είναι επίσης άξιες προσοχής μιας και όσον αφορά το παρούσα λειτουργία θα επεκτείνουν τις δυνατότητες του συστήματος δραστικά.

Απαιτήσεις: X+1/X+2

Loop station

Η υλοποίηση αυτή ως προς τον σχεδιασμό της διεπαφής της αναλύθηκε σε πιθανά σενάρια τα οποία, καθοριστικώς εξαρτώνται από την υλοποίηση του λογισμικού το οποίο αναμένεται να υλοποιηθεί στο πρώτο στάδιο της εργασίας. Παρόλα αυτά ο σχεδιασμός τους μας παρέχει σαφέστερους στόχους υλοποίησης του λογισμικού, καθώς επίσης μας δίνει μια γενική εικόνα σχετικά με τις μελλοντικές ανάγκες του συστήματος κατά το δεύτερο στάδιο υλοποίησης, αυτό του υλικού φορέα της κονσόλας. Το κουμπί “edit” στις παρακάτω εικόνες αφορά την δυνατότητα ενσωμάτωσης εφέ στο εκάστοτε κανάλι, είτε κατά την ηχογράφηση, είτε κατά την αναπαραγωγή.

Σενάριο 1:



Σενάριο 2:

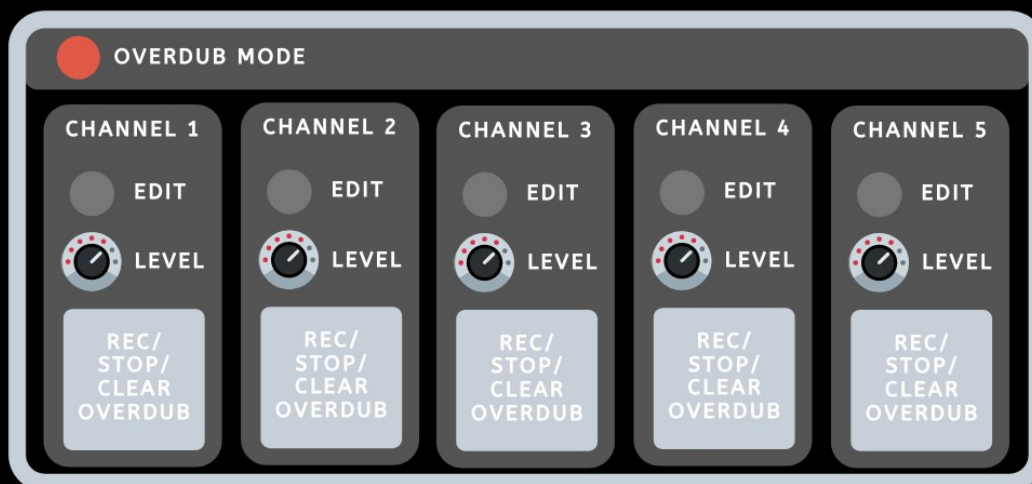
Διεπαφή loop station - scenario 2



3 ΨΗΦΙΑΚΑ(REC/OVD,STOP/CLEAR,EDIT) ΚΑΙ 1 ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ(ΣΤΑΘΜΗ)/ΚΑΝΑΛΙ
1 ΨΗΦΙΑΚΟ ΓΙΑ ΟΛΑ

Σενάριο 3:

