



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

KONSTRUKCE MIDI PŘEVODNÍKU A INOVACE BARVY ČINELŮ O UMĚLÉ SLOŽKY

MIDI TRANSDUCER DESIGN AND CYMBAL COLOUR UPGRADE WITH ARTIFICIAL COMPONENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Pospíšil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

MgA. et Mgr. Ondřej Jirásek,
Ph.D.

BRNO 2024

Bakalářská práce

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

Student: Martin Pospíšil

ID: 221454

Ročník: 3

Akademický rok: 2023/24

NÁZEV TÉMATU:

Konstrukce MIDI převodníku a inovace barvy činelů o umělé složky

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte, vyrobte či zkombinujte převodník, který převede audio signály a zvuk nejméně ze dvou činelů do standardu MIDI. Důležité je zachycení co nejširšího dynamického rozsahu. Provedte spektrální analýzu nejméně pěti činelů různého typu (crash, splash, ride), jak typu šumů, tak neharmonických vzorců. Vytvořte program, který bude akustickou barvu činelů vhodně doplňovat o další uměle vytvořené složky: různě filtrované šумы, ale i aditivně vytvořené neharmonické shluky (cinkání apod.) i jiné. Připravte nejméně 20 zajímavých presetů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] FLETCHER, Neville H., ROSSING, Thomas D. The Physics of Musical Instruments, Second Edition, Springer, © 1998 Springer Science+ Business Media New York Originally published by Springer Science+ Business Media, Inc. in 1998 Softcover reprint of the hardcover 2nd edition 1998, ISBN 978-1-4419-3120-7 [2] KOENING, D.V. Spectral analysis of musical sounds with emphasis on the piano. Oxford: Oxford University Press, 2015. ISBN 978-0-19-872290-8

Termín zadání: 5.2.2024

Termín odevzdání: 28.5.2024

Vedoucí práce: MgA. et Mgr. Ondřej Jirásek, 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

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukcí MIDI převodníku a inovací barvy činelů o umělé složky. Cílem práce bylo navrhnout a vyrobit převodník, který převádí audio signály z činelů do standardu MIDI, přičemž zachycuje co nejširší dynamický rozsah. Dále byla provedena spektrální analýza několika typů činelů a vytvořen program, který doplňuje jejich akustickou barvu o uměle vytvořené složky, jako jsou filtrované šумы a aditivní neharmonické shluky. Výsledkem práce je funkční prototyp MIDI převodníku a program implementovaný do softwaru NI Reaktor, který umožňuje vytváření zvukových presetů s inovovanou barvou činelů. Práce splnila stanovené cíle a poskytla základ pro další vývoj v této oblasti.

KLÍČOVÁ SLOVA

MIDI převodník, spektrální analýza, činely, umělé složky zvuku, NI Reaktor, dynamický rozsah, filtrování šumu, syntéza zvuku, audio signál. Klíčová slova v originálním jazyce

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with MIDI transducer design and cymbal color innovation with artificial components. The goal of the thesis was to design and fabricate a converter that converts audio signals from cymbals to the MIDI standard while capturing the widest dynamic range. Furthermore, a spectral analysis of several types of cymbals was performed and a program was created that adds artificial components such as filtered noise and additive inharmonic clusters to their acoustic color. The result of this work is a working prototype MIDI transducer and a program implemented in NI Reaktor software that allows the creation of acoustic presets with the upgraded cymbal color. The work met the stated objectives and provided a basis for further development in this area.

KEYWORDS

MIDI converter, spectral analysis, cymbals, artificial sound components, NI Reaktor, dynamic range, noise filtering, sound synthesis, audio signal.

POSPÍŠIL, Martin. *Konstrukce MIDI převodníku a inovace barvy činelů o umělé složky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2023, 95 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: MgA. Mgr. Ondřej Jirásek, PhD.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Martin Pospíšil
VUT ID autora: 22145
Typ práce: Bakalářská práce
Akademický rok: 2022/2023
Téma závěrečné práce: Konstrukce MIDI převodníku a inovace barvy činelů o umělé složky

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.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu semestrální práce panu MgA. et Mgr. Ondřeji Jiráskovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Dále bych rád poděkoval pedagogům z našeho ústavu za mnohé užitečné znalosti nabyté po dobu studia, které výrazně přispěly k napsání této práce.

Obsah

Úvod	21
Cíle práce	23
1 MIDI	25
1.1 Historie	25
1.2 Princip MIDI	26
1.3 Technická specifikace	26
1.3.1 Hardwarové rozhraní	27
1.3.2 Význam typů zásuvek	28
1.3.3 Struktura MIDI protokolu	29
1.3.4 Kanálová data	30
1.3.5 MIDI zprávy Nota zapnuta a Nota vypnuta	31
1.4 Standardní MIDI soubor (Standard MIDI file)	33
1.4.1 Hlavička standardního MIDI souboru	33
1.4.2 Stopy standardního MIDI souboru	33
2 Idiofony	35
2.1 Činely	35
2.1.1 Hi-Hat	36
2.1.2 Crash	36
2.1.3 Ride	37
2.1.4 China	37
2.1.5 Splash	37
3 Zvukový signál	39
3.1 Časový průběh zvukového signálu	40
3.2 Snímání zvukového signálu pomocí mikrofону	42
3.2.1 Vlastnosti mikrofónů	42
3.2.2 Typy mikrofónů z hlediska konstrukce	43
3.2.3 Rozdělení mikrofónů podle směrové charakteristiky	47
3.3 Spektrální analýza	48
3.3.1 Spektrum signálu	48
3.3.2 Spektrogram	49
3.3.3 Fast Fourier Transformation	50
3.4 Šum	51
3.4.1 Bílý šum	51
3.4.2 Růžový šum	52

3.4.3	Hnědý šum	52
3.4.4	Fialový šum	52
3.4.5	Modrý šum	52
4	Vyhodnocení měření	53
4.1	Spektrální analýza činelů	53
4.1.1	Mikrofony použité při měření	53
4.1.2	Postup Měření	53
4.2	Analýza měřených vzorků	55
4.2.1	Spektrální analýza	55
4.3	MIDI převodník	62
4.3.1	Konstrukce MIDI převodníku	62
4.4	Programové řešení pro Arduino MKR1000	65
4.4.1	Ochranný obal převodníku	66
4.4.2	Funkčnost kódu MIDI převodníku	67
4.5	Program SaMi doplňující akustickou barvu činelů	69
4.5.1	Popis programu SaMi	69
4.5.2	Funkčnost programu SaMi	69
4.6	Převod programu z Matlabu do Nativ Instruments Reaktor	74
4.6.1	Porovnání spekter programu doplňující akustickou barvu činelů	81
	Závěr	87
	Literatura	89
	Seznam symbolů a zkratek	93
	Seznam příloh	95

Seznam obrázků

1.1	Zadní panel elektronického syntezátoru s trojicí konektorů MIDI	26
1.2	Schéma rozhraní MIDI	27
1.3	Struktura stavového a datového bytu protokolu MIDI	29
1.4	Struktura MIDI zprávy Note On	31
1.5	Tabulka čísel MIDI not	31
1.6	Struktura MIDI zprávy Note Off	32
1.7	Formáty základní relativní časové jednotky SMF souboru	34
2.1	Části činelu	36
3.1	Základní rozdělení signálu	39
3.2	ADSR obálka neperkusivního signálu	41
3.3	ADSR obálka perkusivního signálu	41
3.4	Schématický rozdíl mezi tlakovým a gradientním mikrofonom	46
3.5	Směrové charakteristiky mikrofonů	47
3.6	Základní rozdělení spektra	49
3.7	Ukázka spektrogramu	49
3.8	Základní rozdělení barev šumu v grafu PSD (Výkonová spektrální hustota)	51
4.1	Ukázka pozic mikrofonů u nahrávání	54
4.2	Jednotlivá harmonická pásma složek	55
4.3	Popis funkce prvního z pásem:	56
4.4	FFT analýza Anatolian Traditional Ride 20	57
4.5	Spektrální analýza Anatolian Traditional Ride 20	57
4.6	1/3 oktávová Anatolian Traditional Ride 20	58
4.7	FFT analýza Sabian XS20 16"Medium-Thin Crash	58
4.8	Spektrální analýza Sabian XS20 16"Medium-Thin Crash	58
4.9	1/3 oktávová Sabian XS20 16"Medium-Thin Crash	59
4.10	FFT analýza Paiste 101 Brass 16" Crash	59
4.11	Spektrální analýza Paiste 101 Brass 16" Crash	59
4.12	1/3 oktávová APaiste 101 Brass 16" Crash	60
4.13	FFT analýza Istanbul Mehmet 20 Crash	60
4.14	Spektrální analýza Istanbul Mehmet 20 Crash	60
4.15	1/3 oktávová Istanbul Mehmet 20 Crash	61
4.16	Schéma MIDI převodníku	62
4.17	Návrh DPS(deska plošných spojů) převodníku v programu Eagle	63
4.18	Arduino MKR1000 Pinout	64
4.19	Výpis MIDI zprávy	65
4.20	Ochranný obal převodníku - vrchní pohled	66

4.21	Ochranný obal převodníku - spodní pohled	66
4.22	Využití Hairless MIDI Serial Bridge	67
4.23	Program LoopMIDI	68
4.24	Vizuální podoba programu SaMi	70
4.25	Ukázka vstupní části programu SaMi	72
4.26	Ukázka části zpracování v programu SaMi	73
4.27	Main struktura v NI Reaktor	74
4.28	Struktura Ride v NI Reaktor	75
4.29	Struktura Bell v NI Reaktor	76
4.30	Struktura Ring v NI Reaktor	76
4.31	Struktura Noise v NI Reaktor	77
4.32	NI Reaktor 6 VST (Virtual Studio Technology) Visual	78
4.33	Vizuál nastavení presetu Crash3	79
4.34	Vizuál nastavení presetu Ride4	80
4.35	Spektrální zobrazení nahraného vzorku Anatolian Emotion Crash	81
4.36	Spektrální zobrazení syntetického zvuku presetu Crash2	82
4.37	Spektrální zobrazení nahraného vzorku Paiste 101 Brass 16" Crash	83
4.38	Spektrální zobrazení syntetického zvuku presetu Close Hi-hat	84
4.39	Spektrální zobrazení nahraného vzorku presetu Ride2	85
4.40	Spektrální zobrazení syntetického zvuku Anatolian Emotion Crash	86

Seznam tabulek

1.1	Význam zapojení kolíků konektorů DIN5	28
1.2	Kanálová MIDI data	30
1.3	Kanálová MIDI data	32

Seznam výpisů

4.1	Ukázka struktury MIDI zpráv	65
-----	---------------------------------------	----

Úvod

V dnešní době je zpracování zvuku rychle rozvíjejícím se odvětvím hudebního i informačně technologického průmyslu. Od živých vystoupení až po televizní a rádiové přenosy je zpracování zvuku a obecně signálů nezbytné a požadavky na kvalitní produkty ze strany skladatelů, hudebníků a techniků jsou stále vyšší.

Tato bakalářská práce se zabývá převodem zvukového signálu na MIDI zprávu. A to přesněji skrze MIDI převodník, který převede reálné audio signály ze dvou činelů s co nejširším dynamickým rozsahem do standardu MIDI.

První kapitola této práce se zaměřuje na pochopení mezinárodního standardu pro elektronickou komunikaci mezi hudebními nástroji a počítači, tedy MIDI. Dále je zde na podrobný popis principu standardního MIDI souboru a jeho struktury.

Ve druhé kapitole je zahrnut podrobný popis jednotlivých druhů činelů, dle rozměrů, slitin a tvarů.

Třetí kapitola se věnuje základnímu teoretickému úvodu z oblasti problematiky zvukového signálu. Najdeme zde základní rozdělení zvukového signálu, jednotlivé druhy analýzy, které se aplikují na zvukové signály a následně je také základně popsána problematika šumů.

Čtvrtá kapitola je praktickou částí této bakalářské práce. Úvodem je návrh a konstrukce MIDI převodníku, volba jednotlivých komponentů a zhotovený prototyp. Dále je popsána volba programu a struktura kódu pro převod audio signálu do MIDI. Konečnou část této práce završuje základ programu, který slouží ke generování složek doplňující akustickou barvu činelů. Tento program byl implementován do prostředí NI Reaktor, což umožnilo praktické využití vytvořeného řešení.

Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je vyvinout a zkonstruovat zařízení, které bude schopné převádět audio signály činelů do MIDI formátu se zachycením širokého dynamického rozsahu. Toto zařízení by mělo být navrženo tak, aby zachytilo jemné niance a dynamiku hry na činely, což umožní věrnější digitální reprezentaci těchto nástrojů.

Dalším cílem je vytvořit sofistikovaný program, který doplní akustickou barvu činelů o umělé složky. Tento program by měl být vybaven dvaceti přednastavenými zvukovými presety, které umožní uživatelům experimentovat s různými zvukovými charakteristikami a vytvářet unikátní hudební kompozice. Program by měl zahrnovat intuitivní uživatelské rozhraní, které usnadní jeho používání jak začínajícím, tak zkušeným hudebníkům.

Konečným cílem je implementace tohoto programu do praktického softwarového prostředí. To zahrnuje integraci s existujícími hudebními softwary a platformami, aby byl program snadno přístupný a použitelný v různých hudebních produkčních prostředích. Implementace by měla zajistit hladkou kompatibilitu a vysoký výkon, aby uživatelé mohli bez problémů využívat všechny funkce programu v reálném čase.

1 MIDI

Formát MIDI (Musical Instrument Digital Interface) je systémové rozhraní, které je určeno pro digitální hudební nástroje a pro komunikaci mezi nimi[1]. Díky tomuto formátu lze jednoduše přenášet informace v reálném čase mezi hudebními nástroji, počítači a elektronickými zařízeními, pomocí sériového rozhraní. Největší přínos MIDI se uplatnil při živých přednesech a ve studiích. Důležitou roli hraje i ve spojení s osobními počítači a jejich možnostmi. Například se využívá pro převod do jiných hudebních formátů, ale také ve spojení s editačními programy MuseScore[2] a Sibelius[3], pro tvorbu notového zápisu a partitur. [4]

1.1 Historie

První návrh univerzálního rozhraní byl představen roku 1981 v USA na výstavě NAMM (National Association of Music Merchants) pod označením USI (Universal Synthesize Interface) firmami ROLAND, OBERHEIM, YAMAHA, SCI, KORG A KAWAI. Systém však moc nezaujal[5]. Velký zlom byl zaznamenán v únoru roku 1982 opět na výstavě NAMM (National Association of Music Merchants). Původní rozhraní USI (Universal Synthesize Interface) bylo zdokonaleno, přidala se řada zlepšení a k projektu se připojilo celkem 15 japonských a amerických firem. Japonská firma ROLAND navrhla pro vylepšené rozhraní označení MIDI (Musical Instrument Digital Interface) a rok poté společně představili první nástroje s tímto rozhraním - SCI Prophet 600 a Roland Jupiter JP-6[6]. Firma ROLAND pak kvůli neustále rozvíjejícím se specifikacím MIDI dala stejného roku pokyn pro založení orgánů MMA (MIDI Manufacturers Association) a JMSC (Japan MIDI Standard Committee) pro odpovědnost za dodržování normy MIDI, aktualizaci a její rozvoj. Roku 1985 byla vydána podrobná MIDI norma, zabývající se kompatibilitou, k níž byly přidány kvůli vývoji zařízení, další dodatky a doplňky. [4]

Seznam standardů mimo komunikaci mezi elektronickými hudebními nástroji[7]:

- SMF (Standard MIDI File) - Standard pro formát MIDI souborů
- GM (General MIDI) - Standard pro interní strukturu elektronických nástrojů
- MSC (MIDI Show Control) - Standard pro řízení jevištní techniky
- MTC (MIDI Time Control) - Standard pro absolutní časovou synchronizaci zařízení
- MTS (MIDI Tune Standard) - Standard pro mikrointervalové ladění
- MFD (MIDI File Dump) - Standard pro přenos MIDI souborů
- MMC (MIDI Machine Control) - Standard pro řízení studiové techniky
- SDS (Sample Dump Standard) - Standard pro přenos zvukových vzorků

1.2 Princip MIDI

Ke komunikaci využívá protokol MIDI zprávy s různými parametry zvukového signálu, nikoliv zvuk jako klasický zvukový signál[8]. Tyto zprávy nesou například identifikaci nástroje, not, dobu trvání hrané noty apod. Tyto informace zpracovává koncové zařízení, které pak vytvoří konkrétní audio signál, který je možné dále editovat[9].

1.3 Technická specifikace

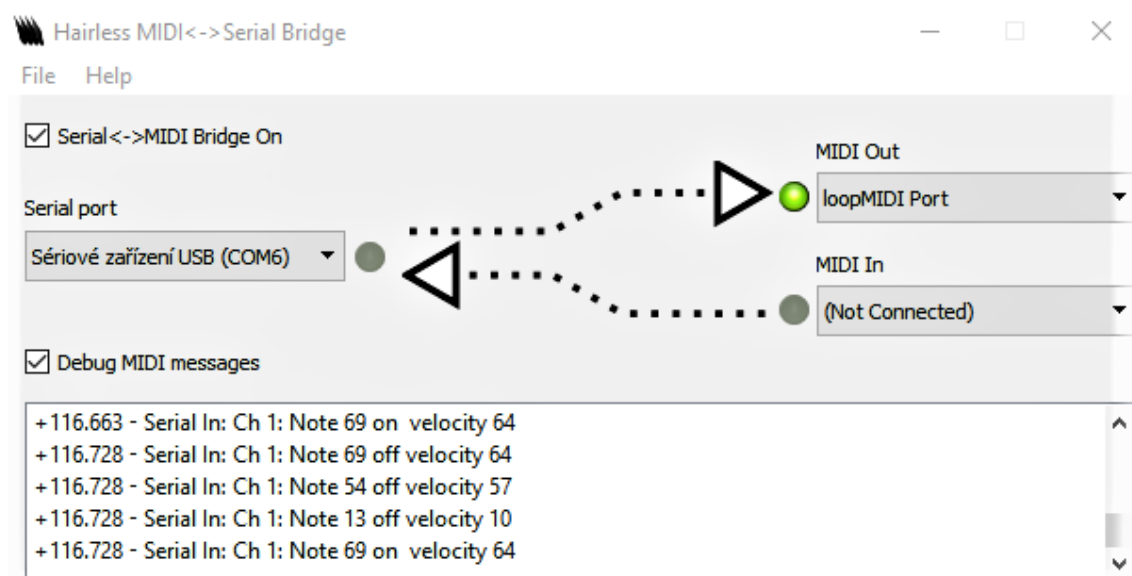
Rozhraní MIDI je složeno ze tří 5-pinových konektorů DIN, které jsou označovány In, Out a Thru. Zařízení generuje MIDI zprávy a tyto zprávy jsou vysílány na konektor Out[10]. Konektor In je vstupní a data, která přicházejí na vstup zařízení, jsou kopírována na konektor Thru. U některých MIDI zařízení se můžeme setkat s funkcí Soft Thru, která posílá sloučená vstupní a interně generovaná data na konektoru Out. [11]?? 1.1



Obr. 1.1: Zadní panel elektronického syntezátoru s trojicí konektorů MIDI

1.3.1 Hardwarové rozhraní

MIDI informace jsou přenášeny metalickými kabely s maximální délkou 15 metrů. Data jsou přenášena sériově proudovou smyčkou 5mA. Logická 0 odpovídá protékajícímu proudu[12]. Používá sériový asynchronní datový přenos, jehož rychlost je 31,25kBaudů[10]. Vstup MIDI in je vždy oddělen optickým izolátorem, aby nedocházelo k chybám při přenášení dat, které vznikají tvorbou zemních smyček mezi jednotlivými zařízeními. [11] 1.2



Obr. 1.2: Schéma rozhraní MIDI

Standardním používaným konektorem pro MIDI zařízení je 5 kolíkový DIN jack[10]. Propojovací kabel je na obou stranách tvořen konektory typu zástrčka a prodlužovací kabel je tvořen jedním konektorem typu zástrčka a jedním konektorem typu zásuvka[12].

Následující tabulka znázorňuje funkce jednotlivých kolíků konektoru DIN5:

Číslo kolíku	Funkce
1	Nezapojeno
2	Uzemnění - připojeno ke stínícímu obalu kabelu
3	bílá / Nezapojeno
4	Příjem MIDI dat
5	Vysílání MIDI dat

Tab. 1.1: Význam zapojení kolíků konektorů DIN5

1.3.2 Význam typů zásuvek

Zařízení obsahuje z pravidla tři typy zásuvek a těmi jsou MIDI In, MIDI Out a MIDI Thru[12].

MIDI In

Zařízení přes tento vstup data přijímá a následně zpracovává. Pokud se u zařízení nachází i zásuvka MIDI Thru, ke které je připojené další zařízení, tak jsou vstupní data na zásuvce MIDI In přenášena také do zásuvky MIDI Thru[13], kde jsou zpracovávána zmiňovaným dalším zařízením.

MIDI Thru

Do této zásuvky jsou ze zásuvky MIDI In posílána veškerá data, které zásuvka MIDI In přijímá. Zásuvka MIDI Thru slouží k řetězení Daisy Chain[14]. Tento řetězec slouží k předávání dat řízené Masterem do všech ostatních MIDI zařízení[13]. Počet propojených zařízení skrze tuto zásuvku, bez velkého zpoždění je tři. Pokud bychom chtěli zapojit více zařízení, tak je nutno použít rozbočovač MIDI merge box. U osobních počítačů lze naprogramovat, aby výstup MIDI Out fungoval současně jako MIDI Thru.

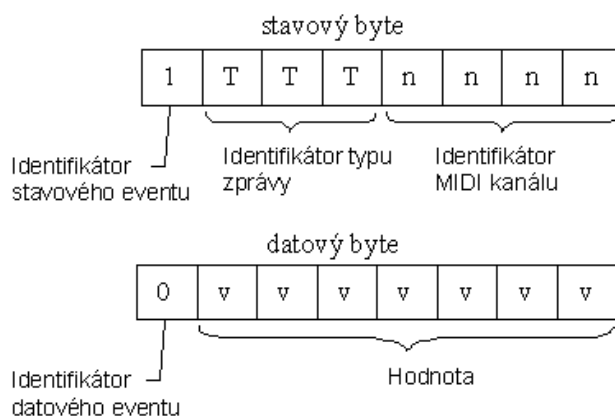
MIDI Out

MIDI Out slouží pro výstup dat[13]. Do této zásuvky posílá zařízení data, která sama produkuje. [15]

1.3.3 Struktura MIDI protokolu

Základní datový blok který přenáší určitou informaci, se nazývá "MIDI Zpráva" (MIDI message)[16]. Ta je složena vždy jednoho stavového a několika datových MIDI bytů. Tyto byty jsou označovány jako "MIDI události" (MIDI events). U osmibytového datového typu (MIDI Bytu) určuje nejvýznamnější bit, zda se jedná o stavový byte (MSB=1) nebo byte datový (MSB=0). 1.3 MIDI zprávy dělíme na data kanálová a data systémová. Ve stavovém eventu přenášejí kanálová data informaci o virtuálním datovém kanále a pro určení MIDI kanálu jsou zde vyhrazeny 4 bity. Díky tomu lze po jedné MIDI sběrnici přenášet kanálová data v 16 virtuálních kanálech.

