

SIECIOWE SYSTEMY MULTIMEDIALNE

CYFROWE ORGANY

**Wykorzystanie symulatora wirtualnych
organów piszczałkowych w celu poprawy
brzmienia istniejącego instrumentu
cyfrowego**

Using a virtual pipe organ simulator to improve the sound of an existing
digital instrument

Michał Patyk

Kraków 2021

Spis treści

1 Wstęp	3
1.1 Motywacja	3
2 Przegląd dziedziny	4
2.1 MIDI	4
2.2 Organy piszczałkowe	5
2.3 Organy cyfrowe	5
2.4 Wirtualne organy piszczałkowe	5
2.4.1 Sampling	6
2.4.2 Oprogramowanie	6
3 Koncepcja	7
3.1 Stan istniejący	7
3.2 Cele	7
4 Realizacja	9
4.1 Wybór sprzętu i oprogramowania	9
4.2 Przygotowanie wirtualnych organów	9
4.2.1 Instalacja systemu operacyjnego Linux	9
4.2.2 Instalacja oprogramowania GrandOrgue	9
4.2.3 Wybór i pobranie próbek dźwięków	10
4.2.4 Podłączenie elementów zestawu	10
4.2.5 Konfiguracja oprogramowania	12
5 Ewaluacja	16
5.1 Wrażenia słuchowe	16
5.2 Strona techniczna	16

<i>SPIS TREŚCI</i>	2
6 Podsumowanie	17
6.1 Realizacja celów	17
6.2 Dalsze kierunki rozwoju	17
Bibliografia	19

Rozdział 1

Wstęp

Fascynacja organami i pracą organisty towarzyszyła autorowi od lat dzieciństwa. Niestety elektroniczny instrument znajdujący się w parafialnym kościele wypada dość blado na tle współczesnych rozwiązań. Skromne możliwości finansowe parafii wciąż nie pozwalają na zakup docelowego instrumentu jakim są organy piszczałkowe, których budowa to koszt rzędu kilkuset tysięcy złotych.

1.1 Motywacja

Motywacją do wykonania projektu jest chęć poprawy brzmienia oraz zwiększenia możliwości istniejącego instrumentu cyfrowego.

Rozdział 2

Przegląd dziedziny

W tym rozdziale opisano system MIDI 2.1, organy piszczałkowe 2.2, organy cyfrowe 2.3 oraz wirtualne organy piszczałkowe 2.4.

2.1 MIDI

Musical Instrument Digital Interface (cyfrowy interfejs instrumentów muzycznych) to system służący do przekazywania informacji pomiędzy elektronicznymi instrumentami muzycznymi. Składa się z protokołu komunikacyjnego i specyfikacji sprzętowej. Powstał na początku lat osiemdziesiątych. W przeciwieństwie do strumieni audio, MIDI przekazuje cyfrową reprezentację wykonania, a nie właściwy dźwięk.

Jak podaje [2], są trzy typy portów MIDI: IN, OUT i THRU. Serializowane dane przesyłane są w kablu w jednym kierunku. MIDI OUT to wyjście danych do innego urządzenia. MIDI IN to wejście danych z innego urządzenia. MIDI THRU przekazuje wszystkie wiadomości, które dotrą do urządzenia na port MIDI IN.

Wiadomości MIDI sa podzielone na dwie kategorie: wiadomości systemowe i wiadomości kanałów. Wiadomości systemowe to te, które sa związane z całym systemem MIDI. W każdej wiadomości kanałowej może być zakodowane do 16 kanałów, co pozwala na przesłanie jednym kablem wykonania składającego się z 16 różnych źródeł dźwięku.

