



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

ELEKTROAKUSTICKÝ HARDWAROVÝ HUDEBNÍ NÁSTROJ - SAMPLER S NEOBVYKLÝMI OVLADAČI

ELECTROACOUSTIC HARDWARE MUSICAL INSTRUMENT - SAMPLER WITH UNUSUAL CONTROLS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Dudáš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MgA. Mgr. Dan Dlouhý, Ph.D.

BRNO 2022

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Audio inženýrství**
specializace Zvuková produkce a nahrávání
Ústav telekomunikací

Student: Martin Dudáš

ID: 221463

Ročník: 3

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Elektroakustický hardwarový hudební nástroj - sampler s neobvyklými ovladači

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem je realizovat experimentální elektroakustický hudební nástroj, jehož kompletní návrh byl proveden v rámci semestrální práce. Neobvyklost řešení spočívá v možnosti řídit přehrávání uživatelem vložených zvukových vzorků nejen pomocí klaviatury, ale i změn světla a vzdálenosti; lze využít i mikrointervalové ladění.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] GUŠTAR, M., Elektrofony II. Uvnitř, Praha, 2008. ISBN 978-80-239-8447-7.
- [2] FORRÓ D., Svět MIDI. Grada, Praha, 1997. 375s. ISBN 80-7169-412-6.

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 31.5.2022

Vedoucí práce: doc. Ing. MgA. Mgr. Dan Dlouhý, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Schimmel, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Bakalárska práca popisuje návrh a realizáciu elektroakustického hardvérového nástroja s neobvyklým ovládaním. Experimentálnosť nástroja tvorí napríklad ovládanie parametrov na základe okolitého svetla alebo ovládanie parametrov pohybom ruky. Hlavnú časť nástroja tvorí vývojová doska Arduino ktorá rozoznieva modulárny syntetizér Sunvox na mikropočítači Raspberry Pi. Komunikácia medzi Arduino a syntetizérom prebieha pomocou MIDI správ. Softvérová časť je naprogramovaná vo vývojovom prostredí Arduino IDE v jazyku C++.

KEUČOVÉ SLOVÁ

Arduino, Raspberry Pi, experimentálny, nástroj, mikrotonalita, MIDI, Sunvox, C++, analógový, digitálny

ABSTRACT

This bachelor thesis describes the design and implementation of an electroacoustic hardware instrument with unusual controls. The experimentalism of the instrument consist of, for example, parameter control based on surrounding light or parameter control by hand movement. The main part of the instrument is the Arduino development board, which controls the Sunvox modular synthesizer on the Raspberry Pi microcomputer. Communication between the Arduino and the synthesizer takes place via MIDI messages. The software part is programmed in the Arduino IDE development environment in C++.

KEYWORDS

Arduino, Raspberry Pi, experimental, instrument, microtonality, MIDI, Sunvox, C++, analog, digital

DUDÁŠ, Martin. *Elektroakustický hardwarový hudební nástroj – sampler s neobvyklými ovladači* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-30]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/141309>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce Dan Dlouhý.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Martin Dudáš
VUT ID autora: 221463
Typ práce: Bakalářská práce
Akademický rok: 2021/22
Téma závěrečné práce: Elektroakustický hardwarový hudební nástroj
– sampler s neobvyklými ovladači

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcemu bakalárskej práce pánovi doc. Ing. MgA. Mgr. Danovi Dlouhému, PhD. za trpezlivosť, odborné vedenie práce a veľmi pomocné rady pri jej realizácii.

Brno

.....

podpis autora*

OBSAH

1. ÚVOD	10
2. TEORETICKÁ ČASŤ	11
2.1 SYNTÉZA.....	11
2.1.1 Subtraktívna syntéza	11
2.1.2 Aditívna syntéza	11
2.1.3 FM syntéza.....	12
2.2 SYNTETIZÁTOR.....	12
2.2.1 Oscilátory.....	12
2.2.2 Filtre a zosilňovače.....	13
2.2.3 Obálka.....	13
2.2.4 Nizkofrekvenčný oscilátor	14
2.1 SAMPLER.....	15
2.2 MIDI.....	16
2.2.1 Rozdelenie MIDI správ	16
2.2.2 Note on/Note off.....	17
2.2.3 Aftertouch.....	18
2.2.4 Control change.....	18
2.2.5 Controller messages.....	18
2.2.6 Pitch bend	18
2.3 STUPNICA.....	18
2.3.1 Oktáva.....	19
2.3.2 Základné rozdelenie stupníc.....	19
2.3.3 Chromatická stupnica	19
2.3.4 Diatonická stupnica	20
2.4 MIKROTONÁLNA HUDBA	20
2.5 MIKROKONTROLÉR	21
2.6 MIKROPOČÍTAČ	21
2.6.1 Single-chip	21
2.6.2 Multi-chip.....	21
2.7 ARDUINO.....	22
2.7.1 História	22
2.7.2 Hardvér.....	23
2.7.3 Softvér	23
2.8 RASPBERRY PI.....	24
2.8.1 História	24
2.8.2 Hardvér.....	25
2.8.3 Softvér	26
2.9 FOTOREZISTOR	26
2.9.1 Typy fotorezistorov.....	27
2.9.2 Závislosť vlnovej dĺžky	28
2.9.3 Citlivosť.....	28
2.9.4 Odozva	29
2.10 PROXIMITY SENZOR	29
2.10.1 Typy proximity senzorov.....	29
2.11 FUSION 360	31

2.12	SUNVOX	31
2.12.1	<i>Pridávanie nových modulov</i>	32
2.12.2	<i>Vlastnosti modulov</i>	33
3.	NÁVRH NÁSTROJA	34
3.1	ŠTRUKTÚRA NÁSTROJA V DIGITÁLNO M SYNTETIZÁTORE SUNVOX	34
3.1.1	<i>Pridávanie nových samplov</i>	34
3.2	OVLÁDACIE PRVKY NÁSTROJA	36
3.2.1	<i>Klaviatura</i>	36
3.2.2	<i>Potenciometre</i>	36
3.2.3	<i>Tlačidlá</i>	36
3.2.4	<i>Fotorezistor</i>	36
3.2.5	<i>Proximity senzor</i>	36
3.2.6	<i>Výstup zvuku</i>	37
3.3	UŽIVATELSKÉ ROZHRA NIE NÁSTROJA	37
3.3.1	<i>Inicializácia</i>	37
3.3.2	<i>Predný panel</i>	38
3.4	PÚZDRO NÁSTROJA	45
3.4.1	<i>Napájanie</i>	46
4.	REALIZÁCIA	47
4.1	HARDVÉR	48
4.2	SOFTVÉR	50
4.2.1	<i>Arduino – softvér</i>	51
4.2.2	<i>Raspberry Pi – softvér</i>	52
4.3	3D TLAČ	53
5.	VYUŽITE NÁSTROJA	54
6.	ZÁVER	56
7.	POUŽITÁ LITERATÚRA	57
8.	ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK	60
A	OBSAH ELEKTRONICKEJ PRÍLOHY	61

Zoznam obrázkov

Obr. 2.1 Aditívna syntéza [1].....	11
Obr. 2.2 FM syntéza [1].....	12
Obr. 2.3 Typy filtrov [3].....	13
Obr. 2.4 Generátor obálky [4].....	14
Obr. 2.5 Bloková schéma analógového syntetizátora	14
Obr. 2.6 Otvorený <i>Mellotron</i> s páskami [5].....	15
Obr. 2.7 Formát správy MIDI [6]	16
Obr. 2.8 Rozdelenie MIDI správ [6].....	17
Obr. 2.9: Bloková schéma single/multi-chip mikroprocesorov [14].....	22
Obr. 2.10 Raspberry Pi Model B+	25
Obr. 2.11 Typická konštrukcia fotorezistora [21].....	27
Obr. 2.12 Spektrálne odozvy fotocitlivých vrstiev rôznych materiálov [20].....	28
Obr. 2.13 Vnútročné komponenty indukčného proximity senzora [22]	29
Obr. 2.14 Vnútročné komponenty kapacitného proximity senzora [22].....	30
Obr. 2.15 Princíp fungovania ultrasonického proximity senzora [23]	30
Obr. 2.16 Princíp fungovania IR proximity senzora.....	31
Obr. 2.17 Príklad 3 základných modulov [25].....	32
Obr. 2.18 Príklad parametrov modulu (Generátor signálu) [25].....	33
Obr. 3.1 Štruktúra modulov v aplikácii Sunvox	34
Obr. 3.2 Nahrávanie nových zvukov do modulov typu Sampler	35
Obr. 3.3 Rozhranie vkladania samplov	35
Obr. 3.4 Predný panel nástroja.....	38
Obr. 3.5 3D koncept nástroja	38
Obr. 3.6 Predný panel - sampler	39
Obr. 3.7 Ovládaný parameter v moduli Sampler	39
Obr. 3.8 Predný panel - filtre	40
Obr. 3.9 Ovládané parametre v moduli Filter	40
Obr. 3.10 Predný panel – LFO.....	41
Obr. 3.11 Ovládané parametre v moduli Filter (LFO)	41
Obr. 3.12 Predný panel - flanger.....	42
Obr. 3.13 Ovládané parametre v moduli Flanger.....	42
Obr. 3.14 Predný panel - reverb.....	43
Obr. 3.15 Ovládané parametre v moduli Reverb	43
Obr. 3.16 Predný panel - mikrotonálne ladenie	44
Obr. 3.17 Ovládané parametre v moduli Metamodule.....	44
Obr. 3.18 Predný panel – hlasitosť	45
Obr. 3.19 Ovládaný parameter v moduli Amplifier	45
Obr. 3.20 Koncept púzdra nástroja	46
Obr. 4.1 Finálny výrobok.....	47
Obr. 4.2 Schéma zapojenia v programe Fritzing.....	48
Obr. 4.3 Rozloženie jednotlivých pinov na multiplexore CD74HC4067	49
Obr. 4.4 Logická štruktúra multiplexoru CD74HC4067.....	50
Obr. 4.5 Hlavná časť kódu.....	52
Obr. 4.6 Model nástroja v programe Fusion 360	53

1. ÚVOD

Cieľom tejto bakalárskej práce je realizácia experimentálneho hardvérového nástroja, ktorého experimentálnosť spočíva v kombinácii sampleru s modulačnými prvkami syntetizátoru. Pri tempe technologického vývoja za posledných pár desiatok rokov to určite nieje prelomový systém modulácie zvuku, no verím, že v kombinácii s experimentálnymi ovládacími prvkami ako je proximity senzor, fotorezistor alebo mikrotonálne ladenie určite tento nástroj vie ponúknuť hráčovi iný pôžitok z hrania, ako ten, na ktorý je zvyknutý.

Nástroj disponuje klasickým klaviatúrnym vstupom a mikrotonálnym rozladením pomocou fotorezistoru. Užívateľ môže na nástroji pracovať s dvomi samplami naraz. Každý z nich je plne osobitne modulovateľný, vrátane samostatných filtrov. Pomocou otočných potenciometrov si užívateľ určí v akom pomere sa po stlačení klávesy sample prehrávajú. Celá štruktúra nástroja je vyskladaná z osobitne vytvorených modulov v modulárnom syntetizátore Sunvox, ktorý beží na mikropočítači Raspberry pi.

Pre ovládanie nástroja je vytvorený osobitný MIDI kontrolér, ktorý tvorí telo nástroja. MIDI kontrolér pracuje na báze Arduina, ktoré vstupy používateľ a preposiela ako MIDI správy do modulárneho syntetizátora Sunvox. Celé ovládanie nástroja je naprogramované vo vývojovom prostredí Arduina v programovacom jazyku C++.

Zvukový výstup nástroja je vyvedený pomocou 3,5mm jack konektora spolu s ďalšími inými konektormi ako HDMI a USB pre budúce potreby používateľ a (napríklad nahranie nových samplov).

V druhej časti práce sú stručne popísané teoretické poznatky ktoré súvisia s prácou. Začína to metódami syntéz a pokračuje popisovaním samotných experimentálnych prvkov nástroja až po použitý hardvér a softvér. V zvyšných kapitolách je popísaný samotný návrh a realizácia nástroja.

2. TEORETICKÁ ČASŤ

V tejto časti práce sú teoreticky predstavené všetky pojmy, ktoré s prácou súvisia. Opísané sú tu formy syntéz, pomocou ktorých nástroj zvuk moduluje, no aj použitý hardvér a softvér.

2.1 Syntéza

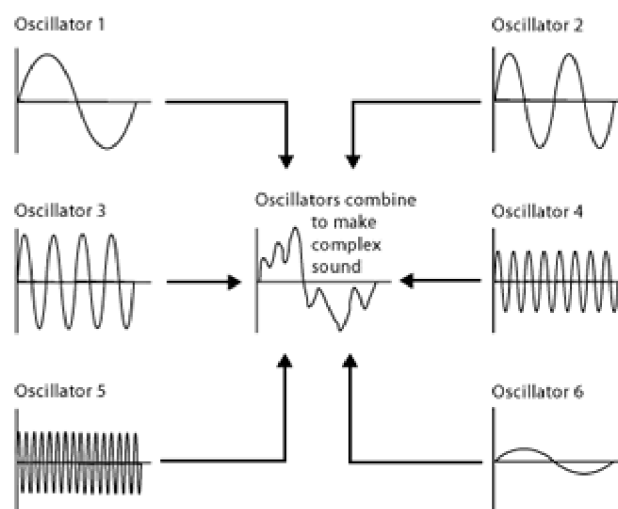
Proces vytvárania zvukov na syntetizéroch sa nazýva syntéza. Existuje niekoľko typov syntéz.

2.1.1 Subtraktívna syntéza

Subtraktívna syntéza je pravdepodobne najpoužívanejšou syntézou. Zo širokospektrálneho oscilátora sa špeciálnymi filtermi vygenerujú základné vlnové priebehy (obdĺžnik, píla, trojuholník apod.), ktoré je možné upravovať ďalej riadiacimi a modulačnými obvodmi (zosilovačom, filtrom, obáčkami, nízkofrekvenčným oscilátorom). [1]

2.1.2 Aditívna syntéza

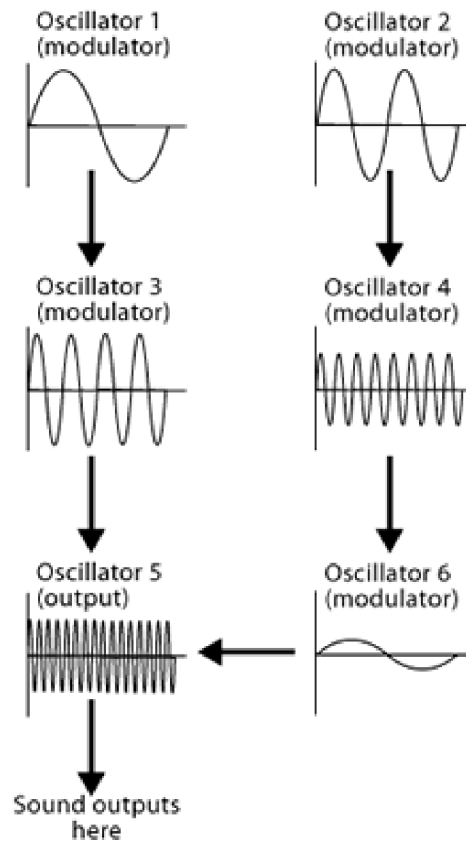
Aditívna syntéza emuluje spôsob akým sú vytvorené zvuky v prírode. Spočíva v spájaní viacerých sínusových priebehov (obvykle sú v celočíselných pomeroch – harmonická rada) s rôznymi frekvenciami a amplitúdami. [1]



Obr. 2.1 Aditívna syntéza [1]

2.1.3 FM syntéza

FM alebo frekvenčne modulačná syntéza bola ako prvá komerčne úspešná digitálna syntéza. Podobne, ako aditívna syntéza, obsahuje viacero generátorov signálu. Rozdiel spočíva v tom, že namiesto spájania signálov sa navzájom modulujú. [1]



Obr. 2.2 FM syntéza [1]

2.2 Syntetizátor

Syntetizátor je elektronický hudobný nástroj, ktorý vytvára zvuk rôznymi formami syntézy.