Naopak systémová data nepřenáší informaci o MIDI kanále, jsou to data společná pro všechny kanály kanály. Ve stavovém eventu slouží dolní čtyři bity k identifikaci typu systémových dat. Tato systémová data se dále dělí na zvláštní systémová data a data reálného času. Zvláštní systémová data umožňují přenášení větších datových bloků a data reálného času umožňují vzájemnou časovou synchronizaci mezi jednotlivými zařízeními[10][12]. Počet datových bitů závisí na stavovém bytu, neboli na typu MIDI zprávy. Hodnoty přenášené pomocí datových bytů mohou být v rozsahu od 0 až po 127, nejvýznamnější bit v datovém bytu slouží jako identifikátor. [11] [15]



Obr. 1.3: Struktura stavového a datového bytu protokolu MIDI

1.3.4 Kanálová data

Kanálová data se vztahují k určitému kanálu MIDI, jeho číslo je přenášeno ve stavovém bytu a to v dolních čtyřech bitech. K dispozici je celkem sedm identifikátorů, osmý slouží pro systémová data[17].

MIDI zpráva	Funkce	ID	Počet databytů
Note Off	Nota vypnuta	0	2
Note On	Nota zapnuta	1	2
Polyphonic Key Pressure	Individuální tlaková citlivost	2	2
Controll Change	Změna kontroleru	3	2
Program Change	Volba programu	4	1
Chanel Pressure	Společná tlaková citlivost	5	1
Pich Bend Change	Ohýbání tónu	6	2

Tab. 1.2: Kanálová MIDI data

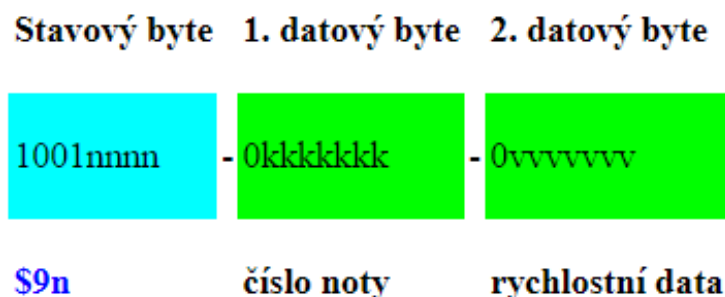
Existují čtyři režimy, ve kterých může přijímač MIDI pracovat. Tyto režimy jsou používány podle nastavení OMNI On/Off a Poly/Mono[18] a určují, jakým způsobem jsou kanálová MIDI data zpracována: [11] [15]

- Režim 1 - Omni On, Poly
- Režim 2 - Omni On, Mono
- Režim 3 - Omni Off, Poly
- Režim 4 - Omni Off, Mono

Značení režimu Poly a Mono určuje jak jsou přiřazeny hlasy přijímače, pokud je zároveň přijato více not. V režimu MONO je každý hlas přijímače převzaté noty přehráván monofonně a v režimu Poly polyfonně[18]. Při zapnutém režimu OMNI, nástroj provádí přijatá data ze všech kanálů, pokud je režim OMNI vypnut, bude nástroj reagovat pouze na data, která jsou na zvoleném MIDI kanálu. Defaultní nastavení přijímacího kanálu u nástrojů, na kterých nelze přijímací kanál nastavit, je vždy kanál 1. V režimu číslo 4 jsou přehrávány noty přijaté na kanálech N až N+M-1. N je nastavený základní kanál na přijímači a M je počet MIDI kanálů, které jsou specifikované MIDI zprávou při přepnutí režimu Mono[18]. Existuje speciální případ hodnoty M=0, který přijímači říká, aby použil všechny dostupné hlasy pro hraní not přijatých na kanálech N až 16. [11]

1.3.5 MIDI zprávy Nota zapnuta a Nota vypnuta

MIDI zprávě Note On (nota zapnuta) 1.4 odpovídá identifikátor 1. Ten nese informaci o stisku klávesy neboli zahrané notě[18]. První datový byte nese informaci o MIDI čísle noty a druhý nese rychlostní data, neboli informaci o dynamice. [11]



Obr. 1.4: Struktura MIDI zprávy Note On

V MIDI jsou noty očíslovány od C(-2) do G(8). Pro čísla je možné použít sedm bitů a to hodnoty od 0 do 127, přičemž rozsah klaviatury od A(0) do C(7) nabývá hodnot MIDI čísel od 21 do 108[18]. 1.5

Oktáva	Hud. označení	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	H
-2	sub-subkontra	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
-1	subkontra	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0	kontra	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
1	velká	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
2	malá	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
3	jednočárkovaná	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
4	dvoučárkovaná	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83
5	tříčárkovaná	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
6	čtyřčárkovaná	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107
7	pětičárkovaná	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
8	šestičárkovaná	120	121	122	123	124	125	126	127				

Obr. 1.5: Tabulka čísel MIDI not

Druhý datový byte zprávy Note On určuje dynamiku zahraného tónu. Dle této informace lze nastavit intenzitu, nebo barvu zvuku. Tvorba elektronického klávesového nástroje s dynamickými snímači je poměrně složitá, ale díky tomu, že se využívá přímé úměry mezi dynamikou a rychlostí stlačení klávesy, tak stačí snímat

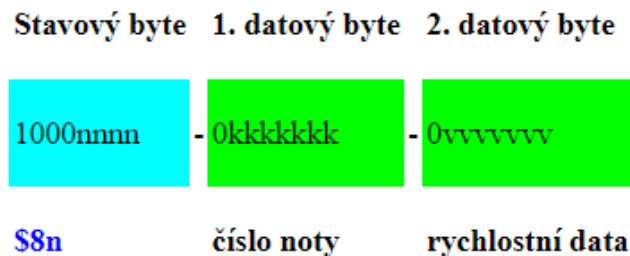
dobu mezi sepnutí dvou snímačů postupně aktivovaných při stlačení klávesy. Tato informace je zaznamenána jako Velocity (rychlostní data)[19]. Následující tabulka vyjadřuje vztah mezi dynamikou a rychlostními daty: [11]

Velocity	Dynamika	Hudební označení
0	off	vypnuto
1	ppp	pianissimo piano
-	pp	pianissimo
-	p	piano
64	mp	mezzo-piano
-	mf	mezzo-forte
-	f	forte
-	ff	fortissimo
127	fff	fortissimo forte

Tab. 1.3: Kanálová MIDI data

MIDI zařízení vysílá Velocity s hodnotou 64, pokud je bez rychlostního snímače. Pokud zařízení vysílá Velocity s hodnotou 0, znamená to, že nota hraje nulovou dynamiku, takže je v podstatě vypnuta (Note Off)[19]. To značí, že je tedy možné místo MIDI zprávy „nota vypnuta“ posílat zprávu „nota zapnuta“ s nulovou hodnotou Velocity[19]. Po přijetí takové zprávy přestane MIDI zařízení danou notu hrát. Tohoto procesu se využívá pro vypínání a zapínání tónů v průběžném stavu.

MIDI zprávě Note Off (nota vypnuta) 1.6 odpovídá identifikátor 0. Ten nese informaci o uvolnění klávesy. První datový byte nese informaci čísla MIDI noty a druhý informaci s jakou rychlostí byla klávesa uvolněna[18]. Informace rychlosti uvolnění klávesy se užívají např. pro napodobení strunných nástrojů. [11] [15]



Obr. 1.6: Struktura MIDI zprávy Note Off

1.4 Standardní MIDI soubor (Standard MIDI file)

Standardní MIDI soubor je formát souborů pro přenos MIDI dat a označuje se zkratkou SMF (Standard MIDI file)[20]. Jeho struktura, zkráceně RIFF (Resource Interchange File Format)[21], je nejpoužívanějším standardizovaným formátem pro uložení dat v počítačích. Tuto strukturu používají soubory obsahující digitální obraz nebo zvuk, odkládací soubory a soubory animovaných ukazatelů. Základem souboru RIFF je "chunk" neboli informační blok. Základ tohoto bloku tvoří čtyřznaková identifikace a 32-bitová délka bloku. Pro dosažení sudé délky bloku, pokud je délka dat obsažených v bloku lichá, se blok na konci doplňuje nulou[20].

Bloky lze různě vytvářet a kombinovat. Většinou se však používají tři úrovně. "Parent chunk" neboli nadřazený blok obsahuje identifikaci, délku a čtyřznakovou identifikaci typu bloku. Z tohoto bloku pak vycházejí tzv. "Sub chunks", neboli podřízené bloky[21]. Délka dat nadřazeného bloku tedy obsahuje i veškeré informace o identifikaci typu a délce všech podřazených bloků a to i včetně záhlaví. Existují dva typy nadřazených bloků. Typ RIFF, který obsahuje samostatné datové struktury a typ LIST, který obsahuje seznamy položek. Standardní MIDI soubory obsahují dva typy bloků a to hlavičku (Heder chunk) a stopy (Track chunk). [11] [15]

1.4.1 Hlavička standardního MIDI souboru

Prvním blokem v souboru je hlavička, za ní je 4-bytový údaj nesoucí informace o délce bloku a následují 2-bytové hodnoty:

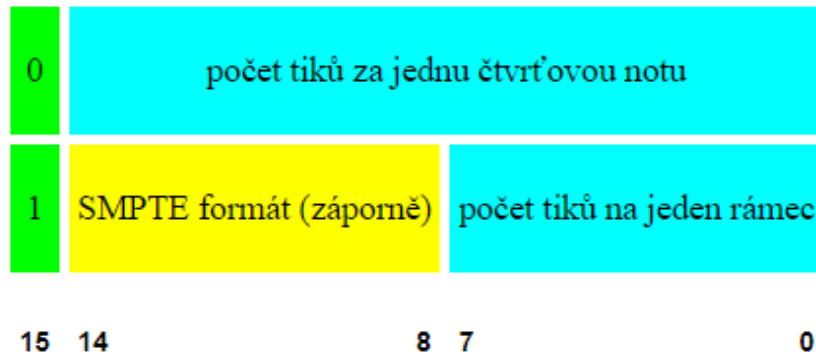
- format - formát souboru (0, 1 nebo 2)
- ntrks - počet bloků stop v souboru
- division - základní dělení (relativní časová jednotka)

Formát 0 obsahuje jednu vícekanálovou stopu, formát 1 obsahuje jednu či více stop se společným časem a formát 2 obsahuje jednu či více časově nezávislých vzorů s jednou stopou[18].

Základní časová jednotka, kterou používá SMF 1.7 soubor může být dvou typů, které se rozlišují nejvyšším bitem. Časová jednotka je tedy udávána v počtech tiků, tj. rytmických pulsů za jednu čtvrtovou notu, nebo ve formátu času SMPTE a to počtem tiků za jeden SMPTE rámeček. [11] [15]

1.4.2 Stopy standardního MIDI souboru

Označení textovým kódem „MTrk“ je literální označení pro datový blok stopy, které je shodné pro všechny formáty SMF. Po tomto kódu následuje opět 4-bytová informace o délce bloku, jež obsahuje sled po sobě jdoucích MIDI událostí (MTrk events), které jsou složeny z relativního času zprávy (delta-time) a samostatné MIDI



Obr. 1.7: Formáty základní relativní časové jednotky SMF souboru

zprávy[18]. Delta-time udává počet časových jednotek definovaných základním dělením uloženým v hlavičce souboru, který uplyne od začátku přehrávání k dané MIDI zprávě. Hudební události, které je nemožné popsat pomocí MIDI zpráv, je možné přenášet skrze tzv. Meta-zprávy. Těmito hudebními událostmi mohou být např. tempo, předznamení, číslo sekvence, rytmus, různé názvy a texty atd. Meta-zprávy mají shodný formát jako MIDI zprávy, ale jejich stavový byte je 255FF[18]. Tento stavový byte v protokolu MIDI odpovídá zprávě System Reset, která ale v SMF nemá užití. Druhú Meta zpráv je zhruba pamtáct a zařízení, která je neumí rozpoznat je ignorují. [11] [15]

2 Idiofony

Idiofony jsou hudební nástroje, které vytváří zvuk chvěním materiálu a vlastní hmoty[22]. Tato skupina hudebních nástrojů, která vlivem příčných a podélných vln koná ohybové kmity, se odlišuje od membranofonů, u kterých zvuk vzniká chvěním membrány a její rezonancí s ozvučnou skříní. Skupina idiofony se také označuje jako "samozvučné nástroje". Historie idiofonů sahá až do pravěku, jelikož idiofonem může být velmi primitivní nástroj, nebo kus materiálu. Tyto hudební nástroje se používají většinou jako rytmické nástroje, ale i melodické (např. marimba, vibrafon, zvonkohra)[22]. My se v této bakalářské práci zaměříme na skupinu kovových metalofonů a to přesněji na činely. [23]

2.1 Činely

Činely, jakožto jedny z nejdůležitějších perkusních prvků bicí soupravy se používají napříč všemi hudebními žánry. Zvuk činelů je za běžných podmínek závislý na jeho hmotnosti, průměru, tvaru, materiálu a měří se v hodnotách palců[24]. Jedním z nejdůležitějších parametrů pro výsledný zvuk je průměr, který ovlivňuje jak tón a barvu, tak hlasitost a dozvuk. Činely se vyrábí od velikosti průměru 4" až po velikost 35"(10,16cm - 88,9cm). [23]

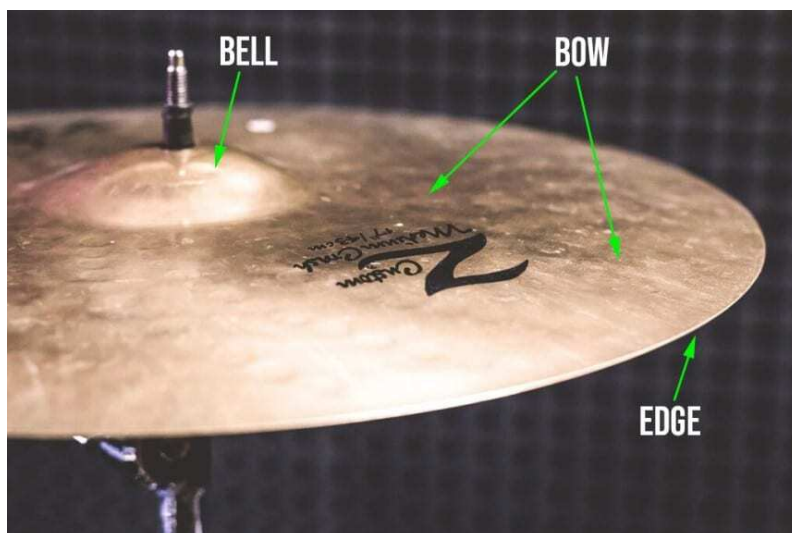
Důležitým parametrem je i proces výroby broušením, ten ovlivňuje především barvu hraného činelu. Pokud je povrch vybroušen do lesku, označuje se jako "brilliant" a tento druh broušení zvyšuje především hlasitost a ostrost a rozšiřuje frekvenční spektrum. Pokud je naopak povrch zbroušen lehce a bez lesku, hovoříme o něm jako o "dark" činelu. Tyto činely se díky svému omezenějšímu spektru, nižší hlasitostí a kratším dozvukem, používají zejména ve stylech jako jazz, swing apod. Také existují varianty napůl "dark" a napůl "brilliant". Použití jednotlivých druhů činelů je z pravidla o požadavcích a preferenci hráče.

Dalším důležitým parametrem je hmotnost, která závisí na průměru činelu a materiálu, ze kterého je činel vyroben. Díky dobré tvárnosti, zvukových parametrů a zpracovatelnosti je na tvorbu slitiny a kombinaci s dalším kovem na výrobu činelu vhodná měď. Nejrozšířenější slitinou je na výrobu činelů kombinace mědi a cínu (cínový bronz) potažmo dalších doplňujících prvků. Slitina se pak označuje velkým B a číslem, jež následuje po písmenu, se označuje procentuální podíl druhé slitiny[24]. Nejpoužívanější slitinou je slitina "B20", která má procentuální zastoupení mědi a cínu 70/20 procent. Tato slitina je známa svou dlouhou životností, kvalitními zvukovými vlastnostmi a širokým frekvenčním spektrem. Ačkoliv složení této slitiny je výrobním tajemstvím, obvykle dosahuje těchto hodnot:

- Youngův modul pružnosti - 112,5GPa

- Hustota - 8607kg/m³

Pokud pak jsou činely vyrobené z procentuální složkou cínu vyšší, jsou pak náročnější na výrobu, kvůli menší tvárnosti materiálu, výrobní proces je tedy složitější a cena vyšší. Naopak mezi nejlevnější na trhu můžeme najít činely vyrobené ze slitiny mědi a zinku, které jsou známy svým krátkým dozvukem, omezeným frekvenčním spektrem a krátkou životností. [25] Oblast těla činelu se skládá ze tří částí: 2.1



Obr. 2.1: Části činelu

2.1.1 Hi-Hat

Jeden ze základních prvků bicí soupravy. Obvykle se skládá z páru činelů na stojanu, které jsou umístěny proti sobě. Vrchní činel je pevně spojen s pedálem, který při sešlápnutí tahá tento činel ke spodnímu (tzv. zavírá a otevírá Hi-Hat) a umožňuje hráči používat ke hraní pouze nohu[26]. Tato dvojice činelů má zpravidla stejný průměr, ale hráč může podle potřeby zvolit i různé varianty průměrů. Tyto činely se průměrově pohybují od 30,5 cm do 40,5 cm a nejpoužívanějším rozměrem je 35,5. Fundamentální frekvence Hi-Hat činelů se pohybuje v rozmezí od 300Hz - 3kHz a svoji charakteristickou barvu projevují v oblasti 10- 17kHz. [23]

2.1.2 Crash

Častokrát zastoupen v bicí soupravě a díky tenkému okraji má charakteristické vlastnosti. Díky velké hlasitosti, rychlému attacku a krátkému dozvuku se tento činel při hraní obvykle používá k akcentování či víření. Je tenký, lehký a má ostřejší zvuk, než činel typu Ride[27]. Velmi rozšířený je v orchestrech, v bicích soupravách nemusí

být nutností. Rozmezí průměru se pohybuje okolo 20cm až 61 cm, přičemž nejoblíbenějšími velikostmi jsou 35,5cm až 46 cm. Fundamentální frekvence se pohybuje v rozmezí 400Hz až 500Hz a v oblasti 10 - 12Hz můžeme najít vyšší harmonické funkce[27]. U činelu typu Crash hraje roli v konečném zvuku povrchová úprava. Pokud je činel dostatečně upraven do vysokého lesku, tak je činel čitelnější, hlasitější a disponuje větším dozvukem a širším spektrem barvy. Pokud je činel nebroušen či zoxidován, má menší dozvuk, užší spektrum barvy a menší hlasitost. [23]

2.1.3 Ride

Běžná a velmi oblíbená součást bicí soupravy. Na tento činel se hraje paličkami a používá se na udržení rytmiky a dynamiky a akcentování. Hráč obvykle využívá celého těla pro hru na Ride[28]. Oproti Hi-Hat má činel větší dozvuk. Než se tento činel začal rozšiřovat do jiných žánrů, jako součást bicí soupravy, používal se výhradně v orchestrech a obecně v klasické muzice. Jako materiál se obvykle volí slitina "B20"[29]. Zde je průměr o dost větší než u rytmického Hi-Hat a to od 46cm do 56cm. Díky tak velkému rozměru, mají tyto činely větší dozvuk, hlasitost a barevnost[30]. Umístění fundamentální frekvence činelu v oblasti frekvencí je 300Hz - 600Hz a jeho vyšší harmonické složky je možno vyhledat v okolí 4-6kHz. Činely typu Ride se velikostí a materiálem navzájem hodně liší, můžeme tak u hráčů vidat různé kombinace. [23]

2.1.4 China

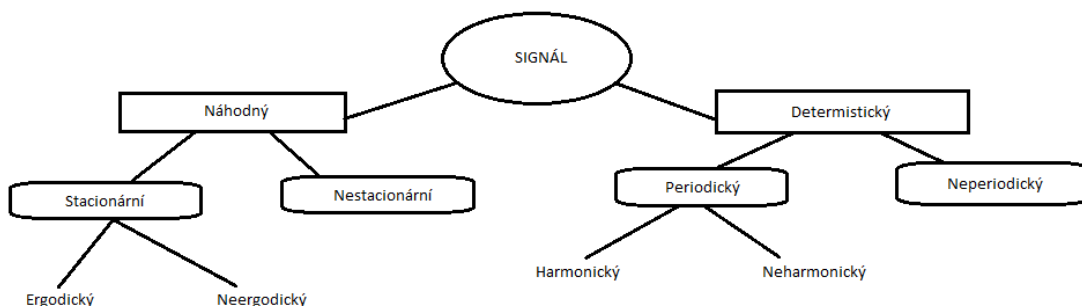
Obvykle využívaná jako doplněk soupravy. Díky tenkému materiálu je dozvuk činelu typu China velmi krátký, hlasitost je ale velká. Podobně jako činel typu Crash se China využívá k akcentování, ale zde je akcent větší. Tento činel můžeme často vidět v žánrech jako je metal, díky svému krátkému dozvuku a rychlému attacku[29]. Obvykle mají úzký zvon, mohutné tělo a po krajích jsou ohnuté směrem nahoru. Průměrná délka u těchto činelů je 30,5cm až 61cm a jejich frekvenční rozsah je v rozmezí od 250Hz - 10kHz. [23]

2.1.5 Splash

Tento činel se také využívá pro výrazné, krátké akcenty. Je velmi malý, z pravidla v průměru od 10,5cm do 30,5cm. Má velmi krátký dozvuk a o mnoho nižší hlasitost[29]. Fundamentální frekvencí je široký rozsah přes vysoké a střední tóny. [23]

3 Zvukový signál

Signál je fyzikální veličina, která nese informaci o stavu systému. Touto informací může být například teplota, tlak, elektrický proud či napětí[31]. Pokud chceme analyzovat signály, musíme je dle jejich konkrétních vlastností vyjádřit matematickým modelem[32]. 3.1



Obr. 3.1: Základní rozdělení signálu

Dále podle časových průběhů rozdělujeme signál na spojitý a diskrétní[32]. U spojitého signálu se jedná o signál se spojitým časem, jehož časovou proměnou je $x(t)$. Diskrétní signál $x[t]$ je signál, který je definován v konkrétním časovém okamžiku.[33] 3.1

Zvuk se ve fyzice označuje jako mechanické kmitání částic pružného prostředí, které se v určitém prostředí šíří konečnou rychlostí[34]. Pásmo slyšitelnosti zvukového signálu u člověka se nachází ve frekvenčním rozsahu 20Hz - 20kHz, s věkem se však toto rozmezí omezuje. [33]

Je důležité zmínit také základní funkce sinus a kosinus signálu[34], včetně výpočtu jeho střední a efektivní hodnoty napětí. Základní harmonickou funkci signálu lze vyjádřit pomocí vztahů: [33]

$$y = 1 \cdot \cos x, \quad (3.1)$$

$$u(t) = U_M \cdot \cos x(\omega t + \varphi) \quad (3.2)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (3.3)$$

$$f = \frac{1}{T} \quad (3.4)$$

platí, že $U_M...$ je amplituda (maximální hodnota harmonické veličiny), $\omega...$ je úhlový kmitočet, $\varphi...$ je počáteční fáze signálu, $t...$ je čas a $f...$ je frekvence