2.2 Organy piszczałkowe

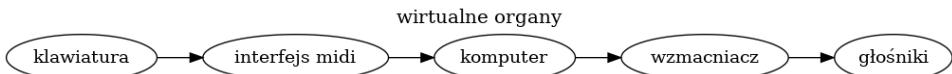
Organy piszczałkowe [1], to jeden z najstarszych, wciąż często wykorzystywanych, instrumentów. Jednocześnie jest to największy i najbardziej złożony instrument. Najprostsze organy składają się z pojedynczego zestawu piszczałek, klawiatury (zwanej manuałem) w której każdy klawisz uwalnia powietrze do odpowiedniej piszczałki oraz urządzenia wytwarzającego ciśnienie powietrza. Bardziej złożone organy mają wiele rejestrów (zestawów piszczałek), kilka manuałów oraz pedał (klawiaturę nożną). Piszczałki mogą być skonstruowane z metalu lub drewna. Ich długość zaczyna się od kilku centymetrów, a może dochodzić do nawet 32 stóp (prawie 10 metrów).

2.3 Organy cyfrowe

Organy cyfrowe posiadają rozmaitą paletę głosów. Odwzorowanie brzmienia organów piszczałkowych tworzone jest najczęściej poprzez syntezę addytywną. W takim rodzaju syntezy przebiegi fal dźwiękowych nie są zapisywane bezpośrednio. Zamiast tego przechowywane są listy liczb określające amplitudy każdej harmonicznej, które są następnie wykorzystywane do tworzenia dźwięków w czasie rzeczywistym, zgodnie z wymaganiami. Kontuar (stół gry) organów cyfrowych zwykle wyglądem bardzo przypomina ten z organów piszczałkowych.

Zgodnie z instrukcją Konferencji Episkopatu Polski organy elektroniczne wolno stosować tylko jako instrument tymczasowy, bez dodawania sztucznego prospektu (frontowej elewacji zewnętrznej).

2.4 Wirtualne organy piszczałkowe



Rys. 2.1: Schemat wykorzystania wirtualnych organów.
(źródło: opracowanie własne)

Komputer z odpowiednim oprogramowaniem może stać się symulatorem organów piszczałkowych. Dzięki wykorzystaniu próbek dokładnie odtwarza on brzmienie każdej piszczałki. Słyszalne są wszystkie szумy, stuki mechanizmu, do tego stopnia, że jest wręcz nie do odróżnienia, czy to grają wirtualne

organy, czy też historyczny instrument. Próbki dźwięków zarejestrowane za pomocą mikrofonów zostają przypisane konkretnym klawiszom i pedałom. Rysunek 2.1 przedstawia schemat wykorzystania typowych wirtualnych organów.

2.4.1 Sampling

Sampling to technika nagrywania dźwięków instrumentu muzycznego. Najprostsze rozwiązania to takie, w których nagrywa się tylko kilka dźwięków, podczas gdy pozostałe są tworzone przez transponowanie. Najlepsze zestawy próbek to te w których każdy dźwięk jest nagrywany osobno. Niestety takie rozwiązanie, poza pracochłonnością procesu nagrywania, niesie też ze sobą problemy natury technicznej. Dźwięki powinny być przechowywane w najlepszym możliwie formacie, przy jak najwyższej częstotliwości próbkowania oraz wielobitowej kwantyzacji. W rezultacie powstaje duża ilość danych (kilka - kilkanaście gigabajtów). Dla najlepszej wierności dźwięku stosuje się tak zwane próbkowanie multi-release, w którym dla każdej piszczałki nagrywa się próbki rozpoczęcia, podtrzymania oraz wiele próbek zanikania dźwięku. Taki zabieg wynika z faktu, że dźwięk zanikania ma inny charakter w zależności od długości nuty. Związane jest to z akustyką kościołów i hal koncertowych. Poza dźwiękami piszczałek, dla dodania realizmu, dołącza się też dźwięki mechanizmów, a nawet dmuchaw.

2.4.2 Oprogramowanie

Na rynku wirtualnych organów piszczałkowych liczą się tylko dwa programy: Hauptwerk oraz GrandOrgue.

Hauptwerk Hauptwerk to komercyjny program komputerowy stworzony w 2002 roku przez Martina Dyde'a [3], wydawany przez Milan Digital Audio. Występuje w wielu wersjach. Jest dostępny jako comiesięczna subskrypcja lub licencja. Ceny wahają się od 12.99\$ miesięcznie do 599\$ za wieczystą licencję [6]. Program umożliwia tworzenie muzyki organowej przy wykorzystaniu MIDI i próbek dźwiękowych.