2.2.1 Oscilátory

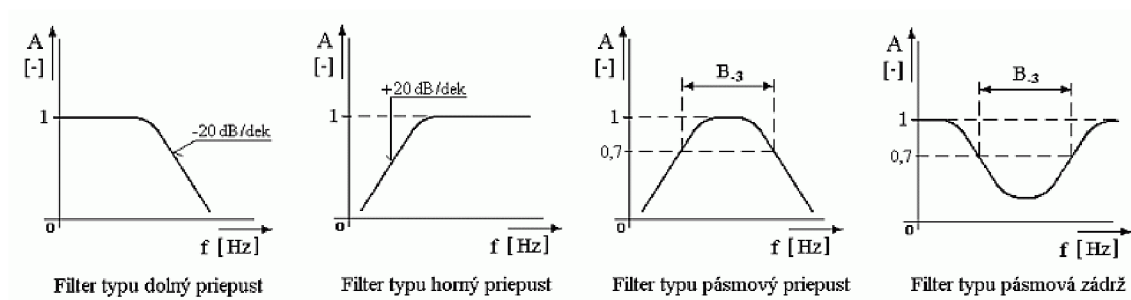
Všetky syntetizátory potrebujú pre svoje fungovanie elektrický prúd (alebo jeho simuláciu). Oscilátor riadený napätím (s označením VCO pri analógových nástrojoch a DCO pri digitálnych) premieňa elektrický prúd do opakujúceho sa signálu – priebehu.

Obvykle to býva sínusový, trojuholníkový, pílový a obdĺžnikový priebeh. Tento priebeh tvorí základný zvuk. [2]

2.2.2 Filtre a zosilňovače

Základný zvuk z oscilátoru sa ďalej formuje pomocou napäťovo riadených filtrov. Filter niektoré frekvencie zadrží a niektoré naopak nie. Najpoužívanejšie typy filtrov sú [2]:

- Dolná priepusť – prepúšťa signály od najnižších frekvencií až po určitú maximálnu frekvenciu
- Horná priepusť – prepúšťa signály od určitej minimálnej frekvencie po teoreticky nekonečne vysoké frekvencie
- Pásmová priepusť – prepúšťa signály od určitej minimálnej frekvencie až po určitú maximálnu frekvenciu
- Pásmová zádrž – neprepúšťa signály od určitej minimálnej frekvencie až po určitú maximálnu frekvenciu [3]



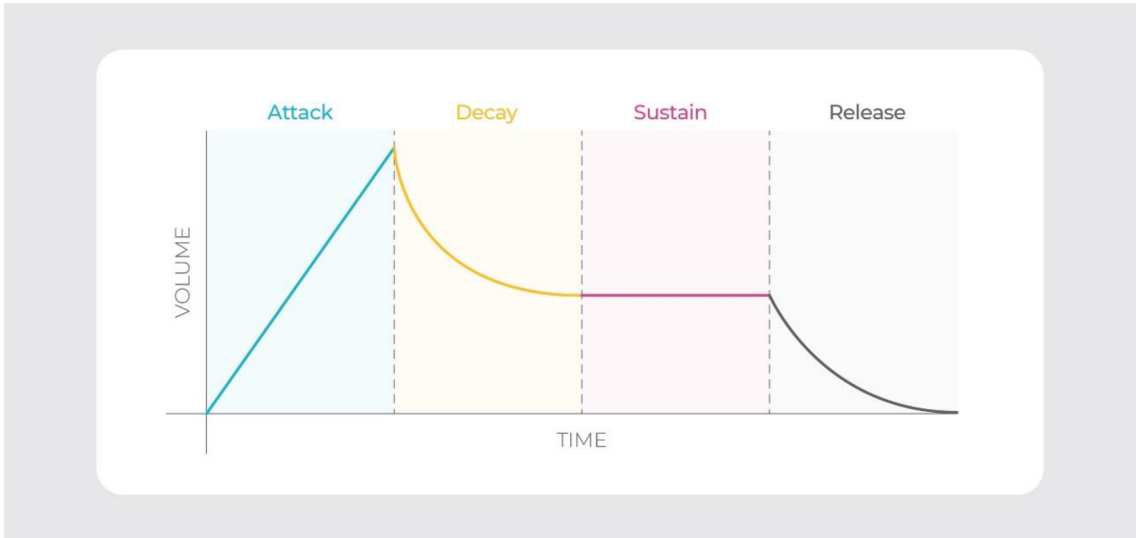
Obr. 2.3 Typy filtrov [3]

Hraničná frekvencia sa zväčša označuje ako cutoff. Na filtroch sa často dá meniť aj amplitúda rezonance (zosilnenie v časti hraničnej frekvencii). Po filtri zvuk zvyčajne ide cez napäťovo riadený zosilňovač, ktorým sa nastavuje celková dynamika zvuku. [2]

2.2.3 Obálka

Obvykle sa generátorom obálky modifikuje amplitúda, a to konkrétne parametre ako: attack, decay, sustain a release, ktoré vo finálnom dôsledku modulujú tvar signálu. Druhoradým príkladom jej využitia je jej aplikovanie na všetky predošlé kroky.

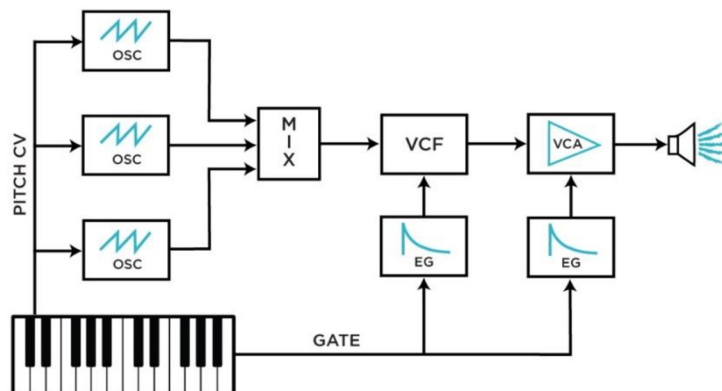
Generovaním obálky je možné modulovať či už hraničnú frekvenciu filtra (cutoff), alebo frekvenciu oscilátora. [2]



Obr. 2.4 Generátor obálky [4]

2.2.4 Nízkofrekvenčný oscilátor

Rovnako ako generátor obálky, nízkofrekvenčný oscilátor môže byť použitý na moduláciu všetkých predošlých krokov. Tento oscilátor negeneruje žiadny zvuk, no generuje nízkofrekvenčný priebeh, ktorého frekvencia je pod hranicou ľudského sluchu. Najčastejšie sa tento oscilátor používa na periodické zmeny rady parametrov, ako je napr. amplitúda, výška tónu, hraničná frekvencia filtrov (cutoff). [2]

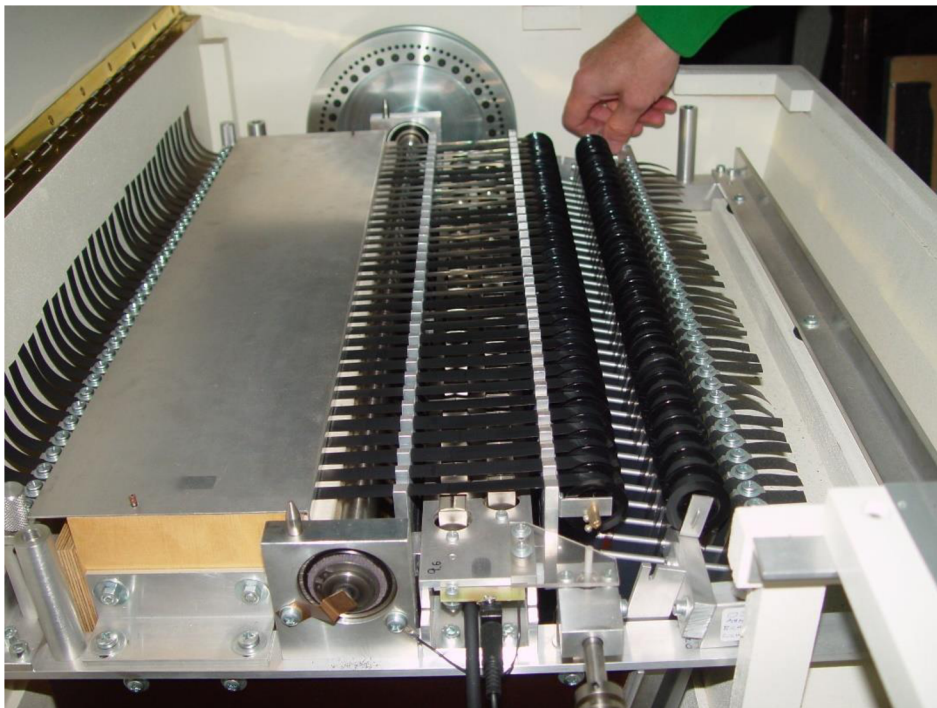


Obr. 2.5 Bloková schéma analógového syntetizátora

2.1 Sampler

Sampler je elektronický alebo digitálny hudobný nástroj v niektorých ohľadoch podobný syntetizátoru. Hlavný rozdiel spočíva v tom, že namiesto generovania nových zvukov napäťovo ovládanými oscilátormi, pracuje s už zhotovenými nahrávkami (samplami). Napriek tomu, že digitálny sampling existuje už od 60-tych rokov, prvý komerčne dostupný model bol *Computer Music Melodian* od Harryho Mendella v roku 1976. Aj keď dnes to už môže znieť primitívne, v tej dobe to bol revolučný stroj ktorý vedel pracovať so samplami pri 24kHz. Taktiež bol pre bežného užívateľa príliš drahý (pri prepočte na dnešné peniaze 58 000 amerických dolárov). [5]

Za zmienku stojí určite aj páskový sampler, kde sa po stlačení klávesy prehrá zvuk uložený na páske. V podstate jediným samplerom tohto typu bol *Mellotron* pôvodne od Američana Harryho Chamberlina. Bol však veľmi nepraktický. Na nástroji sa dali zahrať najviac 3 oktávy a pre zmenu samotných zvukov musel hráč vymeniť magnetické pásky, ktorých nebolo málo. Nástroj bol taktiež drahý a ťažký kvôli všetkým mechanizmom, ktoré s páskami pracovali. [5]

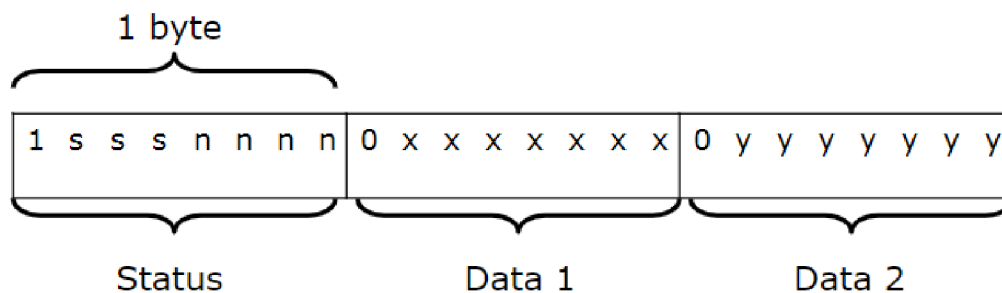


Obr. 2.6 Otvorený *Mellotron* s páskami [5]

Sampler sa zväčša ovláda klávesmi, ktoré určujú výšku tónu, v akej sa nahrávka prehrá. Má to však aj nežiadúce efekty alebo naopak efekty niekedy chcené, ako napríklad zrýchlenie alebo spomalenie danej nahrávky v závislosti od výšky zahraného tónu. Prekážka to je však len v tom prípade, kedy je potrebné zachovať autentickosť a naturálnosť nahrávky – napríklad nástroja. Existuje aj viac zónové samplovanie tzn. každej klávese je priradený zvuk nástroja s odpovedajúcim tónom. V tom prípade ku zmene zvuku nedochádza. [5]

2.2 MIDI

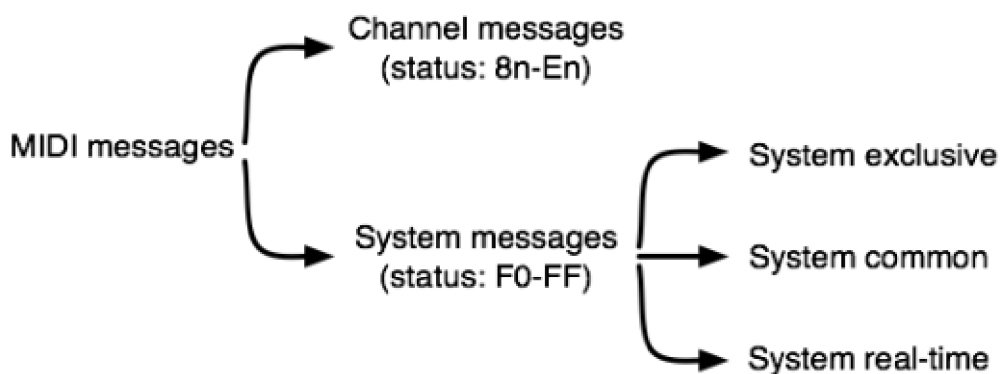
MIDI je protokol pomocou ktorého komunikujú periférie s hudobným nástrojom. Existujú 2 typy bajtových správ MIDI: stavový a dátový bajt. Stavový bajt vždy začína s 1 a dátový bajt s 0. Potom zostáva už len 7 bitov na jeden bajt pre samotnú správu (128 možných kombinácií). MIDI správy začínajú vždy stavovým bajtom, kde sa 3 bity používajú na označenie typu správy a 4 bity na označenie čísla kanálu, na ktorý sa správa vzťahuje (maximálne 16 kanálov). [6]



Obr. 2.7 Formát správy MIDI [6]

2.2.1 Rozdelenie MIDI správ

Existujú 2 hlavné typy MIDI správ: kanálové a systémové. Ako už vyplýva z ich mien, sú adresované buď k individuálnemu kanálu alebo pre celý systém.



Obr. 2.8 Rozdelenie MIDI správ [6]

Čísla MIDI kanálov sa označujú od 1 až po 16, zatiaľ čo v skutočnosti sú reprezentované binárnymi hodnotami 0 až 15.

2.2.2 Note on/Note off

Tento typ správ tvorí väčšinu informácií bežne odosielaných cez MIDI kanál. Note on hudobnú notu zapne a note off ju naopak vypne. Všetky noty musia byť po zahranií správou note off vypnuté, inak by hrali donekonečna. Existuje 128 (0-127) možných hodnôt pre noty (približne 10 oktáv) namapovaných do chromatickej stupnice. Stredové C býva zvyčajne namapované na C-3 v MIDI (nota číslo 60, 6. oktáva). Typ správy note on má taktiež priradenú hodnotu hlasitosti, ktorá udáva ako silno bola nota zahraná. Táto hodnota hlasitosti vie byť použitá na ovládanie ako hlasitosti, tak aj zafarbenia zvuku. Závislosť medzi hodnotou hlasitosti a parametrom, ktorý ovláda, je často logaritmická. Hodnota hlasitosti správy note off udáva rýchlosť pustenía klávesy/tlačidla.