Pro výpočet střední hodnoty signálu pak platí vztah:

$$I_a = \frac{1}{T} \int_T^0 i(t) dt \quad (3.5)$$

K výpočtu efektivní hodnoty signálu se využívá vztahu:

$$U_a = \sqrt{\frac{1}{T} \int_T^0 i^2(t) dt} \quad (3.6)$$

3.1 Časový průběh zvukového signálu

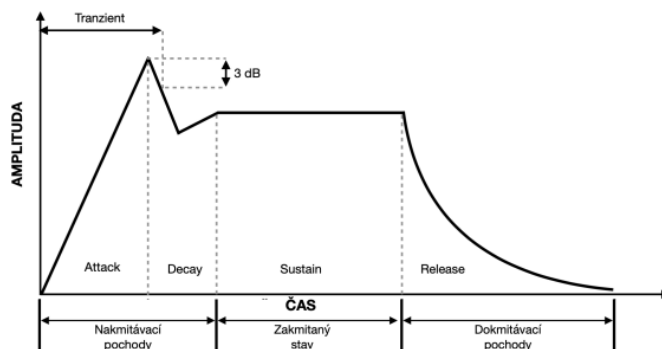
Zvukový signál lze zanalyzovat a vyobrazit v jeho časovém průběhu a částečně určit frekvenční poměr a strukturu signálu. Zároveň můžeme zjistit, zda je zvuk perkusního či neperkusního charakteru. Na základě změn tvaru časového průběhu pak určujeme vznik, jak dlouho trvá a jakým způsobem zaniká signál. Změny nahodilé se v časovém průběhu projevují jako hlukové a šumové. Změny periodické se projevují jako tónové složky.[33]

Pro zobrazení využíváme ADSR obálku (amplitudová obálka). Označení ADSR vychází z počátečních písmen termínů zvukové syntézy. Těmito termíny jsou označovány jednotlivé oblasti zobrazení časového průběhu. [33]

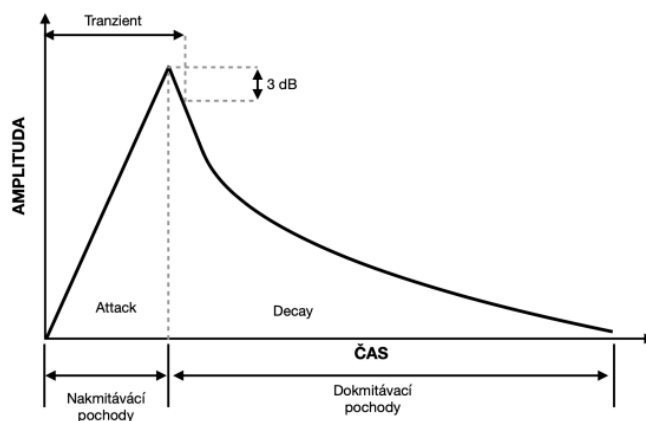
Jednotlivá písmena vychází z těchto anglických výrazů:

- Attak (A) - Nakmitávací pochod signálu
- Decay (D) - Nakmitávací pochod signálu
- Sustain (S) - Zakmitací stav
- Release (R) - Dokmitávací stav

Z této křivky získáváme zobrazení změny akustického tlaku závislého na čase. U neperkusního charakteru zvukového signálu lze v ADSR obálce časového průběhu nalézt všechny oblasti. Naopak u signálu perkusního charakteru lze postrádat složku sustain a složku release, takže ze složky attak přechází rovnou do složky decay. Rozdíl mezi křivkami neperkusivního a perkusivního charakteru signálu lze vidět na těchto křivkách. [33] 3.3 3.2



Obr. 3.2: ADSR obálka neperkusivního signálu



Obr. 3.3: ADSR obálka perkusivního signálu

Časovou obálku signálu chápeme také jako modulační funkci $A(t)$, která mění maximální hodnotu signálu. Tato funkce je vyjádřena vztahem:

$$f(t) = A(t) \cdot g(t) \quad (3.7)$$

kde platí, že $A(t)$... je obálka reálného signálu, $g(t)$... je nemodulovaný signál (např. $\sin(\omega(t) + \varphi)$ nebo obecný komplexní signál).[33]

3.2 Snímání zvukového signálu pomocí mikrofonu

Tato kapitola popisuje vlastnosti, parametry a rozdělení mikrofonů.

3.2.1 Vlastnosti mikrofonů

V zásadě lze popsat každý mikrofon jako zařízení, které transformuje akustické vibrace vzduchu (akustické kmitání) na elektrické napětí s sinusovým průběhem[35]. V oblasti mikrofonů existuje široká škála typů, včetně dynamických, páskových, piezoelektrických, uhlíkových a kondenzátorových mikrofonů[36]. Tyto mikrofony se od sebe liší nejen konstrukcí, ale i způsobem, jakým převádějí akustické vlny na elektrické napětí. Existuje mnoho různých typů mikrofonů, z nichž každý má své vlastní charakteristiky[35]. Historicky prvním typem byl uhlíkový mikrofon, který má omezený rozsah přenesených frekvencí mezi přibližně 200 Hz a 4 kHz. Tento typ mikrofonu se často používal v situacích, kde nebyla vyžadována vysoká kvalita zvuku, například ve starších typech telefonů.

Parametry mikrofonů

- A Ekvivalentní hladina šumu - označuje úroveň akustického tlaku, která by generovala identické váhované výstupní napětí jako je pozorováno, když není mikrofon vystaven žádným vnějším vlivům a výstupní napětí je způsobeno pouze přirozeným šumem mikrofonu (LEN)[37].
- B Maximální špičkový akustický tlak - představuje nejvyšší momentální úroveň akustického tlaku, kterou může mikrofon tolerovat bez trvalých změn svých vlastností, bez ohledu na směr působení zvukových vln[37].
- C Akustický tlak přebuzení - je maximální hodnota akustického tlaku, která může ovlivnit mikrofon[37], aniž by došlo k překročení hodnoty nelinearity výstupního signálu stanovené výrobcem (obvykle THD < 1 „,% nebo 3 %) v určeném frekvenčním rozsahu, bez ohledu na směr působení zvukových vln.
- D Efektivní kmitočtový rozsah - představuje rozsah kmitočtů, ve kterém odezva mikrofonu zůstává v určené specifikaci od "ideální"odezvy pro daný účel, aniž by se výrazně odchýlila[37].
- E Činitel směrovosti (Directivity Factor) - vyjadřuje poměr mezi výstupním napětím generovaným rovinnou zvukovou vlnou přicházející ve směru referenční

osy a výstupním napětím vytvořeným difuzním zvukovým polem se stejným kmitočtem[37].

- F Index směrovosti (Directivity Index) - je číslo, které vyjadřuje míru směrovosti mikrofonu v určitém směru nebo směrech. Tento index se používá k popisu, jakým způsobem mikrofon reaguje na zvukové vlny přicházející z různých úhlů a ve směrech od mikrofonu[37]. Hodnota činitele směrovosti je udávána v dB.
- G Kmitočtová směrová charakteristika - je závislost citlivosti mikrofonu na kmitočtu při konstantním úhlu dopadu[37].
- H Jmenovitá (vnitřní) impedance - je impedance mikrofonu měřená mezi výstupními svorkami[37].
- I Minimální přípustná zatěžovací impedance - je hodnota impedance, kterou udává výrobce, a kterou mikrofon dokáže snášet. Tato hodnota je obvykle výrazně vyšší než jeho vlastní vnitřní impedance[37].
- J Maximální výstupní napětí (LU_{max}) - je výstupní napětí mikrofonu (ne nutně při vystavení maximálnímu SPL)[37].
- K Výstupní napětí - je výstupní napětí mikrofonu (obvykle od 1 do 100 mV) při typickém použití nebo při akustickém tlaku 1 Pa[37].
- L Dynamický rozsah - je poměr max. SPL k ekvivalentní hladině šumu (L_{max} – L_{EN})[37].
- M Odstup signálu od šumu (SNR) - ekvivalentní k dynamickému rozsahu, nebo vztažený k 1 Pa (SNR = 94 dB(SPL) – L_{EN})[37].

3.2.2 Typy mikrofonů z hlediska konstrukce

Mikrofony jsou rozdělovány podle způsobu, jakým přeměňují mechanickou (akustickou) energii na elektrickou energii, tj. podle typu použitých elektromechanických měničů na[38]:

Uhlíkový mikrofon (odporový mikrofon) který je nejstarším druhem mikrofonu, nachází stále využití, zejména v oblasti telefonní techniky[39]. Díky externímu zdroji energie a jeho specifickému principu je schopen poskytovat silný signál, i když

ve stísněném frekvenčním rozmezí mezi 200 a 4000 Hz. Pro svou konkrétní aplikaci v telekomunikaci však tato vlastnost plně dostačuje.

Piezelektrický mikrofon využívá schopnosti krystalů některých materiálů pro generování elektrického signálu při mechanické deformaci[40]. Je schopen fungovat bez potřeby externího napájení a dodávat značně výkonné výstupní napětí. Jeho frekvenční rozsah se pohybuje mezi 60 až 10 000 Hz, ale často vykazuje významné zkreslení a nevyrovnanost kmitočtové charakteristiky. Tento princip se využívá při výrobě přesných bezmembránových mikrofonů určených k zachycení zvuku pod vodou. Některé z těchto mikrofonů jsou schopny pracovat i v extrémních hloubkách přesahujících 1000 metrů a snímat i ultrazvukové frekvence[40].

Elektromagnetický mikrofon přeměňuje pohyb feromagnetické kotvy (membrány), která se pohybuje pod vlivem zvukových vln, na elektrický signál tím, že indukuje napětí v cívce, která obepíná tuto kotvu[41]. Tento typ mikrofonu má omezené elektroakustické vlastnosti, s frekvenčním rozsahem mezi 300 a 5000 Hz. Obvykle se používá například ve sluchátkách pro lidi s poruchami sluchu[41].

Elektrodynamický mikrofon může být realizován ve dvou provedeních a to v cívkovém nebo páskovém, ale princip obou je totožný[?]. Při pohybu vodiče v magnetickém poli se v tomto vodiči indukuje elektrické napětí. V případě páskového mikrofonu je vodičem tenký, pružný hliníkový pásek, který zároveň slouží jako membrána[?]. Magnetické pole je vytvářeno permanentním magnetem. Výstupní napětí a impedance páskového mikrofonu jsou poměrně nízké, a proto je často nutné použít transformátor k jejich zvýšení. Naopak, u cívkového elektrodynamického mikrofonu se dosahuje vyššího napětí a impedance[?].

Kondenzátorový mikrofon patří mezi vysoce kvalitní zvukové snímače. Jeho princip spočívá v reakci na změny elektrického napětí, které jsou vyvolány změnou kapacity[42]. Tento mikrofon je tvořen membránou, která může být vyrobena z kovu nebo plastové fólie pokryté kovem. Tato membrána je umístěna velmi blízko, a to přibližně 0,02 mm ke druhé pevné elektrodě. Když membrána reaguje na akustický tlak a deformuje se, dojde ke změně kapacity mikrofonu. Tato změna kapacity ovlivňuje akumulovaný náboj, což vyrovnává zdroj napětí a vytváří průchod proudu obvodem. Je třeba poznamenat, že pro tento typ mikrofonu je zapotřebí relativně vysokého napětí, obvykle v řádu desítek voltů, což je jednou z významných nevýhod tohoto typu mikrofonu[42].

Elektretový mikrofon (elektrostatický mikrofon) je typem kapacitního mikrofonu, který využívá elektretovou vrstvu na své pevné elektrodě[43]. Elektret je materiál s trvalým elektrickým nábojem, což umožňuje mikrofonu pracovat bez potřeby vysokého polarizačního napětí. Součástí tohoto mikrofonu je impedanční měnič, který upravuje vysokou elektrickou impedanci elektretového mikrofonu, která může dosahovat stovky megaohmů[43]. Citlivost membrány tohoto mikrofonu je

přímo úměrná kapacitě měniče a ploše membrány, která však zároveň omezuje maximální frekvenční rozsah mikrofону. Proto je třeba nalézt vyvážený kompromis mezi citlivostí a horním frekvenčním limitem.

Mikrofony jsou také rozdělovány do dvou kategorií podle veličiny, která způsobuje transformaci akustické energie na energii elektrického pole:

- Tlakové
- Gradientní

U **tlakových mikrofónů** tlaková síla vyvolaná akustickým tlakem působí pouze na jednu stranu membrány mikrofону. Amplituda oscilace membrány nezávisí na směru zdroje zvuku ani na vzdálenosti zdroje od mikrofону, ale pouze na akustickém tlaku[44]. Tyto mikrofony mají směrovou charakteristiku podobnou kouli. U gradientních mikrofónů dopadá akustický signál na obě strany membrány mikrofону. To znamená, že pohyb membrány závisí na rozdílu akustického tlaku před a za membránou, nikoliv na jeho absolutní hodnotě. Výchylka membrány je tedy o tolik větší, o kolik je větší rozdíl akustického tlaku před a za membránou (tj. tlakový spád-gradient tlaku)[44]. Výstupní napětí těchto mikrofónů je (proporcionálně k výchylce membrány) spojeno s n -tou derivací akustického tlaku vzhledem ke směru šíření zvukové vlny. Pokud je výstupní napětí mikrofону (neboli výchylka membrány) úměrná první derivaci tlaku, jsou tyto mikrofony označovány jako rychlostní mikrofony nebo také gradientní mikrofony prvního řádu.

Matematicky vyjádřeno:

$$\dot{u} = \frac{\partial^n p}{\partial x^n} \quad (3.8)$$

,kde p je tlak a x souřadnice popisující výchylku membrány.

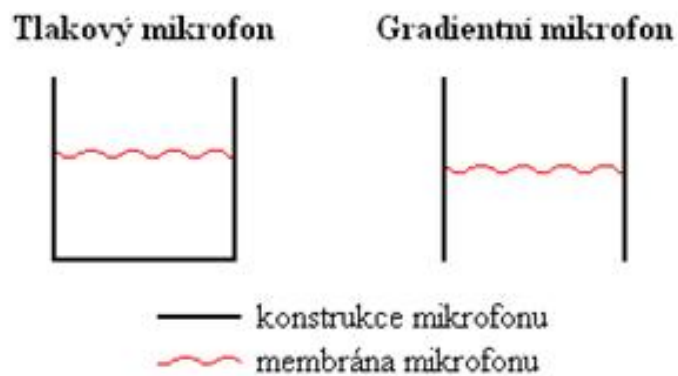
Pro rychlostní mikrofony pak platí:

$$\dot{u} = \frac{\partial p}{\partial x} \quad (3.9)$$

Výstupní napětí **gradientních mikrofónů** závisí na zakřivení povrchu akustické vlnoplochy[41]. Čím je zakřivení větší (což znamená menší poloměr a blíže umístěný zdroj zvuku), tím je výstupní napětí větší. V důsledku menších rozměrů gradientních mikrofónů než vlnová délka přijímané akustické vlny je směrová charakteristika

těchto mikrofonů nezávislá na frekvenci[41]. Tyto mikrofony se často využívají pro nahrávání řeči v hlučném prostředí, nebo pro záznam ve studiích.3.4

Na obrázku je zobrazena kulová charakteristika tlakových mikrofonů a směrová charakteristika gradientních mikrofonů:3.4

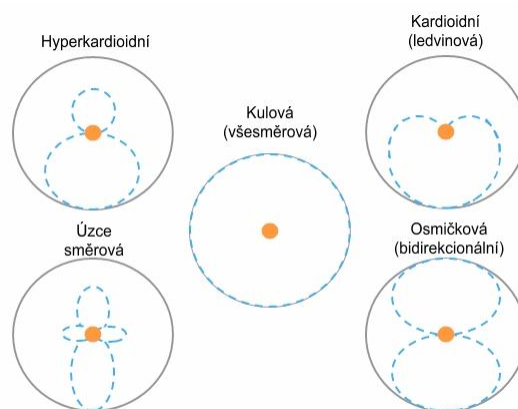


Obr. 3.4: Schématický rozdíl mezi tlakovým a gradientním mikrofonem

3.2.3 Rozdělení mikrofonů podle směrové charakteristiky

Směrová charakteristika mikrofonů 3.5 popisuje, jak se citlivost mikrofonu mění v závislosti na úhlu mezi akustickou osou mikrofonu a směrem, odkud přichází zvuk[41]. U rotačně symetrických mikrofonů obvykle akustická osa odpovídá geometrické ose mikrofonu, zatímco u jiných je určena výrobcem[41].

- Všesměrová (kulová) charakteristika - mikrofon přijímá zvuk ze všech stran (stejná kvalita a intenzita)[41]
- Kardioidní (ledvinová) charakteristika - potlačuje zvuk zezadu, potlačuje zpětnou vazbu, vhodný pro zpěváky[41]
- Hyperkardioidní charakteristika - vlastnosti stejné jako kardioidní, zvuk snímáný s větším rozsahem[41]
- Úzce směrová - Příjem zvuku je výrazně potlačen zezadu, zřetelné zhoršení frekvenční charakteristiky, pro speciální účely (např. k filmování)[41]
- Osmičková (bidirekcionální) - zvuk přijímán zepředu a zezadu, ze stran je potlačen[41]
- Stereo mikrofony - nabízejí kvalitní stereofonní zvuk za podstatně vyšší částku[41]



Obr. 3.5: Směrové charakteristiky mikrofonů

3.3 Spektrální analýza

Signál tvoří vzájemné uspořádání kmitočtů a tím je dána frekvenční struktura signálu[41]. Pro kategorizaci každého signálu je jeden z nejdůležitějších parametrů frekvenční struktura, která je analyzována spektrální analýzou, která tuto frekvenční strukturu zobrazuje graficky[41].

3.3.1 Spektrum signálu

Periodický a neperiodický signál má frekvenční strukturu, která se skládá z dílčích složek. Při vyobrazení spektra signálu získáváme možnost analyzování jednotlivých složek[41]. Signál obsahuje svoji základní fundamentální frekvenci, která přechází do celočíselných násobků, které se označují jako vyšší harmonické ($f, 2f, 3f$ atd.). Takovýto rozklad na dílčí harmonické funkce se označuje jako rozklad na Fourierovu řadu, nebo také harmonický rozklad[41]. Následující vztah je vyjádření tvaru této řady: [45]

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cdot \cos(k\omega_1 t) + b_k \sin(k\omega_1 t) \quad (3.10)$$

kde platí, že proměnná $k = 1, 2, 3, 4, 5 \dots$ a určuje pořadí harmonické složky o frekvenci $k\omega$, následující proměnné a_0 , a_k a b_k určíme ze vztahů:

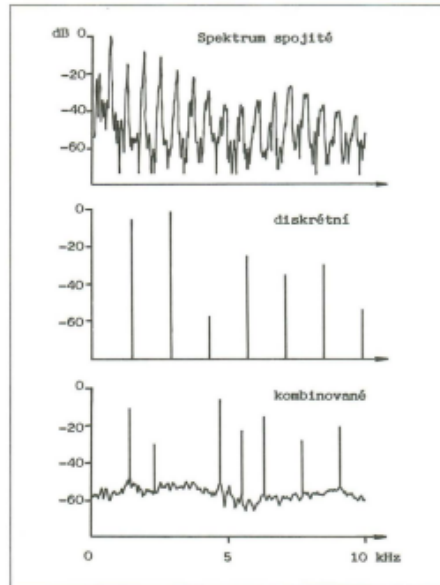
$$a_0 = \frac{2}{T} \int_T s(t) dt \quad (3.11)$$

$$a_k = \frac{2}{T} \int_T s(t) \cos(k\omega_1 t) dt \quad (3.12)$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_T s(t) \sin(k\omega_1 t) dt \quad (3.13)$$

kde platí, že proměnná $k = 1, 2, 3, 4, 5 \dots$ určuje pořadí harmonické složky o frekvenci $k\omega$.

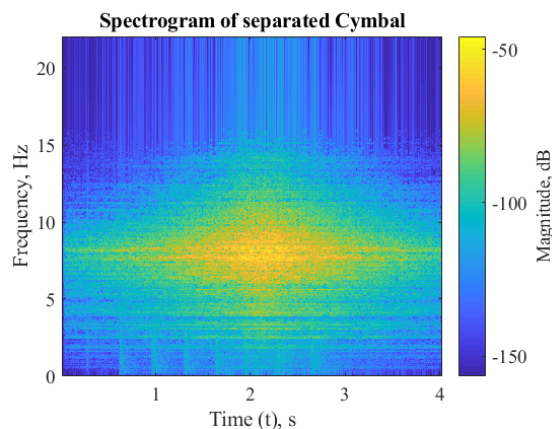
Vůči fundamentu jsou frekvence vyšších harmonických složek v harmonickém poměru, jež je celočíselným násobkem. Po rozkladu na Fourierovu řadu získáváme zobrazením výsledků vizualizaci neboli spektrogram. Toto zobrazení má dvě osy, x a y. Osa x určuje logaritmicky frekvenci v Hz a osa y určuje hladinu intenzity v dB. Spektra mohou být trojího druhu. Diskrétní, spojitě a jejich kombinace. Spojitě spektrum slouží k zobrazení šumové složky signálu. Diskrétní spektrum nám zobrazuje diskrétní složky v harmonickém poměru a kombinací těchto dvou druhů získáváme kombinované spektrum. [33] 3.7



Obr. 3.6: Základní rozdělení spektra

3.3.2 Spektrogram

Za spektrogram 3.7 považujeme zobrazení, ve kterém můžeme dále analyzovat signál v oblasti časové a frekvenční[46]. Spektrogram rozdělujeme na dvě varianty zobrazení a to v modelu 2D a 3D. Varianta zobrazení 2D se skládá z osy x(čas v jednotkách [s]) a osy y, která označuje frekvenci [Hz] a hladina intenzity se určuje podle barevnosti jednotlivých složek spektra. 3D zobrazení využívá kartézského souřadného systému a hladina intenzity je zobrazena na ose z[46].