GrandOrgue GrandOrgue to darmowe oprogramowanie o otwartym kodzie źródłowym [5]. Jest rozwijany przez społeczność od 2009 roku w serwisie Sourceforge. Oferuje teraz funkcje i realizm zbliżony do Hauptwerk. Aktualizacje są bezpłatne. Użycie zwykłych zestawów próbek wave i udokumentowanego formatu ODF zapewni kompatybilność w przyszłości.

Rozdział 3

Koncepcja

W tym rozdziale opisany został stan istniejący 3.1 oraz cele realizacji projektu 3.2.

3.1 Stan istniejący

Cyfrowe organy Classic 4500 firmy Viscount (rys. 3.1). Wyprodukowane na początku lat 90 ubiegłego stulecia. Posiadają dwa manuały po 56 klawisz i 27 klawiszowy pedał. Generacja dźwięku przebiega na zasadzie syntezы addytywnej. Organy posiadają wyjście i wejście midi w postaci dwóch 5 pinowych złączy DIN. Wyjście dźwiękowe organów jest podłączone do miksera.

Mikser XRD 680S firmy Peavey z wbudowanymi efektami i wzmacniaczem o mocy 150W na kanał. Posiada frontowy panel z wejściami i monitorem poziomu sygnału, a także kontrole wysokich, średnich i niskich tonów.

3.2 Cele

Głównym celem projektu jest poprawa brzmienia instrumentu poprzez zastąpienie dźwięku syntezowanego addytywnie, w istniejącym instrumencie, systemem komputerowym z wirtualnymi organami. Dodatkowym celem jest poszerzenie gamy dostępnych barw głosowych organów.

Szczególnym ograniczeniem projektu jest minimalizacja kosztów wykonania. Wskazane jest skupienie na wykorzystaniu istniejącego sprzętu.



Rys. 3.1: Organy Viscount Classic 4500. (źródło: opracowanie własne)

Rozdział 4

Realizacja

W tym rozdziale opisany został wybór sprzętu i oprogramowania 4.1 oraz proces przygotowywania wirtualnych organów 4.2.

4.1 Wybór sprzętu i oprogramowania

W celu minimalizacji kosztów zdecydowano się wykorzystać dostępny komputer. Przy wyborze oprogramowania ponownie kierowano się kosztem - wybór padł na darmowe oprogramowanie GrandOrgue.

4.2 Przygotowanie wirtualnych organów

4.2.1 Instalacja systemu operacyjnego Linux

Jako system operacyjny wykorzystano darmowy Linux Mint [7]. Proces instalacji jest łatwy i przyjazny dla użytkownika.

4.2.2 Instalacja oprogramowania GrandOrgue

Aby zainstalować GrandOrgue, w systemie operacyjnym Linux Mint, należy dodać repozytorium ze strony [4], a następnie użyć polecień systemowych do instalacji.

```
sudo apt update  
sudo apt install grandorgue
```

4.2.3 Wybór i pobranie próbek dźwięków

Oprogramowanie GrandOrgue jest domyślnie wyposażone w podstawowy zestaw dźwięków. Zdecydowano się na zmianę próbek na takie o wyższej jakości. Należy je dołączyć do systemu ręcznie. W internecie dostępnych jest bardzo wiele amatorsko oraz profesjonalnie opracowanych próbek. Zdecydowano się wykorzystać darmowe sample udostępniane przez stronę Piotra Grabowskiego [9]. Przygotowane przez autora zestawy są wysokiej jakości. Mają dobrze zaprojektowane i atrakcyjne interfejsy użytkownika. W niczym nie ustępują zestawom komercyjnym.