Často sa namiesto správy note off používa správa note on s hodnotou hlasitosti 0. Je to výhodné, keď sa do MIDI zbernice posielajú veľké množstvá dát (napríklad akord s veľkým rozsahom nôt). Normálne by pre túto operáciu bolo potrebné 6 bajtov pre každú notu akordu. Namiesto toho sa môžu správy note on a note off spojiť. Je to známe pod pojmom „running status“. Pre 4-notový akord to znamená, že sa preniesie iba 17 bajtov namiesto 24 bajtov (za predpokladu, že „running status“ zostane nezmenený). [6]

2.2.3 Aftertouch

Správy, ktoré udávajú silu akou bola klávesa stlačená, sa nazývajú aftertouch. Ich hodnota závisí od veľkosti sily ktorá pôsobí na notu v úplne spodnej časti dráhy klávesy. Polyfonické snímanie prenáša samostatnú hodnotu pre každú klávesu. To je však drahé a preto väčšina hudobných nástrojov používa jeden senzor. To znamená, že sa odošle jedna správa s približným celkovým nasnímaným tlakom. [6]

2.2.4 Control change

MIDI protokol je taktiež schopný prenášať príkazy od iných periférií (napríklad pedále, prepínače, potenciometre). Všetky periféria sú adresované pomocou rovnakého stavového bajtu, pričom prvý dátový bajt určuje konkrétnu perifériu. Počet možných periférií sa od predstavenia MIDI výrazne zväčšil. Aj keď to nebolo pôvodne bližšie špecifikované, MMA spravuje dohodu o tom, ktoré ID zodpovedá ktorému perifériu. [6]

2.2.5 Controller messages

Správy tohto typu môžu byť implementované v rôznych smeroch. Aj napriek tomu, že existujú už štandardné definície pre mnoho periférií, je možné ich premapovať. Za posledné roky vznikli rôzne alternatívne periféria. Napríklad takzvané dychové ovládače, ktoré sa často používajú samostatne na pridanie výraznosti. Snímaný tlak fúkania možno použiť na generovanie obálok alebo moduláciu iných parametrov ktoré zvuk ovplyvňujú. [6]

2.2.6 Pitch bend

Slúži na zmenu výšky tónu a obvykle sa vyskytuje v podobe otočného kolieska vedľa klaviatúry. Je to jediná periféria, ktorá má svoj vlastný stavový bajt. Používa 2 dátové bajty (čo umožňuje používať až 14-bitové rozlíšenie). Vďaka takému rozlíšeniu je akákoľvek zmena výšky tónu hladká. [6]

2.3 Stupnica

Stupnica sa dá chápať ako akýkoľvek rád tónov usporiadaných podľa ich výšky alebo podľa základnej frekvencie. Často, najmä u začínajúcich skladateľov, je bežné, že celá alebo väčšina melódie a harmónie je napísaná v jednej stupnici, ktorá sa jednoducho znázorní na notovej osnove so šandarizovaným kľúčom. [7]

2.3.1 Oktáva

Väčšina stupníc má viacero oktáv. Na základe princípu oktávovej ekvivalencie je rozsah celej stupnice v jednej oktáve. Vďaka tomu je oktávový vzor stupnice pri vyšších a nižších oktávach stále rovnaký, len posunutý. Bežné stupnice rozdelujú oktávu na určitý počet častí. Tie zväčša majú medzi jednotlivými notami rovnaký rozostup. Nie vždy to však musí byť pravda. Mikrotonalita sa zaoberá práve o nepravidelných rozostupoch medzi jednotlivými notami. Taktiež sa dá pri mikrotonálnych stupniciach tvrdiť, že neexistuje limit v počte nôt pre jednu oktávu.

Veľkosť rozostupu medzi jednotlivými notami v oktáve určuje spôsob klasifikácie stupnice. [7]

2.3.2 Základné rozdelenie stupníc

Stupnice sa môžu deliť podľa počtu výšok tónov ktoré obsahujú

- chromatická stupnica (obsahuje 12 nôt na 1 oktávu)
- nonatonická stupnica (obsahuje 9 nôt na 1 oktávu)
- oktatonická stupnica (obsahuje 8 nôt na 1 oktávu) využívaná najmä v jaze a modernej klasickej hudbe
- heptatonická stupnica (obsahuje 7 nôt na 1 oktávu) najpoužívanejšia stupnica v západnej hudbe
- hexatonická stupnica (obsahuje 6 nôt na 1 oktávu) využívaná napríklad v západnej folklórnej hudbe
- pentatonická stupnica (obsahuje 5 nôt na 1 oktávu) využívaná v ázijskej, africkej alebo severoamerickej hudbe
- tetratonická stupnica (obsahuje 4 noty)
- tritonická stupnica (obsahuje 3 noty)
- dítionická stupnica (obsahuje 2 noty) všeobecne využiteľná len v prehistorickej „primitívnej“ hudbe [7]

2.3.3 Chromatická stupnica

Chromatickú stupnicu tvorí rád dvanástich rôznych výšok tónu. Pri chromatickej stupnici predstavuje šírka medzi jednotlivými notami poltónový interval. Táto stupnica sa dá realizovať takmer všetkými západnými hudobnými nástrojmi (napríklad na klavíri). Nástroje ako trombón alebo husle, so schopnosťou plynule meniť výšku tónu, však

dokážu zahrat' aj tóny, ktoré sa na klavíri len tak zahrat' nedajú. Nazývajú sa mikrotóny. [8]

Bežne sa v hudbe používajú podmnožiny chromatických stupníc ako napríklad diatonické stupnice. Aj keď základ západnej hudby stojí na chromatickej stupnici, len málokedy je použitá v hudobných dielach ako celok. Keďže chromatická stupnica pokrýva všetkých 12 možných výšok tónu, existuje len jedna. Pri rovnomernom temperamentnom ladení sú všetky poltóny od seba vzdialené o 100 centov, to znamená, že celá oktáva má 1200 centov. [8]

2.3.4 Diatonická stupnica

Jej jedna oktáva je zložená z piatich celých tónov a dvoch poltónov. Rozostup týchto dvoch poltónov je dva alebo tri celé tóny (závisí na ich polohe v oktáve). To zabezpečuje, že pri použití diatonickej stupnice presahujúcej jednu oktavu, majú všetky poltóny medzi sebou najväčšiu vzdialenosť (minimálne dva celé tóny). [9]

2.4 Mikrotonálna hudba

V mikrotonálnej hudbe, ako už vyplýva z názvu, sa používajú tóny v intervaloch líšiacich sa od 12 tónového temperovaného ladenia. Aj keď prívlastok mikrotonálna môže znieť tak, že takáto hudba sa odkloňuje od nejakého predpisu, vôbec to tak nieje a jej využitie v hudbe nájdeme takmer všade. [10]

Mikrotónové ladenie a dynamické inflexie nôt, ktoré pri ňom vznikajú sú charakteristické najmä pre ázijskú hudbu. Ich výskyt určite nieje neobvyklý ani v blízkovýchodnej hudbe, severoafrickej hudbe a rade ďalších. [11]

2.5 Mikrokontrolér

Mikrokontrolér je kompaktný integrovaný obvod navrhnutý tak, aby riadil konkrétne operácie vo vstavaných systémoch. Obvykle sa skladá z procesoru, pamäte, vstupných a výstupných periférií. To všetko je v jednom čipe.

Mikrokontroléry majú v dnešnom svete všestranné využitie a nájdeme ich takmer v každom zariadení. Sú to v podstate miniatúrne počítače pôvodne navrhnuté na ovládanie jednoduchých funkcií väčšieho komponentu bez zložitého operačného systému.

Ich funkčnosť spočíva v interpretovaní dát, ktoré prijmu zo svojich I/O periférií, pomocou svojho procesora. Dočasné informácie, ktoré mikrokontrolér prijme, sú uložené v dátovej pamäti, s ktorými procesor následne pracuje podľa inštrukcií, ktoré sú uložené v jeho programovej pamäti. Následne využije svoje I/O periférie na komunikáciu a vykonanie príslušnej operácie. [12]

2.6 Mikropočítač

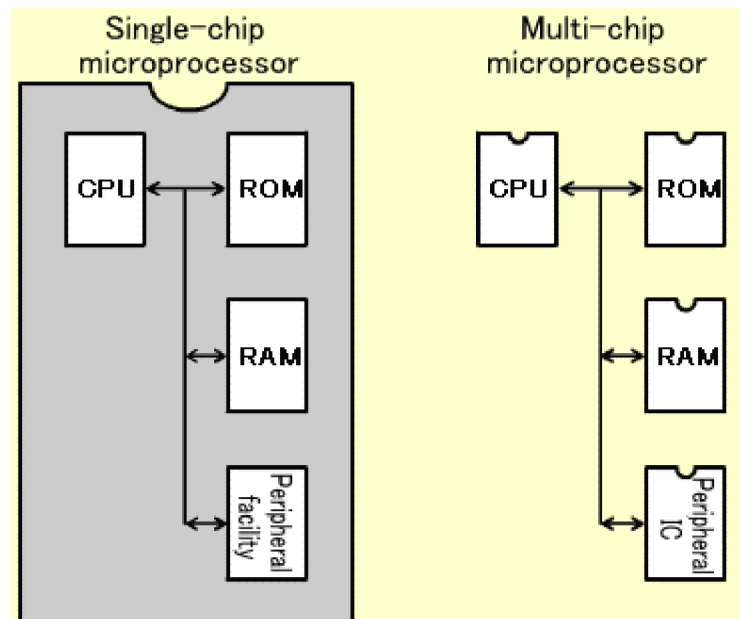
Už ako plynie z názvu, mikropočítač je v podstate počítač výrazne menších rozmerov. V minulosti bol mikropočítač chápaný ako akýkoľvek počítač menšieho rozmeru. Keďže sa tento výraz vyvíja spolu s dobou, dnes existujú mikropočítače razantne malého rozmeru oproti klasickým stolným počítačom. [13]

2.6.1 Single-chip

Mikropočítače, ktoré majú procesor, pamäť RAM, ROM a dátové I/O periférie v jednom integrovanom obvode, sa nazývajú single-chip mikropočítače. [14]

2.6.2 Multi-chip

Na druhej strane, mikropočítače vyrobené z jednotlivých komponentov na jednej spoločnej matičnej doske sa nazývajú multi-chip. Poskytujú používateľovi väčšiu voľnosť vo voľbe komponentov. [14]



Obr. 2.9: Bloková schéma single/multi-chip mikroprocesorov [14]

2.7 Arduino

Arduino je open-source hardvérová a softvérová spoločnosť, projekt a komunita používateľov, ktorý navrhujú a vyrábajú mikrokontroléry pre konštrukciu digitálnych zariadení. [15]

2.7.1 História

Projekt Arduino sa začal črtiť v magisterskej práci Hernanda Barragána. Vytvoril vývojovú platformu *Wiring*, ktorej cieľom bolo zjednodušiť realizáciu lacných digitálnych projektov pre obyčajných ľudí. Táto platforma pozostávala z plošného spoja s osadeným ATmega168 mikrokontrolérom a vývojovým prostredím napísaným v programovacom jazyku Processing s jednoduchým programovaním mikrokontrolera pomocou funkcií v knižniciach. V roku 2005, Massimo Banzí, David Mellis a David Cuartielles rozšírili *Wiring* o podporu lacnejšieho mikrokontrolera ATmega8. Tento nový projekt sa už nazýval Arduino. [15]

Pôvodný Arduino tím pozostával z Massima Banzího, Davida Cuartiellesa, Toma Igoea, Gianluca Martinoa a Davida Mellisa. [15]

Po následných finálnych úpravách platformy boli ľahšie a lacnejšie verzie distribuované v open-source komunite. V polovici roku 2011 bolo vyprodukovaných 300 000 oficiálnych dosiek. [15]

2.7.2 Hardvér

Arduino má open-source hardvér čo znamená, že rovnako ako jeho softvér je voľne dostupný pod copyleft licenciou. Napriek tomu tak vývojári nespravili s jeho názvom, ktorý sa môže exkluzívne používať iba pri oficiálnych doskách. [15]

Väčšina dosiek Arduino pozostáva z Atmel 8-bitových AVR mikrokontrolérov (ATmega8, ATmega168, ATmega328, ATmega1280 alebo ATmega2560) s rôznou veľkosťou pamäte flash, počtom pinov a funkciami. [15]

Arduino mikrokontroléry sú predprogramované s boot loaderom ktorý zjednodušuje nahrávanie kódov. Dosky Arduino sa jednoducho pripoja k počítaču pomocou rozhrania USB, kde sa kód napíše a nahrá do pamäti flash. [15]

Arduino preneháva väčšinu I/O pinov mikrokontroléra na použitie iným obvodom. Najčastejšie používaná verzia Uno poskytuje 14 digitálnych I/O pinov, z ktorých 6 môže produkovať signály modulované šírkou impulzu a 6 analógových vstupov, ktoré môžu byť taktiež použité ako digitálne I/O piny. [15]

2.7.3 Softvér

Vývojové prostredie Arduina je multiplatformová aplikácia napísaná v programovacom jazyku Java. Je odvodené od vývojových prostredí jazykov *Processing* a *Wiring*. Obsahuje editor kódu, ktorý umožňuje strihanie, prilepenie, vyhľadávanie a nahradzovanie textu. Kód sa následne dá jedným klikom skompilovať a nahráť do Arduina. Taktiež obsahuje textovú konzolu a panel nástrojov s bežnými funkciami [15].

Toto vývojové prostredie podporuje jazyky C a C++. Obsahuje knižnicu funkcií z jeho predchodcu *Wiring*, ktorá poskytuje množstvo základných I/O operácií. Kód napísaný

používateľom požaduje len 2 základné funkcie. Inicializácia celého kódu a hlavná slučka [15].

Kód napísaný vo vývojovom prostredí Arduino sa nazýva *sketch*. Jeho inicializácia spočíva zavolaním funkcie *setup()*. Tá je zavolaná pri každom zapnutí alebo reštartovaní. Pri zapnutí inicializuje všetky premenné, I/O pinové konfigurácie a ostatné knižnice potrebné v kóde. Je to analogická funkcia k funkcii *main()*. Druhá základná funkcia sa nazýva *loop()*. Tá sa spustí hneď po funkcii *setup()* a je spustená opakovane po celú dobu zapnutia. V tejto funkcii je napísaná hlavná časť kódu s inštrukciami pre mikrokontrolér. Je to analogická funkcia k funkcii *while()* [15].

