Simulacija dirigenta pomoću mikroprocesora i senzora

Kušec, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:168:077659

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-23**

Repository / Repozitorij:

FER Repository - University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing repozitory

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 636

SIMULACIJA DIRIGENTA POMOĆU MIKROPROCESORA I SENZORA

Luka Kušec

Zagreb, lipanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 636

SIMULACIJA DIRIGENTA POMOĆU MIKROPROCESORA I SENZORA

Luka Kušec

Zagreb, lipanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

Zagreb, 4. ožujka 2024.

DIPLOMSKI ZADATAK br. 636

Pristupnik:	**Luka Kušec (0036523464)**
Studij:	Računarstvo
Profil:	Programsko inženjerstvo i informacijski sustavi
Mentor:	prof. dr. sc. Ivica Botički

Zadatak: **Simulacija dirigenta pomoću mikroprocesora i senzora**

Opis zadatka:

Cilj diplomskog rada je simulacija dirigenta koristeći mijenjanje, ispravljanje i prilagođavanje zvučnih signala pokretima ruku. Korisnik ovog projekta treba imati mogućnost odabira jednog zvučnog kanala pritiskom na fizički gumb koji je pridružen jednom zvučnom kanalu te zatim pokretima ruku u tri dimenzije utjecati na zvuk tog zvučnog kanala. Sustav treba korisniku omogućiti dodavanje zvučnih efekata te da brzim zamasima proizvodi dodatne zvukove poput udarca bubnja koji će se reproducirati na zasebnim zvučnim kanalima. Sustav se treba sastojati od mikroprocesora na koji su spojeni fizički gumbi, žiroskopa te akcelerometra, a programski kod za mikroprocesor treba realizirati pomoću Arduino sustava u programskom jeziku C++. Podaci sa senzora se šalju putem bežične mreže u aplikaciju u kojoj se zatim obrađuju i utječu na zvuk koji se reproducira.

Rok za predaju rada: 28. lipnja 2024.

Sadržaj

Uvod 3

1. Postojeće tehnologije i rješenja 4

1.1. Digitalna glazbena tehnologija 4

1.2. MIDI protokol i njegove primjene 5

1.3. Interaktivni glazbeni sustavi 5

1.4. Primjena senzorskih tehnologija u glazbi 7

2. Arhitektura sustava "Digitalni dirigent" 8

2.1. Arhitektura sustava 8

2.2. Hardverske komponente 12

2.2.1. Wemos D1 mini mikrokontroler 12

2.2.2. Žiroskop i akcelerometar MPU6050 13

2.3. Softverske komponente 14

2.3.1. Kod za mikrokontroler (C++/Arduino IDE) 14

2.3.2. WPF aplikacija (C#) 15

2.4. Komunikacija 15

2.4.1. Wi-Fi 15

2.4.2. Uspostava veze između mikrokontrolera i programa za obradu zvuka 15

2.4.3. Komunikacija između mikrokontrolera i programa za obradu zvuka 16

2.5. MIDI 16

2.5.1. MIDI Event 16

2.5.2. MIDI Control Change 17

3. Implementacija sustava 19

3.1. Hardverska implementacija 19

3.1.1. Povezivanje komponenti 19

3.1.2. Načini napajanja 20

3.2. Softverska implementacija ... 22
3.2.1. Interpretacija naredbi ... 22
3.2.2. Algoritmi za obradu senzorskih podataka ... 26
3.2.3. Komunikacija između mikrokontrolera i računala (WiFi) ... 29
3.2.4. Obrada MIDI datoteka ... 31
3.2.5. Integracija s WPF aplikacijom ... 32
3.3. Korisničko sučelje ... 34
3.3.1. Dizajn sučelja ... 34
3.3.2. Funkcionalnosti sučelja ... 35
4. Oblik zvuka ... 37
4.1. Uvod u oblikovanje zvuka ... 37
4.2. Sintesajzer i oblikovanje zvuka ... 37
4.2.1. Surge XT ... 37
4.2.2. Kako sintesajzer određuje zvuk MIDI naredbi ... 37
4.2.3. Primjena Surge XT u projektu "Digitalni dirigent" ... 38
Zaključak ... 40
Literatura ... 41
Sažetak ... 42
Summary ... 43

Uvod

Razvoj tehnologije značajno je promijenio način na koji percipiramo i stvaramo glazbu. Digitalizacija zvuka otvorila je nove mogućnosti za umjetnike i glazbenike, omogućujući im da koriste različite alate i tehnike za stvaranje složenih zvučnih pejzaža. Jedan od inovativnih pristupa u ovom području je koncept "digitalnog dirigenta", koji kombinira naprednu senzorsku tehnologiju s interaktivnim glazbenim sustavima.

Ovaj diplomski rad istražuje i predstavlja razvoj sustava pod nazivom "Digitalni dirigent", koji korisnicima omogućuje upravljanje i prilagodbu zvučnih signala putem gesti ruku. Sustav se temelji na mikrokontroleru Wemos D1 mini, koji je povezan s žiroskopom i akcelerometrom MPU6050. Kombinacija ovih komponenti omogućava precizno praćenje pokreta ruku u dvije dimenzije (roll, pitch) te zamaha ruku, što se koristi za interaktivno upravljanje zvukom.

Glavna ideja ovog projekta jest omogućiti korisnicima da preuzmu ulogu dirigenta, prilagođavajući glazbene performanse u stvarnom vremenu. Korisnici mogu birati između dva različita načina rada putem fizičkog gumba te koristiti pokrete ruku za izmjenu i prilagodbu zvučnih signala. Osim toga, korisnici mogu dodavati i prilagođavati različite efekte na zvuk, čime se dodatno povećava kreativna sloboda i interaktivnost.

Ovaj rad će detaljno opisati tehničke aspekte sustava "Digitalni dirigent" koji koristi Wemos D1 mini mikrokontroler povezan s MPU6050 senzorom za detekciju pokreta ruke. Mikrokontroler obrađuje podatke u C++ (Arduino IDE) i šalje ih putem WiFi mreže na WPF aplikaciju razvijenu u C#. Aplikacija dekodira podatke i generira MIDI poruke za kontrolu glazbenih parametara u stvarnom vremenu, integrirajući virtualni sintesajzer Surge XT za zvuk. Dva fizička gumba omogućuju promjenu načina rada i odabir MIDI kanala. Također će se osvrnuti na hardversku i softversku arhitekturu, algoritme za obradu signala te metode za bežičnu komunikaciju. Cilj je demonstrirati kako tehnologija može transformirati način na koji interagiramo s glazbom, otvarajući nove putove za kreativnost i inovaciju u glazbenoj umjetnosti.