Spośród dostępnych instrumentów wybrano dwa posiadające dwa manuły oraz pedał (dla zgodności z istniejącymi organami elektronicznymi):

1. mniejszy - Azzio - 11 rejestrów,
 - (a) 24 bit - 4.6 GB
 - (b) 16 bit - 2.3 GB
2. większy - Długa Kościelna - 22 rejestyry.
 - (a) 24 bit - 11.1GB
 - (b) 16 bit - 2.7 GB

Powyżej, przy rozdzielczościach bitowych próbek, podano zapotrzebowanie na wolną pamięć RAM w systemie. Wszystkie dźwięki są przygotowane z częstotliwością próbkowania 48 kHz.

4.2.4 Podłączenie elementów zestawu

Przygotowany system komputerowy został podłączony do istniejących organów przy pomocy konwertera MIDI-USB.

Ważna jest odpowiednia jakość urządzenia. Wykorzystany w pierwszej wersji podłączenia prosty konwerter, pokazanego na rysunku 4.1, nie pozwalał na poprawne rozpoznanie kanałów MIDI, a tym samym rozdzielenie dźwięków z manualów. Nieprawidłowe działanie skutkowało "zawieszaniem" się klawiszy na skutek braku informacji o ich puszczeniu.

Należy zwrócić uwagę na odpowiednią konfigurację - MIDI OUT urządzenia łączymy z MIDI IN wtyczki. Konwerter nie wymaga instalacji dodatkowych sterowników. Jest rozpoznawany przez system zaraz po podłączeniu.

Niestety, wykorzystany w drugiej wersji konwerter MIDI-USB również nie zapewnił w pełni poprawnego rozpoznania wszystkich manualów instrumentu. W efekcie, bez zakłóceń, można korzystać tylko z jednego z nich.

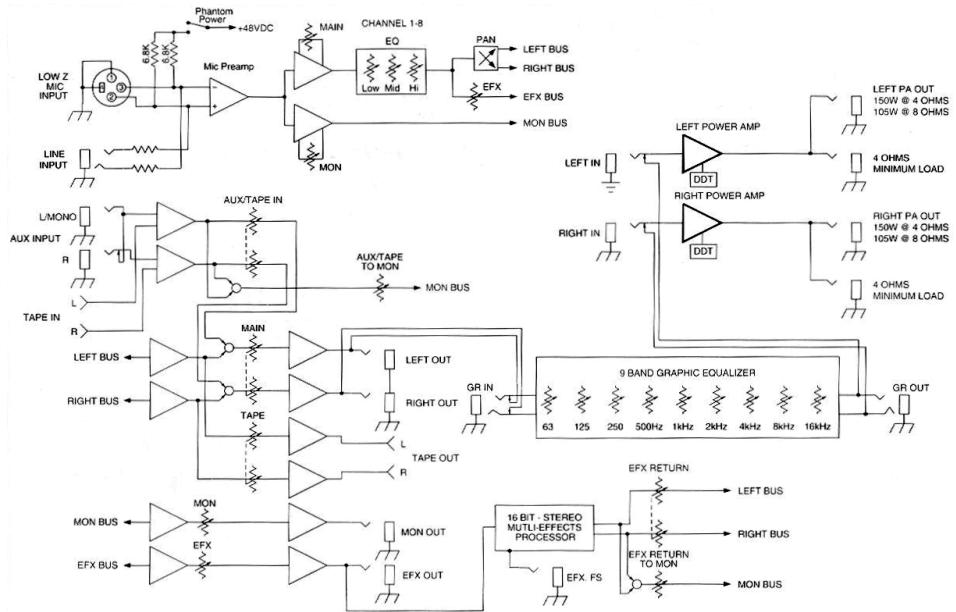
Proponowanym rozwiązańiem jest zakup znacznie droższego konwertera firmy Roland, który powinien poradzić sobie z komunikacją ze starszymi urządzeniami takimi jak posiadane organy Viscount. Innym możliwym rozwiązaniem jest też wykorzystanie zewnętrznej karty dźwiękowej z wejściem MIDI. Ze względu na ograniczenia finansowe rozwiązania te nie zostały uwzględnione w obecnym projekcie.