Obr. 3.7: Ukázka spektrogramu

3.3.3 Fast Fourier Transformation

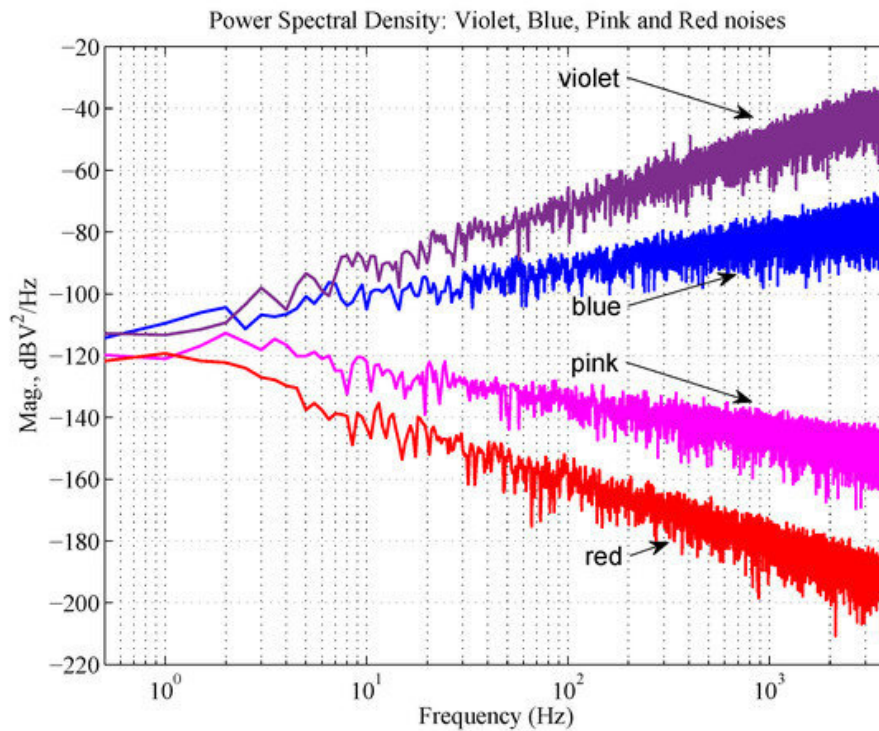
Rychlá Fourierova transformace (Fast Fourier Transformation) vychází ze souměrnosti goniometrických funkcí a to rozkladu na Fourierovu řadu[47]. FFT nám nabízí zobrazení jednotlivých harmonických složek signálů a jejich poměrů. Je vyjádřena vztahem:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (3.14)$$

Tato transformace je druhem analýzy, která je obvykle vyobrazena grafem. Nazýváme ji FFT spektrum. Hodnoty na vodorovné ose x jsou frekvence v jednotkách [Hz] a hodnoty na svislé ose y pak intenzita (amplituda) v jednotkách [dB][47]. FFT analýza nám umožňuje převod signálu z oblasti časové do oblasti frekvenční. Pokud tento proces potřebujeme obrátit, lze využít i tzv. Inverzní Fourierovy transformace (IFFT)[47]. [33]

3.4 Šum

Z fyzikálního hlediska lze na šum pohlédnout jako na náhodnou a přetrvávající poruchu signálu, která způsobuje nekonkrétnost a snižuje jasnost některých částí zvukového signálu[47]. Šum tedy představuje nežádoucí jev, který je však nedílnou součástí celého spektra zvuku a častokrát tvoří charakteristickou barvu nástroje. 3.8



Obr. 3.8: Základní rozdělení barev šumu v grafu PSD (Výkonová spektrální hustota)

3.4.1 Bílý šum

Nezákladnější typ šumů, od kterého odvíjíme ostatní barvy. Obsahuje všechny složky spektra barevných frekvencí[47]. Rozsah frekvenčního spektra bílého šumu je teoreticky neomezený a z praktického hlediska se využívá pouze v rozmezí 16Hz - 16kHz tj. ve slyšitelném spektru. Využívá se pro maskování frekvencí (např. u aktivních sluchátek - Active Noise Canceling). Spektrální hustota tohoto typu šumu je stejná v každém jeho frekvenčním pásmu a je tedy konstantní[47]. To znamená, že energie napříč spektrem tohoto signálu je totožná ve stejně širokých frekvenčních pásmech. [48] [49]

3.4.2 Růžový šum

Tento typ šumu je hojně zastoupen v šumové složce idiofonů. Využívá se při testu zvukových zařízení, kde tento šum zajišťuje správné fungování v celém spektru. V technické literatuře je označován jako poměr výkonové hustoty růžového šumu, která je obrácenou hodnotou frekvence (tj. $1/f$). Označení růžový šum se odvozuje od podobnosti struktury, kterou tento šum má. Podobá se totiž jak bílému, tak červenému, proto označení růžový šum, kdy tato barva je někde uprostřed těchto dvou barev. Avšak hodnoty spektrální hustoty růžového šumu se od bílého liší[47]. Na jednu oktávu u něj klesá energie o 3dB. Z praktického hlediska to znamená, že s rostoucí frekvencí a pořadím oktávy klesá hladina intenzity od základního tónu, tedy hlasitost dané složky se snižuje. [48] [49]

3.4.3 Hnědý šum

Hnědý šum je typem šumu, podobající se šumu růžovému. Často je také označován jako šum červený. Jeho název je odvozený na základě označení Brownova pohybu (anglické slovo hnědý = Brown)[47]. Při generování signálu Brownova pohybu lze získat podobný průběh, jako pro hnědý šum. Hnědý šum je opět převrácenou hodnotou frekvence, tentokrát ale její druhé mocnině (tedy poměrem $1/f^2$). Pokles energie výkonové spektrální hustoty na jednu oktávu má o 6dB. Hnědý šum se získává integrací bílého šumu. V praxi se používá v oblasti lékařství a to na účely maskování při pískání v uších, nebo kalibraci a měření fází u subwooferů. [48] [49]

3.4.4 Fialový šum

Fialový šum, označován mnohdy jako purpurový, se podobá šumu hnědému. Jeho výkonová spektrální hustota roste na oktávu o 6dB a je přímo úměrná kvadrátu frekvence. S pořadím oktávy a zvyšující se frekvencí se hladina intenzity zvyšuje, tedy ve spektru obsahuje mnohem výraznější vyšší frekvence a nižší část spektra spíše zaniká[47]. Využívá se v lékařství za účelem léčby a pro vyhlazení zkreslení zvukových signálů. [48] [49]

3.4.5 Modrý šum

Modrý šum, často označován jako azurový, se opět velmi podobá šumu růžovému. Výkonová spektrální hustota roste o 3dB na oktávu a výkon je přímo úměrný frekvenci signálu[47]. Stejně jako u fialového šumu je na vyšších frekvencích hlasitější a nízké frekvence spektra spíše postrádá. Při poslechu zní tedy jako sykot. Využívá se k účelu snížení zkreslení jak u zvukových signálů, tak i u zpracování digitálního obrazu. [48] [49]

4 Vyhodnocení měření

Tato kapitola bakalářské práce se bude zaměřovat rozborem konstrukce MIDI převodníku, spektrální a CPB analýzou činelů a realizaci programu pro generování složek doplňující akustickou barvu činelů.

4.1 Spektrální analýza činelů

V této podkapitole je rozebrán postup měření pro provedení spektrální analýzy zvuku činelů, popis použitých přístrojů a techniky pro snímání zvukového spektra. Pro získání co nejpreciznější a nejkvalitnější zvukové nahrávky činelů, jsem vycházel z výběru vzorků zhotovených dne 25.10.2020 v nahrávacím studiu Ambit 1084 v Českém Krumlově, které mi poskytl k analýze pan Ing. Adam Adamják ze své bakalářské práce: Analýza spekter činelů a jejich časových průběhů.

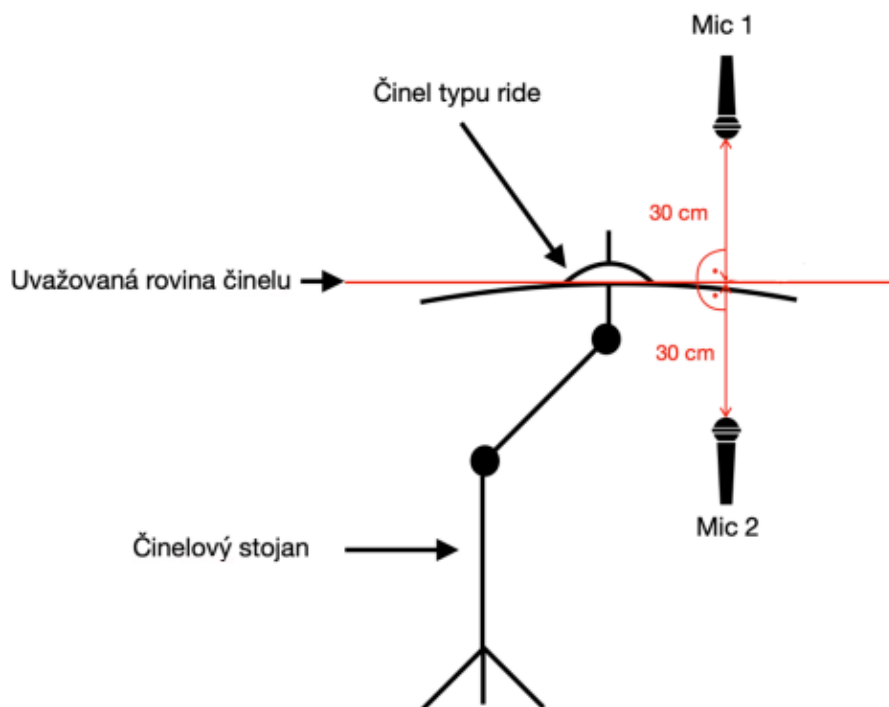
4.1.1 Mikrofony použité při měření

Pro získání kvalitní nahrávky zvuku činelů byly použity dva mikrofony AKG C414 XLII. Mikrofon s velkou citlivostí značky AKG C414 XLII je typ kondenzátorového mikrofonu, který nabízí možnost změny směrové charakteristiky s nabídkou filtrace nízkých frekvencí. Dle údajů od výrobce se frekvenční rozsah tohoto kondenzátorového mikrofonu pohybuje od 20Hz po 20kHz a citlivost při rozměrech 50mm x 38mm a hmotnosti 300g je udávána jako 23 mV/Pa. Díky nízkému vstupnímu šumu, širokému frekvenčnímu rozsahu a vysoké citlivosti, je tento mikrofon vhodný právě pro záznam zvuku činelů. Jako zdroj napětí je kabelem XLR přivedeno fantomové napájení. Při měření s dvojicí mikrofonů AKG C414 XLII bylo využito kardioidní směrové charakteristiky. Oba zaznamenané signály byly následně vedeny pomocí kabelu XLR do Allen&Health mixážního analogového pultu GL2200 se zdrojem fantomového napájení. Signál byl směrován z mixážního pultu a přiveden do zvukové karty MOTU 8 PRE, kde proběhl proces analogově-digitálního převodu (A/D) s vzorkovací frekvencí 96 kHz a bitovou hloubkou 24 bitů. Následně byl tento signál přiveden do počítače, kde byl zachycen a zpracován pomocí programu Cubase. Po zachycení následoval proces stříhu a úprav, aby byl signál připraven pro další analýzu.

4.1.2 Postup Měření

Vzorky činelů byly zhotoveny v nahrávacím studiu Ambit 1084, nacházejícím se na adrese U Poráku 512, Český Krumlov. Všechny zaznamenané činely byly součástí

osobního vybavení pana Ing. Adama Adamjáka běžně využívané pro aktivní hraní. Záznam činelů probíhal v nahrávací místnosti studia, a následná úprava signálu probíhala v režisérské místnosti. Aby bylo dosaženo co největší izolace zvuku a minimalizace odrazů zvukových vln v místnosti, byly použity tři molitanové absorbéry, které vytvořily tvar písmene "U". Tyto absorbéry měly rozměry 200 cm x 200 cm x 25 cm. Pro snímání zvuku byly užity dva mikrofony. První mikrofon AKG C414 XLII, byl umístěn kolmo k horní části činelu ve vzdálenosti 30 cm od něj. Druhý mikrofon z této dvojice byl umístěn kolmo k spodní části činelu ve stejné vzdálenosti. Zvukový signál byl dále přiveden pomocí kabelu typu XLR do analogového mixážního pultu. Signál z mixážního pultu byl následně digitalizován (převod A/D) ve zvukové kartě. Tento digitalizovaný signál byl poté zachycen pomocí počítače a nahrávacího programu do zvukového formátu WAV.



Obr. 4.1: pozice měřících mikrofonů

Obr. 4.1: Ukázka pozic mikrofonů u nahrávání

Za účelem budoucí analýzy byl každý z činelů nahrán s přibližně stejnou intenzitou úderu hráče, avšak na různých částech činelu. Prvním bodem nárazu byl pro všechny činely okraj činelu. Následně byly provedeny úderů na střed těla činelu a na závěr i na jeho pupík. Každá z těchto pozic byla trvale označena fixem, aby hráč mohl činel vždy udeřit na stejném místě. Všechny tři umístění úderů byla celkem třikrát opakována s použitím různých druhů paliček. První druh paličky byla standardní palička pro bicí nástroje se střední tvrdostí, označená jako BALBEX HI5A 5A

Hickory. Druhá použitá palička měla označení BALBEX M3 a měla filcovou hlavu s vysokou měkkostí, což je typicky používaný druh při hře na tympany. Posledním typem použitých paliček byly tzv. "floppy stick" neboli špejle s označením BALBEX FS6 Floppy Stick.

4.2 Analýza měřených vzorků

Tato kapitola se věnuje popisu nahraných vzorků a jejich analýze. Prvním zobrazením je pro analýzu výkonu v čase u všech vzorků spektrogram. Pro určení šumové složky vzorku je vytvořena také CPB analýza. Na třetím obrázku lze pozorovat hlasitost vzorku. Následující teorie harmonických složek a jejich pásem je potřebná k pochopení rozboru nahraných vzorků. Jednotlivé harmonické složky mají svůj vlastní efekt na výsledný zvuk nástroje. Z toho důvodu jsme rozdělili jejich vliv do třech různých pásem, přičemž jsme zahrnuli celkem 23 harmonických složek. První pásmo zahrnuje harmonické složky od 1. do 8., druhé pásmo obsahuje složky od 9. do 16. a třetí pásmo zahrnuje složky od 17. do 23. Tyto pásma jsou vyobrazeny na následujícím obrázku:

Pásma harmonických složek	
1. Pásmo	1. - 8.
2. Pásmo	9. - 16.
3. Pásmo	17. - 23.

Obr. 4.2: Jednotlivá harmonická pásma složek

Oblast druhého pásma (tj oblast 9.-16. harmonických složek) je oblastí takzvaných klastrů. Toto pásmo podporuje zejména sytost, průraznost a ostrot tónu. V některých případech může ovlivňovat i barvu nástroje. Rozmezí pásma třetího, tedy 17.-23. harmonické složky již tvoří spíše spojitě spektrum a vytváří ostrou barvu nekonkrétního tónu. Od 24. harmonické složky už toto spektrum tvoří šumové složky a neharmonické vzorce.

4.2.1 Spektrální analýza

Tato podkapitola se věnuje vyhodnocení měření spektrální analýzy jednotlivých vzorků. Pro měření bylo zvoleno 5 vzorků činelů různých značek. Pro následnou

Harmonická složka	Funkce
1. harmonická	Nosič tónu, nemá barvu
2. harmonická	Fundamentální frekvenci zesílí, nemá barvu, tvorba mohutnosti
3. harmonická	Přidává dutost, tupost a tělo nástroje
4. harmonická	Tón obohacen o jasnost
5. harmonická	Nazální barva zvuku
6. harmonická	Tón obohacen o jasnost
7. harmonická	Brysknost tónu
8. harmonická	Přidává jasnost, brysknost

Obr. 4.3: Popis funkce prvního z pásem:

analýzu byl pro všechny vzorky zvolen referenční úder na okraj činelu. Úder na okraj činelu byl zvolen z důvodu nejlepšího spektrálního zobrazení.

Anatolian Traditional Ride 20"

První testovaný vzorek představuje Ride činel od tureckého výrobce Anatolian s náběrem úderu na okraj činelu, patřící do střední cenové kategorie. První obrázek popisuje v logaritmyckém měřítku průběh spektra FFT, následně byl zhotoven spektrogram a kritická pásmová analýza (CPB).

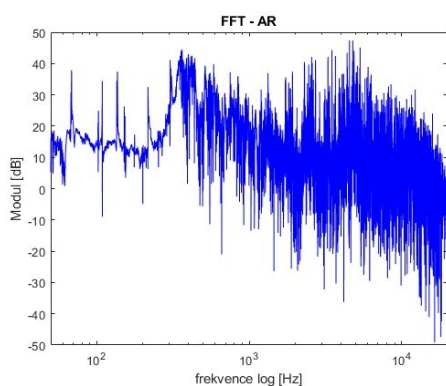
Prvním z měřících vzorků je činel typu RIDE, který vyrábí turecká firma Anatolian. Tento model patří do střední kategorie a jeho využití je napříč žánry široké. Fundamentální frekvencí, která ve spektru udává tón je 416Hz. 4.4V rozsahu frekvencí od 3-5 kHz nabízí činel ostrost, sytost a průraznost tónu. Na spektrogramu pozorujeme pomalý úbytek energie v čase u fundamentální frekvence a poté v okolí frekvence 4 kHz. 4.5CPB analýza 4.6odhaluje, že modul frekvence roste nelineárně až k hodnotě 3560 Hz, kde dosahuje nárůstu o +4dB/oct, což připomíná charakteristiku modrého šumu (+3dB/oct), následované poklesem -12 dB/oct, což je dvojnásobek poklesu typického pro hnědý šum. Subjektivním pohledem má činel teplejší barvu,

ve vyšších frekvencích plnější spektrum a dobrý sustain. Činel také velmi dobře reaguje na různé dynamické úrovně hraní; při silném a rychlém úderu neztrácí svou zvukovou charakteristiku a při jemném hraní reaguje i na méně intenzivní údery, přičemž si zachovává dlouhý sustain. Na základě těchto vlastností lze říci, že se jedná o vysoce univerzální činel vhodný pro široké spektrum hudebních stylů.

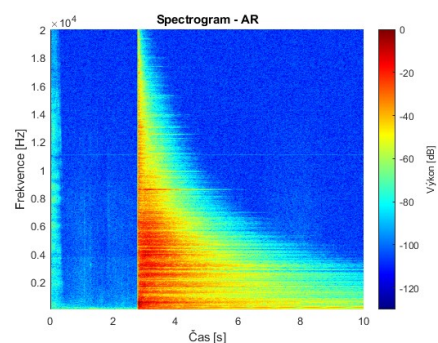
Sabian XS20 16"Medium-Thin Crash

V této části práce se věnujeme podrobnému zkoumání a vyhodnocení zvukového signálu získaného ze vzorku činelu Sabian XS20 16"Medium-Thin Crash. Druhý model činelů typu crash z řady XS, kterou nabízí výrobce Sabian. Tato řada spadá do kategorie nižší střední třídy, což odráží i její cenová dostupnost. Postup měření a analýza zvukových vzorků proběhly identicky jako u předchozích vzorků. Na počátku jsou prezentovány spektrografy FFT v dvou různých měřítkách, po nichž následuje detailní spektrogram a CPB analýza.

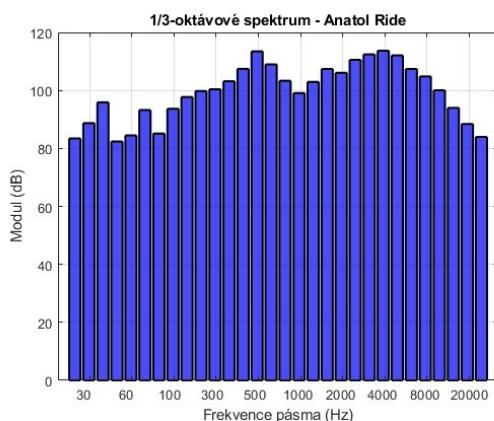
Fundamentální frekvence u tohoto činelu činí 378 Hz, která oproti prvnímu vzorku není ve spektru dominantním prvkem. Nejsilnější frekvencí je ve spektru 4778 Hz, která přináší podporu šumové složky a výraznou ostrost s omezenou zvonivostí. Nejpomalejší úbytek energie se opět nachází mezi 3-5 kHz, zatímco vyšší frekvence vykazují rychlejší pokles. CPB analýza ukazuje podobný trend s nelineárním nárůstem modulu ve třetinách oktáv až k základní frekvenci, následovaným poklesem a nárůstem až k frekvenci 4778 Hz, která je také nejvýraznější. Sestupující hodnota modulu ukázala pokles o -12 dB/oct, což je dvojnásobek poklesu typického pro hnědý šum. Co se týče zvukových vlastností, tento činel se vyznačuje rychlým attackem s kratší fází decay. Subjektivně je zvuk velmi ostrý a zároveň nevykazuje vysokou hlasitost, je tedy vhodný jako doplněk v rockových žánrech.



Obr. 4.4: FFT analýza Anatolian Traditional Ride 20



Obr. 4.5: Spektrální analýza Anatolian Traditional Ride 20

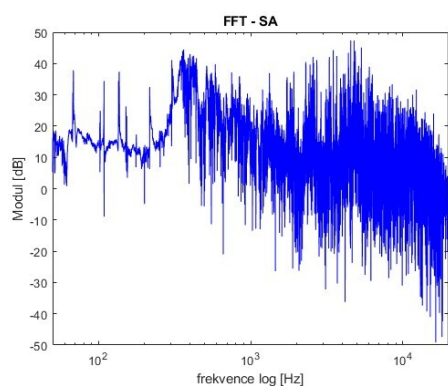


Obr. 4.6: 1/3 oktávová Anatolian Traditional Ride 20

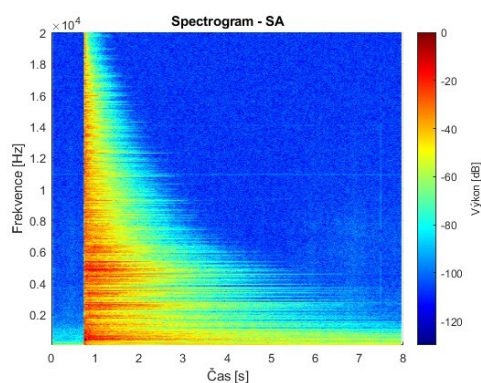
Paiste 101 Brass 16" Crash

Zde je rozebrána spektrální analýza Paiste 101 Brass 16" Crash. Postup zobrazovacích metod je stejný. Nejprve byla vytvořena FFT analýza, následně spektrogram a na závěr CPB analýza.

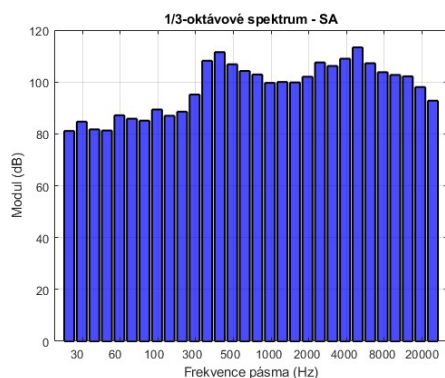
Ve třetí analýze se věnujeme měřenému vzorku činelu od švýcarského výrobce Paiste, který je známý pro široký sortiment výrobků pokrývající různé cenové hladiny. Série 101 Brass patří mezi nejekonomičtější nabídky na trhu, což se odráží i na jejich zvukových charakteristikách. V oblasti od 3-5 kHz můžeme opět pozorovat nejpomalejší úbytek energie. Rychlý pokles hodnoty výkonu pozorujeme v oblasti nad 10 kHz. Analýza FFT spektra 4.10 ukazuje, že tento činel má výraznou fundamentální složku s frekvencí 509 Hz, což je nejvýraznější ve srovnání s ostatními



Obr. 4.7: FFT analýza Sabian XS20 16"Medium-Thin Crash



Obr. 4.8: Spektrální analýza Sabian XS20 16"Medium-Thin Crash



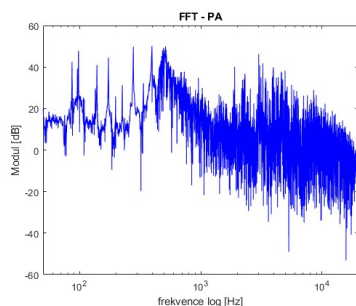
Obr. 4.9: 1/3 oktávová Sabian XS20 16"Medium-Thin Crash

CRASH činely. Druhá největší složka byla identifikována na frekvenci 3972 Hz, což odpovídá osmé harmonické složce, jež přispívá k jasnosti, ostrosti a brysknosti zvuku. 4.11CPB analýza ?? zaznamenává nelineární vzestup amplitudy až k fundamentální frekvenci, následovaný poklesem a dalším vzestupem okolo 4 kHz. Měření šumové složky ukázalo pokles o -11 dB/oct.