1. Postojeće tehnologije i rješenja

1.1. Digitalna glazbena tehnologija

Digitalna glazbena tehnologija obuhvaća širok spektar alata i tehnika koje omogućuju stvaranje, obradu i reprodukciju glazbe uz pomoć digitalnih sustava. Uvođenje digitalne tehnologije revolucioniralo je glazbenu industriju, omogućujući precizniju obradu zvuka, jednostavnije manipulacije i distribuciju glazbenih djela te integraciju s različitim multimedijskim platformama.

Glavna područja digitalne glazbene tehnologije uključuju:

- Digitalno snimanje i produkciju: Korištenje digitalnih audio radnih stanica (DAW) kao što su Pro Tools, Ableton Live (Slika 1.1) i Logic Pro za snimanje, uređivanje i miksanje glazbe.
- Virtualni instrumenti i efekti: Softverski instrumenti i efekti omogućuju glazbenicima stvaranje zvukova koji bi inače zahtijevali skupu opremu ili su fizički nemogući za izvesti.
- Digitalna distribucija: Platforme poput Spotifya, Apple Musica i Bandcampa omogućuju distribuciju glazbe širokoj publici putem interneta.

Slika 1.1 Ableton Live 11 – primjer DAW-a [1]

1.2. MIDI protokol i njegove primjene

MIDI (Musical Instrument Digital Interface) je protokol koji omogućuje komunikaciju između elektronskih glazbenih instrumenata, računala i drugih povezanih uređaja. Razvijen 1983. godine, ovaj protokol omogućava prijenos podataka kao što su note, tempo i kontrolni parametri, čime se omogućuje sinkronizacija i kontrola više instrumenata iz jednog središnjeg uređaja. MIDI je revolucionarizirao način na koji glazbenici i producenti rade, omogućavajući im da stvaraju, manipuliraju i izvode glazbu na načine koji prije nisu bili mogući [1].

Primjene MIDI protokola su brojne i raznolike. U području skladanja i aranžiranja, MIDI omogućava skladateljima da programiraju glazbene sekvence koje se mogu reproducirati na različitim instrumentima. Ova fleksibilnost omogućuje stvaranje kompleksnih glazbenih aranžmana bez potrebe za fizičkim sviranjem svakog pojedinog instrumenta. U kontekstu live performance-a, MIDI kontroleri daju glazbenicima mogućnost manipulacije zvuka u stvarnom vremenu tijekom izvedbi, omogućujući im da mijenjaju parametre zvuka, dodaju efekte i sinkroniziraju različite elemente izvedbe na sceni.

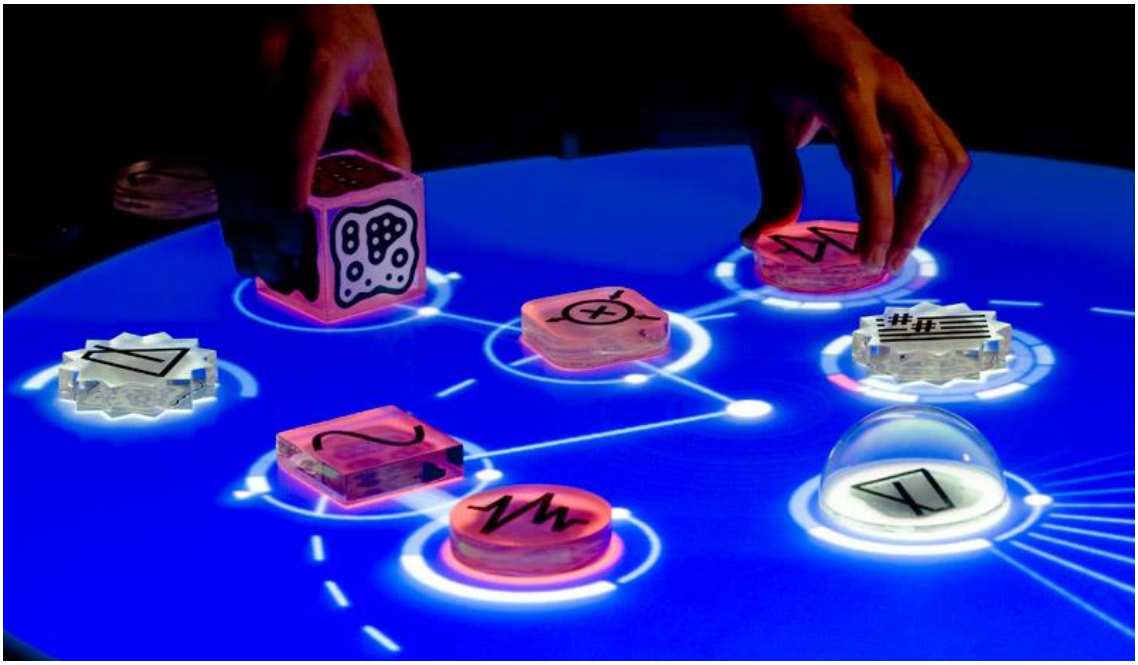
U snimanju i produkciji, MIDI igra ključnu ulogu u digitalnim audio radnim stanicama (DAW-ovima). Koristeći MIDI, producenti mogu snimati i uređivati glazbene dijelove s visokim stupnjem preciznosti. Note i kontrolni parametri snimljeni putem MIDI-a mogu se jednostavno mijenjati i prilagođavati, što omogućuje detaljno uređivanje glazbe bez potrebe za ponovnim snimanjem izvedbi. Ovaj aspekt MIDI protokola čini ga neophodnim alatom u modernoj glazbenoj produkciji, omogućavajući kreativcima da eksperimentiraju s različitim idejama i zvukovima na vrlo intuitivan i učinkovit način.

1.3. Interaktivni glazbeni sustavi

Interaktivni glazbeni sustavi omogućuju korisnicima da aktivno sudjeluju u stvaranju i prilagođavanju glazbe putem različitih ulaznih metoda, uključujući gestikulacije, dodir i glas. Ovi sustavi koriste senzore, kamere i druge tehnologije za prepoznavanje korisničkih akcija i njihovo prevođenje u glazbene signale.

Primjeri interaktivnih glazbenih sustava su:

- Ableton Live: Popularan softver za live performanse koji omogućuje glazbenicima da manipuliraju zvukom u stvarnom vremenu.
- Reactable: Interaktivni stol koji koristi dodirne senzore za stvaranje i manipulaciju zvučnim uzorcima (Slika 1.2).
- Mi.Mu rukavice: Rukavice opremljene senzorima koje omogućuju glazbenicima kontrolu zvuka putem gesti (Slika 1.3).