Rys. 4.1: Prosty konwerter MIDI-USB. (źródło: opracowanie własne)

Dźwięk generowany przez wirtualne organy jest przesyłany do wzmacniacza. Tutaj kolejny raz konfiguracja ma duże znaczenie. Pierwotnie do podłączenia wykorzystano przewód jack-duży jack podając sygnał na wejście line-in miksera. Zgodnie ze schematem 4.2 z instrukcji miksera, dostępnej na stronie producenta [8], takie podłączenie zapewnia tylko dźwięk mono. Właściwe podłączenie to podanie sygnału na wejście tape/aux-in przy pomocy przewodu jack-cinch.

Wzmacniacz zasila cztery kolumny pasywne rozmieszczone symetrycznie po dwóch stronach kościoła.



Rys. 4.2: Schemat blokowy miksera XRD-680S firmy Peavey.
(źródło: instrukcja miksera XRD-680S)

4.2.5 Konfiguracja oprogramowania

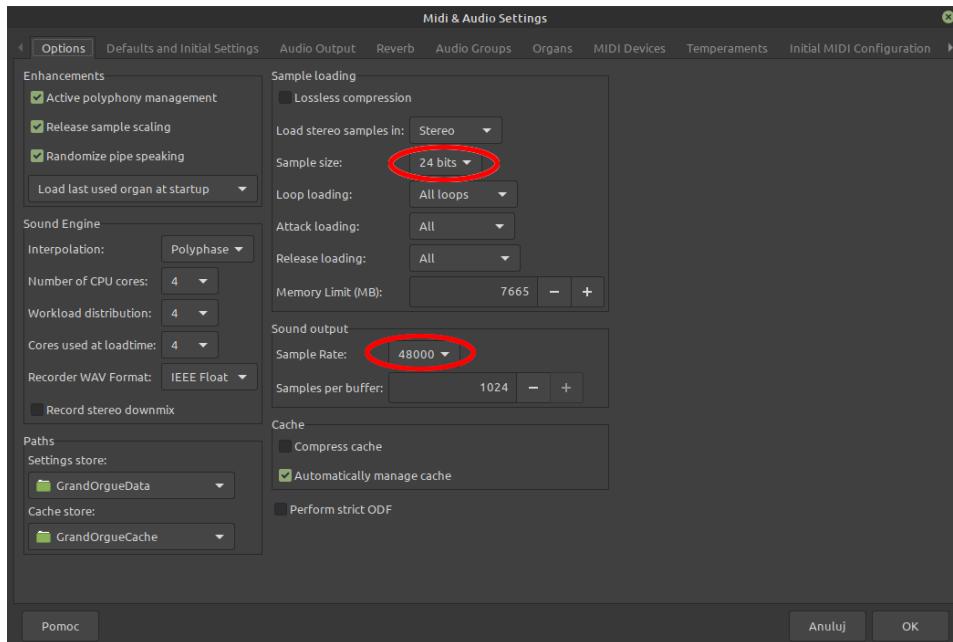
Dźwięk Błędna konfiguracja programu GrandOrgue może prowadzić do silnych zniekształceń generowanego dźwięku, a w konsekwencji nawet do uszkodzenia głośników i wzmacniacza. Z jednej strony przyczyną zniekształceń jest wybranie zbyt niskiej jakości. Z drugiej strony wybranie zbyt wysokiej jakości dźwięku może spowodować niemieszczenie się próbek w pamięci RAM. W takim przypadku dane mogą nie zostać dostarczone do bufora dźwięku na czas, co będzie przyczyną głośnych trzasków.

Rysunek 4.3 przedstawia ustawienia dźwięku programu GrandOrgue.

Należy upewnić się, że rozdzielcość bitowa jest ustawiona zgodnie z rozdzielcością załadowanego zestawu. Ustawienie innej wartości może powodować resampling w warstwach stosu audio, na czym ucierpi jakość. Mniejsza wartość jest dopuszczalna ale znaczco wpłynie na jakość dźwięku który stanie się wyraźnie “płaski”.

Ustawiony limit pamięci powinien być zgodny z ilością pamięci RAM dostępnej w systemie.