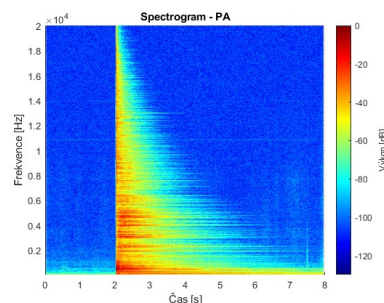
Istanbul Mehmet 20"Crash

Čtvrtým vzorkem je Istanbul Mehmet 20"Dark Crash Traditional. Tento typ činelu se řadí do vyšší třídy kategorie CRASH/RIDE. Měření bylo provedeno stejným způsobem jako u vzorků předcházejících. V první části je vyobrazen FFT spektrogram, následně spektrogram a CPB analýza.

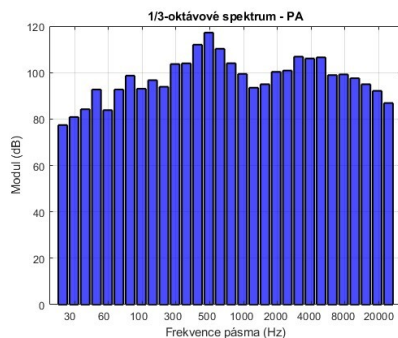
Při FFT analýze 4.13 byla fundamentální frekvence činelu identifikována na frekvenci 443 Hz, což je méně výrazná ve srovnání s celkovým spektrem zvuku. Nejvý-



Obr. 4.10: FFT analýza Paiste 101 Brass 16" Crash



Obr. 4.11: Spektrální analýza Paiste 101 Brass 16" Crash

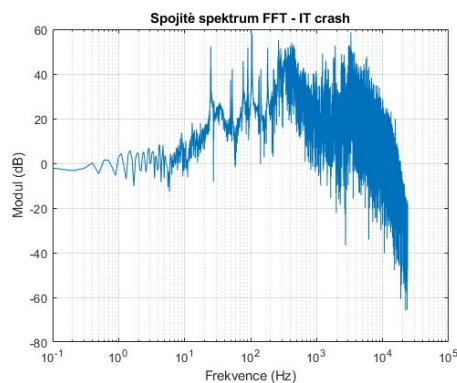


Obr. 4.12: 1/3 oktávová APaiste 101 Brass 16 Crash

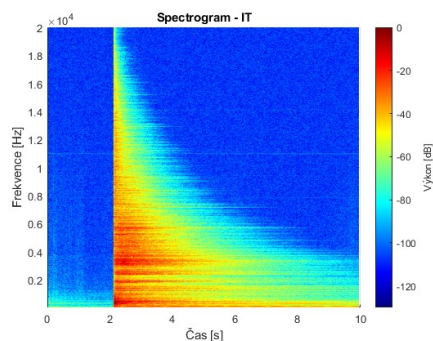
raznější harmonickou složkou je frekvence 3302 Hz, odpovídající osmé harmonické složce, která zvuku dodává brysknost a ostrost. V oblasti 3-5 kHz je úbytek energie v čase nejpomalejší. Ve vyšších frekvencích je pokles opět rychlejší. Analýza CPB 4.15 odhaluje nepravidelný vzestup amplitudy až k základní frekvenci, následovaný poklesem a dalším vzestupem v rozmezí 4-6 kHz. U šumové složky pozorujeme pokles -12 dB/oct, což je dvojnásobek poklesu u hnědého šumu, a nelze ji tedy jednoznačně charakterizovat. Činel má dlouhý dozvuk a příjemnou, spíše tmavší barvu zvuku. Při kontrolovaném hraní se činel podobá jazzovým RIDE činelům s širokou dynamikou. Při intenzivním hraní se však začne chovat spíše jako CRASH činel s rychlým attackem a vysokou hlasitostí. Vyžaduje tedy pečlivou manipulaci s dynamikou. 4.14

Anatolian Emotion Crash 18"

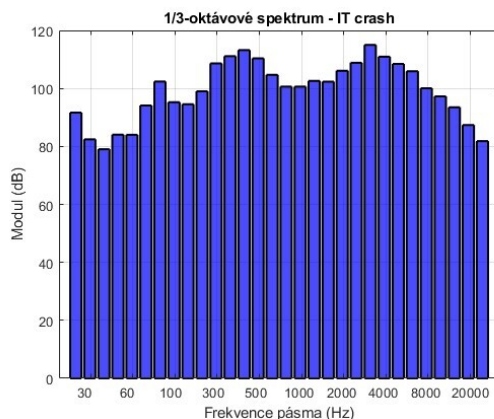
Jako pátý byl zvolen vzorek činelu Anatolian Emotion Crash 18. Prvním krokem bylo provedení FFT analýzy spektra v logaritmickém měřítku. Dále byl k prozkoumání časového průběhu použit spektrogram a na závěr byla provedena analýza CPB.



Obr. 4.13: FFT analýza Istanbul Mehmet 20 Crash



Obr. 4.14: Spektrální analýza Istanbul Mehmet 20 Crash



Obr. 4.15: 1/3 oktávová Istanbul Mehmet 20 Crash

Tento vzorek představuje činel z kategorie CRASH, který byl opět vyroben firmou Anatolian. Konkrétně se jedná o model z řady Emotion, který se cenově řadí do nižší střední třídy.

Tento činel patří do série Emotion od výrobce Anatolian a jeho cena ho řadí do nižší střední třídy a jeho nejvyšší základní frekvenci, která je zároveň nejsilnější složkou se nachází na hodnotě 544 Hz. Spektrum v oblasti 3-6 kHz ukazuje četné složky s vysokým modulem, podobně jako u předchozích vzorků. Spektrogram indikuje pomalý úbytek energie v této oblasti, zatímco ve frekvencích nad 10 kHz je úbytek rychlý.??

CPB analýza ?? ukazuje pravidelný průběh frekvence, s poklesem hodnoty modulu šumové složky v oblasti 5-20 kHz o -11 dB na oktávu, což je podobné jako u předchozích vzorků. Tento činel je vhodný pro různé hudební žánry. Má temný, zemitý zvuk, ale díky většímu průměru dokáže při vyšší dynamice dobře proniknout a vyniknout. Zvukově je srovnatelný s prvním vzorkem z kategorie CRASH od Istanbul Mehmet, ale frekvenční analýza ukazuje, že má větší hlasitost a ostrost.

4.17

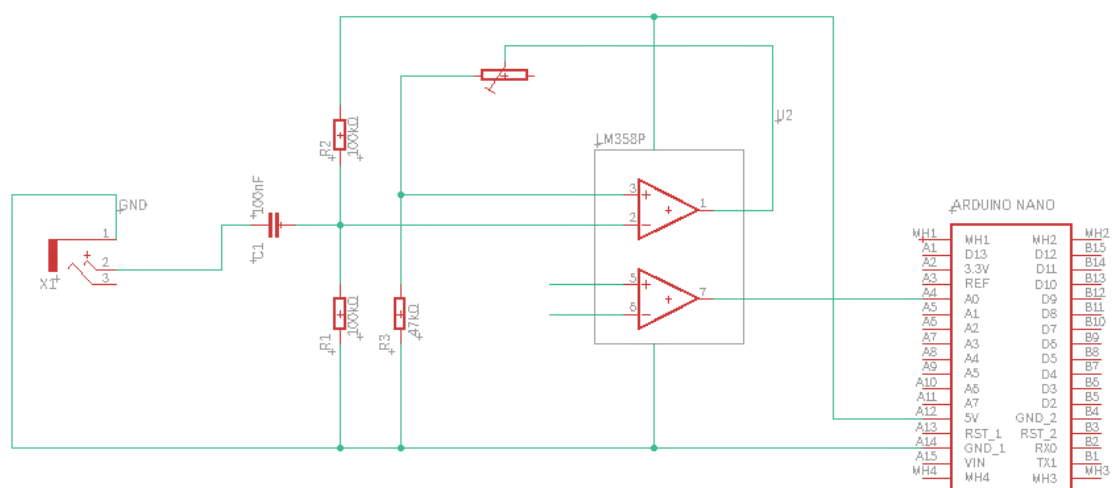
4.3 MIDI převodník

V této kapitole lze najít kompletně zkonstruovaný převodník, jeho funkčnost a zapojení, který pomocí Arduino MKR1000 rozpozná vstupní frekvenci a odešle ji do MIDI.

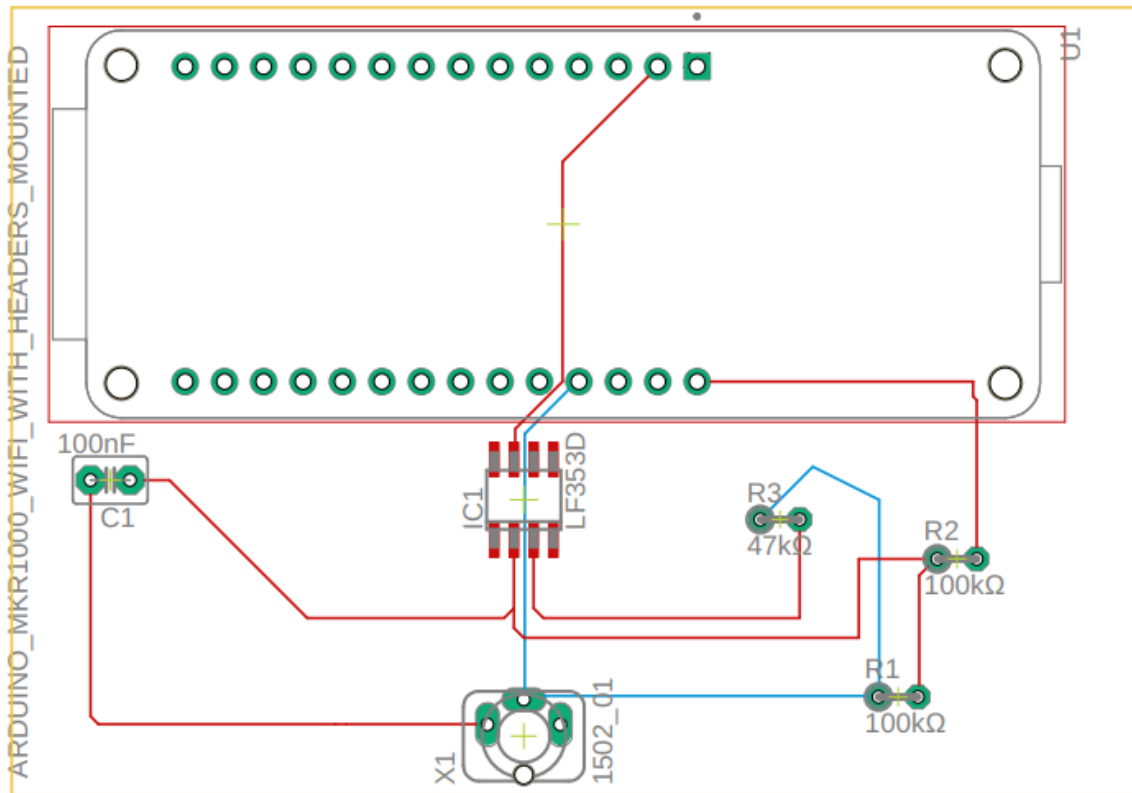
4.3.1 Konstrukce MIDI převodníku

Cílem vlastní konstrukce MIDI převodníku bylo, aby toto zařízení dokázalo pracovat s co nejdynamičtějším rozsahem i ze vstupů s nízkou úrovní. Proto je tento obvod složen z neinvertujícího zesilovače, který přivádí amplitudu signálu do plného rozsahu vstupního napětí podporovaného ADC (Analog to digital conversion).

Jako operační zesilovač jsem zvolil napěťový zesilovač LM358P. Obvod je dále doplněn o jeden rezistor typu 47k ohmů a dva rezistory typu 100k ohmů. Pro úpravu zesílení zesilovače tak, aby odpovídalo úrovni signálu vstupnímu rozsahu ADC, je použit 10k ohmový nastavitelný rezistor neboli Trimr. Celá konstrukce prototypu MIDI převodníku je pak zrealizovaná na DPS (deska plošných spojů). 4.164.17



Obr. 4.16: Schéma MIDI převodníku

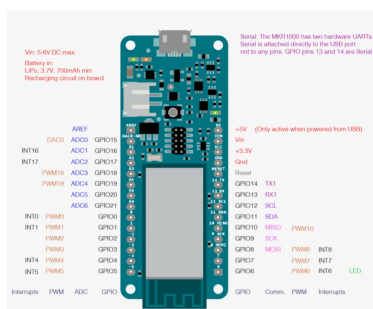


Obr. 4.17: Návrh DPS(deska plošných spojů) převodníku v programu Eagle

Arduino MKR1000 Wifi Board

Pro realizaci konverze audio signálu do MIDI v obvodu jsem zvolil mikrokontrolér Arduino MKR1000, který je navržen pro projekty IoT (Internet of Things - Internet věcí). Jeho velikost je přibližně stejná jako Arduino Uno a je vybaven 32-bitovým procesorem, integrovaným WiFi modulárním rozhraním a pamětí flash. To umožňuje snadné připojení k internetu a umožňuje snadné vytváření projektů IoT.

Jednou z hlavních výhod Arduino MKR1000 je jeho snadné použití. Je kompatibilní s většinou dostupných nástrojů pro programování Arduino a může být snadno programován pomocí jazyka Arduino. To znamená, že i lidé bez zkušeností s programováním mohou snadno vytvářet projekty IoT. Myšlenkou bylo uvedení na trh malé a kompatibilní zařízení pro IoT projekty. IoT v poslední době velmi rozrůstá do světa. Tento mikrokontrolér byl navržen s SAMD21 Cortex a nízkopříkonovou WiFi deskou WINC1500. Každá funkce IoT může být provedena jeho použitím. Díky většímu počtu kolíků a jeho funkcím je výhodnější ve srovnání s ostatními deskami IoT.



Obr. 4.18: Arduino MKR1000 Pinout

Arduino MKR1000 Pinout:

- 6 LED Pin (Určený pro připojení LED diod)
- 8 Digital I/O Pins (Digitální in/out pin)
- 7 Analog Input Pins (Analogový Input pin)
- 1 Analog Output Pins (Analogový Output pin)
- 12 PMW Pins (Pulse Width Modulation - technika k modulaci šířky pulsů)
- 10 External interrupts (Pro detekci přechodů na vstupních pinech)

Na rozdíl od většiny desek Arduino běží MKR1000 na 3,3 V tzn. že maximální napětí, které In/Out piny snesou, je 3,3V. Zatímco výstup na 5V digitální zařízení je možný, obousměrná komunikace s 5V zařízeními vyžaduje správné nastavení úrovně.

4.4 Programové řešení pro Arduino MKR1000

Pro naprogramování Arduina MKR1000 jsem zvolil, kvůli jednoduchosti a přehlednosti psaní, program Arduino IDE. Pro přenesení MIDI zprávy je potřeba nejprve zjistit frekvenci signálu, k tomu byla využita knihovna *AudioFrequencyMeter.h*. Slouží k měření a vypočítávání frekvence zvuku, která je v kódu následně průměrována, kvůli eliminaci rychlých změn. Dále kód tvoří knihovna *frequencyToNote.h* a *pitchToNote.h*. *frequencyToNote.h* slouží k převodu frekvence zvuku na notu v hudební stupnici a *pitchToNote.h* k převodu výšky zvuku na notu v hudební stupnici.

Tyto knihovny obsahují funkce a metody pro analýzu zvukových signálů a výpočet frekvence, která je v daném okamžiku nahrávána mikrofonom nebo přenášena přes zvukové rozhraní. Pro připojení MIDI zařízení k počítači pomocí USB rozhraní je v kódu použita knihovna *MIDIUSB.h*.

Struktura posílání zpráv vypadá následovně. První byte reprezentuje status zprávu noteOn (nota zapnuta), noteOff (nota vypnuta) nebo CC (Controlchange) a midi kanál s číslem 0-15). Druhý byte posílá první hodnotu od 0 do 127 (číslo ovladače nebo číslo noty) a třetí byte posílá druhou hodnotu od 0 do 127 (při *NoteOn* - hodnota intenzity). 4.19 4.4

Výpis 4.1: Ukázka struktury MIDI zpráv

```
void noteOn(byte channel, byte pitch, byte velocity)
{
midiEventPacket_t noteOn = {0x09, 0x90 | channel, pitch, velocity};
MidiUSB.sendMIDI(noteOn);
}

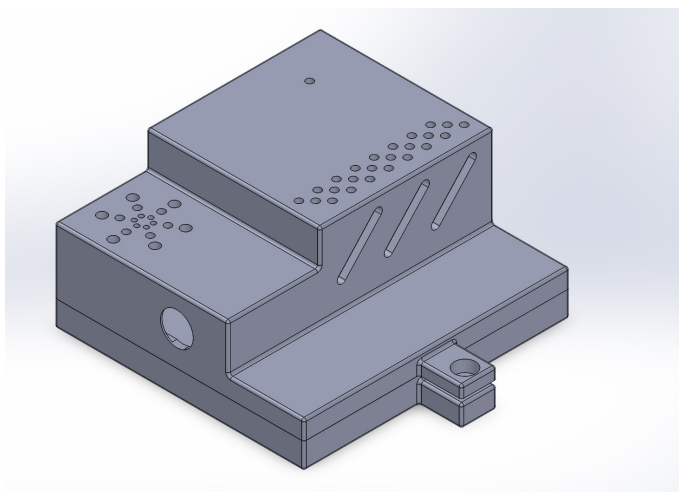
void noteOff(byte channel, byte pitch, byte velocity)
{
midiEventPacket_t noteOff = {0x08, 0x80 | channel, pitch, velocity};
MidiUSB.sendMIDI(noteOff);
}

Channel: 1 Note: 90 Velocity: 64 Timestamp: 62.961 [ 80 5A 40 ]
```

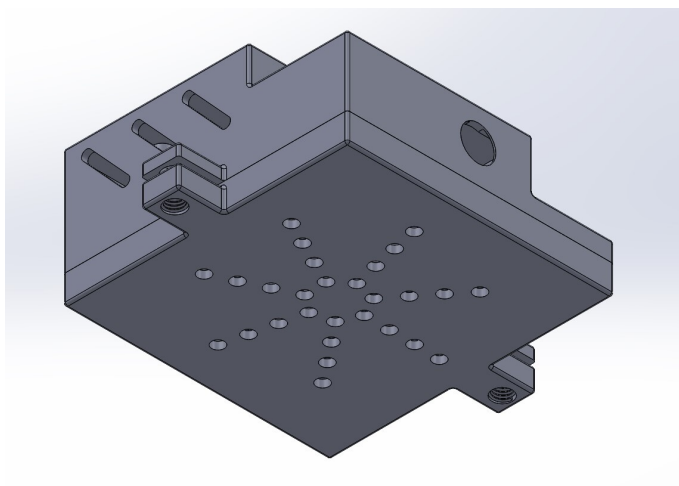
Obr. 4.19: Výpis MIDI zprávy

4.4.1 Ochranný obal převodníku

Ochranný obal převodníku byl navrhnout v programu SolidWorks a vytvořen na 3D tiskárně Bambu lab s AMS. 4.20 4.21



Obr. 4.20: Ochranný obal převodníku - vrchní pohled

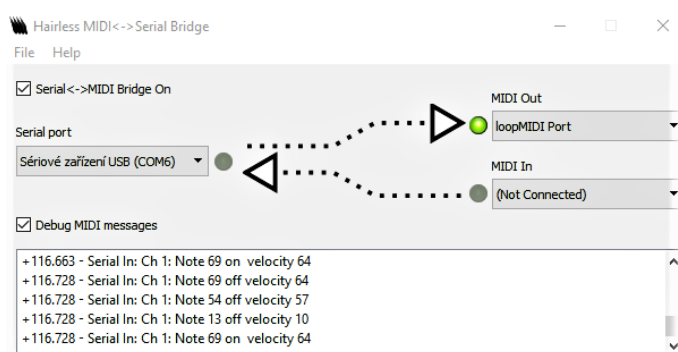


Obr. 4.21: Ochranný obal převodníku - spodní pohled

4.4.2 Funkčnost kódu MIDI převodníku

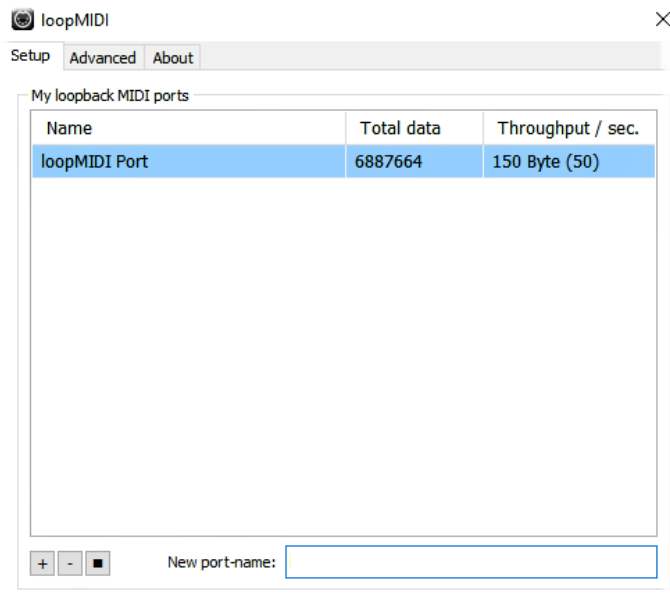
Abychom zajistili funkčnost tohoto prototypu, je tento obvod napojen na výstup zvukové karty USB audio interface SSL2 do níž je zapojen kondenzátorový mikrofon Rode NT1-A. Výstup z prototypu obvodu je veden pomocí Mini USB, které vede z výstupu Arduino MKR1000 do USB vstupu počítače.