Slika 1.2 Reactable [3]

Slika 1.3 Mi.Mu rukavice [4]

1.4. Primjena senzorskih tehnologija u glazbi

Senzorske tehnologije omogućuju prikupljanje podataka o pokretima, poziciji i drugim fizičkim parametrima korisnika, koje se zatim koriste za interaktivno upravljanje glazbenim sustavima. Primjena senzora u glazbi omogućuje inovativne načine izvođenja i stvaranja glazbe, pružajući glazbenicima nove alate za izražavanje.

Ključne primjene senzorskih tehnologija u glazbi su:

- Akcelerometri i žiroskopi: Koriste se za praćenje pokreta glazbenika, što omogućuje kontrolu zvuka putem fizičkih gesti. Primjeri uključuju instrumente kao što su theremin i rukavice za kontrolu zvuka.
- Senzori dodira: Korišteni u uređajima poput MIDI kontrolera i tableta, omogućuju preciznu kontrolu nad zvučnim parametrima putem dodira.
- Kamere i sustavi za praćenje pokreta: Korišteni za prepoznavanje složenih gesti i pokreta cijelog tijela, omogućujući glazbenicima kontrolu zvuka putem performativnih pokreta.

2. Arhitektura sustava "Digitalni dirigent"

2.1. Arhitektura sustava

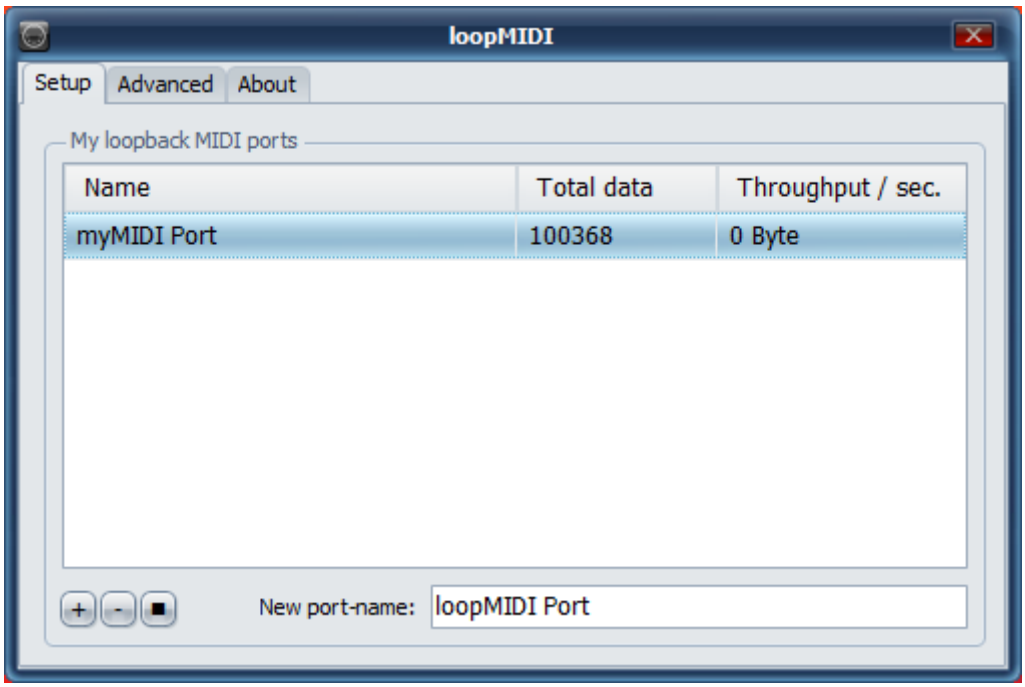
Sustav "Digitalni dirigent" dizajniran je kao interaktivni glazbeni alat koji omogućuje korisnicima da upravljaju zvučnim signalima pomoću pokreta ruku. Glavni dijelovi sustava uključuju hardverske komponente koje prate pokrete korisnika, softverske komponente koje obrađuju te podatke i generiraju zvuk te komunikacijski modul koji omogućuje razmjenu podataka između hardvera i softvera. Sustav se sastoji od sljedećih ključnih elemenata:

- Mikrokontroler Wemos D1 mini koji upravlja senzorima i šalje podatke putem WiFi mreže.
- Žiroskop i akcelerometar MPU6050 za praćenje pokreta ruku.
- Računalni program napisan u C# koji koristi WPF za korisničko sučelje i obradu zvuka.
- MIDI datoteke koje služe kao izvor glazbe, čije se naredbe interpretiraju i pretvaraju u zvuk.
- Sintesajzera koji pretvara naredbe MIDI datoteke u informacije koje zatim šalje zvučnoj kartici te ona proizvodi zvuk.

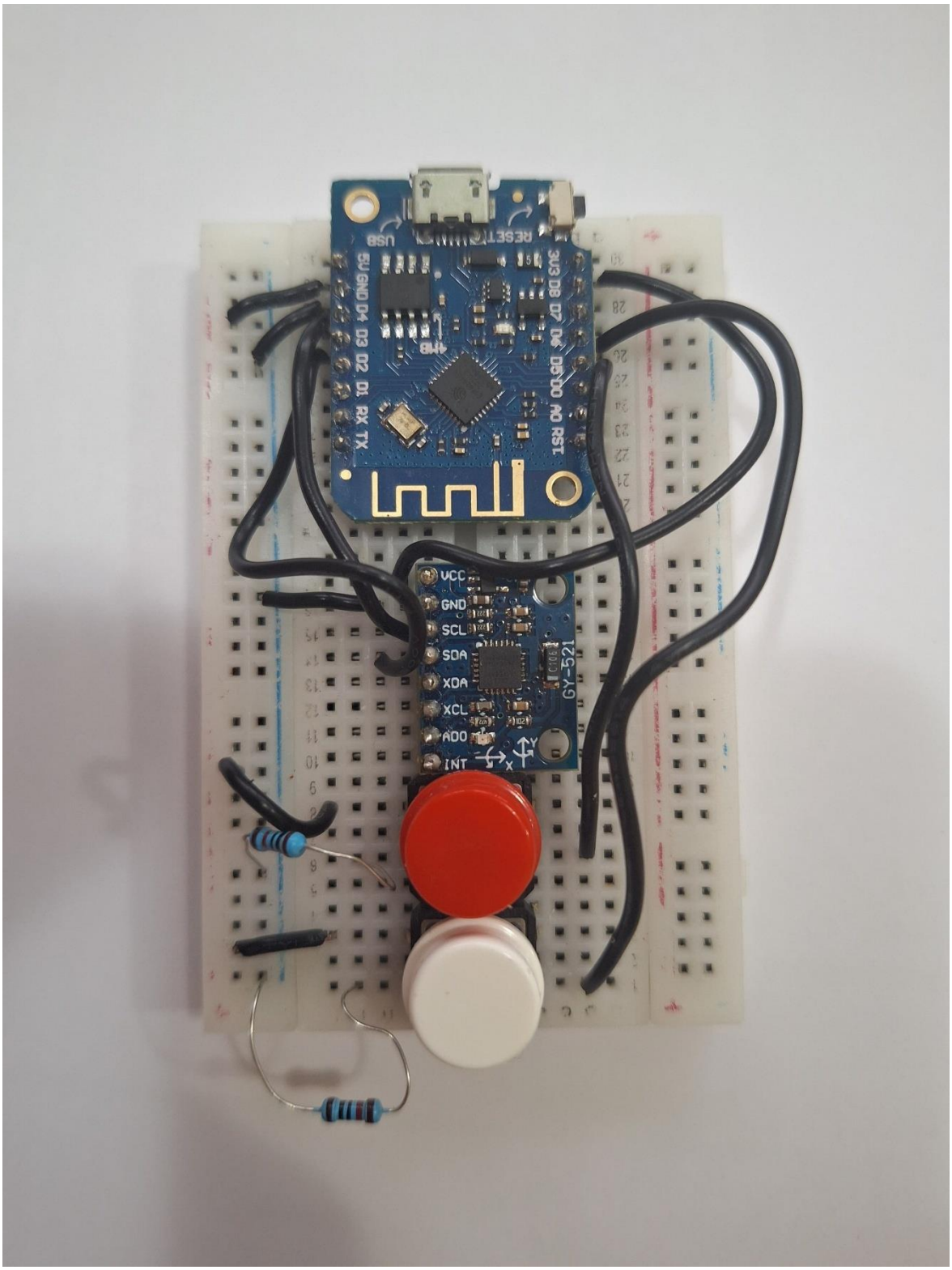
Izgled cijelog fizičkog dijela sustava se može vidjeti na slici (Slika 2.2).