Częstotliwość próbkowania dźwięku jest kolejną kluczową wartością dla jakości generowanego sygnału. Podobnie jak dla rozdzielcości bitowej, także



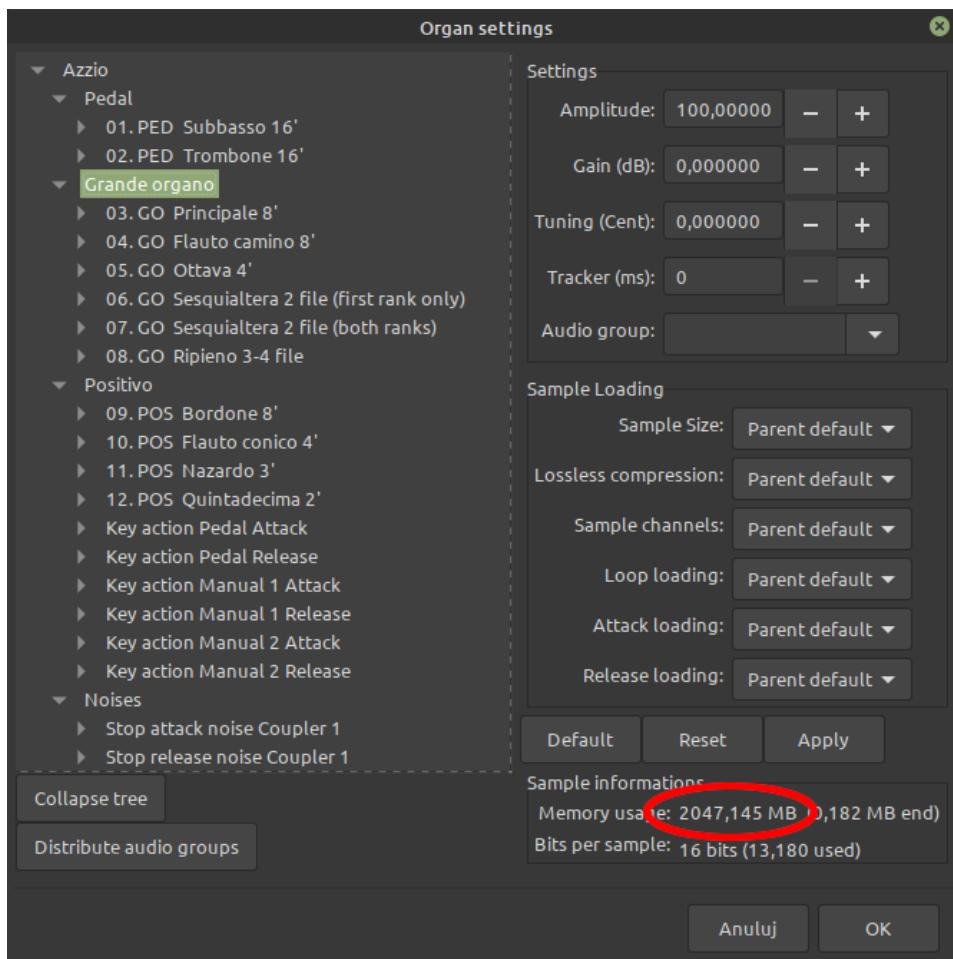
Rys. 4.3: Panel ustawień dźwięku programu GrandOrgue.
(źródło: opracowanie własne)

w tym przypadku ustawienie innej wartości niż ta z zestawu może skutkować resamplingiem i pogorszeniem jakości.

Należ też zwrócić uwagę na poziom głośności w programie, tak aby uniknąć przycinania.