Prvním problémem byla komunikace mezi počítačem a MIDI převodníkem, jelikož počítač nebyl schopen rozpoznat převodník jako MIDI zařízení, ale četl jej jako USB zařízení. Na základě tohoto problému jsem zvolil variantu posílat MIDI zprávy pomocí komunikačního sériového portu počítače. Jelikož MIDI knihovna pro Arduino nedokázala posílat MIDI zprávy po sériové lince, tak byly zkonstruovány MIDI zprávy né pomocí této knihovny, ale od základu pomocí vypisování bitových operací. Aby počítač přečetl prototyp jako MIDI zařízení, bylo potřeba nástroje, který slouží k připojení MIDI zařízení s počítačem pomocí sériového rozhraní. Zvolil jsem Hairless MIDI Serial Bridge, které umožňuje přenášet MIDI zprávy mezi zařízeními pomocí sériového rozhraní, což umožňuje propojení bez nutnosti používat externí MIDI kabel. 4.22



Obr. 4.22: Využití Hairless MIDI Serial Bridge

Pro další komunikaci Arduino s Hairless MIDI Serial Bridge bylo potřeba vytvořit virtuální MIDI zařízení, do kterého se budou posílat MIDI zprávy pomocí programu Hairless MIDI Serial Bridge. Pro tvorbu tohoto portu jsem zvolil program LoopMIDI, který se chová jako fyzické MIDI zařízení, ale je pouze softwarovou součástí počítače. 4.23



Obr. 4.23: Program LoopMIDI

Dalším problémem byla funkčnost knihoven. Knihovny fungují na principu vytvoření MIDI zprávy a vypisování hodnot do sloupce pod sebe pomocí znaků /r (konec řádku) a /n (nový řádek). Ovšem program Hairless MIDI, který jsem používal k propojení převodníku s počítačem, má s tímto vypisováním problém, a proto jsem vytvořil systém, který pošle přes sériovou linku pouze MIDI zprávu. Mé další kroky vedly k opakovanému podrobnějšímu prozkoumání příčiny, proč není počítač schopen zkonstruovaný převodník přechíst jako MIDI zařízení. Odpovědi se mi dostalo až na samotné podpoře internetové stránky vývojářů Arduina IDE. Důvodem, proč nebyl počítač schopen s MIDI převodníkem komunikovat a rozpoznávat jej jako MIDI zařízení, je samotný program Arduino IDE. Pokud byl převodník připojen do počítače nebo notebooku, který má ve svém úložišti nainstalovaný program Arduino IDE, automaticky rozpoznával převodník jako USB zařízení s popisem konkrétního modelu Arduino (v mém případě Arduino MKR1000).

4.5 Program SaMi doplňující akustickou barvu činelů

Pro tuto část bakalářské práce jsem zvolil výpočetní software Matlab. Matlab byl vyvinut společností MathWorks a je k dispozici ve formě aplikace pro počítače s operačními systémy Windows, macOS a Linux. Je široce používán ve vědě, technice, inženýrství a matematice, a obsahuje řadu před-připravených funkcí a knihoven pro různé výpočetní úlohy.

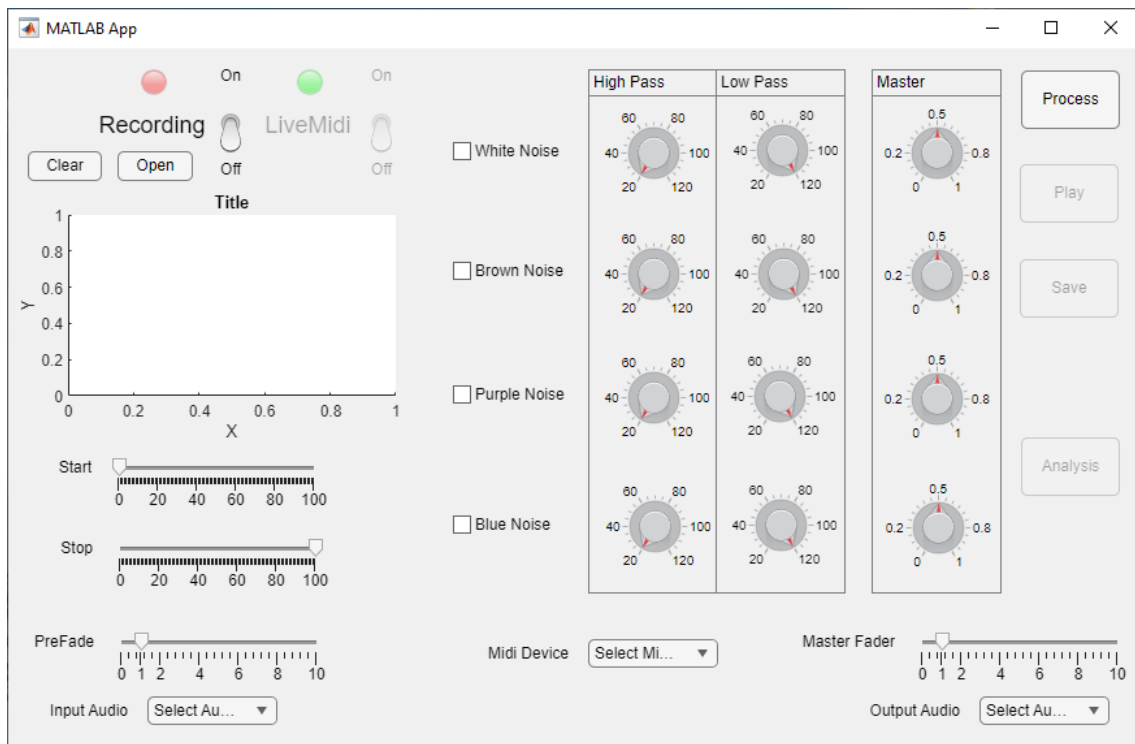
Cílem tvorby tohoto programu je přijímat MIDI zprávy z libovolně zvoleného MIDI zařízení a zvukový signál jakékoliv připojené zvukové karty, analýza těchto zpráv a následné doplnění zvukového signálu na základě přijímaných MIDI zpráv o různě filtrované šumy a aditivně vytvořené neharmonické shluky, které vhodně doplňují akustickou barvu činelů.

4.5.1 Popis programu SaMi

Externí program SaMi je navržen tak, aby v případě přijímání zvukového signálu nahrál tuto zvukovou stopu, případně načel jakoukoli zvukovou nahrávku (vzorek .wav) ze souborů a následně jej obohatil o navolené šumy. Výsledný zvukový signál se dá uložit do wav souboru, přehrát, případně je zde možnost jej napojit na MIDI zprávu noteON která byla přijata z MIDI zařízení. Volba šumových složek je doplněna o možnost filtrování pomocí dolní a horní pásmové propusti. 4.24

4.5.2 Funkčnost programu SaMi

Tato část práce obsahuje podrobně rozebrané jednotlivé hlavní části programu. Program se dělí na tři části. Na vstupní část, část zpracování a aktivní část. Ve vstupní části si uživatel může navolit, co bude zpracovávat. Možností je nahrát nahrávku přes uživatelem zvolené vstupní audio zařízení, nebo načíst vybraný zvukový soubor s příponou .wav. Načtený nebo nahraný vstupní signál se zobrazí v úvodním grafu a zároveň si bude moct uživatel nastavit počátek a konec nahrávky, která se vzápětí bude upravovat v části zpracování. V této části si uživatel nastaví jak by chtěl obohatit zvukovou nahrávku o vybranou šumovou složku. Výsledný signál lze následně analyzovat (spektrální analýza) a zároveň přehrát po stisknutí tlačítka Play. V aktivní části, po zapnutí přepínače s názvem LiveMidi, bude program sledovat příchozí Midi zprávy z vybraného Midi zařízení. V případě že přijatá Midi zpráva bude typu NoteOn, přehraje se výsledný zpracovaný signál.



Obr. 4.24: Vizuální podoba programu SaMi

Vstupní část programu SaMi

Tato část obsahuje dvě možnosti jak importovat vstupní signál do programu. 4.25

1. Vstup z mikrofону – Program rozpozná všechny možné zvukové zařízení, připojené k počítači. Tato informace je součástí funkce `audiodevinfo`. Tato funkce obsahuje i informaci o výstupním zařízení, které bude rozebráno v pozdější podkapitole. Program tedy rozpozná připojené vstupní zařízení a pomocí funkce `audiorecorder` dokáže nahrát signál z mikrofону. V případě, že uživatel nezvolí žádné vstupní zařízení a chtěl by nahrávat zvukový signál, program ho upozorní na nezvolené vstupní zařízení. Jakmile program nahrává, rozsvítí se červený indikátor vedle tlačítka `Recording`, které je umístěno v levé horní části programu. Po vypnutí nahrávání tento indikátor přestane svítit, program tento nahraný signál bude brát jako hlavní signál a celý tento signál se zobrazí v grafu.
2. Vstup ze souboru `.wav` – Po kliknutí na tlačítko `Open` se uživateli zobrazí kontextový `Windows` panel, ve kterém si uživatel navolí který zvukový soubor `.wav` chce načíst. Program nemá problém otevřít soubor v jakékoliv jiné složce, než je složka obsahující program. Program dokáže otevřít i stereo nahrávku a zpracovat ji. Otevřená nahrávka se opět zobrazí v grafu ve vstupní části.

Pro obě tyto možnosti platí stejné nastavení ve vstupní části programu. To jest:

- Start
- Stop
- PreFade

Posuvník Start a Stop nám umožňuje nastavit počáteční a koncový vzorek vstupního signálu. Toto dělá pomocí indexování pole. Po nastavení jedné z těchto proměnných se automaticky aktualizuje graf vstupního signálu. Graf zobrazuje přesný zvukový signál, který se následně bude zpracovávat, případně přehrávat. V případě, že by hodnota Start přesáhla hodnotu Stop, automaticky se hodnota Stop posune, aby nedošlo k chybné syntaxi v indexování pole. Zároveň pokud vybraný signál pomocí Start, Stop posuvníku bude příliš krátký (pár jednotek vzorků), program ho nebude zpracovávat. Jelikož Matlab indexuje pole od 1 a ne od 0, musely být ošetřeny podmínky, kdy Start případně Stop má nulovou hodnotu. V případě, že posuvník Start má nulovou hodnotu, nastaví se proměnná audioStart, která přejímá hodnotu posuvníku Start, na hodnotu 1. V případě že posuvník Stop má nulovou hodnotu, proměnná audioStop, která přejímá hodnotu posuvníku Stop, se nastaví na maximum. Tedy se bude zpracovávat signál o celé délce.

Posuvník PreFade funguje jako takzvaný Gain (nastavení úrovně vstupního signálu). Důvodem vybraného rozsahu tohoto posuvníku byla limitace vlastní hardwarové soustavy (vstupní signál nahraný pomocí vlastního mikrofону byl příliš nízký). Hodnota PreFade ovlivňuje pouze vstupní signál nahraný pomocí mikrofону, nebo načtený pomocí tlačítka Open.

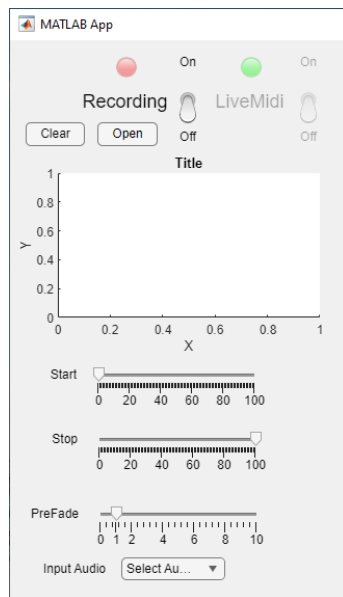
V případě že máme vstupní signál z jedné ze vstupních možností získání signálu, je potřeba stlačit tlačítko Clear pro smazání vstupního signálu z paměti a resetování celé vstupní části (kromě volby vstupního zařízení). 4.25

Část zpracování

V této části uživatel nastaví o jaké šumové složky chce obohatit svůj vybraný, nebo nahraný vstupní signál. Signál může doplnit o následující šумы:

- Bílý šum
- Hnědý šum
- Fialový šum
- Modrý šum

Bílý šum byl vygenerovaný pomocí funkce wgn v matlabu, která je součástí Communication Toolbox balíčku. Ostatní barevné šумы byly získány pomocí scriptů použitých z komunitně vytvořených kódů dostupných na oficiálních stránkách matlabu. Všechny tyto barevné šумы byly vytvořeny pomocí filtrace bílého šumu. Uživatel si



Obr. 4.25: Ukázka vstupní části programu SaMi

může nastavit, které z těchto šumů chce použít tím, že zatrhne okénko vybraného šumu.

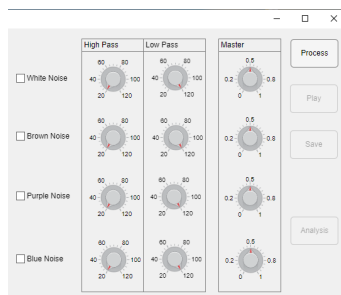
Šumy mohou být filtrovány pomocí dolní a horní propusti, které jsou součástí matlab balíčku. Je zde možnost nastavení hraničního kmitočtu. Zároveň lze nastavit jednotlivé hlasitostní úrovně šumů.

Pro dosažení nejmenší latence, je potřeba signál obohacený o šumové prvky nejdříve zpracovat pomocí tlačítka Process, kdy se spustí funkce synthesis, aby došlo k minimální prodlevě mezi stlačením tlačítka Play, nebo příchozí Midi zprávě typu NoteOn, a signálem vyzářeným z reproduktorů. Funkce synthesis vezme část vstupního signálu, který byl vyměřený pomocí audioStart a audioStop proměnných, a pomocí aditivní syntézy přidá šumové složky do výstupního signálu. Filtrace šumových složek se zpracovává taktéž v této funkci. V případě, že není nahráný ani zvolený vstupní signál a uživatel vybere aspoň jeden ze zmíněných šumů, uloží se do zásobníku 44100 vzorků vybraných šumů, tedy přesně 1 vteřina při vzorkovací frekvenci 44100 Hz. Výsledný zásobník uloží signál do proměnné out, ze které se následně signál přehrává. Po zpracování je možné také výsledný upravený signál uložit zvlášť do .wav souboru.

Posledním prvkem v části zpracování je tlačítka Analysis. Po stlačení je zobrazeno nové okno, ve kterém se nachází spektrální analýza jak vstupního signálu, tedy nahrávky či otevřeného souboru, tak výstupního (upraveného) signálu. Můžeme zde pozorovat jak šumové složky ovlivnily vstupní signál.

Jelikož ve funkci synthesis byla použita aditivní syntéza, bylo potřeba také ošet-

řit případné clipování signálu. V případě že byt jen jeden vzorek přesáhne hodnoty 1 (nebo také -1) aktivuje se provizorní kompresor. Celý signál se podělí maximální hodnotou a dojde k celému potlačení signálu.4.26



Obr. 4.26: Ukázka části zpracování v programu SaMi

Aktivní část

Jakmile je signál zpracovaný, je možné zapnout funkci aktivního čtení Midi zpráv z uživatelem vybraného Midi zařízení. Při zapnutí přepínače LiveMidi se v programu aktivuje nekonečná smyčka, která neustále (co 0.1 sekund) sleduje příchozí Midi zprávy z vybraného zařízení. Pokud ze zařízení nebude obdržena žádná Midi zpráva, funkce midireceive vytvoří prázdný objekt typu midimsg. Tento objekt je uložen do proměnné midiMessage. Jakmile program zjistí že objekt uložený v midiMessage je prázdný, přeskočí se celý cyklus. Tímto přístupem program vyčkává dokud není poslána z Midi zařízení reálná Midi zprava.

V případě, že obdržena zpráva bude typu NoteOn přehraje se zpracovaný signál na výstupním zvukovém zařízení. Uživatel má možnost opět navolit výstupní zvukové zařízení obdobně jako vstupní a zároveň bude taktéž upozorněn jestliže by nevybral žádné z těchto zařízení. Ideální Midi zařízení pošle vždy pouze jednu zprávu typu NoteOn a následně jednu zprávu typu NoteOff. Kdyby se stalo, že by vybrané Midi zařízení poslalo více zpráv typu NoteOn, přehrála by se nahrávka pouze jednou a program by následně vyčkal, dokud se neobjeví zpráva typu NoteOff. Přehraje se vždycky celá délka signálu, případně její výsek určený hodnoty audioStart a audioStop jak bylo zmíněno ve vstupní části programu.

Poslední část aktivní části programu je Master Fader. Ten slouží a pracuje jako hlavní zesílení případné zeslabení celkového výstupního signálu, jenž je přehráván na výstupním zvukovém zařízení.

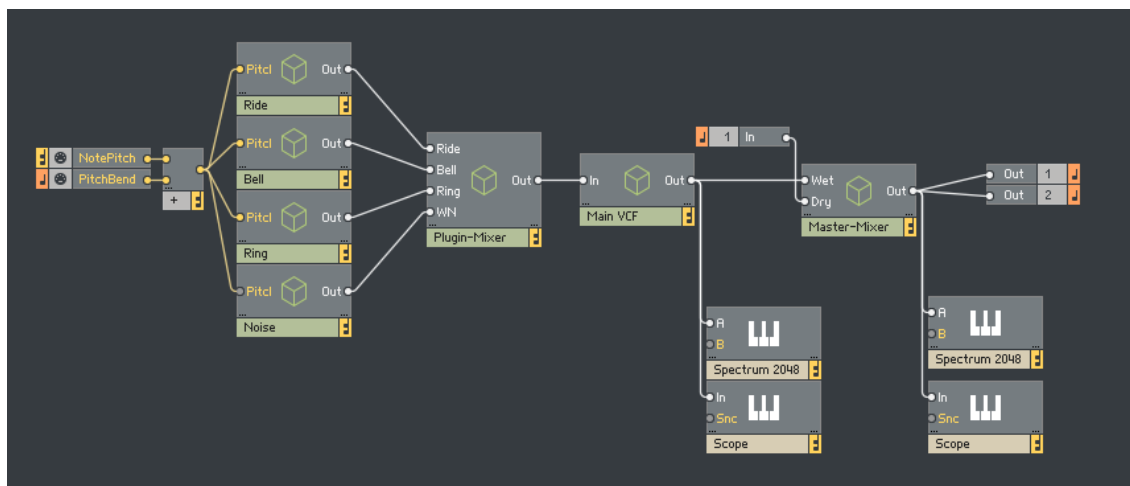
4.6 Převod programu z Matlabu do Nativ Instruments Reaktor

Původní model tohoto programu byl vytvořen v prostředí Matlab, které je široce používáno pro technické výpočty, analýzy a simulace. Na základě konzultace s vedoucím mé bakalářské práce bylo rozhodnuto, že finální verze programu bude implementována v softwarovém prostředí NI Reaktor.

Hlavním důvodem je praktická a aplikovatelná stránka programu. NI Reaktor je specializovaný nástroj určený pro tvorbu zvukových a hudebních aplikací, který se zabývá syntézou zvuku, což jej činí vhodnějším pro finální implementaci projektu. Reaktor také poskytuje prostředí, které umožňuje vytvářet složité zvukové moduly a efektové procesory s intuitivním grafickým rozhraním. Jeho patche se skládají z modulů propojených linkami, což poskytuje vizuální reprezentaci toku signálu. Použité stavební bloky poskytují uživatelům Reaktoru svobodu volby, což napomáhá formovat jejich zvukový design.

Struktura v NI Reaktor

Na obrázku 4.27 vidíme modulární strukturu v NI Reaktor. Struktura zahrnuje několik klíčových komponentů a jejich propojení:



Obr. 4.27: Main struktura v NI Reaktor

1. Vstupní signál

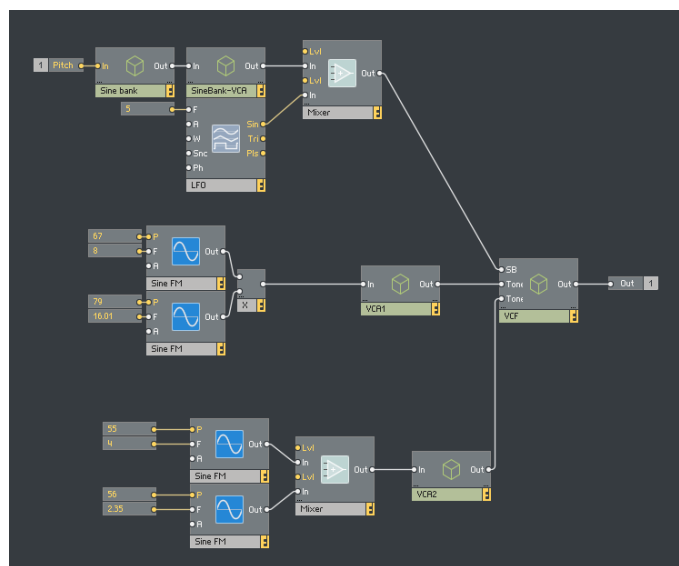
Vstupní ovládání signálu zahrnuje NotePitch, který přijímá MIDI noty a přenáší je do různých modulů pro generování zvuků podle výšky tónu. PitchBend

přijímá MIDI signál a umožňuje změny výšky tónu během hraní a ovládání Input je pak vedeno do Master-Mixer, kde tento modul míchá původní signál se syntetizovaným signálem.

2. Oscilátory a syntezátory

Tato část obsahuje moduly subjektivně pojmenované Ride, Bell, Ring a Noise. Všechny tyto moduly mají vstup pro pitch, což umožňuje jejich ovládání pomocí vstupních signálů NotePitch a PitchBend.

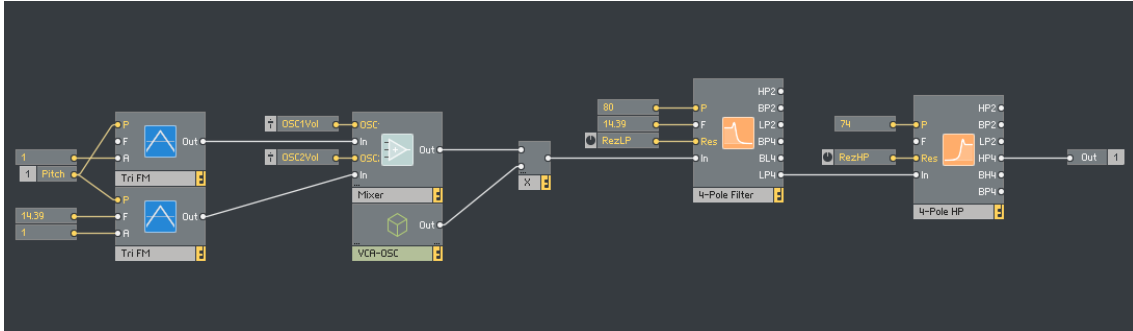
Struktura Ride 4.28 zahrnuje modul Sine Bank, který obsahuje šest oscilátorů, generující sinusové signály nastavených na různé frekvence pro roztažené harmonické spektrum. Pro modulaci amplitudy v Amplifier modulu byl použit modul LFO (Low-Frequency Oscillator) nastaven na 5Hz pro vytvoření warble efektu. Pro generování úderového efektu byla implementována FM syntéza ze dvou oscilátorů (Nosič a Modulator) a pro dosažení subharmonického brumu další dva oscilátory nastavené na nižší frekvence. Výstupy modulů jsou ovládány Envelope Generátory a směřovány do hlavního VCF, který produkuje finální zvukový výstup Struktury Ride.