WPF aplikacija je zamišljena kao posrednik između MIDI datoteke i sintesajzera koji pretvara MIDI naredbe u zvuk. Aplikacija mijenja naredbe te dodaje nove ovisno o naredbama koje dolaze iz mikrokontrolera. Mikrokontroler naredbe šalje pri promjeni očitanja senzora MPU6050 ili pri pritisku jednog od dva gumba. Konačne naredbe dolaze do sintesajzera koji proizvodi zvuk (Slika 2.3). Ukoliko nije moguće korištenje fizičkog sintesajzera, moguća je reprodukcija zvuka i kroz virtualni sintesajzer (Slika 2.4). U tom slučaju, WPF aplikacija svoje naredbe šalje programu loopMidi koji prosljeđuje te naredbe virtualnom sintesajzeru. Sintesajzer nakon obrade tih naredbi i primjenom raznim efekata, šalje digitalni zapis zvuka zvučnoj kartici koja onda reproducira zvuk.

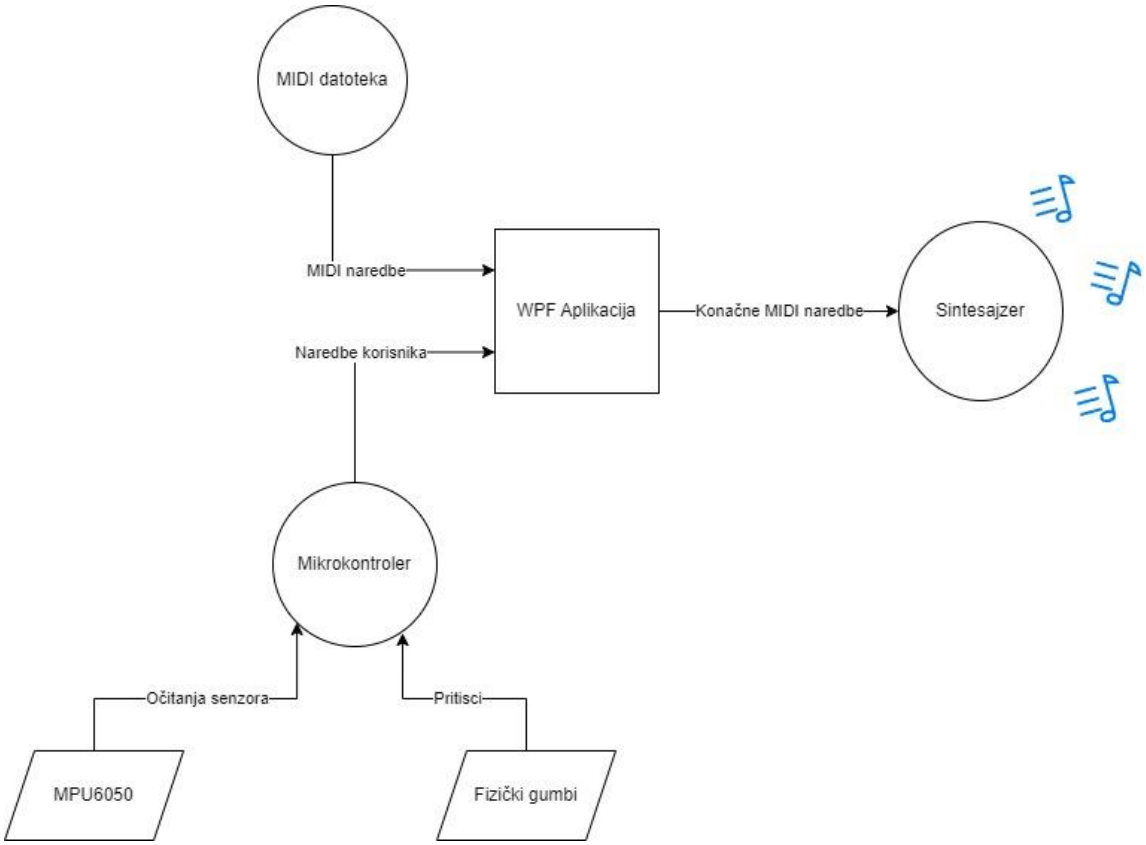
LoopMIDI (Slika 2.1) je softverski alat razvijen za Windows operativni sustav koji omogućuje kreiranje virtualnih MIDI portova. Ovi virtualni portovi služe kao međusobne veze između različitih MIDI aplikacija koje ne podržavaju direktno međusobno povezivanje. U kontekstu glazbenih projekata, loopMIDI igra ključnu ulogu u omogućavanju komunikacije između MIDI kontrolera i softverskih sintesajzera. U ovom projektu, spaja WPF aplikaciju te virtualni sintesajzer.