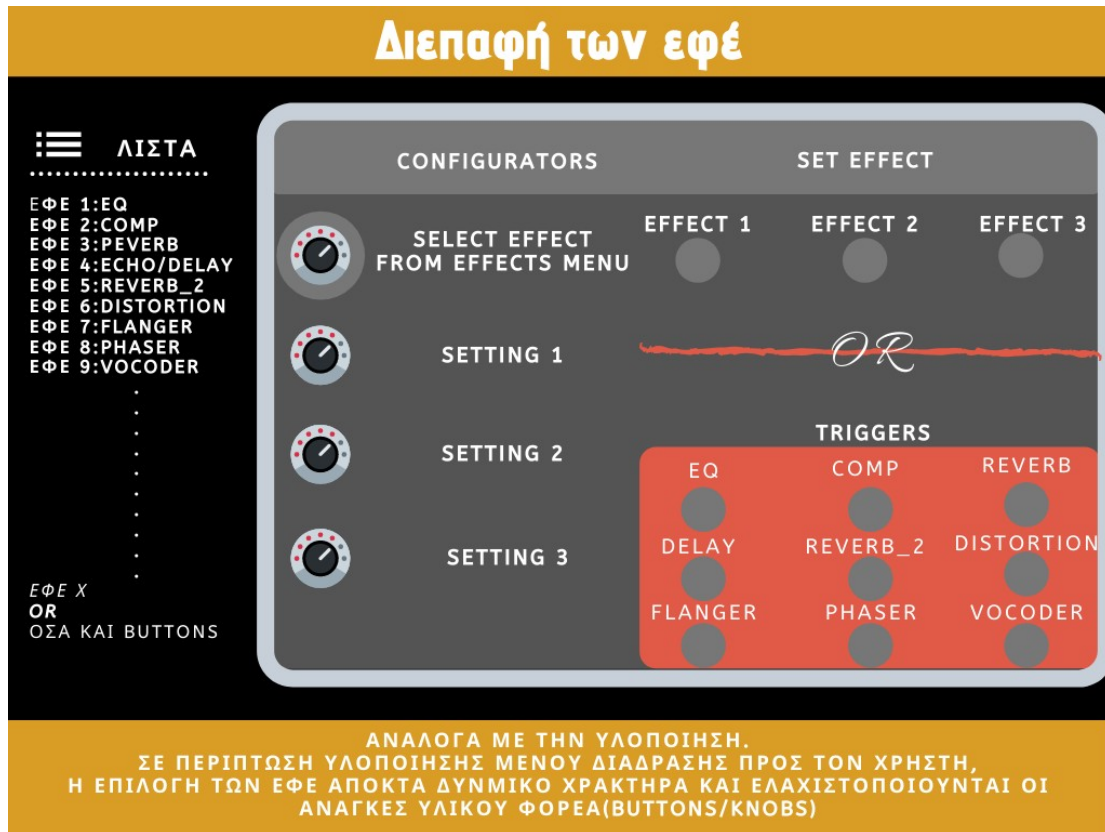
Διεπαφή loop station - scenario 3



2 ΨΗΦΙΑΚΑ(REC/STOP/CLEAR/OVD,EDIT) ΚΑΙ 1 ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ(ΣΤΑΘΜΗ)/ΚΑΝΑΛΙ
1 ΨΗΦΙΑΚΟ ΓΙΑ ΟΛΑ

Effects

Στην παρακάτω εικόνα διαφαίνονται ταυτόχρονα δύο διαφορετικά σενάρια σχεδιασμού. Στο πρώτο (SET EFFECT) 3 διεπαφές ορίζονται εκ νέου μέσω του μενού σε κάθε συνεδρίαση προκειμένου να προσδιορίσουν το επιθυμητό εφέ καθώς και τις ρυθμίσεις του. Στο δεύτερο (TRIGGERS) x σε πλήθος κουμπιά αντιστοιχούν ένα προς ένα σε x πλήθους εφέ.



Master settings

Η διεπαφή του κύριου καναλιού(master) οφείλει να έχει ένα αναλογικό κουμπί(knob) προς ρύθμιση της στάθμης του ήχου για όλα τα κανάλια που αναπαράγονται.

Menu for saving presets/sessions if a screen will be included in hardware

Η υλοποίηση μενού απαιτεί την ενσωμάτωση μιας οθόνης διάδρασης στην κονσόλα, παρέχοντας στον χρήστη βασικές λειτουργίες όπως επιλογή εφέ, αποθήκευση προεπιλογών, συνεδριάσεων(sessions) ώστε να μπορεί να αποθηκεύσει/ανακτήσει νέα/παλαιότερα έργα κτλ.