Obr. 4.28: Struktura Ride v NI Reaktor

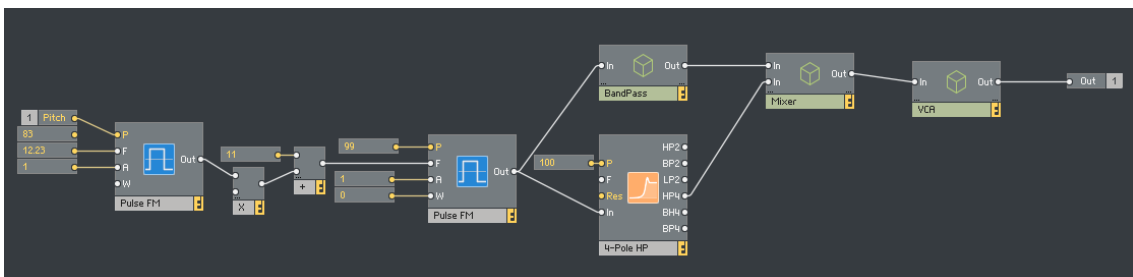
Struktura Bell tvoří dva oscilátory s trojúhelníkovou vlnou s rozdílem frekvencí 258Hz. Výstupy obou oscilátorů byly následně připojeny do Mixeru, přičemž úroveň výstupu oscilátoru s nižší frekvencí byla nastavena o něco výše než výstup oscilátoru s vyšší frekvencí. Výstup Mixeru byl pak připojen do vstupu

Multiply modulu. Výstup Multiply modulu byl dále směřován do vstupu Low-pass 4-Pole Filtru, který byl nastaven na frekvenci 845 Hz s uživatelsky nastavitelnou rezonanční hodnotou. Výstup Lowpass Filtru byl následně připojen do vstupu Highpass 4-Pole Filtru, který byl nastaven na frekvenci 587 Hz s uživatelsky nastavitelnou rezonanční hodnotou. Finální výstup z Highpass Filtru byl připojen do finálního výstupu struktury Bell.4.29



Obr. 4.29: Struktura Bell v NI Reaktor

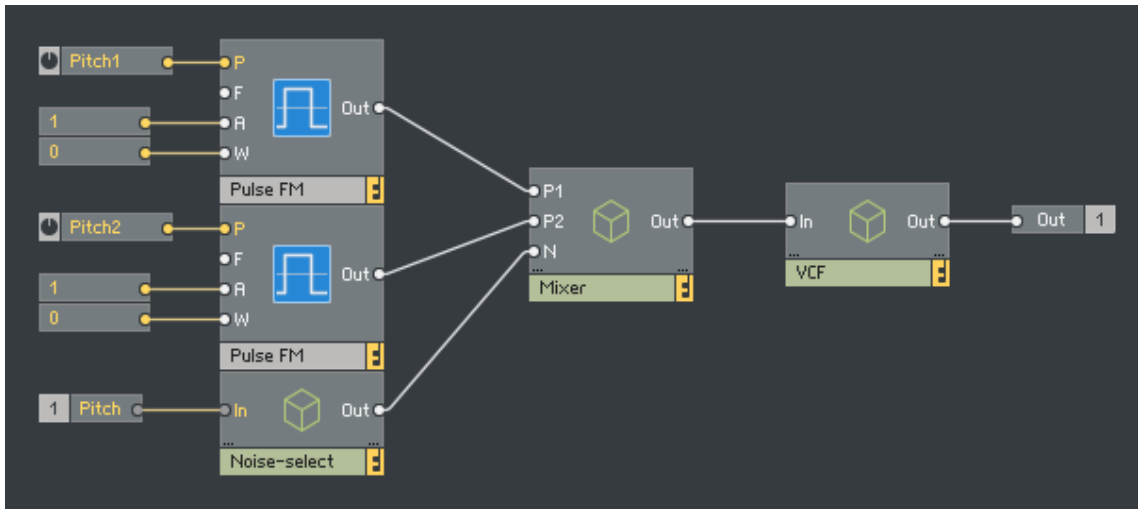
Struktura Ring tvoří dva oscilátory generující pulzní vlny, které jsou na sebe napojeny a vůči sobě lehce rozladěny. Výstup z oscilátorů je připojen do BandPass a 4-pole HP filtru filtru a jejich výstupy pak vedou do Mixeru a odtud do VCA, který tvoří finální výstup struktury Ring.4.30



Obr. 4.30: Struktura Ring v NI Reaktor

Struktura Noise se skládá z volby sestavených šumů. Uživatel si může zvolit zda použije bílý, hnědý, růžový, modrý či fialový šum. Výstup zvoleného

šumu pak vede do mixeru, kde je doplněn o dva pulzní oscilátory s nastavitelnou hodnotou Pitch. Výstup Mixeru je pak veden do VCF, který tvoří finální výstup struktury Noise.4.31



Obr. 4.31: Struktura Noise v NI Reaktor

3. Plugin-Mixer

Výstupy ze struktur jednotlivých syntezátorů jsou přivedeny do Plugin-Mixeru, který tyto signály a jejich poměr míchá a připravuje je pro další zpracování.

4. Main VCF

Smíšený signál je směřován do Main VCF (Voltage Controlled Filter), který slouží k dalšímu tvarování signálu pomocí BandPass filtru.

5. Master-Mixer

Filtrovaný signál je poté přiveden do Master-Mixeru, kde je kombinován se Dry (suchým) vstupem signálu. Výsledný zvuk je směřován na výstupy Out 1 a Out 2, které přenášejí finální stereo signál z Reaktoru do DAW nebo jiného zařízení.

Cílem programu v NI Reaktor bylo co nejvíce se přiblížit skutečnému zvuku činelů a na základě jejich vlastností se pokusit o praktickou syntézu. V následující části budou popsány dva konkrétní presety, které byly navrženy a implementovány v NI Reaktor.



Obr. 4.32: NI Reaktor 6 VST (Virtual Studio Technology) Visual

Crash3

Pro preset Crash3 4.33 bylo zvoleno nastavení růžového šumu, který má stejnoměrné energetické spektrum, vhodné pro vyvážený zvuk. Frekvenční filtrace šumu pomocí ADSR obálky je nastavená na delší Attack pro postupné zesilování šumu a dlouhý Release, pro delší dozvuk. PitchCutoff je nastaven na co nejnižší úroveň, aby dodávala šumu temnější a hlubší charakter. Signál poté přichází do Mixeru, kde se kombinuje intenzita šumu s intenzitou signálů dvou pulzních oscilátorů, které jsou nastaveny na hodnotu pitch úrovně 81. Šum je filtrován dolní a horní propustí. Parametry horní propusti HPCutoffP (High-Pass Cutoff Point) a HPCutoffF (High-Pass Cutoff Frequency) jsou subjektivně nastaveny, aby čistily nižší frekvence, zvýraznily frekvence vyšší a zabránily nízkofrekvenčnímu rušení. Parametry dolní propusti s malou rezonancí jsou nastaveny subjektivně tak, aby tvořily měkčí zvuk a eliminovaly nežádoucí syčení.

Modul Ride je nastaven na kratší hodnotu Attack pro perkusivní a ostrou charakteristiku zvuku a delší Release pro delší dozvuk. Signál se poté v Mixeru kombinuje s LFO nastaveným na frekvenci 5Hz s hodnotou amplitudy 0.02. Modulace frekvence oscilátorů přidává pohyb a životnost zvuku a modulace amplitudy vytváří efekt tremolo. Intenzita modulu Noise s růžovým šumem a intenzita modulu Ride je poté kombinována v Plugin-Mixeru.

Na závěr je pro jemné doladění frekvenční charakteristiky výsledného zvuku signál v modulu MainVCF filtrován dolní propustí. Parametry dolní propusti jsou nastaveny, aby tvořily teplejší a měkčí zvuk a eliminovaly nežádoucí syčení a šum.



Obr. 4.33: Vizuál nastavení presetu Crash3

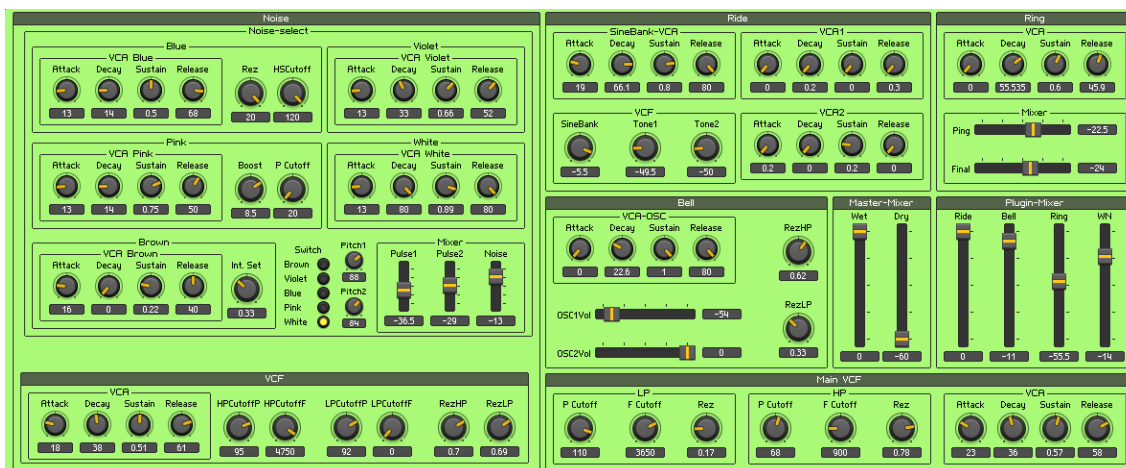
Ride4

Pro tvorbu presetu Ride4 4.34 byl zvolen šum bílý, který má stejnoměrné spektrum v celém frekvenčním rozsahu. Pro rychlé perkusivní znění je šum nastaven na krátký attack a dlouhý Decay dodává delší dozvuk, takzvaný ocas šumu. Vysoká úroveň sustain tvoří kontinuální texturu šumového efektu a dlouhý release opět dodává delší dozvuk šumové složky výsledného syntetického činelu. Signál šumu vede do Mixeru, kde se kombinuje intenzita šumu s intenzitou signálů dvou pulzních oscilátorů, které jsou nastaveny na hodnotu pitch úrovně 88 a 84. Šum je filtrován dolní a horní propustí. Parametr horní propusti HPCutoffF je nastaven na hodnotu frekvence 4750 Hz a parametr HPCutoffP je nastaven na hodnotu 95 pro klíčové odstranění nízkofrekvenčních částí šumu. Parametry horní propusti HPCutoffP a HPCutoffF s hodnotou rezonance 0.7 jsou subjektivně nastaveny, aby čistily nižší frekvence, zvýraznily frekvence vyšší a zabránily nízkofrekvenčnímu rušení. Parametry dolní propusti s malou rezonancí jsou nastaveny subjektivně tak, aby tvořily měkčí zvuk a eliminovaly nežádoucí syčení. Parametr dolní propusti LPCutoffP je nastaven na hodnotu bodu ořezu 92. Při konečném poslechu syntetického činelu je nastavení tohoto parametru zásadní. Frekvence nad tímto bodem budou ztlumeny a toto nastavení dodává syntetickému činelu jemný šumivý dozvuk.

ADSR obálka modulu Ride se šesti oscilátory s frekvenční modulací, generující sinusový signál je nastavena na krátkou dobu attack. Pro postupný úbytek signálu je nastavena delší doba decay, vysoká úroveň sustainu s dlouhou dobou release. Stejně jako u presetu Crash4, je modul Ride v mixeru kombinován s LFO nastaveným na frekvenci 5Hz s hodnotou amplitudy 0.02 pro vytváření efektu tremola harmonické části syntetického zvuku činelu.

Modul Bell obsahuje dva oscilátory generující trojúhelníkový signál s odlišnými frekvencemi. Intenzita těchto signálů je v mixeru od sebe nastavena s velkým poměrem. Smíchaný signál pak prostupuje přes ADSR obálku nastavenou na krátký attack s vysokou úrovní sustain a dlouhou dobou release. Signál pak prostupuje skrze filtr s horní a dolní propustí. Rezonance horní propusti je nastavena na hodnotu 0.62 a rezonance dolní propusti je nastavena na hodnotu 0.33. Toto nastavení snižuje nežádoucí prostupování příliš dutého zvuku oscilátorů, generující trojúhelníkový signál.

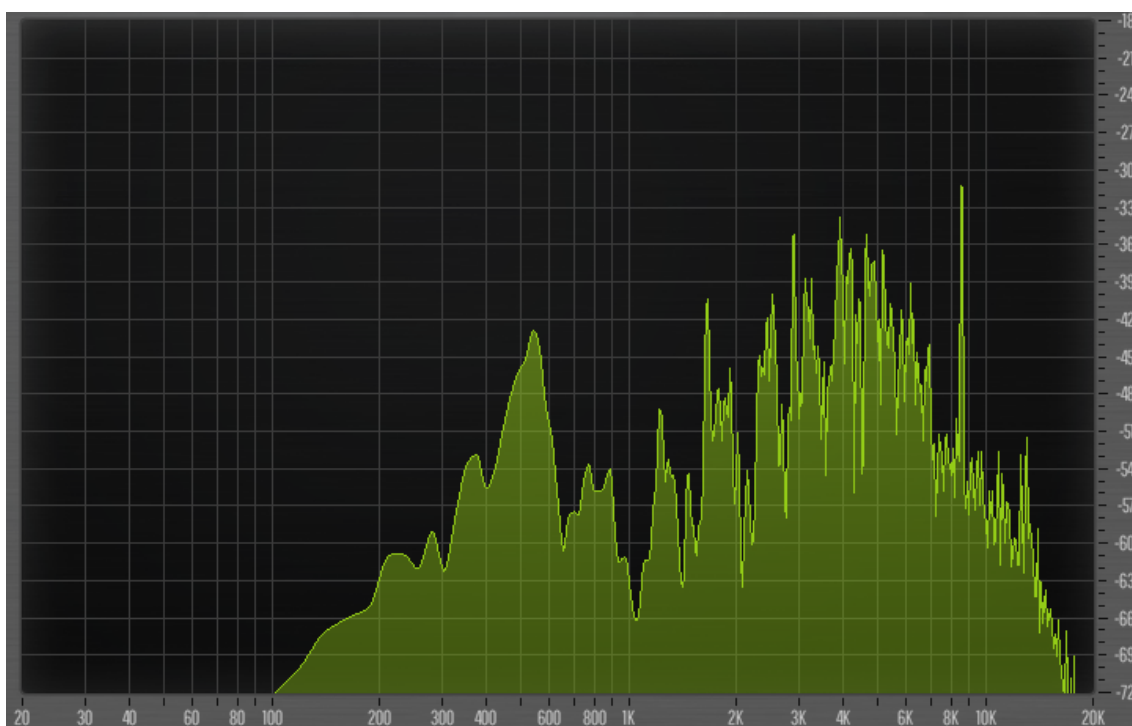
Posledním použitým modulem, je modul Ring, složený ze dvou oscilátorů, generující pulzní signál. Signál je poté veden přes přednastavený BandPass filtr současně procházející přes čtyřpólový filtr horní propusti. Signál je pak veden skrze ADSR obálka, která je nastavena s rychlým attackem, delší dobou decay a release a střední úrovní sustain. Intenzita modulu s bílým šumem Noise, Ride a intenzita modulu Ring je poté kombinována v Plugin-Mixeru, kde je jejich úroveň intenzity subjektivně upravena, aby se co nejvíce přibližovala skutečnému zvuku činelu. Na závěr je pro jemné doladění frekvenční charakteristiky výsledného zvuku signál v modulu MainVCF filtrován dolní a horní propustí. Parametry dolní propusti jsou nastaveny, aby tvořily teplejší a měkčí zvuk a eliminovaly nežádoucí syčení a šum. Parametry horní propusti pak vhodně čistí zvuk a zvýrazňují vyšší frekvence.



Obr. 4.34: Vizuál nastavení presetu Ride4

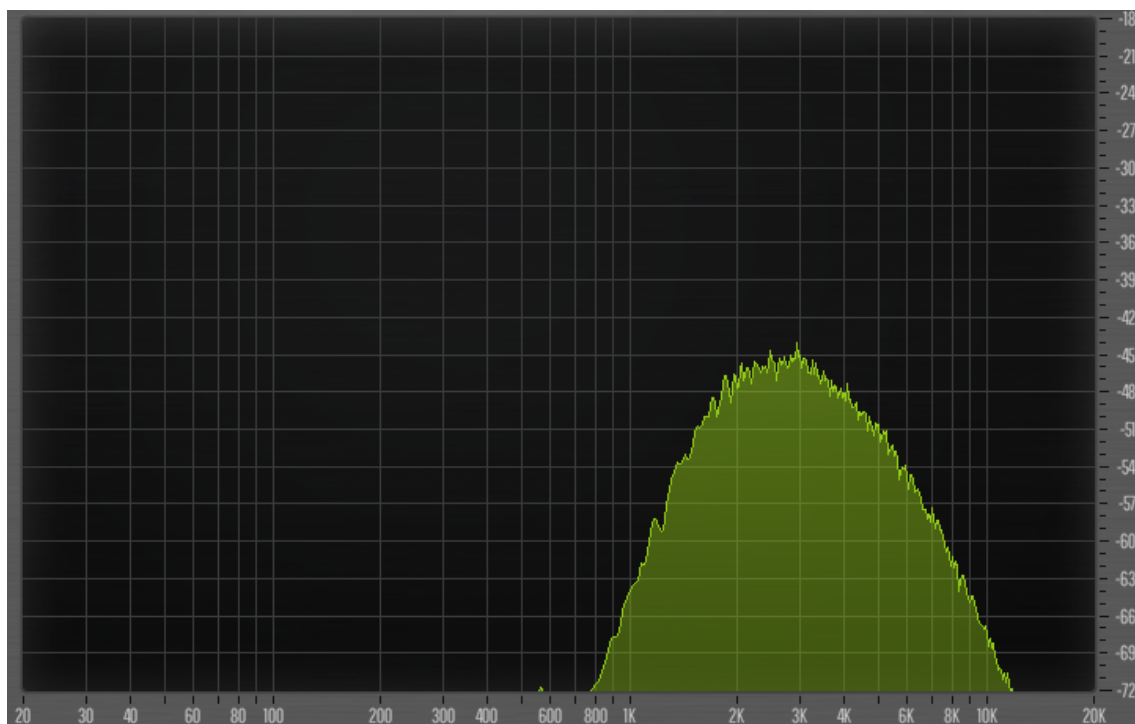
4.6.1 Porovnání spekter programu doplňující akustickou barvu činelů

V této podkapitole se zaměřím na srovnání frekvenčních spekter syntetizovaného zvuku činelu vytvořeného v programu NI Reaktor s frekvenčním spektrem nahraných vzorků činelů. Cílem této analýzy je posoudit, do jaké míry se syntetický zvuk přibližuje akustické barvě činelu a zda se podařilo pomocí programu vhodně doplnit akustickou charakteristiku nahraného vzorku.



Obr. 4.35: Spektrální zobrazení nahraného vzorku Anatolian Emotion Crash

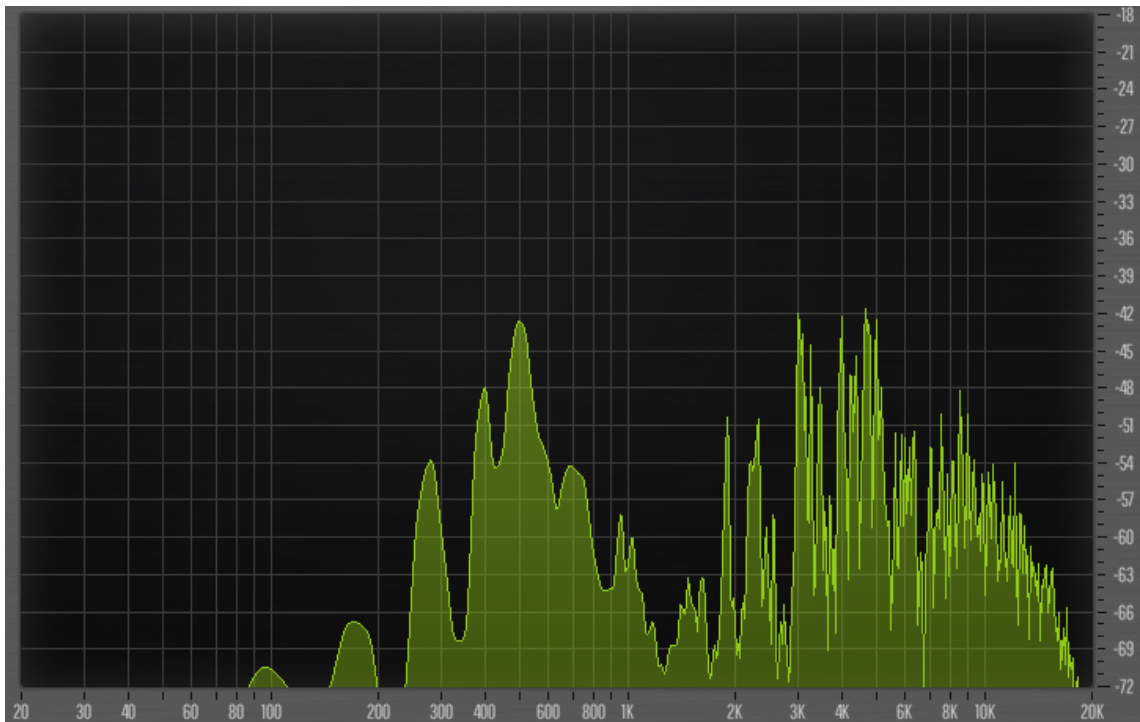
Frekvenční spektrum syntetizovaného zvuku činelu z programu NI Reaktor vykazuje v nízkých frekvencích do 500 Hz velmi nízký obsah energie, což naznačuje slabý základní tón, přičemž frekvenční složky jsou v této oblasti velmi omezené a vedou k celkově chudšímu zvuku. Ve středních frekvencích od 500 Hz do 4 kHz vidíme postupný nárůst energie, který vrcholí přibližně v rozmezí 2-3 kHz. Tato část spektra přispívá k ostrosti a průraznosti zvuku, nicméně ve srovnání s nahraným vzorkem zde stále chybí detaily a jemnosti. Ve vysokých frekvencích nad 4 kHz energetický obsah



Obr. 4.36: Spektrální zobrazení syntetického zvuku presetu Crash2

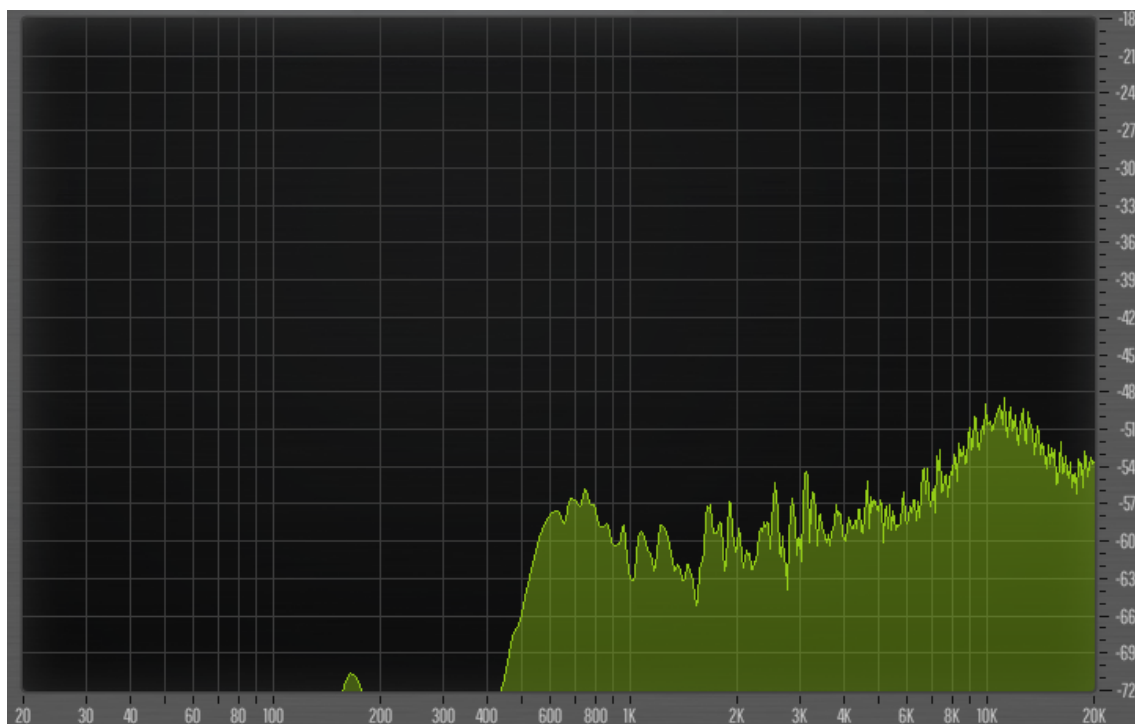
postupně klesá, přičemž nejvyšší frekvence nad 10 kHz jsou výrazně utlumeny, což znamená, že syntetizovaný zvuk postrádá některé vysokofrekvenční detaily, které nabývají jasnost a třpytivost činelu. 4.36 Frekvenční spektrum nahraného akustického činelu Anatolian Emotion Crash ukazuje v nízkých frekvencích do 500 Hz mírný nárůst energie, který přispívá k plnosti a hloubce základního tónu činelu. Ve středních frekvencích od 500 Hz do 4 kHz spektrum vykazuje výrazné vrcholy a dipy, což naznačuje bohatou harmonickou strukturu a komplexní zvuk. Energetický obsah je v této oblasti vyšší než u syntetizovaného zvuku, což činí zvuk ostřejším a průraznějším. Ve vysokých frekvencích nad 4 kHz je patrný nárůst energie, který dosahuje vrcholu kolem 6-8 kHz a poté postupně klesá, což přispívá k jasnosti činelu, přičemž tato část spektra je bohatší a obsahuje více detailů ve srovnání se syntetizovaným zvukem. 4.35 Při porovnání frekvenčních spekter syntetizovaného zvuku činelu v NI Reaktor a nahraného akustického činelu Anatolian Emotion Crash je zřejmé, že syntetizovaný zvuk se sice snaží napodobit akustickou barvu činelu, avšak v několika klíčových oblastech zaostává. Syntetizovaný zvuk má slabší základní tón v nízkých frekvencích, což způsobuje nedostatek plnosti a hloubky ve srovnání s akustickým činelu. Ve středních frekvencích je syntetizovaný zvuk méně komplexní a bohatý na harmonické složky, což vede k méně detailnímu a méně průraznému zvuku. Vysokofrekvenční obsah je u syntetizovaného zvuku omezenější, což způsobuje nedostatek

jasnosti a třpytivosti, které jsou charakteristické pro akustické činely.4.35 4.36 Celkově lze říci, že i když syntetizovaný zvuk činelu vytvořený v NI Reaktor do určité míry napodobuje akustickou barvu činelu, stále postrádá některé klíčové frekvenční složky a detaily, které jsou přítomné v nahraném vzorku akustického činelu. Pro dosažení věrnější imitace by bylo vhodné zaměřit se na zlepšení základního tónu a obohacení harmonického obsahu zejména v oblasti středních a vysokých frekvencí.