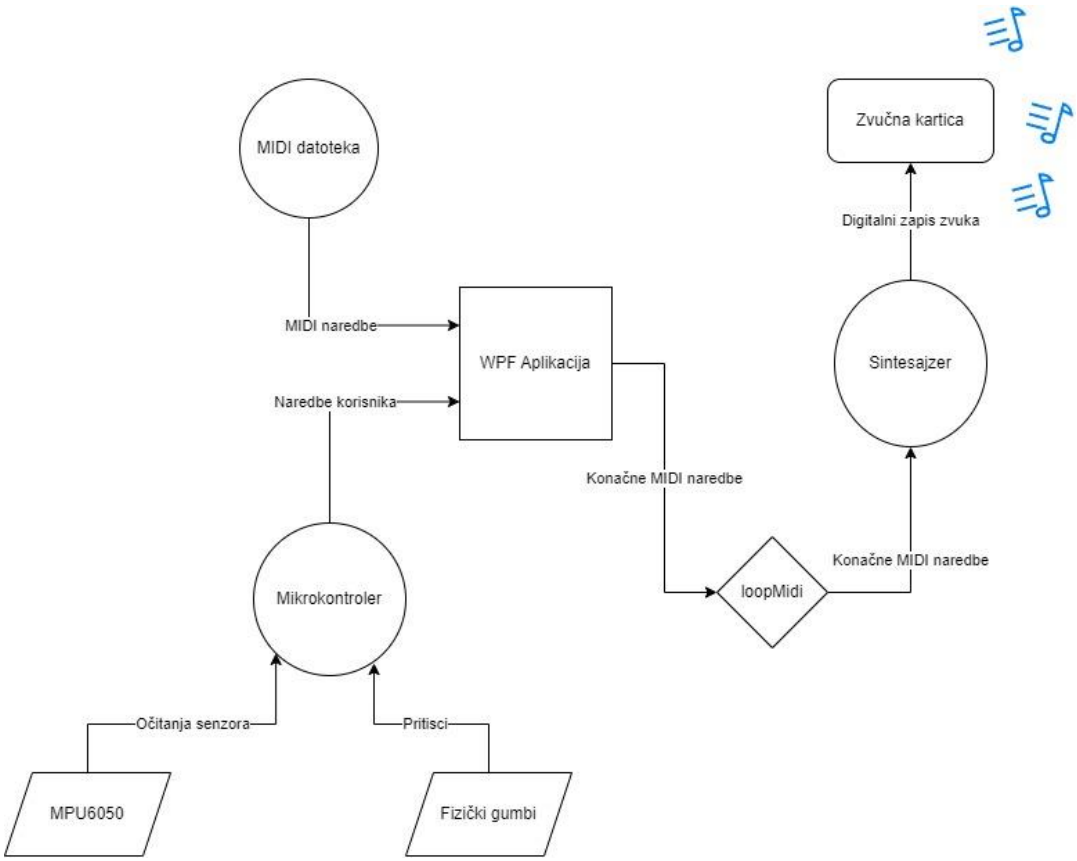
Slika 2.1 loopMidi



Slika 2.2 Izgled i način spajanja komponenti



Slika 2.3 Arhitektura sustava

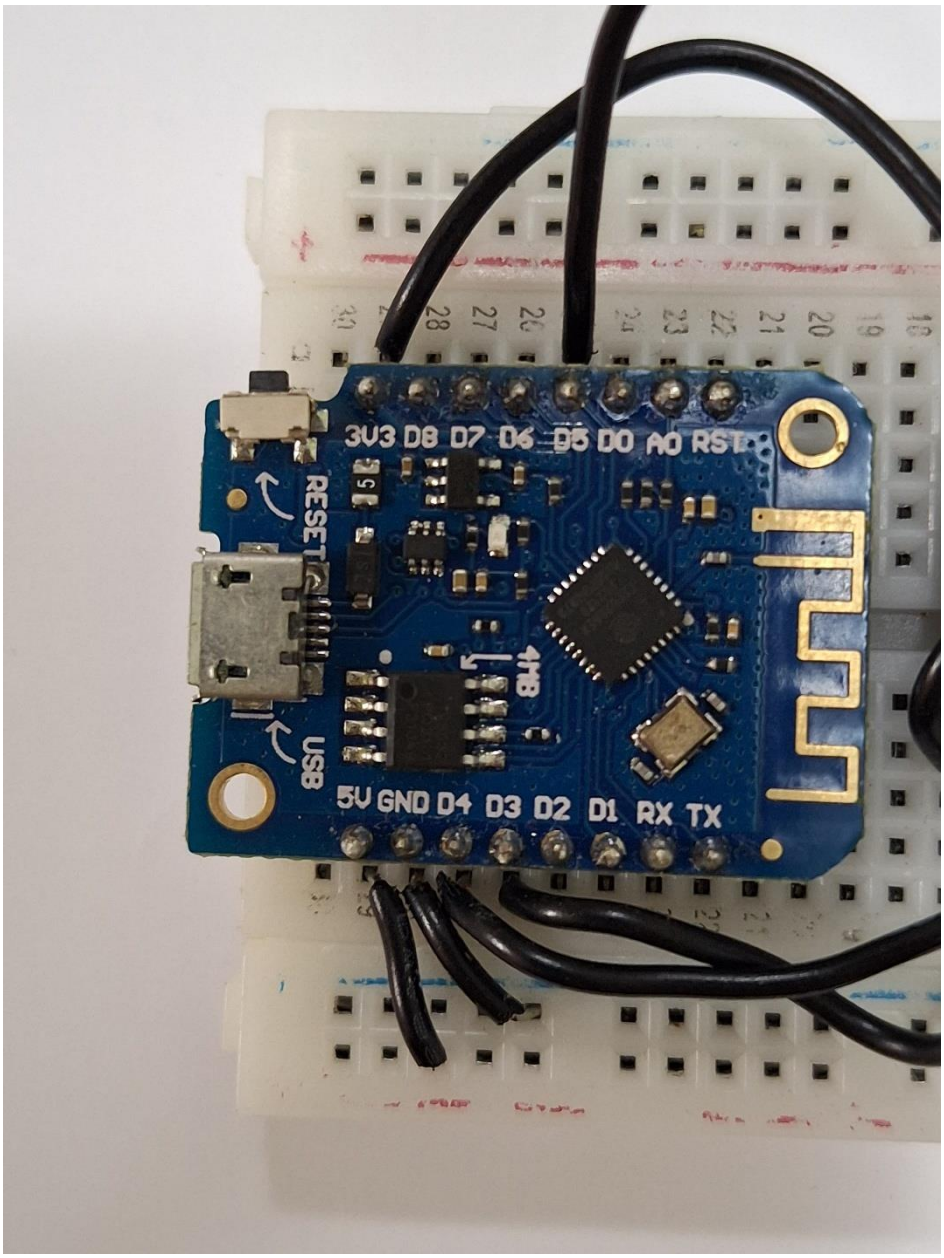


Slika 2.4 Arhitektura sustava bez fizičkog sintesajzera

2.2. Hardverske komponente

2.2.1. Wemos D1 mini mikrokontroler

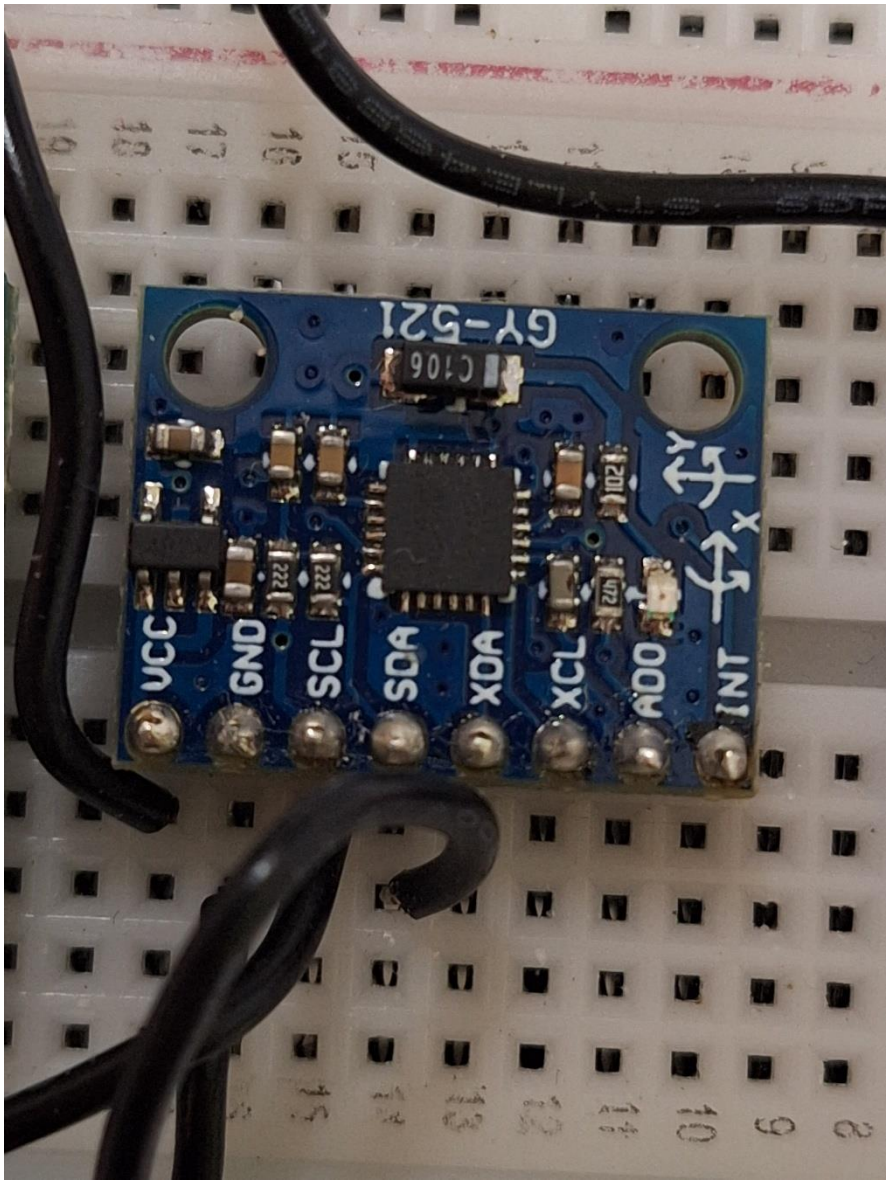
Wemos D1 mini (Slika 2.5) je kompaktan i moćan mikrokontroler baziran na ESP8266 čipu, koji je idealan za IoT (Internet of Things) projekte zbog svoje integrirane WiFi podrške [10]. U sustavu "Digitalni dirigent" Wemos D1 mini upravlja žiroskopom i akcelerometrom, obrađuje primljene podatke o pokretima te ih šalje putem WiFi mreže računalu koje generira zvuk. Njegova glavna prednost je mala veličina, niska potrošnja energije i jednostavnost programiranja pomoću Arduino IDE-a.



Slika 2.5 Wemos D1 Mini

2.2.2. Žiroskop i akcelerometar MPU6050

MPU6050 (Slika 2.6) je šest-osi senzor koji kombinira troosni akcelerometar i troosni žiroskop u jednom čipu [9]. Ovaj senzor je ključan za praćenje pokreta ruku korisnika. Akcelerometar mjeri linearna ubrzanja, dok žiroskop mjeri kutne brzine, omogućujući precizno praćenje roll (horizontalno rotiranje) i pitch (vertikalno rotiranje) osi, kao i zamaha ruku. Podaci prikupljeni od MPU6050 senzora šalju se mikrokontroleru Wemos D1 mini, koji ih obrađuje i šalje WPF aplikaciji preko WiFi mreže.



Slika 2.6 MPU6050

2.3. Softverske komponente