2.8 Raspberry Pi

Raspberry Pi je cenovo dostupný počítač o veľkosti platobnej karty. Pre jeho fungovanie jednoducho stačí pripojiť monitor, napájanie a periférie. Umožňuje používateľom robiť prakticky všetko, čo umožňuje aj veľký stolný počítač. [16]

2.8.1 História

Začiatok Raspberry Pi si pripisuje vtedajší malý tím programátorov na University of Cambridge v roku 2006 v Anglicku. Jeho hlavný zakladatelia sú Eben Upton, Rob Mullins, Jack Lang a Alan Mycroft. Tento projekt vznikol na fakte, že verejný záujem o kúpu a udržiavanie bežného stolného počítača klesal kvôli vzrastajúcim cenám. Tím programátorov sa tohto problému ujal a preto vznikol Raspberry Pi. Pôvodný plán bol síce vyrobiť počítač na edukatívne účely, no verejný záujem o Raspberry spočíval v niečom inom. Ľudí zaujímal najmä samotný single-board koncept zariadenia tzn. všetky komponenty boli osadené na jednej matičnej doske. [17]

Výsledok toho je, že toto malé zariadenie našlo omnoho väčšie využitie ako len vo vzdelávaní. V dnešnej dobe hrá Raspberry hlavnú úlohu v mnohých smart zariadeniach. Vo februári roku 2012 bolo Raspberry prvý krát komerčne dostupné. Od vtedy však vzniklo množstvo upravených a rôznych novších verzií základného modelu. Prvý model sa nazýval Raspberry Pi Model B. Bol oficiálne vydaný 15. februára 2012 a jeho cena bole vtedajších 35\$. Jeho komponenty pozostávali z 512 MB pamäte RAM, jedno-

jadrového procesora a dvomi USB portami. Model nedisponoval portom SATA, no pre úložisko slúžil slot pre SD kartu. O grafické rozhranie sa staral HDMI port. Pre zvukový výstup slúžil 1 konektor Jack, no pre viac možností si musel užívateľ pripojiť externú USB zvukovú kartu. Tento malý počítač si rýchlo získal svoju pozornosť, keďže bol cenovo omnoho dostupnejšou alternatívou oproti bežným osobným počítačom. [17]



Obr. 2.10 Raspberry Pi Model B+

2.8.2 Hardvér

Jeho hardvér sa počas rokov menil spolu s novými prichádzajúcimi modelmi. Hlavné zmeny však spočívali len v samotných komponentoch ako procesor, veľkosť pamäte RAM, sieťové rozhranie a podpora rôznych periférií. [18]

Pri modeloch rady 3 sa nachádza procesor s rýchlosťou od 700MHz až do 1,4GHz a pri rade 4 až do 1,5GHz. Pamäť RAM sa na celej škále modelov vyskytuje s veľkosťou od 256MB až po 8GB, pričom z toho len 4. rada modelov má pamäť RAM väčšiu ako 1GB. [18]

2.8.3 Softvér

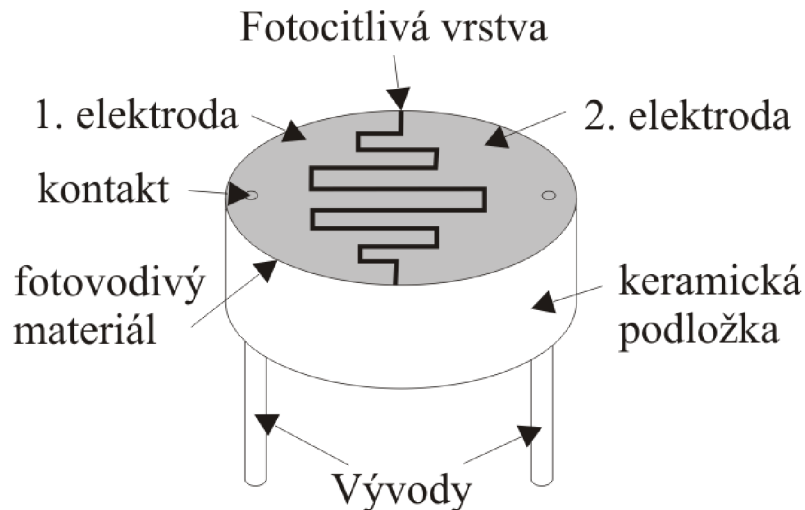
Tak ako u každého iného počítača, Raspberry Pi vie pracovať s viacerými operačnými systémami. Existuje však niekoľko vhodných, ako napríklad RISC OS, Pidora, Arch Linux a Raspbian. [19]

Raspbian je momentálne najbežnejším a najpopulárnejším operačným systémom pre Raspberry Pi. Je to v podstate open-source nadstavba operačného systému Debian upraveného práve pre prácu s Raspberry Pi (preto názov Raspbian). Jeho rozhranie umožňuje pracovať so zariadením omnoho jednoduchšie ako pri ostatných operačných systémoch. Rovnako tak obsahuje aj rôzne softvérové balíky pre priamé použitie s Raspberry Pi. Tento operačný systém má tak uľahčiť prácu novým neskúseným užívateľom. [19]

Operačný systém Debian je jedna z originálnych distribúcií Linuxu. Raspbian poskytuje takmer všetky funkcie, ktoré poskytuje Debian. [19]

2.9 Fotorezistor

Fotorezistor je pasívna elektronická súčiastka meniaci svoj odpor v závislosti od intenzity okolitého svetla. Jej využitie spočíva v indikovaní prítomnosti alebo absencie svetla. Pri jeho absencii, je hodnota odporu fotorezistoru najväčšia, v niektorých prípadoch až $1\text{ M}\Omega$. Z toho plynie, že pri prítomnosti svetla odpor fotorezistoru drasticky klesá, častokrát až na pár ohmov. To samozrejme závisí od intenzity svetla a citlivosti fotorezistoru. Závislosť zmeny odporu k intenzite svetla je pri fotorezistoroch nelineárna. Ich senzitivita sa líši od vlnovej dĺžky svetla. Fotorezistor ako elektronická súčiastka sa v praxi vyskytuje pomerne často, no nedá sa povedať, že jej jediňnosť spočíva v schopnosti reagovať na intenzitu svetla. Túto schopnosť rovnako zdieľajú súčiastky ako fotodióda alebo fototranzistor. [20]



Obr. 2.11 Typická konštrukcia fotorezistora [21]

2.9.1 Typy fotorezistorov

Typy rezistorov môžeme rozdeliť v závislosti od použitého materiálu do dvoch skupín. Vnútorne a vonkajšie. [20]

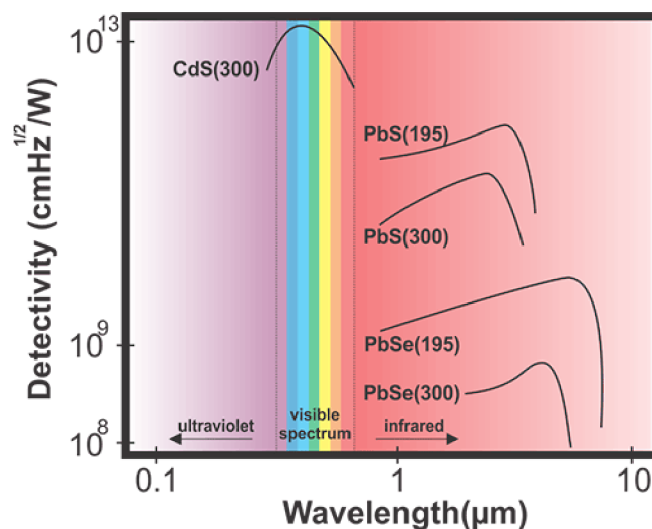
Pri vnútorných fotorezistoroch sa používajú nedotované materiály ako kremík alebo germánium. Fotóny dopadajúce na fotocitlivú vrstvu rezistora odpudzujú elektróny z valenčnej vrstvy do vodivej vrstvy. Vďaka tomu sa v danom materiáli vytvorí viac voľných elektrónov, ktoré môžu prenášať prúd, čo vedie k nižšej hodnote odporu. [20]

Pri vonkajších fotorezistoroch sa naopak používajú materiály dotované nečistotami. Tieto nečistoty vytvárajú nad valenčnou vrstvou ešte jednu vrstvu s elektrónmi. Elektrónom na tejto vrstve postačuje menej energie na prechod do vodivého pásma vďaka menšiemu rozdielu energie. Výsledkom toho vzniká fotorezistor, ktorý je citlivý na rôzne iné vlnové dĺžky svetla. [20]

V konečnom dôsledku však obidva typy fotorezistorov plnia rovnakú funkciu.

2.9.2 Závislosť vlnovej dĺžky

Senzitivita fotorezistoru závisí na vlnovej dĺžke svetla, ktoré naňho emituje. V prípade, že vlnová dĺžka žiarenia nespadá do rozsahu, na ktorý fotorezistor reaguje, ho takéto žiarenie nemusí vôbec ovplyvniť. Každý materiál má svoju špecifickú charakteristiku v závislosti medzi vlnovou dĺžkou a citlivosťou. Fotorezistory pre vonkajšie použitie (denné svetlo) sú zväčša navrhnuté tak, aby reagovali na dlhšie vlnové dĺžky s náchylnosťou k infračervenému svetlu. Pri pásme infračerveného svetla je potrebné si dať pozor na zvyšujúcu sa teplotu fotorezistora, čo by mohlo viesť k nepresnému regulovaniu odporu. Na obrázku č. 2.12 sú zobrazené spektrálne odozvy fotocitlivých vrstiev z rôznych materiálov. Teplota, ktorá zodpovedá daným krivkám je uvedená v Kelvinoch v zátvorkách. [20]



Obr. 2.12 Spektrálne odozvy fotocitlivých vrstiev rôznych materiálov [20]

2.9.3 Citlivosť

V porovnaní s inými fotocitlivými súčiastkami ako fotodiódy alebo fototranzistory, majú fotorezistory menšiu citlivosť na svetlo. Zatiaľ čo fotodiódy a fototranzistory sú skutočné polovodičové súčiastky ktorým intenzita svetla riadi tok elektrónov a dier cez priechody P-N, fotorezistor je pasívna súčiastka, ktorá priechodom P-N nedisponuje. Ako je už spomenuté v predošlom odstavci, fotorezistor môže svoju charakteristiku jemne meniť v závislosti od teploty, čo je vo väčšine prípadov nežiadúcim javom. To spôsobuje, že aj pri konštantnej intenzite svetla nemusí mať fotorezistor konštantný odpor v dôsledku zmeny pracovnej teploty. Teplota pri fotorezistoroch spôsobuje teplotný šum. [20]

2.9.4 Odozva

Jednou z ďalších vlastností fotorezistoru je latencia odozvy. Teda doba medzi zmenou odporu a zmenou osvetlenia. Doba zmeny odporu v závislosti od svetla závisí taktiež od jeho intenzity. V prípade, že na fotocitlivú vrstvu zasvieti po úplnej tme svetlo, trvá približne 10ms, kým odpor klesne na minimálnu hodnotu. Pri opačnom priebehu, kedy fotocitlivú vrstvu vystavíme úplnej tme, doba za ktorú sa odpor vráti naspäť na maximálnu hodnotu môže trvať až 1s. Z tohto dôvodu fotorezistor nieje vhodnou súčasťou pri projektoch, kde je potrebná okamžitá zmena odporu. Naopak vhodným príkladom využitia sú nočné lampy, ktoré sa rozsvietia vždy keď hladina intenzity denného svetla klesne pod určitú úroveň. [20]

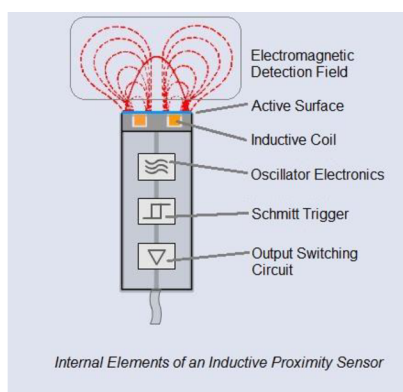
2.10 Proximity senzor

Proximity senzor slúži na snímanie a meranie diaľky objektu od snímača bez použitia relé alebo iného fyzického spínania/zásahu. [22]

2.10.1 Typy proximity senzorov

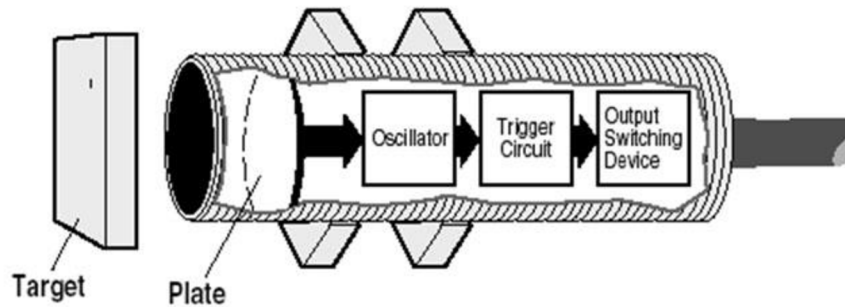
Existuje niekoľko rôznych typov proximity senzorov, každý má iné špecifikácie a iné využitie. [22]

- indukčný proximity senzor: Dokáže detekovať len kovové objekty. Funguje na základnom princípe indukcie, kedy je cievka poháňaná oscilátorom vždy, keď je v blízkosti kovový objekt. [22]



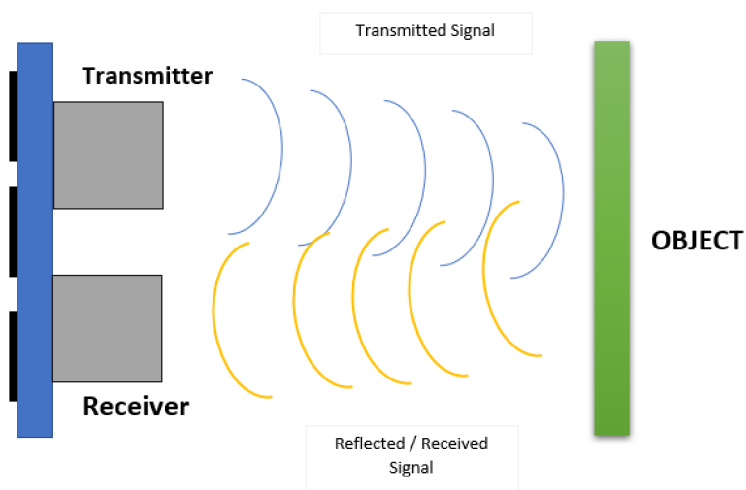
Obr. 2.13 Vnúterné komponenty indukčného proximity senzora [22]

- kapacitný proximity senzor: Dokáže detekovať ako kovové tak aj všetky ostatné predmety vrátane tekutín a práškov. Funguje na základe zmeny kapacity. [22]



Obr. 2.14 Vnútorne komponenty kapacitného proximity senzora [22]

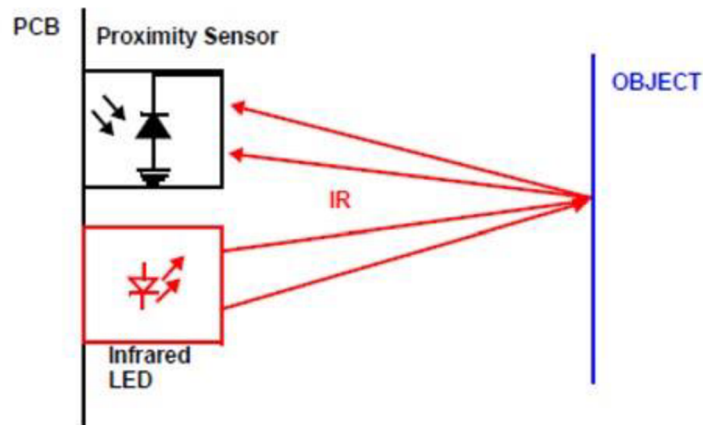
- ultrasonický proximity senzor: Detekuje objekty pomocou vysokofrekvenčných ultrasonických vln. Rovnako ako pri kapacitnom, dokáže detekovať všetky rôzne substancie. Skladá sa z vysielača a prijímača, kde prijímač prijíma odrazené vlny vysielača od detekovaného predmetu. [22]