Obr. 4.37: Spektrální zobrazení nahraného vzorku Paiste 101 Brass 16" Crash

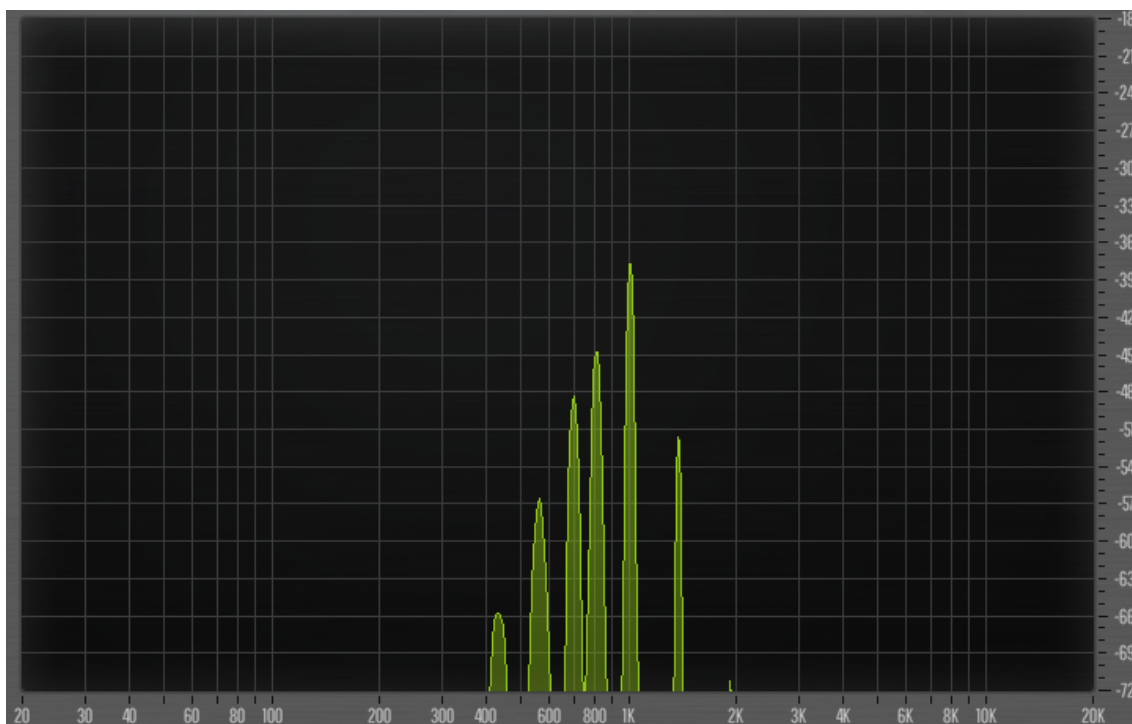
Frekvenční spektrum nahraného akustického činelu Paiste Crash vykazuje v nízkých frekvencích do 500 Hz mírný nárůst energie s výraznějšími vrcholy kolem 300-400 Hz, což přispívá k plnosti a hloubce základního tónu činelu, zatímco ve středních frekvencích od 500 Hz do 4 kHz se spektrum vyznačuje více výraznými vrcholy, přičemž největší energetické vrcholy jsou patrné kolem 1-2 kHz, což přidává činelu ostrost a komplexní harmonickou strukturu. Vysokofrekvenční obsah je velmi bohatý, s vrcholem energie kolem 6-8 kHz, a poté postupně klesá, což přispívá k jasnosti a třpytivosti činelu, charakteristické pro jeho akustickou barvu.4.37



Obr. 4.38: Spektrální zobrazení syntetického zvuku presetu Close Hi-hat

Na druhou stranu frekvenční spektrum syntetizovaného zvuku činelu z programu NI Reaktor ukazuje v nízkých frekvencích do 500 Hz velmi omezený obsah energie, což naznačuje slabší základní tón a méně plný zvuk, zatímco ve středních frekvencích od 500 Hz do 4 kHz je patrný postupný nárůst energie, avšak s méně výraznými vrcholy ve srovnání s nahráním vzorkem. Vrchol kolem 2 kHz přidává činelu určitou míru ostroty, avšak celkově je spektrum méně komplexní. Vysoké frekvence nad 4 kHz vykazují výrazně omezenější energetický obsah, s postupným nárůstem až kolem 10 kHz, což vede k menší jasnosti a třpytivosti zvuku činelu.4.38

Při porovnání frekvenčních spekter syntetizovaného zvuku činelu v NI Reaktor a nahráního akustického činelu PA je zřejmé, že syntetizovaný zvuk se sice snaží napodobit akustickou barvu činelu, avšak v několika klíčových oblastech zaostává. V nízkých frekvencích má syntetizovaný zvuk slabší základní tón, což způsobuje opět nedostatek plnosti a hloubky ve srovnání s akustickou nahrávkou činelu. Ve středních frekvencích je syntetizovaný zvuk méně komplexní a bohatý na harmonické složky, což vede k méně detailnímu a méně průraznému zvuku. Ve vysokých frekvencích je energetický obsah výrazně omezenější, což způsobuje nedostatek jasnosti a třpytivosti, které jsou charakteristické pro akustické činely. 4.38 4.37

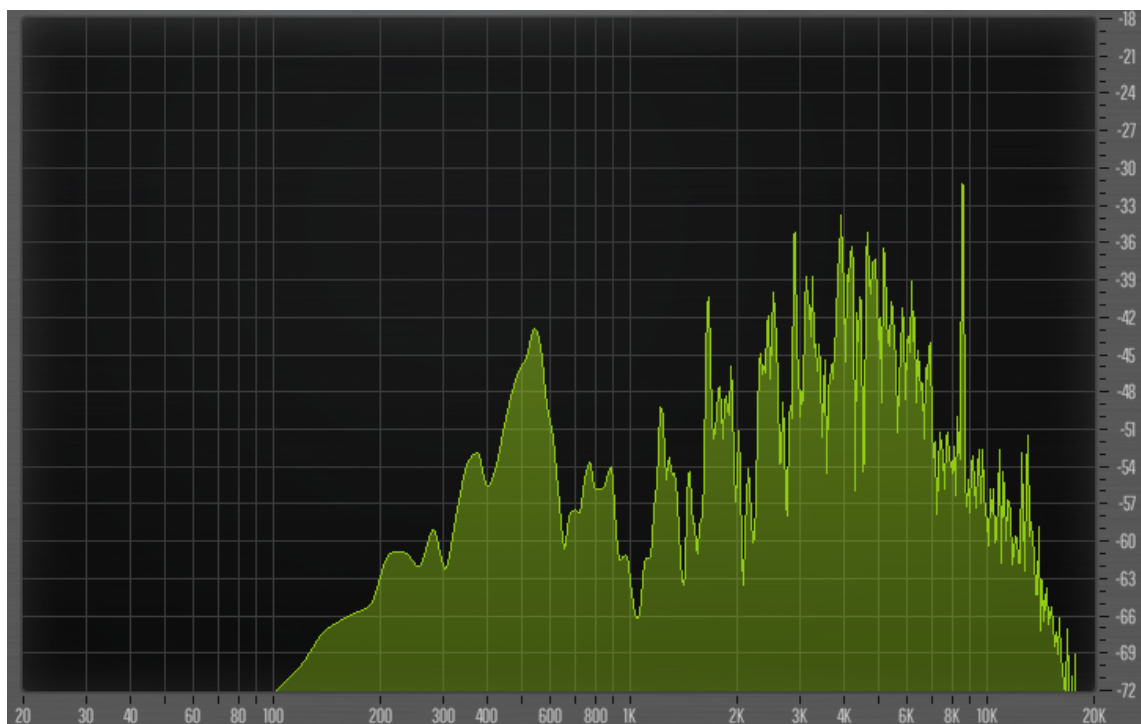


Obr. 4.39: Spektrální zobrazení nahraného vzorku presetu Ride2

Frekvenční spektrum syntetizovaného zvuku činelu z programu NI Reaktor vykazuje v nízkých frekvencích (do 500 Hz) velmi omezený obsah energie. Ve středních frekvencích (500 Hz - 4 kHz) je vidět postupný nárůst energie s několika výraznými vrcholy, přičemž vrchol kolem 800 Hz přidává činelu určitou ostrost, avšak celkové spektrum je méně komplexní než u nahraného vzorku. Vysoké frekvence (nad 4 kHz) jsou výrazně omezené, což vede k menší jasnosti a třpytivosti zvuku činelu.4.39

Při srovnání frekvenčních spekter syntetizovaného zvuku činelu v NI Reaktor a nahraného akustického činelu Anatolian Emotion Crash je zřejmé, že syntetizovaný zvuk má slabší základní tón v nízkých frekvencích. Ve středních frekvencích je méně komplexní, což způsobuje méně detailní a méně průrazný zvuk a ve vysokých frekvencích má výrazně omezenější energetický obsah.4.39 4.40

Na druhou stranu, syntetizovaný zvuk činelu vytvořený v NI Reaktor vykazuje některé kladné stránky, které je třeba vyzdvihnout. Především je zde vysoká míra kontroly nad jednotlivými parametry zvuku, což umožňuje přesné doladění frekvenčních složek podle konkrétních požadavků uživatele. Dále je syntetizovaný zvuk snadno reprodukovatelný a konzistentní, což může být výhodné při produkci hudby, kde je důležitá opakovatelnost zvuků. Navíc syntetizovaný zvuk nabízí možnost experimentovat s různými zvukovými texturami a efekty, které by bylo obtížné dosáhnout s akustickými činely.



Obr. 4.40: Spektrální zobrazení syntetického zvuku Anatolian Emotion Crash

Závěr

V této bakalářské práci jsme se zaměřili na konstrukci MIDI převodníku a inovaci barvy činelů o umělé složky. Práce byla rozdělena do několika kapitol, které postupně pokryly teoretické základy, technické specifikace, praktickou realizaci a analýzu výsledků.

První kapitola se věnovala pochopení MIDI (Musical Instrument Digital Interface), historii, principům a technickým specifikacím. Byla zde podrobně popsána struktura MIDI protokolu, typy MIDI zpráv a jejich využití v hudební produkci. Tato část poskytla nezbytný teoretický základ pro další praktické části práce.

Druhá kapitola zahrnovala podrobný popis různých druhů činelů. Byly zde rozebrány jejich fyzické vlastnosti, materiály, z nichž jsou vyráběny, a specifické zvukové charakteristiky. Tato část práce byla klíčová pro pochopení akustických vlastností činelů, které byly následně analyzovány a modifikovány.

Třetí kapitola se zabývala teoretickým úvodem do problematiky zvukového signálu. Byly zde představeny základní pojmy z oblasti akustiky a analýzy zvukových signálů, včetně problematiky šumů a jejich vlivu na výsledný zvuk. Tato kapitola poskytla nezbytné teoretické zázemí pro praktickou část práce.

Čtvrtá kapitola byla zaměřena na praktickou realizaci projektu. Zahrnovala návrh a konstrukci MIDI převodníku, volbu jednotlivých komponentů a popis vytvořeného prototypu. Dále byla popsána volba programu a struktura kódu pro převod audio signálu do MIDI. V této části byla také představena základní verze programu, který slouží ke generování složek doplňujících akustickou barvu činelů. Tento program byl následně implementován do prostředí NI Reaktor, což umožnilo praktické využití vytvořeného řešení.

Cíle práce byly splněny. Bylo zkonstruováno zařízení, které úspěšně převádí audio signály činelů do MIDI formátu se zachycením širokého dynamického rozsahu. Dále byl vytvořen program společně s dvaceti presety, který doplňuje akustickou barvu činelů o umělé složky, a byl implementován do praktického softwarového prostředí.

V rámci navazující diplomové práce by bylo možné rozšířit stávající řešení o další typy bicích nástrojů a jejich převod do MIDI. Další možností by bylo zdokonalení programu pro generování umělých složek zvuku, například implementací pokročilejších algoritmů pro syntézu a filtrování zvuků. Rovněž by bylo užitečné provést podrobnější analýzu různých typů šumů a jejich vlivu na výsledný zvukový signál. Tím by bylo možné dále vylepšit kvalitu a věrnost generovaných zvuků.

Literatura

- [1] Frank Hoffmann. Midi (musical instrument digital interface). In *Encyclopedia of Recorded Sound*, pages 1372–1374. Routledge, 2004.
- [2] Maike Watson. Musescore. *Journal of the Musical Arts in Africa*, 15(1-2):143–147, 2018.
- [3] Andrew Barnett. *Sibelius*. Yale University Press, 2007.
- [4] Guerin Robert. *Velka KNIHA MIDI: Standardy, hardware, software*. Computer Press, 2004.
- [5] David Harvey. Life after midi—the past, present, and future of music software. In *Audio Engineering Society Conference: UK 20th Conference: Convergence*. Audio Engineering Society, 2005.
- [6] Andy Hunt and Ross Kirk. Midigrd: past, present and future. In *NIME*, volume 3, pages 135–139. Citeseer, 2003.
- [7] Michael Gurevich and Stephan von Muehlen. The accordiatron: A midi controller for interactive music. *arXiv preprint arXiv:2010.01574*, 2020.
- [8] Sofia Arora, Angus Dassler, Thomas Earls, Milo Ferrara, Niko Kopparapu, and Sachin Mathew. An analysis of implementing a gan to generate midi music. In *2022 IEEE MIT Undergraduate Research Technology Conference (URTC)*, pages 1–5. IEEE, 2022.
- [9] Bogdan Cristian Florea. Midi-based controller of electrical drives. In *Proceedings of the 2014 6th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, pages 27–30. IEEE, 2014.
- [10] David Miles Huber. *The MIDI manual*. Sams, 1991.
- [11] Jiří Schimmel. Komunikační rozhraní midi. URL: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/02069/index.html>.
- [12] Joseph Rothstein. *MIDI: A comprehensive introduction*, volume 7. AR Editions, Inc., 1995.
- [13] Gareth Loy. Musicians make a standard: The midi phenomenon. *Computer Music Journal*, 9(4):8–26, 1985.
- [14] Derek Heard, Junjie Dong, Yutian Chen, and Miguel Temboury. Midi. 2003.

- [15] Obecné midi (general midi). URL: https://www.kiv.zcu.cz/~herout/html_sbo/midi/5.html.
- [16] Shlomo Dubnov. Analysis of musical structure in audio and midi signals using information rate. *innovation*, 2(2):1, 2006.
- [17] Craig Anderton. The midi protocol. In *Audio Engineering Society Conference: 5th International Conference: Music and Digital Technology*. Audio Engineering Society, 1987.
- [18] David Miles Huber. *The Midi manual: A practical guide to Midi within Modern Music production*. Routledge, 2020.
- [19] Roger B Dannenberg. The interpretation of midi velocity. In *ICMC*, 2006.
- [20] Kotaro Yamamoto and Munetoshi Iwakiri. A standard midi file steganography based on fluctuation of duration. In *2009 International conference on availability, reliability and security*, pages 774–779. IEEE, 2009.
- [21] Andryanto Handjaja. Riff (resource interchange file format) file manager. 1996.
- [22] Vivian Velásquez. Tuned idiophones in the music education of children: The history of orff instruments. *The Bulletin of Historical Research in Music Education*, 11(2):93–109, 1990.
- [23] Miroslav Kotek. *Bici Nastroje*. Panton, 1983.
- [24] Radek Doležal. Doznění-dozvuk-tlumení bicích nástroj. 2018.
- [25] Modern Drummer. What you need to know about...cymbal alloys, May 2020. URL: <https://www.moderndrummer.com/2011/10/what-you-need-to-know-about-cymbal-alloys/>.
- [26] Shu Sekiguchi and Toshiya Samejima. Physical modeling and sound synthesis of the hi-hat. *Acoustical Science and Technology*, 44(5):352–359, 2023.
- [27] Simon Rouard and Gaëtan Hadjeres. Crash: Raw audio score-based generative modeling for controllable high-resolution drum sound synthesis. *arXiv preprint arXiv:2106.07431*, 2021.
- [28] Le Van Quynh, Le Anh Vu, Bui Van Cuong, Hoang Anh Tan, and Le Xuan Long. A comparative analysis of ride performance of double-drum vibratory roller with two cab mount systems. In *Advances in Engineering Research and Application: Proceedings of the International Conference on Engineering Research and Applications, ICERA 2021*, pages 19–30. Springer, 2022.

- [29] F Kuratani, T Yoshida, T Koide, T Mizuta, and K Osamura. Understanding the effect of hammering process on the vibration characteristics of cymbals. In *Journal of physics: conference series*, volume 744, page 012110. IOP Publishing, 2016.
- [30] Lorenz Kilchenmann and Olivier Senn. Play in time, but don't play time: analyzing timing profiles of drum performances. In *Proceedings of the international symposium on performance science*, pages 593–598. European Association of Conservatoires, Utrecht, Netherlands,, 2011.
- [31] Lucie Monsportová. Analýza zvukového signálu pomocí programu matlab. 2015.
- [32] O Havelka, M Machalová, and Š Jelínek. Statistická analýza hudebních signál.
- [33] Syrový Vaclav. *Hudebni akustika*. Akademie muzických umeni, 2013.
- [34] PRÁCE DANIEL MATUŠTÍK. Parametrická analýza zvuk.
- [35] PRÁCE Bc MARTIN VYKYDAL. Zpracování signálu z digitálního mikrofону.
- [36] Petr Hartmann. Snímání bicí sady. 2014.
- [37] Jakub Jirovec. Možnosti a parametry mems mikrofón. 2015.
- [38] Raman Zabelau. Konstrukce vnitřního mikrofonního systému pro akordeon a možnosti jeho využití. 2020.
- [39] PRÁCE VIKTOR DOKTOR. Nízkošumová přepínatelná horní propust pro měřicí mikrofón.
- [40] Adam Bláha. Kontaktní mikrofony a jejich využití ve filmové praxi. 2016.
- [41] PRÁCE ADAM ŠKODA. Lampový mikrofón.
- [42] Ringsmuth David. Kondenzátorový mikrofón s dělenou pevnou elektrodou. B.S. thesis, České vysoké učení technické v Praze. Vypočetní a informační centrum., 2023.
- [43] Petr Zdráhal. Elektroakustické detektory v laboratorních cvičeních. 2013.
- [44] Lukáš Pelant, Pavel Dlask, and Zbyněk Bureš. Měření frekvenční charakteristiky a neprzvučnosti sluchátek.
- [45] prof. Zdeněk Smékal. Analýza signálů a soustav. URL: <https://www.vut.cz/studenti/predmety/detail/242532?apid=242532>.

- [46] Henry Helson. *Harmonic analysis*. London, 1983.
- [47] William T Cochran, James W Cooley, David L Favon, Howard D Helms, Reginald A Kaenel, William W Lang, George C Maling, David E Nelson, Charles M Rader, and Peter D Welch. What is the fast fourier transform? *Proceedings of the IEEE*, 55(10):1664–1674, 1967.
- [48] G. Rosenhouse. [pdf] colours of noise fractals and applications: Semantic scholar, Jan 1970. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Colours-Of-Noise-Fractals-And-Applications-Rosenhouse/7b5d5cbb6e9ce4b0fb5dd5b7d0e6942faf77a8c4>.
- [49] Tomáš Křivánek. Generátor barevných šumů, Jan 1970. URL: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/61676?locale-attribute=pl>.

Seznam symbolů a zkratek

MIDI	Musical Instrument Digital Interface
SMF	Standard MIDI File
GM	General MIDI
MSC	MIDI Show Control
MTC	MIDI Time Code
MTS	MMIDI Tune Standard
MFD	MIDI File Dump
MMC	MIDI Machine Control
SDS	Sample Dump Standard
FFT	Fast Fourier Transformation
NI	Native Instruments
ADSR	Musical Instrument Digital Interface
P	Pitch
F	Frequency
W	Width
MIDI	Voltage Controlled Amplifier
HP	High Pass
LP	Low Pass
BP	Band Pass
Res	Resonance
MIDI	Slitina s 20 cínu
DPS	Deska plošných spojů
DPS	Signal-to-Noise Ratio

Seznam příloh