2.3.1. Kod za mikrokontroler (C++/Arduino IDE)

Kod za Wemos D1 mini mikrokontroler pisan je u C++ jeziku koristeći Arduino IDE. Ovaj kod upravlja komunikacijom s MPU6050 senzorom, prikuplja podatke o pokretima ruku te ih putem WiFi mreže šalje računalu. Glavne funkcionalnosti koda uključuju inicijalizaciju i kalibraciju MPU6050 senzora, periodičko prikupljanje podataka o roll, pitch i zamahu ruku te kodiranje podataka u oblik paketa i njihovo slanje putem WiFi mreže.

2.3.2. WPF aplikacija (C#)

Računalni program koji prima podatke od mikrokontrolera, obrađuje ih i šalje sintesajzeru pisan je u C# jeziku koristeći Windows Presentation Foundation (WPF). Ovaj program obavlja zadatke prijema i dekodiranja podataka koji stižu od mikrokontrolera te zatim šalje sintesajzeru na generiranje zvuka koji se temelji na primljenim MIDI naredbama. Također dodaje i mijenja MIDI naredbe ovisno o korisničkim naredbama odnosno pokretima ruku primljenim preko WiFi mreže. Kroz grafičko korisničko sučelje omogućava korisniku odabir dimenzija (efekata) koje se mijenjaju nad MIDI fileom.

2.4. Komunikacija

2.4.1. Wi-Fi

WiFi komunikacija osigurava bežični prijenos podataka između mikrokontrolera i računala. Wemos D1 mini koristi svoju integriranu WiFi funkcionalnost za slanje podataka o pokretima ruku putem lokalne mreže. Ovaj pristup omogućava brzu i pouzdanu razmjenu podataka potrebnih za interaktivno upravljanje zvukom u stvarnom vremenu.