Obr. 2.15 Princíp fungovania ultrasonického proximity senzora [23]

- IR proximity senzor: Detekuje objekty pomocou vyžarujúceho infračerveného lúča, ktorý na základe uhlu dopadu na jeho prijímač určí

výstupnú hodnotu. Funguje na podobnom princípe ako ultrasonický, no namiesto vln vyžaruje lúč. [22]



Obr. 2.16 Princíp fungovania IR proximity senzoru

2.11 Fusion 360

Fusion 360 je program typu CAD (computer aided design). V skratke umožňuje používateľom premeniť ich predstavivosť a kreativitu v 3D objekt. Pred viac ako 25 rokmi museli modeloví návrhári všetky svoje návrhy rysovať na papier. Následne tento návrh vyhotoviť ako prototyp a ak niečo nekorešpondovalo s funkčnosťou návrhu, museli sa vrátiť naspäť k výkresom. Programy ako Fusion 360 tento proces niekoľkonásobne zjednodušujú. Umožňujú používateľovi robiť s vytvorenými objektami simulácie bez nutnosti ich samotného vyhotovenia. [24]

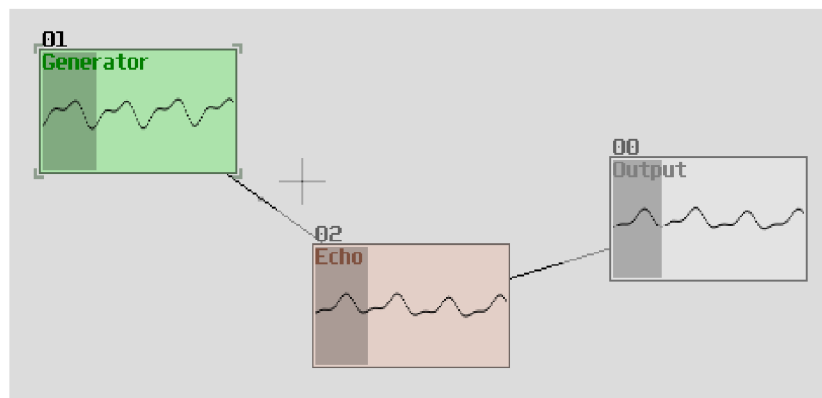
2.12 Sunvox

Sunvox je digitálny modulárny syntetizér s možnosťou sekvencera. Ľudí si získala jeho kompaktnosť a všestrannosť. Funguje takmer na všetkých operačných systémoch vrátane Androidu, Linuxu a iOS. [25]

2.12.1 Princíp modulov

Moduly sú základným elementom Sunvoxu. V základnej verzii je na výber z troch základných kategórii:

- generátory: tie, ktoré produkujú zvuk (oscilátory, samplery)
- efektové procesory: modulujú zvuk ktorý cez ne prechádza z generátorov
- ostatné: moduly, ktoré môžu generovať/meniť nie len samotný zvuk ale aj parametre [25]



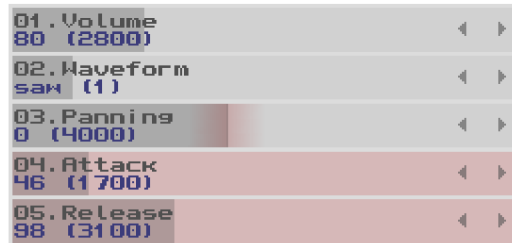
Obr. 2.17 Príklad 3 základných modulov [25]

Smer signálu medzi modulmi označuje hrúbka spájacej čiary. Hrubšia časť je na strane zdroju a tenšia na strane destinácie signálu, teda prijímača. Na obrázku sú znázornené 3 základné kategórie modulov a to generator, ktorý je zdroj signálu, efekt echo, ktorý signál moduluje a output, v ktorom sa všetky pripojené moduly sčítajú a následne prehrávajú. Modul output je finálna destinácia signálu, ktorý je chce užívateľ počuť. Z tohto modulu sa už nedá poslať signál nikde inde. Za okolnosti, že k modulu output nieje pripojený žiadny iný modul, syntetizátor nebude mať ako prehrať zvuk aj keby ho niektorý zdroj generoval. [25]

V základnej verzii programu Sunvox je niekoľko základných modulov, no dajú sa nahráť aj vlastné alebo komunitou vytvorené moduly. [25]

2.12.2 Vlastnosti modulov

Každý modul má svoje parametre ktoré sa dajú meniť.



Obr. 2.18 Príklad parametrov modulu (Generátor signálu) [25]

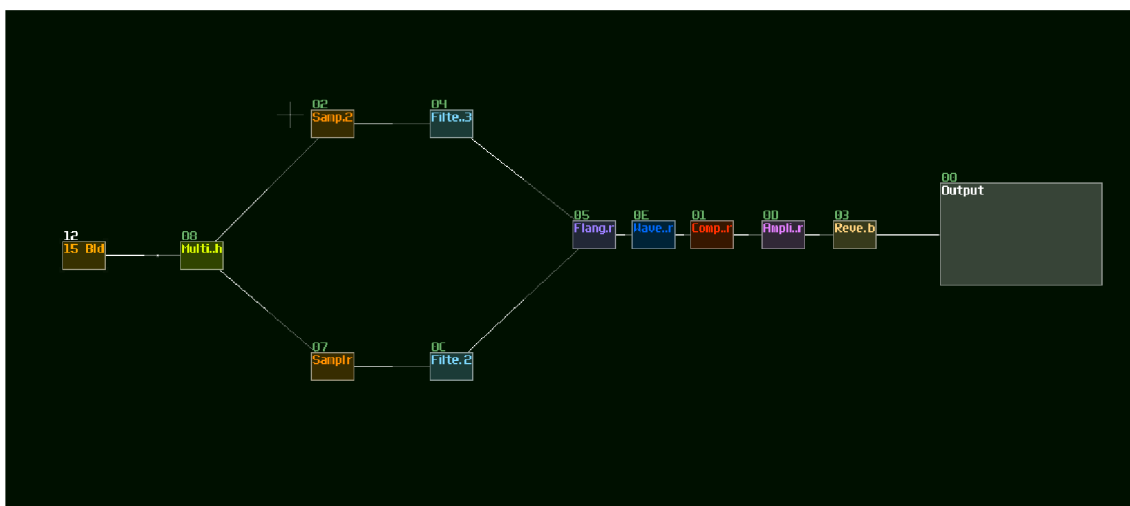
Každý z týchto parametrov je mapovateľný na správy MIDI a preto je Sunvox vhodným kandidátom na experimentálne projekty. [25] Sunvox taktiež umožňuje presné mikrotonálne ladenie vďaka rozlíšeniu 256 krokov na 1 póltón, čo znamená 3072 možných výšiek tónu na 1 oktávu. [26]

3. NÁVRH NÁSTROJA

Táto časť práce sa zaoberá návrhom nástroja, v ktorom sú použité teoretické poznatky z predošlej kapitoly. Proces návrhu zahŕňa všetko od samotnej štruktúry nástroja až po jeho vzhľad.

3.1 Štruktúra nástroja v digitálnom syntetizátore Sunvox

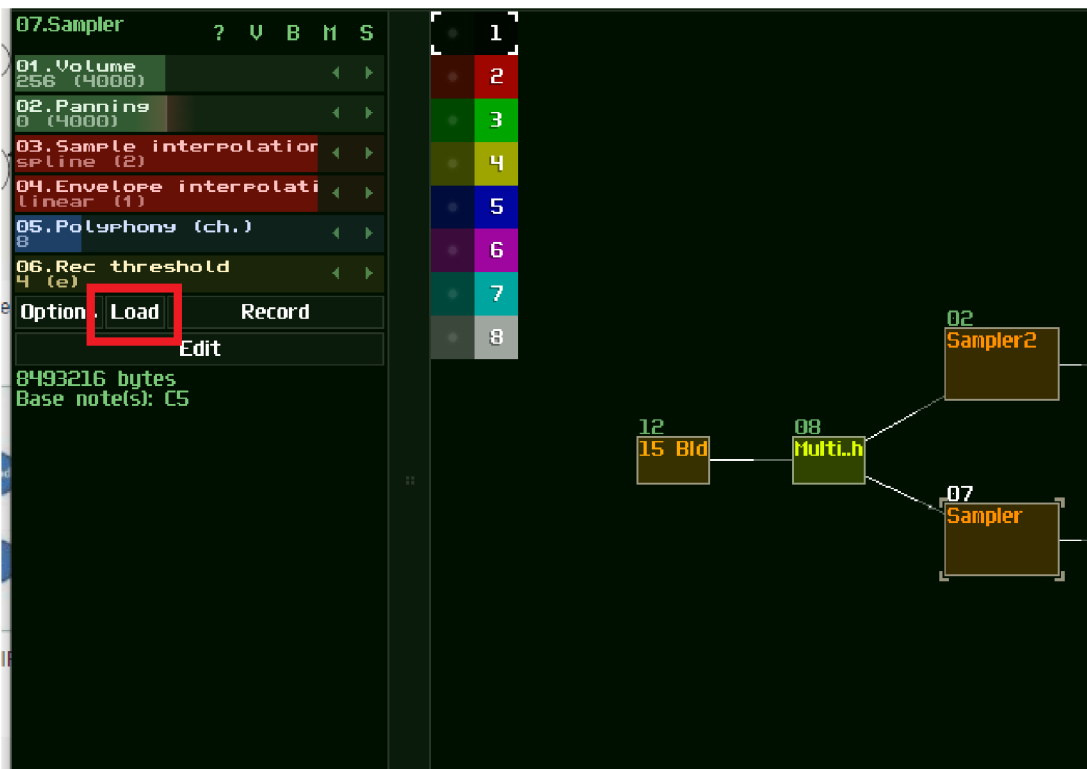
Hlavnou úlohou nástroja je komplexná modulácia samplov. Preto je štruktúra v prvom rade navrhnutá tak, aby sa používateľovi jednoducho dalo v budúcnosti nahráť a spracovať nové sample. Samotná štruktúra je tvorená z rôznych modulov. Ku grafickému rozhraniu, vid' obr. 3.1, sa užívateľ dostane po pripojení nástroja k akémukoľvek zobrazovaciemu zariadeniu (monitoru) pomocou HDMI.



Obr. 3.1 Štruktúra modulov v aplikácii Sunvox

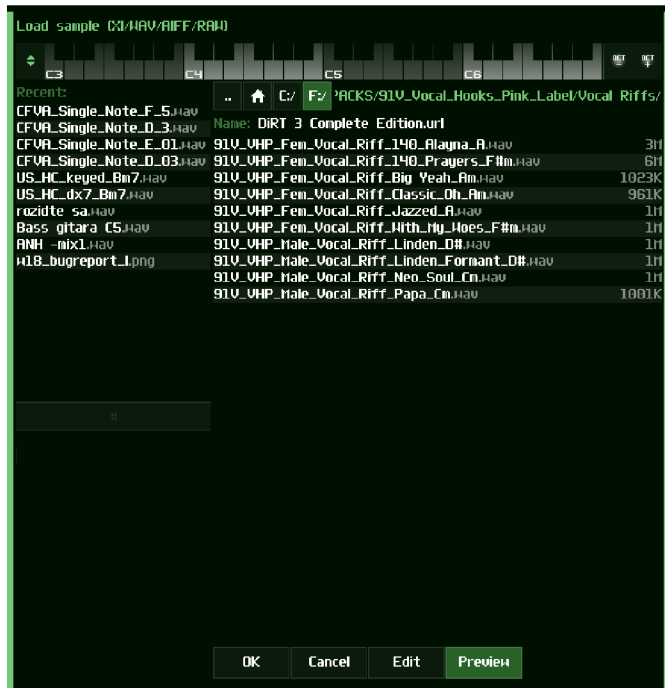
3.1.1 Pridávanie nových samplov

Pre pridávanie nových zvukov používateľ pripojí USB disk so zvukmi, s ktorými chce na nástroji pracovať. Po pripojení nástroja k monitoru, je potrebné zvoliť 1 z 2 modulov typu „Sampler“. Po jeho rozkliknutí sa na ľavej strane okna aplikácie zobrazí panel nástrojov pre daný modul, kde je potrebné kliknúť na položku Load (vid' obr. 3.2).



Obr. 3.2 Nahrávanie nových zvukov do modulov typu Sampler

Následne vyberie cestu umiestnenia nového samplu a zvolí položku OK.



Obr. 3.3 Rozhranie vkladania samplu

3.2 Ovládacie prvky nástroja

V tejto kapitole je vysvetlený systém fungovania MIDI kontroléru, ktorý navrhnutú štruktúru nástroja ovláda. Všetky výstupy ovládacích prvkov sú vedené do Arduina, ktoré následne určí, ako správu MIDI má poslať do mikropočítača Raspberry Pi. V syntetizátore Sunvox, ktorý pri zapnutom nástroji beží na Raspberry Pi, sú na tieto správy MIDI namapované ovládacie parametre samotných modulov.

3.2.1 Klaviatura

Základným užívateľským rozhraním pre hranie na nástroji tvorí klaviatura. Po stlačení klávesy sa vyšle správa MIDI, po ktorej nástroj zahrá určitý tón.

3.2.2 Potenciometre

Otočné potenciometre sú najpoužívanejším ovládacím prvkom všetkých hardvérových nástrojov a aj preto majú na nástroji najväčšie zastúpenie. Pomocou nich sú ovládané parametre ako hraničná frekvencia filtrov (cutoff), frekvencia nízkofrekvenčných oscilátorov LFO, hlasitosť samotných samplov, celková hlasitosť nástroja alebo rôzne iné parametre efektových procesorov.

3.2.3 Tlačidlá

Pomocou tlačidiel sa na nástroji môžu prepínať či už jednotlivé sample, rozsah klaviatúry (oktávy) alebo zvukové efekty.

3.2.4 Fotorezistor

Jedným z experimentálnych ovládacích prvkov je fotorezistor, ktorý je umiestnený na prednom paneli nástroja. Vďaka tomu fotorezistor mení výstupnú hodnotu na základe okolitého svetla, čo otvára otázku využiteľnosti nástroja ešte viac. Výstupná hodnota fotorezistora na nástroji mení hodnotu skreslenia.

3.2.5 Proximity senzor

Ďalším experimentálnym prvkom nástroja je proximity senzor. Pre tento typ projektu je rozumné použiť ultrazvukový proximity senzor. Ten je umiestnený na ľavej strane nástroja, kde používateľ bude môcť figurovať rukou, ktorou práve nebude hrať na klaviature. Jeho výstupná hodnota používateľovi umožní meniť krajnú frekvenciu

filtra/filtrov (cutoff). Teda napríklad, pri nastavenom filtre dolná priepusť, používateľ periodickým mávaním rukou smerom ku a od nástroja vytvorí efekt wah-wah.

3.2.6 Výstup zvuku

Samotný nástroj nemá zabudovaný reproduktor. Používateľ si musí zapojiť samostatné zariadenie na prehrávanie zvuku pomocou 3,5mm Jack konektoru (bežné slúchadlá alebo reproduktor), ktorý je umiestnený na prednej strane nástroja. Toto rozhodnutie plynie z dôvodu, že jedným z hlavných cieľov je dosiahnuť čo najnižšiu váhu nástroja kvôli kompaktnosti.