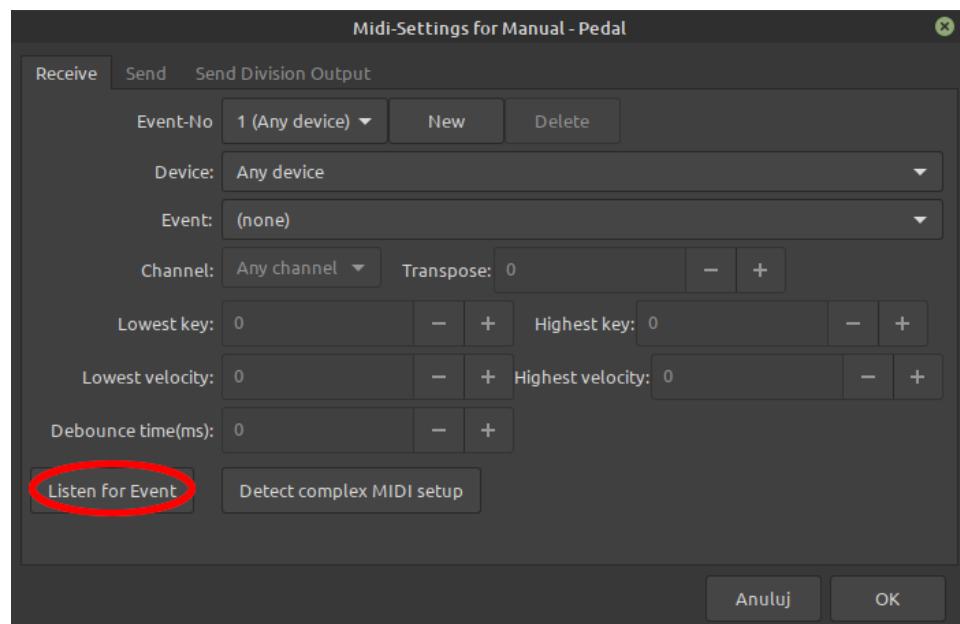
Ważną grupą ustawień są parametry samych organów, które można zobaczyć na rysunku 4.4. W panelu tym można dostosować głośność poszczególnych rejestrów, a także zobaczyć jaką ilość pamięci RAM te rejesty zajmują. Możliwa jest też zmiana jakości lub wyłączenie ładowania poszczególnych sampli dla zaoszczędzenia pamięci operacyjnej.

MIDI W celu skorzystania z wirtualnych organów przy pomocy klawiatur z organów elektronicznych, należy wskazać programowi GrandOrgue które wiadomości MIDI odpowiadają któremu manualowi. Aby to zrobić wystarczy kliknąć prawym przyciskiem myszy na wybrany manuał w programie. W oknie które się pojawi należy wybrać "Listen for event", a następnie nacisnąć klawisz na odpowiednim manuale.



Rys. 4.4: Panel ustawień organów programu GrandOrgue.
(źródło: opracowanie własne)

Equalizer W celu uwydatnienia wybranych częstotliwości możemy dodatkowo wykorzystać programowy korektor dźwięku. Należy jednak pamiętać, że dodatkowe programowe przetwarzanie w torze dźwiękowym wiąże się z niepożądanym opóźnieniem (nawet kilkuset milisekund).



Rys. 4.5: Panel konfiguracji MIDI dla manuału w programie GrandOrgue.
(źródło: opracowanie własne)

Rozdział 5

Ewaluacja

W tym rozdziale przeprowadzono ewaluacje podzieloną na dwie części: ocenę wrażeń słuchowych 5.1 oraz ocenę realizacji technicznej projektu 5.2.

5.1 Wrażenia słuchowe

Subiektywne oceny realizatora projektu oraz lokalnego organisty potwierdzają zasadność pracy włożonej w przygotowanie nowego systemu. Dźwięk organów stał się pełniejszy. Basy są wyraźniejsze, a soprany nie brzmią sztucznie.

5.2 Strona techniczna

Niestety 8GB pamięci RAM to ilość zbyt mała do korzystania z dużych zestawów próbek z pełną jakością. Na razie podstawowym zestawem głosów pozostanie mniejszy - Azzio zawierający 11 rejestrów.

Generacji dźwięku nie towarzyszą żadne zniekształcenia ani trzaski.

Zgodnie z założeniami udało się zagospodarować istniejące organy cyfrowe, jednak ograniczenia finansowe nie pozwoliły na ich pełne wykorzystanie.