2.4.2. Uspostava veze između mikrokontrolera i programa za obradu zvuka

Prije nego što sustav može započeti s prijenosom podataka, potrebno je uspostaviti pouzdanu vezu između mikrokontrolera i računala. Uspostava veze se omogućava korištenjem Ping/Pong protokola: Mikrokontroler šalje "ping" paket na broadcast adresu mreže kako bi identificirao dostupne uređaje. Računalni program koji prima ovaj signal odgovara s "pong" paketom, čime se potvrđuje uspješna veza. Ovaj protokol osigurava da su oba uređaja spremna za razmjenu podataka.

2.4.3. Komunikacija između mikrokontrolera i programa za obradu zvuka

Komunikacija između mikrokontrolera i programa za obradu zvuka temelji se na slanju paketa podataka koji sadrže informacije o pokretima ruku korisnika. Paket ima sljedeću strukturu:

`int naredba`: Označava naredbu odnosno os za koju se šalje promjena vrijednosti.

`int vrijednost`: Sadrži numeričku vrijednost naredbe.

Ova jednostavna struktura omogućava učinkovitu i brzu razmjenu podataka, što je ključno za interaktivno upravljanje zvukom. Primljeni paketi se dekodiraju u WPF aplikaciji, koja zatim koristi te informacije za generiranje novih naredbi odnosno prilagodbu zvuka u stvarnom vremenu.

2.5. MIDI

2.5.1. MIDI Event

MIDI (Musical Instrument Digital Interface) eventi su osnovni gradivni blokovi MIDI protokola, koji omogućuju komunikaciju između različitih glazbenih instrumenata, uređaja i softvera. MIDI eventi prenose informacije o glazbenim notama, promjenama kontrolnih parametara i drugim glazbenim funkcijama. Svaki MIDI event sadrži specifične informacije koje određuju kako će glazbeni instrument interpretirati i reproducirati zvuk.

MIDI eventi su binarni podaci organizirani u poruke koje se šalju između uređaja. Tipični MIDI eventi uključuju "Note On", "Note Off", "Control Change" (CC), "Program Change" i mnoge druge. "Note On" event, na primjer, sadrži informacije o tome koja nota treba biti odsvirana, s kojom dinamikom (velocity). "Note Off" event signalizira kraj trajanja te note.

U projektu "Digitalni dirigent", MIDI eventi se koriste za stvaranje i kontrolu glazbenih izvedbi u stvarnom vremenu. Kada korisnik pokreće različite pokrete rukama, ti pokreti se prevode u odgovarajuće MIDI evente. Na primjer, zamah rukom može generirati "Note On" event koji aktivira određenu notu na sintesajzeru, dok pomicanje ruke u jednoj osi može promijeniti pitch ili modificirati kontrolne parametre zvuka. Ovi MIDI eventi se zatim šalju

iz mikrokontrolera na računalo putem WiFi komunikacije, gdje ih prima softverski sintesajzer poput Surge XT.

Kada Surge XT primi MIDI event, on interpretira informacije sadržane u eventu i generira odgovarajući zvuk. Tako, korisnik može dinamično mijenjati ton, ritam i druge aspekte zvučne izvedbe koristeći prirodne pokrete ruku. Sustav omogućuje intuitivnu i neposrednu kontrolu nad glazbenom izvedbom, proširujući tradicionalne metode glazbenog stvaranja i izvođenja.

2.5.2. MIDI Control Change

MIDI CC (Control Change) poruke su specifičan tip MIDI eventi koji omogućuju detaljnu kontrolu nad različitim parametrima glazbenog zvuka. Svaka CC poruka sastoji se od kontrolnog broja i vrijednosti koja određuje promjenu parametra. MIDI specifikacija definira 128 različitih kontrolnih brojeva, od kojih svaki može kontrolirati određeni aspekt zvuka, kao što su modulacija, panoramska pozicija, glasnoća i razni efekti.

MIDI CC poruke omogućuju glazbenicima i producentima preciznu kontrolu nad zvukom tijekom izvođenja i snimanja. Na primjer, kontrolni broj 1 često se koristi za modulaciju (vibrato), kontrolni broj 7 za glasnoću, a kontrolni broj 10 za panoramu (poziciju zvuka u stereo prostoru).

U projektu "Digitalni dirigent", MIDI CC poruke igraju ključnu ulogu u omogućavanju interaktivne kontrole zvuka putem pokreta ruku. Kada korisnik pomiče ruke, mikrokontroler interpretira te pokrete i generira odgovarajuće MIDI CC poruke. Na primjer, pomicanje ruke u jednoj osi može se mapirati na kontrolni broj 1, koji kontrolira modulaciju zvuka, dok pomicanje u drugoj osi može kontrolirati glasnoću ili panoramu.

Ove MIDI CC poruke se zatim šalju putem WiFi komunikacije na računalo, gdje ih prima softverski sintesajzer Surge XT. Surge XT interpretira MIDI CC poruke i prilagođava zvučne parametre u stvarnom vremenu, omogućujući korisniku dinamično upravljanje zvukom. Na taj način, korisnik može kreirati kompleksne zvučne efekte i modulacije samo koristeći pokrete ruku, bez potrebe za fizičkim dodirom instrumenta.

Primjena MIDI CC poruka u projektu "Digitalni dirigent" omogućuje visok stupanj ekspresivnosti i prilagodljivosti, omogućujući glazbenicima i performerima da stvaraju unikatne glazbene izvedbe. Sustav nudi intuitivan i neposredan način za manipulaciju

zvukom, proširujući mogućnosti tradicionalne glazbene ekspresije i otvarajući nove putove za kreativno izražavanje.

3. Implementacija sustava

3.1. Hardverska implementacija

3.1.1. Povezivanje komponenti

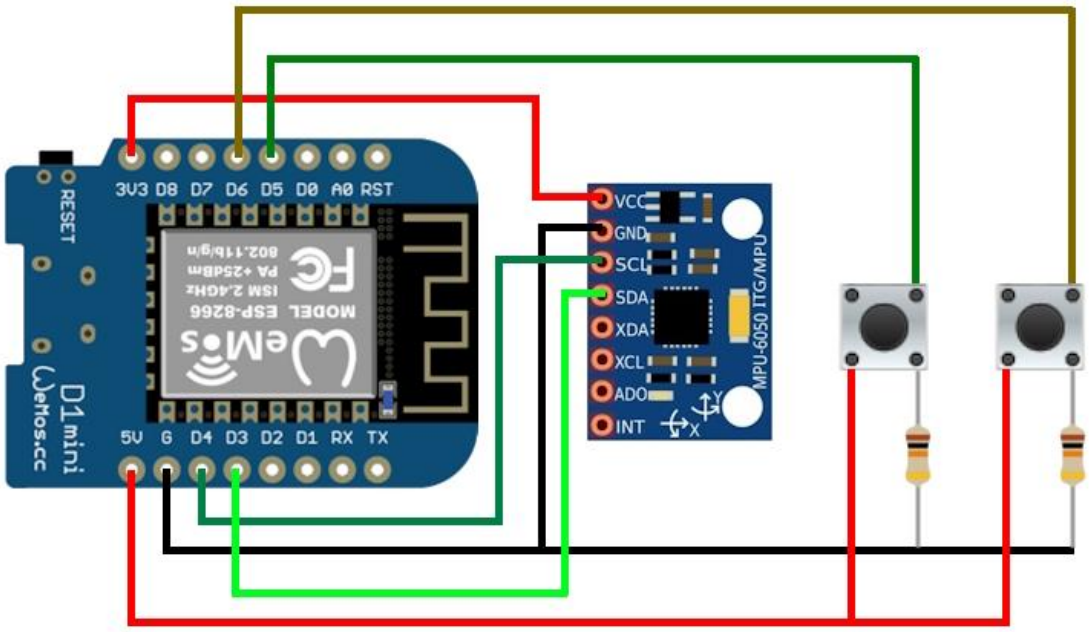
U hardverskoj implementaciji sustava "Digitalni dirigent", ključno je pravilno povezivanje svih komponenti kako bi sustav mogao prikupljati i obrađivati podatke o pokretima ruku.