3.3 Uživatelské rozhranie nástroja

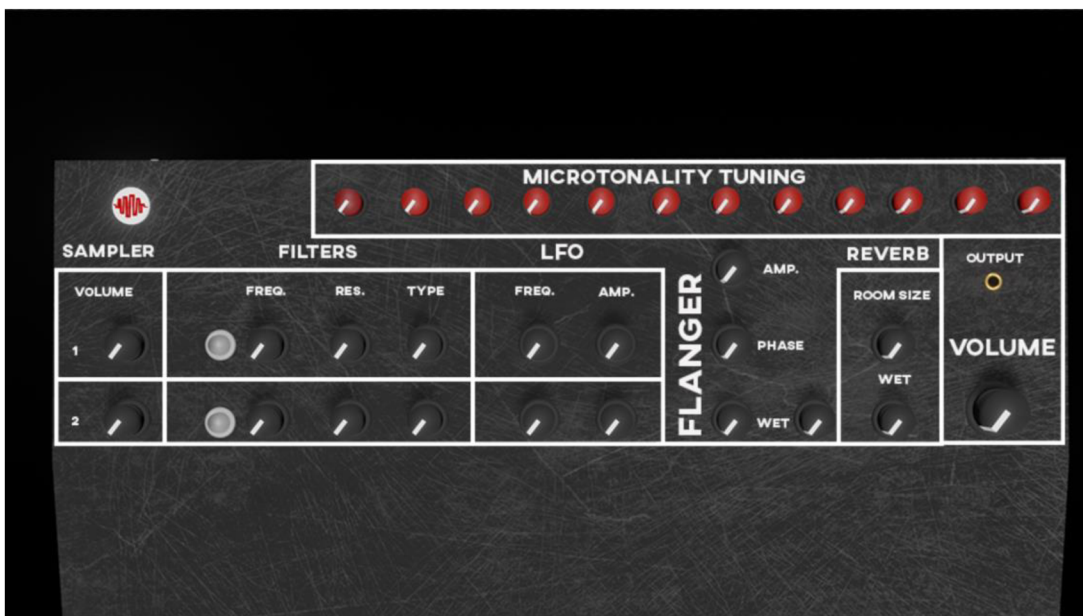
V tejto časti návrhu sú popísané všetky vstupy nástroja a ich funkcia.

3.3.1 Inicializácia

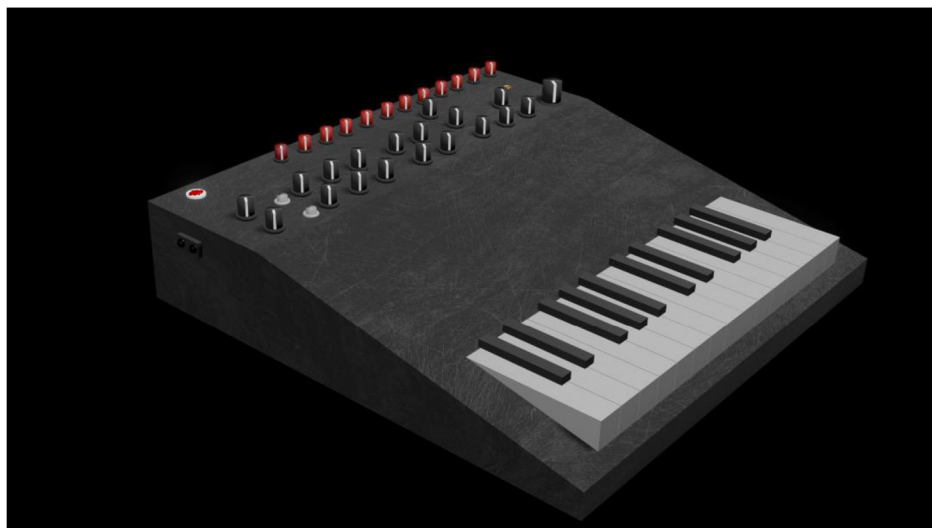
Pre zapnutie nástroja slúži 2 polohový (ON/OFF) spínač, ktorý je umiestnený na zadnej strane nástroja (viď obr. 3.5). V polohe „OFF“ je mikropočítač odpojený od napájania. Po prepnutí do polohy „ON“ sa zapne napájanie z batérie a prebehne inicializácia systému na mikropočítači Raspberry Pi spolu so spustením všetkých potrebných programov pre správne fungovanie nástroja. Pre vypnutie nástroja sa jednoducho prepínač znova prepne do polohy „OFF“.

3.3.2 Predný panel

Takmer všetky hlavné ovládacie prvky sa nachádzajú na prednom paneli nástroja.



Obr. 3.4 Predný panel nástroja



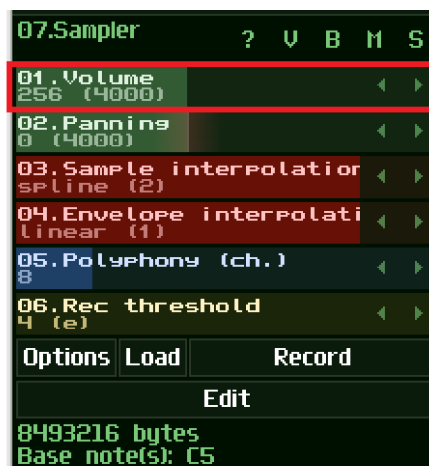
Obr. 3.5 3D koncept nástroja

Sampler

Po zapnutí nástroja sú v oboch moduloch „Sampler“ už načítané počiatkové nahrávky. Pre každý z nich je na prednom paneli nástroja otočný potenciometer na určenie jeho hlasitosti. Teda ovláda v danom moduli parameter „Volume“.



Obr. 3.6 Predný panel - sampler



Obr. 3.7 Ovládaný parameter v moduli Sampler

Filtre

Na Obr. 3.1 modulovej štruktúre nástroja je možné vidieť, že každý zo „Samplerov“ má svoj vlastný filter. Pre určenie typu filtra (dolná priepusť, horná priepusť, pásmová priepusť a pásmová zádrž) slúži otočný potenciometer. Rovnako tak sa ovláda aj amplitúda rezonancie filtra a jeho hraničná frekvencia (cutoff). To znamená, že pre ovládanie jedného filtra slúžia 3 samostatné potenciometre (celkovo 6, keďže filtre sú 2). V súlade s experimentálnosťou nástroja sa však dá frekvencia filtrov ovládať aj bezdotykovo pomocou proximity senzora. To či, a ktorý filter bude proximity senzor ovládať, sa môže prepínať pomocou tlačidiel umiestnených pri každom filtri (pri zopnutom tlačidle frekvenciu ovláda senzor a pri vypnutom potenciometer).



Obr. 3.8 Predný panel - filtre



Obr. 3.9 Ovládané parametre v moduli Filter

Nízko-frekvenčné oscilátory (LFO)

V každom z modulov „Filter“ sa nachádza ovládateľný parameter „LFO freq“ (frekvencia nízko-frekvenčného oscilátora) a „LFO amp“ (jeho amplitúda). Pre ovládanie týchto parametrov rovnako slúžia otočné potenciometre. Pre každý filter je možné tieto parametre meniť separátne.



Obr. 3.10 Predný panel – LFO

04.Filter		? V B M S
01. Volume	256 (8000)	< >
02. Freq (Hz)	14000 (8000)	< >
03. Resonance	755 (3f2a)	< >
04. Type	BP (2)	< >
05. Response	8 (400)	< >
06. Mode	H0 (0)	< >
07. Impulse (Hz)	0	< >
08. Mix	256 (8000)	< >
09. LFO freq	0	< >
0A. LFO amp	21 (a80)	< >

Obr. 3.11 Ovládané parametre v moduli Filter (LFO)

Efektový procesor flanger

V tomto efektovom procesore sa v modulovej štruktúre prvý krát spájajú signály prehrávaných nahrávok. Otočné potenciometre ovládajú parametre „Wet“, „LFO amp“ a „Set LFO phase“.



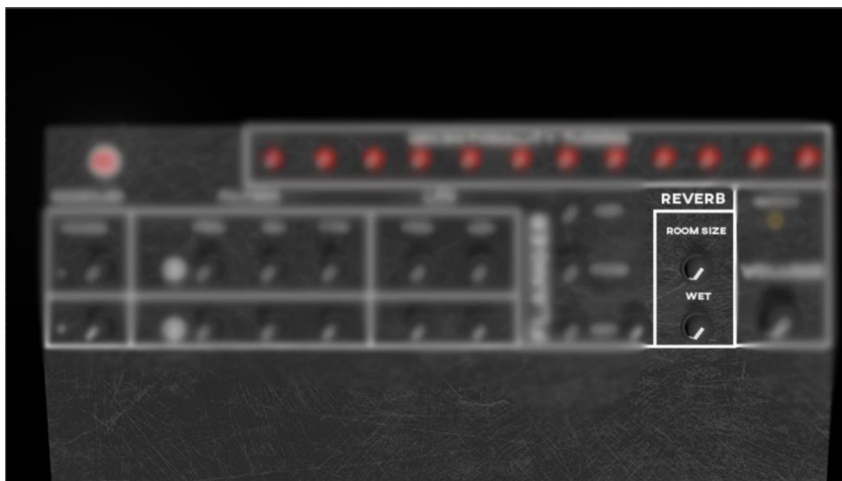
Obr. 3.12 Predný panel - flanger

05.Flanger		? U B M S
01.Dry	118 (3b00)	< >
02.Wet	111 (3780)	< >
03.Feedback	48 (1800)	< >
04.Delay	86 (a11)	< >
05.Response	55 (1b80)	< >
06.LFO freq	0	< >
07.LFO amp	155 (4d80)	< >
08.LFO waveform	sin (1)	< >
09.Set LFO phase	103 (3380)	< >
0A.LFO freq unit	Line/3 (6)	< >

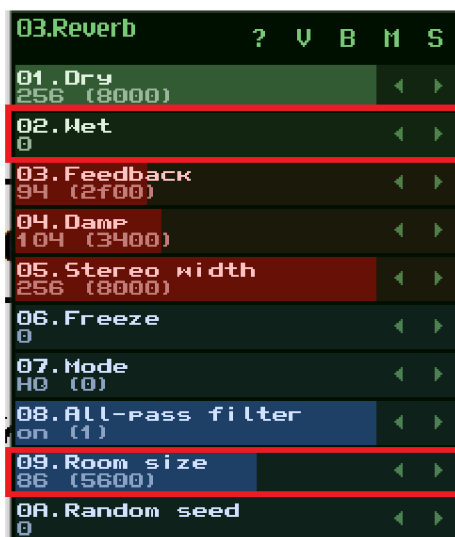
Obr. 3.13 Ovládané parametre v moduli Flanger

Efektový procesor reverb

Ako predposledný modul v reťazci figuruje efektový procesor typu reverb, čo znamená, že ako posledný ovplyvňuje výstup signálu (za ním sa nachádza už len modul „Amplifier“ ktorý ovláda celkovú hlasitosť). Parametre, ktoré sa v ňom modulujú sú parameter „Wet“, ktorý určuje pomer procesovaného signálu efektom k signálu bez procesingu a parameter „Room size“, ktorý určuje veľkosť dozvuku. Opäť sú na ovládanie týchto parametrov použité otočné potenciometre.



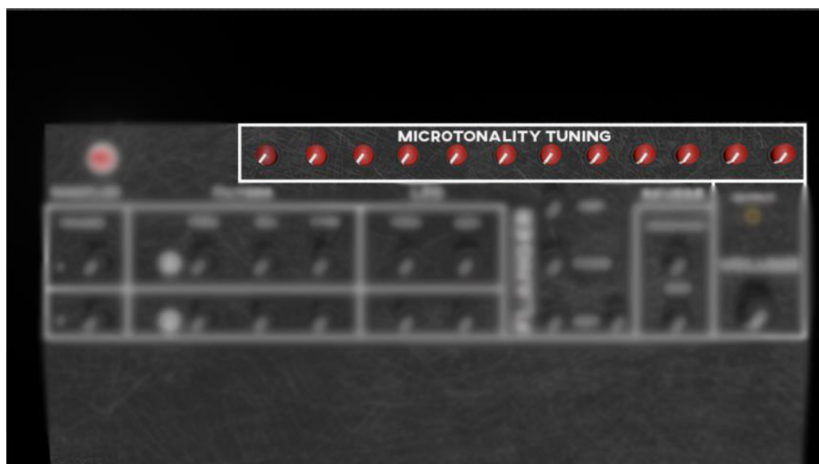
Obr. 3.14 Predný panel - reverb



Obr. 3.15 Ovládané parametre v moduli Reverb

Mikrotonalita

Nástroj taktiež obsahuje 12 otočných potenciometrov pre mikrotonálne nastavenie výšky tónu pre každý tón chromatickej stupnice osobitne (C, C#, D, D#, E, F, F#, G, G#, A, A#, B). Je to možné pomocou vytvoreného modulu, ktorý prepisuje základné frekvencie (výšky) tónov.



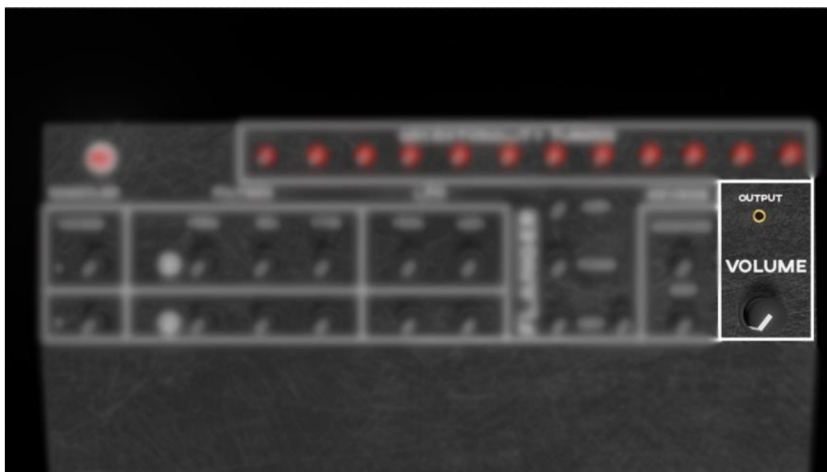
Obr. 3.16 Predný panel - mikrotonálne ladenie

12.MetaModule		?	V	B	M	S
01. Volume	152 (1300)					
02. Input module	1					
03. Play patterns	off (0)					
04. BPM (Beats Per Minute)	120 (78)					
05. TPL (Ticks Per Line)	6					
06. B	51 (4000)					
07. a	-102 (2680)					
08. A	-51 (3340)					
09. a	205 (7340)					
0A. C	51 (4000)					
0B. f	102 (5980)					
0C. F	-51 (3340)					
0D. E	0 (4000)					
0E. d	-154 (1980)					
0F. D	102 (5980)					
10. c	154 (6680)					
11. C	0 (4000)					

Obr. 3.17 Ovládané parametre v moduli Metamodule

Hlasitosť

Pre ovládanie hlasitosti je umiestnený jeden otočný potenciometer v pravom hornom rohu nástroja. Ovláda parameter „Volume“ modulu „Amplifier“, ktorý je na konci celého modulového reťazca (vid' obr. 3.1) a teda ovplyvňuje celkovú výslednú hlasitosť nástroja.



Obr. 3.18 Predný panel – hlasitosť

00.Amplifier	? V B M S
01. Volume	546 (4440) ◀ ▶
02. Balance	0 (4000) ◀ ▶
03. DC Offset	0 (4000) ◀ ▶
04. Inverse	off (0) ◀ ▶
05. Stereo width	136 (4400) ◀ ▶
06. Absolute	off (0) ◀ ▶
07. Fine volume	32768 (8000) ◀ ▶
08. Gain	1 (7) ◀ ▶

Obr. 3.19 Ovládaný parameter v moduli Amplifier

3.4 Púzdro nástroja

Keďže telo nástroja je vytlačené na 3D tlačiarni, voľba jeho materiálu je celkom limitovaná. To však konceptu len prospieva, keďže jedným z faktorov, ktorý musí

kompaktný prenosný nástroj spĺňať je nízka váha. Preto bude telo nástroja tvorené z plastu.