Rozdział 6

Podsumowanie

W tym rozdziale podsumowano realizację celów projektu 6.1 oraz przedstawiono dalsze możliwe kierunki rozwoju 6.2.

6.1 Realizacja celów

Postawione w projekcie zadania, przy uwzględnieniu zadanych ograniczeń, udało się tylko częściowo zrealizować. Cel główny, którym była poprawa brzmienia instrumentu, został zrealizowany. Niestety ograniczenia finansowe nie pozwoliły na poprawne podłączenie wszystkich manuałów, a co za tym idzie na właściwe wykorzystanie możliwości wirtualnych organów. Cel dodatkowy - poszerzenie gamy dostępnych barw głosowych organów - nie mógł być zrealizowany ze względu na ograniczenia finansowe.

6.2 Dalsze kierunki rozwoju

Proponowane dalsze kierunki rozwoju systemu to:

1. Wykorzystanie zewnętrznej karty dźwiękowej.

Zewnętrzne karty dźwiękowe mają zwykle dokładniejsze przetworniki cyfrowo analogowe i zapewniają lepsze brzmienie niż karty zintegrowane.

2. Użycie systemu operacyjnego skierowanego na multimedia - **Ubuntu Studio** - wraz z platformą dźwiękową o niskim opóźnieniu - Jack.

System operacyjny nakierowany na multimedia może zapewnić redukcję opóźnienia w torze dźwiękowym.

3. Wypożyczenia komputera w dysk SSD i większą ilość pamięci RAM.

Większa ilość pamięci RAM pozwoli na korzystanie z większych zestawów próbek przy pełnej jakości. Dysk SSD pozwoli na zmniejszenie czasu oczekiwania na załadowanie próbek do pamięci RAM przy uruchamianiu systemu.

4. Dodanie do organów przycisków odpowiedzialnych za preselekcję rejestrów.

Takie przyciski pozwalają na szybką zmianę rejestrów (barw głosów) podczas wykonywania utworu, a co za tym idzie bogatsze wykorzystywanie głosów instrumentu.

5. Budowa organów hybrydowych - fizyczny głos subbas 16' - w oparciu o urządzenia MIDI.

Systemom nagłośnienia bardzo trudno jest oddać właściwy charakter najniższych dźwięków w organach. Aby rozwiązać ten problem buduje się organy hybrydowe w których większość głosów jest generowana cyfrowo, a głosy najwyższe są w realizowane w postaci prawdziwych piszczałek.

Bibliografia

- [1] J. Boeve, "Pipe Organ.," *Making Music with Brass & Wind Instruments*, p. 51, 2017.
- [2] B. Edstrom, *Arduino for musicians : a complete guide to Arduino and teensy microcontrollers*. Oxford University Press, 2016, p. 420.
- [3] F. ERCSEY-RAVASZ, "Hauptwerk - un program pentru organiști.," *ICT in Muzical Field / Tehnologii Informatici si de Comunicatie in Domeniul Muzical*, vol. 9, no. 1, pp. 45–51, 2018.
- [4] *GrandOrgue repository*, 2021. [Online]. Available: <https://software.opensuse.org/download/package?project=home:e9925248:grandorgue%7B%5C&%7Dpackage=grandorgue> (visited on 02/05/2021).
- [5] *GrandOrgue SourceForge*, 2021. [Online]. Available: <https://sourceforge.net/projects/ourorgan/> (visited on 01/29/2021).
- [6] *Hauptwerk – Virtual Pipe Organ*, 2021. [Online]. Available: <https://hauptwerk.com> (visited on 01/29/2021).
- [7] *Linux Mint*, 2021. [Online]. Available: <https://linuxmint.com/> (visited on 02/05/2021).
- [8] *Peavey manuals*, 2021. [Online]. Available: <https://peavey.com/manuals/80302043.pdf>.
- [9] *Piotr Grabowski Virtual Pipe Organ Sample Set*, 2021. [Online]. Available: <https://piotrgrabowski.pl> (visited on 02/03/2021).