1.6 Στόχος

Πρωταρχικός στόχος είναι η επιτυχημένη ολοκλήρωση όλων των βημάτων προκειμένου να αναπτυχθεί η κονσόλα την οποία σχεδιάσαμε. Η μεγαλύτερη πρόκληση της ανάπτυξης του συστήματος αυτού είναι η μικρή καθυστέρηση η οποία οφείλουμε να επιτύχουμε η οποία και παίζει καθοριστικό ρόλο στην χρηστικότητα της συσκευής αυτής. Παρόλα αυτά η διασύνδεση του υλικού φορέα με το λογισμικό είναι μια ακόμη πρόκληση, μιας και παρόλο που βάση μελέτης μέρος του υλικού φορέα (gri, κάρτα ήχου) πληρεί τις προδιαγραφές του συστήματος, η επιλογή πολλών απαραίτητων εξαρτημάτων (επιλογή μικρό-ελεγκτή – Arduino ή teensy , κουμπιά , ποτενσιόμετρα, καλώδια, θήκη) παραμένει απροσδιόριστη. Παρόλα αυτά μιας και η δυνατότητα διασύνδεσης είναι εφικτή βάση μελέτης πληθώρας

σχετικών εφαρμογών, θεωρούμε πως ο προσδιορισμός της θα ήταν καλύτερο να γίνει αφού ολοκληρωθεί με επιτυχία η ανάπτυξη του λογισμικού το οποίο σχεδιάσαμε.

Δεδομένης της επιτυχίας των παραπάνω βημάτων, ένας επιπλέον στόχος, ο οποίος θα προσδώσει φορητότητα στο σύστημα μας, είναι η ενσωμάτωση επαναφορτιζόμενης μπαταρίας, προκειμένου να μπορεί να ενσωματώνεται σε φορητά συστήματα.

Εναλλακτικό-(auto - machine drum)

Εν κατακλείδι, εναλλακτικό θέμα εργασίας θα μπορούσε να είναι η ανάπτυξη κώδικα αυτοματοποίησης της λειτουργίας που ενσωματώνει προ-ηχογραφημένους ήχους κατά την παρουσίαση μουσικού περιεχομένου του χρήστη, με τρόπο τέτοιο ώστε από μουσικολογική άποψη να επιτυγχάνεται μια αυτοματοποιημένη ενορχήστρωση τυμπάνων σε συγχρονισμό με το ηχητικό περιεχόμενο που εισάγει ο χρήστης παίζοντας κάποιο φυσικό όργανο διασυνδεδεμένο με την κονσόλα. Μια τέτοια εφαρμογή θα όφειλε να είναι ικανή να αναγνωρίζει το τέμπο και το ρυθμό, κατά τη διάρκεια εισόδου σήματος στο σύστημα, ενώ παράλληλα να είναι ικανό να συνθέτει αυτόματα τους προ-ηχογραφημένους ήχους ντραμς. Παραδείγματος χάρη, παίζοντας κιθάρα σε ακαθόριστο τέμπο, να προστίθενται αυτόματα τα ντραμς. Η παροχή μιας σχετικής λειτουργίας, θα μπορούσε υποθετικά να ενσωματωθεί επιπροσθέτως όλων των παραπάνω, παρέχοντας στον χρήστη ένα εναλλακτικό τρόπο χρήσης της κονσόλας η οποία θα του προσέφερε μεγαλύτερη ελευθερία έκφρασης και θα προσέδιδε καινοτομία στην κονσόλα την οποία σχεδιάσαμε. Παρόλα αυτά η ενσωμάτωση μιας τέτοιας λειτουργίας θα ήταν εφικτή εφ' όσον αφ' ενός α) πετυχαίναμε υλοποίηση η οποία κρινόταν εκ' του αποτελέσματος χρηστική (καλή απόδοση-λίγα σφάλματα), β) οι επεξεργαστικές δυνατότητες του συστήματος μας το επέτρεπαν μιας και οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου αποτελούν μεγάλη πρόκληση σε επεξεργαστικό επίπεδο(πέρα από το ζήτημα της αποδοτικής υλοποίησης). Παρόλα αυτά δεν έχει γίνει σχετική μελέτη γύρω από αυτό το θέμα, αλλά ακόμη και σε αντίθεση με το θέμα το οποίο παρουσιάστηκε στο παρών έγγραφο, δεν έγινε ανασκόπηση σχετικών εφαρμογών προκειμένου να μας γνωστοποιεί πως μια τέτοιου είδους εφαρμογή είναι χρηστικά εφικτή.