Obr. 3.20 Koncept púzdra nástroja

3.4.1 Napájanie

Súčasťou púzdra nástroja je batéria s kapacitou 10 000mAh, ktorá napája mikropočítač Raspberry Pi. Jej kapacita umožňuje prevádzkovať nástroj niekoľko hodín bez nutnosti pripojeného nabíjania. Užívateľ ju môže nabíjať pomocou konektora micro USB, ktorý je umiestnený na zadnej strane nástroja.

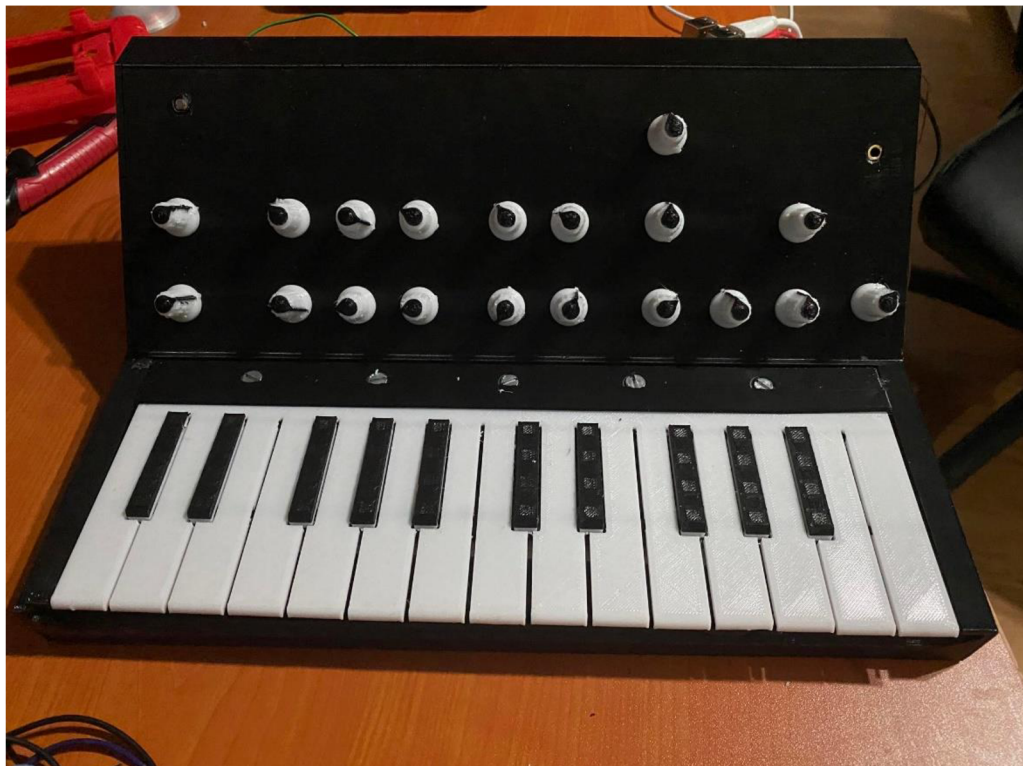
Arduino je napájané priamo z mikropočítača Raspberry Pi pomocou USB výstupu. Rovnako figuruje pre mikropočítač Raspberry Pi ako MIDI ovládač.

4. REALIZÁCIA

Táto časť práce je zameraná na samotnú realizáciu nástroja. Postup realizácie sa dá rozdeliť na 3 základné časti – hardvérová časť, softvérová časť a tlač.

Medzi návrhom a finálnym konceptom prebehlo pár zmien. Žiadna z nich však nemení podstatu a experimentálnosť nástroja. Hlavná zmena sa týka mikrotonálneho ladenia, kde namiesto 12 otočných potenciometrov tento parameter ovláda fotorezistor. Myslím si, že táto zmena robí nástroj viac zaujímavým a rovnako viac využíva potenciál ovládania parametrov pomocou okolitého svetla.

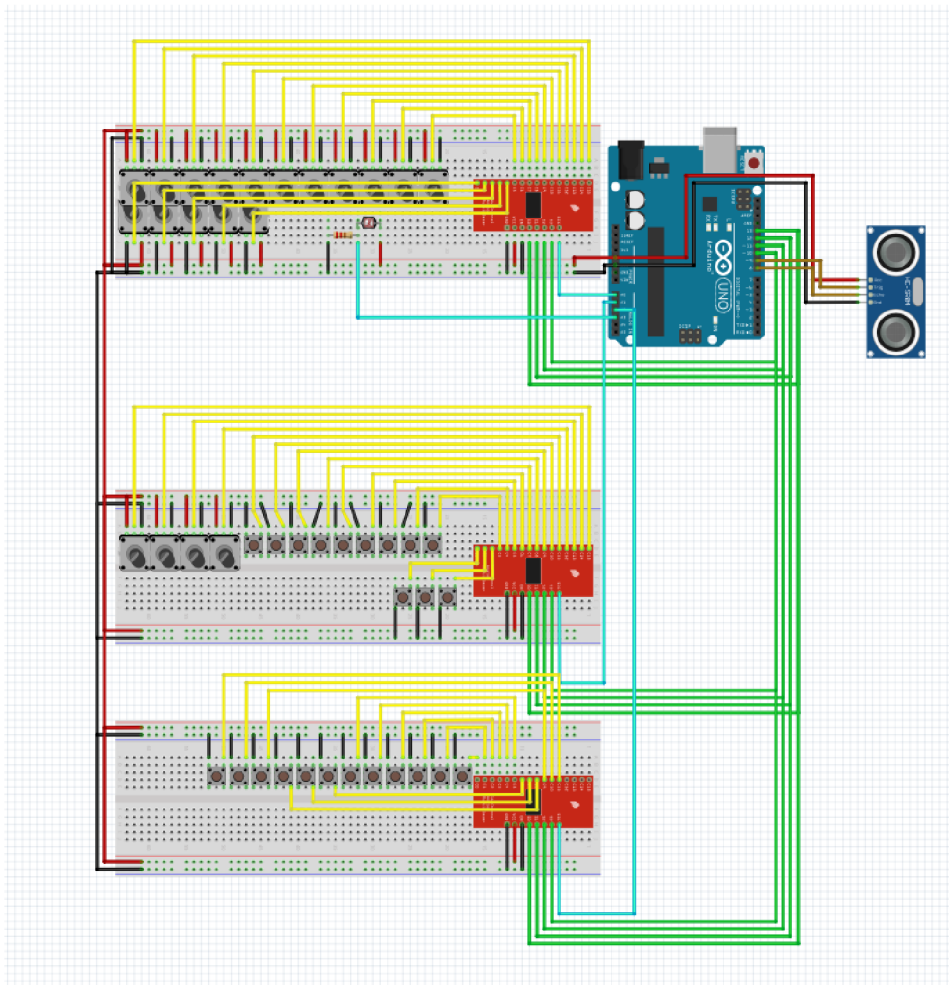
Ako prvé bolo potrebné navrhnuť štruktúru MIDI kontroléru na základe vytvorenej konfigurácie v syntetizátore Sunvox. Podľa návrhu zapojenia bolo následne potrebné naprogramovať program vo vývojovom prostredí Arduino IDE, ktorý navrhnutý hardvér riadi. Ako ďalší krok bolo potrebné naprogramovať mikropočítač Raspberry Pi tak, aby sa po spustení systému načítala správna konfigurácia operačného systému Raspbian a syntetizátora Sunvox. Poslednú časť tejto podkapitoly tvorí návrh tela nástroja a jeho tlač.



Obr. 4.1 Finálny výrobok

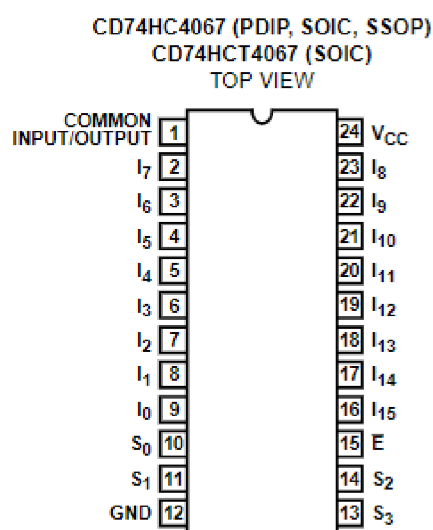
4.1 Hardvér

Schéma MIDI kontroléru bola navrhnutá v programe Fritzing (viď obr. 4.1). Tento návrh zjednodušuje celý proces finalizácie a taktiež pomáha chápať štruktúru zapojenia.



Obr. 4.2 Schéma zapojenia v programe Fritzing

Kvôli nedostatku digitálnych pinov na Arduine bolo potrebné použiť multiplexory. Multiplexor je zariadenie, ktoré funguje na princípe prepínaču. Má viacero výstupov, ktorých kombináciou je možné zvoliť jeden zo signálových vstupov. Pre túto prácu som zvolil multiplexor CD74HC4067.



Obr. 4.3 Rozloženie jednotlivých pinov na multiplexore CD74HC4067

Má 4 výstupy, na ktoré umožňuje pripojiť až 16 vstupov. Zapojenie jedného multiplexora teda na Arduino zaberie 4 digitálne a 1 analógový pin. Každý ďalší multiplexor však môže digitálne piny zdieľať. Potrebuje len 1 nový analógový pin. Pre zapojenie všetkých potenciometrov, kláves a prepínačov bolo potrebné použiť 3 multiplexory tohto typu. Ako je znázornené na Obr. 4.1, multiplexory zdieľajú na Arduino digitálne piny (D10, D11, D12, D13), ktoré sú pripojené k ich adresným pinom (S0, S1, S2, S3). Signálové výstupy z multiplexorov (pin „COMMON INPUT/OUTPUT“) sú pripojené k analógovým vstupom na Arduino (A0, A1, A2), každý zvlášť. Pin V_{CC} na multiplexore je pripojený na 5V napájanie z Arduina a piny GND a E sú pripojené na spoločnú zem.

S0	S1	S2	S3	E	SELECTED CHANNEL
X	X	X	X	1	None
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	2
1	1	0	0	0	3
0	0	1	0	0	4
1	0	1	0	0	5
0	1	1	0	0	6
1	1	1	0	0	7
0	0	0	1	0	8
1	0	0	1	0	9
0	1	0	1	0	10
1	1	0	1	0	11
0	0	1	1	0	12
1	0	1	1	0	13
0	1	1	1	0	14
1	1	1	1	0	15

H= High Level
L= Low Level
X= Don't Care

Obr. 4.4 Logická štruktúra multiplexoru CD74HC4067

Na obr. 4.3 je zobrazená logická štruktúra multiplexoru, podľa ktorej sa riadi. Rôzne kombinácie adresných pinov (S0, S1, S2, S3) dokážu na výstup priviesť signál zo 16-tich rôznych vstupov.

Všetky potenciometre sú lineárne s variabilnou hodnotou odporu 10k Ω (typ B10K). Pre meranie vzdialenosti hráčovej ruky bol zvolený ultrazvukový proximity senzor typu HC-SR04 a pre meranie intenzity okolitého svetla 5mm fotorezistor typu GL5528. Ovládacie rozhranie tvoria aj klávesy, po ktorých stlačení dochádza k zopnutiu jednoduchého obvodu.

4.2 Softvér

Pre správne fungovanie nástroja bolo potrebné naprogramovať ako Arduino, tak aj mikropočítač Raspberry Pi .

4.2.1 Arduino – softvér

Keďže vývojové dosky Arduino s procesormi ATmega16u2 (Uno, Mega, Nano) natívne nepodporujú posielanie MIDI správ, bolo potrebné doňho nahrat' nový firmware, ktorý to umožňuje. Po nahraní nového firmwaru je Arduino v operačnom systéme rozpoznané ako plnohodnotný MIDI kontrolér. To znamená, že na mikropočítačy Raspberry Pi už nebude potrebné implementovať žiadny prevodník tretej strany, ktorý by prevádzal sériové dáta na MIDI správy.

Pre programovanie vývojovej dosky Arduino slúži jeho vývojové prostredie Arduino IDE. Program, ktorý riadi Arduino, obsahuje 2 hlavné časti: *setup()* a *loop()*. Všetko, čo sa nachádza v časti *setup()*, prebehne iba raz a to vždy pri inicializácii Arduina. Sekcia *loop()* obsahuje kód, ktorý sa následne spúšťa v cykle. Pre tento projekt som využil knižnicu *MIDI*, ktorá bola vytvorená práve pre prípady, kedy užívateľ chce zo svojho Arduina vytvoriť MIDI kontrolér. Ďalej bola použitá knižnica *Multiplexer4067*, ktorej funkcie uľahčujú prácu s použitými multiplexormi a knižnica *ResponsiveAnalogRead*, ktorej funkcie pomáhajú eliminovať nechcený šum na úkor lepšej odozvy potenciometrov. Knižnica *NewPing* uľahčuje prácu s ultrazvukovým proximity senzorom. Hlavnú časť kódu (obr. 4.4) tvorí ovládanie potenciometrov. Jej štruktúra bola inšpirovaná z internetového kurzu *Making music with Arduino* [27]. Po vytvorení celého kódu vývojové prostredie skontroluje prípadné chyby/nedostatky kódu a nahrá ho do Arduina. Od toho momentu sa Arduino riadi inštrukciami, ktoré zadal používateľ v danom kóde. Po napísaní kompletného kódu nastala komplikácia, kedy pri nahrávaní kódu do Arduina došlo k zaplneniu jeho dynamickej pamäte. Tento problém som mohol vyriešiť napríklad zmenou dosky Arduino UNO na Arduino Mega, ktorá má 4 krát väčšiu dynamickú pamäť, no keďže som mal k dispozícii ešte 1 Arduino UNO, rozhodol som sa kód rozdeliť na 2 väčšie časti (klávesy a potenciometre) a teda použiť v nástroji 2 vývojové dosky Arduino.

```

int light;
#include <NewPing.h> // knižnica pre proximity senzor
#include <MIDI.h>
NewPing sonar (10, 11, 30); // inicializácia proximity senzora (trigger pin, echo pin, vzdialenosť v cm)

#define USING_POTENTIOMETERS 1
#define USING_MUX 1

#ifdef USING_MUX
#include <Multiplexer4067.h> // knižnica pre multiplexer
#endif

#include <Thread.h>
#include <ThreadController.h>

#ifdef USING_MUX
#define N_MUX 1 /* počet multiplexorov
/* Definícia pinov s0, s1, s2, s3, a SIG pinu
#define s0 2
#define s1 3
#define s2 4
#define s3 5
#define xl A1

// Inicializácia multiplexoru(ov)
Multiplexer4067 mux[N_MUX] = {
  Multiplexer4067(s0, s1, s2, s3, xl)
};
#endif

#ifdef USING_POTENTIOMETERS
#include <ResponsiveAnalogRead.h>
#endif

// Potenciometre

#ifdef USING_POTENTIOMETERS

const byte N_POTS = 16; // celkový počet potenciometrov

const byte N_POTS_ARDUINO = 0; /* počet potenciometrov pripojených priamo na Arduino
const byte POT_ARDUINO_PIN[N_POTS_ARDUINO] = {}; /* piny potenciometrov pripojených priamo na Arduino

// -----

#ifdef USING_MUX
const byte N_POTS_PER_MUX[N_MUX] = {16}; /* počet potenciometrov v multiplexore/och
const byte POT_MUX_PIN[N_MUX][16] = { |
{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15}, /* piny každého potenciometra v multiplexore
};

```

Obr. 4.5 Hlavná časť kódu

4.2.2 Raspberry Pi – softvér

Ako prvé bolo potrebné na mikropočítač nainštalovať operačný systém Raspbian. Následne nainštalovať syntetizátor Sunvox a nastaviť MIDI prepojenie medzi samotným ovládačom a mikropočítačom. Po vytvorení celej konfigurácie v syntetizátore Sunvox, bolo dôležité „namapovať“ všetky potrebné parametre, ktoré budú ovládané MIDI ovládačom. Ďalej bolo nutné zabezpečiť to, aby sa vždy pri jeho ďalšom zapnutí otvorila vytvorená konfigurácia. To je možné spraviť v nastaveniach syntetizátora. Ďalším krokom bolo nastaviť mikropočítač tak, aby sa vždy s operačným systémom spustil aj

syntetizátor. Táto operácia vyžadovala zmenu konfiguračného súboru *autostart* pomocou terminálu. Ako posledný krok sa pre optimalizáciu výkonu zmenilo rozlíšenie okna syntetizátora na najmenšie možné (10x10 pixelov) – to plynie z dôvodu, že grafické rozhranie syntetizátora už pre samotné fungovanie nástroja nebude treba. Znamená to, že hardvér mikropočítača bude menej zaťažovaný a ostane viac výpočtovej sily pre procesovanie a prehrávanie zvuku.

4.3 3D Tlač

Pre návrh tela nástroja, ako bolo uvedené v teoretickej časti, bol použitý program Fusion 360. Telo nástroja prešlo od pôvodného 3D konceptu malými zmenami. Zmeny sa týkajú hlavne rozloženia vstupných a výstupných konektorov. Všetky pripájacie konektory, vrátane HDMI, USB vstupov a 2 polohového prepínača pre zapínanie nástroja sa nachádzajú na pravej strane nástroja. Rovnako tak bolo odstránených 12 otočných potenciometrov pre ovládanie mikrotonality, keďže tento parameter v novej verzii riadi fotorezistor. Nástroj je navrhnutý tak, aby bol v prípade porúch alebo iných náležitostí rozoberateľný.

Samotná 3D tlač prebiehala na tlačiarni Creality CR-10 Smart Pro. Pre správnu pevnosť bol použitý materiál PETG, ktorý poskytuje dostatočnú pružnosť a odolnosť proti teplu a nárazu. Materiál tlačila tryska s priemerom 0,8mm. Vnútro stien tvorí trojuholníková štruktúra s 20% výplňou (infill). Pri rýchlosti tlače 140mm/s a výškou vrstvy 0,32mm, tlač trvala 2 dni a 16 hodín.



Obr. 4.6 Model nástroja v programe Fusion 360

5. VYUŽITE NÁSTROJA

Nástroj je na ovládanie hráčom veľmi jednoduchý a intuitívny. Po zapnutí je už asi po 30 sekundovej inicializácii plne ovládateľný. Hlavnou vymoženosťou nástroja je jeho kompatibilita, ktorá umožňuje objavovať využiteľnosť nástroja v rôznych prostrediach. Hlavnú časť nástroja tvorí klaviatúra, pomocou ktorej hráč klasicky určuje výšku tónu prehrávaného samplu. Pomocou ovládacieho rozhrania môže hráč následne modulovať sample pomerne širokou škálou možností v prostredí syntetizátora Sunvox.

Charakter nástroja a samotná hra na nástroj sa veľmi odvíja od výberu samotných samplov. Pre plné využitie potenciálu všetkých funkcií a efektových procesorov je viac vyhovujúce vybrať pomerne dlhšie sample. Pri krátkych samplach a samplach s krátkym dozvukom (tzv. „oneshots“) som si všimol, že využiť podstatu tohto nástroja vyžaduje oveľa viac interakcií v krátkom časovom intervale a preto si myslím, že je to v tomto prípade menej praktické.

Jedným spôsobom hrania na nástroj je výber samplu akustického charakteru akým sú napríklad husle. Hráč v tomto prípade môže veľmi jednoducho a intuitívne vytvoriť ambientné ruchy. Zatiaľ čo jednou rukou hráč ovláda klaviatúru, druhou rukou môže v tom istom čase ovládať medznú frekvenciu filtrov „cutoff“ pohybom ruky a zároveň množstvo mikrotonálneho rozladenia, ktoré bude aplikované (napr. palcom prikrýva a odokrýva fotorezistor, ktorý tento parameter mení).

V druhom prípade, pri zvolení samplu viac umelého a komplexného charakteru ako napríklad výstup určitej syntézy, vie hráč vyvinúť experimentálny, až dronový ambient.

Keďže kľúčovým faktorom efektivity ovládania fotorezistora je okolité svetlo, hráč môže využívať mikrotonalitu dvomi spôsobmi.

Prvá situácia nastáva, keď hráč hrá na nástroji pri slabom alebo žiadnom osvetlení a môže regulovať mieru mikrotonálneho rozladenia externým zdrojom svetla. To otvára možnosť ďalšieho využitia nástroja v audio-vizuálnej scéne, kde by bol externý zdroj svetla napríklad obrazovka/premietacie plátno.

V druhom prípade, teda keď hráč hrá na nástroji pri dennom alebo umelom osvetlení, môže regulovať mieru mikrotonálneho rozladenia prikrívaním fotorezistoru. Tým zabezpečí to, že sa na fotorezistor dostane menej dopadajúceho svetla, a teda „oživí“ mikrotonalitu nástroja.

Mne osobne sa najviac na nástroji páči okrem experimentálnych prvkov aj široká možnosť modulácie v čase pomocou filtrov a LFO. Práve to pomáha hráčovi sample rozoznať. Efektový procesor flanger spolu s reverbom dodávajú konečnému zvuku priestor a šírku.

Od prvotného konceptu nástroj prešiel niekoľkými zmenami. Hlavný cieľ experimentálnosti a kompaktnosti nástroja však zostal zachovaný. Softvérová časť nástroja ostala bez zmeny. Ako je možné v kapitole návrh nástroja vidieť, nástroj bol navrhnutý tak, aby mikrotonálne ladenie bolo ovládané pomocou 12 otočných potenciometrov - pre každý tón chromatickej stupnice zvlášť. Pri procese realizácie bol tento návrh zmenený. Ovládanie mikrotonality pomocou svetla mi prišlo omnoho zaujímavejšie a oveľa prívetivejšie pri riešení otázky experimentálnosti nástroja. Preto tento parameter ovláda fotorezistor. Svojim spôsobom táto zmena odstraňuje možnosť presného ladenia, no na druhej strane prispieva k interaktivite ovládania. Keďže je v konečnom dôsledku Arduino naprogramované tak, aby bolo kompatibilné s MIDI, nástroj je po kompletizácii možné používať aj bez mikropočítača Raspberry Pi ako MIDI ovládač pre ľubovoľný iný digitálny syntetizér/DAW na inom operačnom systéme. Aj to rozširuje využiteľnosť nástroja do budúcnosti. Jeden z mínusov nástroja je, že pre zmenu sámplov sa užívateľ musí pripojiť k extrenej obrazovke, na ktorej si pomocou klávesnice a myši v grafickom rozhraní syntetizátora sunvox musí nahráť nové. Tento nedostatok by sa dal vyriešiť pridaním malého displeja, ktorý by umožňoval tento proces vykonať bez nutnosti externej obrazovky. Napriek tomu, že pre fungovanie tohto nástroja nieje potrebný žiadny displej, po jeho pripojení má však užívateľ možnosť zasahovať do už vytvorenej konfigurácie v syntetizátore Sunvox alebo si vytvoriť aj svoju vlastnú. Všetky ovládacie prvky je možné „premapovať“ na ovládanie nových parametrov a tým pádom môže užívateľ zmeniť charakteristiku celého nástroja.

6. ZÁVER

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo navrhnuť experimentálny hardvérový nástroj v digitálno analógovom prevedení, ktorý umožňuje moduláciu samplov pomocou experimentálnych prvkov ako napr. bezdotykové ovládanie parametrov pomocou ultrazvukového proximity senzora, ovládanie parametrov intenzitou dopadajúceho svetla na základe fotorezistora alebo mikrotonálne rozladenie.

V prvej časti boli predstavené základné teoretické poznatky úzko súvisiace s touto prácou ako napríklad druhy syntéz, digitálny syntetizér Sunvox, Arduino a jeho vývojové prostredie a mikropočítač Raspberry Pi. Rovnako sú v nej uvedené princípy fungovania experimentálnych prvkov.

V ďalšej časti bol predstavený návrh nástroja, podľa ktorého, až na pár zmien, prebiehala jeho realizácia.

Výstupom tejto práce je kompaktný prenosný nástroj, ktorý funguje samostatne bez napájania zo siete alebo iného externého prvku. Aj keď je nástroj zvukovo obmedzený výberom samplu (a zároveň vďaka tomu zvukovo neobmedzený), myslím si, že svoje využitie si v praxi nájde. Nástroj prirodzene nabáda hráča používať intuitívne ovládanie pohybom ruky a zároveň stelesňuje princíp klasického syntetizéru. Okrem klaviatúry umožňuje ovládací panel hráčovi komplexne meniť charakteristiku hraného zvuku - či už pomocou filtrov alebo iných efektových procesorov. Keďže je nástroj postavený na báze moderných vývojových platforiem, jeho modularita pokrýva širokú škálu možností využiteľnosti v budúcnosti. Aj keď výsledok nieje prieborný, počas riešenia problémov návrhu, až po samotnú realizáciu som sa naučil mnoho informácii ohľadom práce so zvukom alebo samotnými vývojovými platformami. Tým považujem zámer a zmysel práce za splnený.

7. POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] Synthesis types. *Planet of Tunes* [online]. 1998 [cit. 13.12.2021]. Dostupné z: <http://www.planetoftunes.com/synthesis/synthesis-types.php>
- [2] ROBEHMED, Natalie. What is a synthesizer. *Perfect circuit* [online]. 8.1.2019 [cit. 13.12.2021]. Dostupné z: <https://www.perfectcircuit.com/signal/what-is-a-synthesizer>
- [3] ŽATKOVIČ, Ing. Alexander. Frekvenčné selektory. *Alzat Spseke* [online]. [cit. 13.12.2021]. Dostupné z: https://alzat.spseke.sk/selektory/frekvenc/frek_sel.htm
- [4] SWISHER, Drew. ADSR. *Musician on a mission* [online]. [cit. 13.12.2021]. Dostupné z: <https://www.musicianonamission.com/adsr/>
- [5] Sampler. *Soundbridge* [online]. [cit. 13.12.2021]. Dostupné z: <https://soundbridge.io/sampler/>
- [6] BELLO, Juan P. MIDI Code. *Docplayer* [online]. [cit. 13.12.2021]. Dostupné z: <https://docplayer.net/21050875-Midi-code-juan-p-bello.html>
- [7] Scale (music). *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 13.12.2021]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Scale_\(music\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Scale_(music))
- [8] Chromatic scale. *Wikipedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 13.12.2021]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Chromatic_scale
- [9] Diatonic scale. *Wikipedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 13.12.2021]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Diatonic_scale
- [10] NETTL, Bruno. Microtonal music. *Britannica* [online]. Encyclopædia Britannica [cit. 13.12.2021]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/art/microtonal-music>
- [11] DEAN, Roger, Freya BAILES a David BRENNAN. *Music of the spirit: Asian-Pacific Musical Identity*. The Rocks, N.S.W.: Australian Music Centre, 2008. ISBN 9780909168650.
- [12] LUTKEVICH, Ben. Microcontroller. *Internet of things agenda* [online]. 2019 [cit. 13.12.2021]. Dostupné z: <https://www.internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/microcontroller>
- [13] THAKUR, Dinesh. What is microcomputer? *Ecomputer notes* [online]. [cit. 13.12.2021]. Dostupné z:

- https://ecomputernotes.com/fundamental/introduction-to-computer/microcomputer#Components_of_Microcomputer
- [14] Single-Chip/Multi-Chip Microprocessors. *Renesas* [online]. [cit. 13.12.2021]. Dostupné z: http://resource.renesas.com/lib/eng/e_learnig/h8_300henglish/s01/04.html
- [15] Arduino. *Wikipedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 13.12.2021]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino#Software>
- [16] What is raspberry pi? *Raspberry Pi* [online]. United Kingdom: The Raspberry Pi Foundation [cit. 13.12.2021]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/help/what-%20is-a-raspberry-pi>
- [17] DASS, Vishnu. Raspberry Pi History. *Linux Hint* [online]. Linux Hint [cit. 13.12.2021]. Dostupné z: <https://linuxhint.com/raspberry-pi-history/>
- [18] Raspberry Pi. *Wikipedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 13.12.2021]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi
- [19] HARRINGTON, William. *Learning Raspbian*. Packt Publishing, 2015. ISBN 1784392197.
- [20] Photoresistor. *EE POWER* [online]. EETech Media [cit. 13.12.2021]. Dostupné z: <https://www.eepower.com/resistor-guide/resistor-types/photo-resistor/#>
- [21] Fotorezistor. *Wikipedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 13.12.2021]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotorezistor>
- [22] All about Proximity Sensors: Which type to use? *SeedStudio* [online]. Seed Technology Co., 2008 [cit. 13.12.2021]. Dostupné z: <https://www.seeedstudio.com/blog/2019/12/19/all-about-proximity-sensors-which-type-to-use/>
- [23] AQUIB, Ansari. Ultrasonic Sensor and Arduino Tutorial. *Medium* [online]. [cit. 13.12.2021]. Dostupné z: <https://medium.com/@aquibansari12377/ultrasonic-sensor-and-arduino-tutorial-89c38c81f103>
- [24] JANKOWSKI, Gregory a Richard DOYLE. *Solidworks for dummies*. Wiley, 2005. ISBN 978-0764595554.

- [25] ZOLOTOV, Alexander. Manual. *Warmplace* [online]. [cit. 13.12.2021]. Dostupné z: <https://warmplace.ru/soft/sunvox/manual.php> Dostupné také z: <https://warmplace.ru/soft/sunvox/manual.php>
- [26] WILSON, Nick. *Interpreting the synthesizer: Meaning through Sonics*. Cambridge Scholars Publishing, 2020. ISBN 1527559114.
- [27] SILVEIRA, Gustavo. Making music with Arduino. *Musiconerd* [online]. Brazília [cit. 22.5.2022]. Dostupné z: <https://www.musiconerd.com/>

8. ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

MMA	MIDI manufacturers association
I/O	input/output - vstup/výstup
RAM	random access memory
ROM	ready only memory
MB	megabyte
s	sekunda - jednotka času
IR	infra red - infra červené/ý
HDMI	high definition multimedia interface
LFO	low frequency oscillator - nízkofrekvenčný oscilátor
GND	ground - zem
Ω	ohm - jednotka odporu

A OBSAH ELEKTRONICKEJ PRÍLOHY

V elektronickej prílohe sú priložené 2 zložky. Obsahujú kompletne kódy, ktoré boli použité v Arduinách. Samotné súbory je možné spustiť vo vývojovom prostredí Arduina (Arduino IDE). Kódy boli testované vo verzii softvéru 1.8.16.