Wemos D1 mini je mikrokontroler koji služi kao središnja jedinica za upravljanje i komunikaciju. Na njega se povezuje MPU6050 senzor putem I2C sučelja te fizički gumbi kao dodatne korisnikove naredbe.

MPU6050 žiroskop i akcelerometar je senzor koji se povezuje na Wemos D1 mini koristeći četiri žice: VCC (napajanje), GND (uzemljenje), SDA (serijski podatkovni pin), i SCL (serijski taktirajući pin).

Dva fizička gumba omogućuju korisniku odabir različitih načina rada sustava. Ovi gumbi su povezani na digitalne ulazne pinove mikrokontrolera.

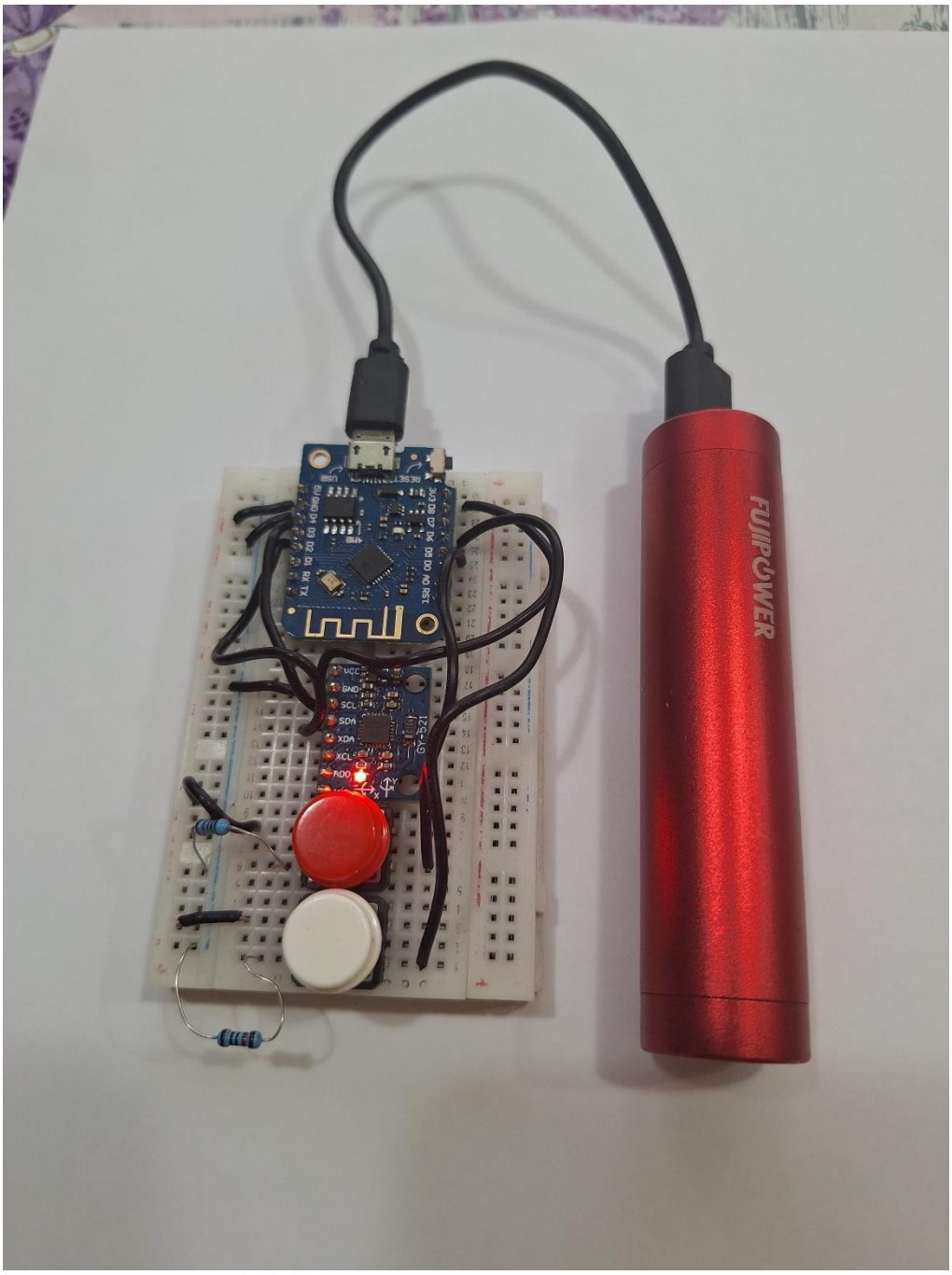
Shema povezivanja je jednostavna, ali zahtijeva preciznost kako bi se osigurala pravilna komunikacija između komponenti (Slika 3.1).



Slika 3.1 Shema projekta „Digitalni dirigent“

3.1.2. Načini napajanja

Napajanje sustava je ključan aspekt koji osigurava nesmetan rad mikrokontrolera, senzora i svih ostalih komponenti. Odabir adekvatnog načina napajanja osigurava pouzdanost i mobilnost sustava, što je posebno važno za uređaje koji se koriste u realnom vremenu za glazbene performanse. Wemos D1 mini može biti napajan putem USB porta ili vanjskog izvora napajanja. MPU6050 senzor napaja se iz Wemos D1 mini mikrokontrolera. Najjednostavniji i najčešće korišteni način napajanja za mikrokontrolere kao što je Wemos D1 mini je putem USB veze. USB napajanje omogućava direktnu vezu s računalom ili napajanje iz standardnih USB punjača. Ovo je rješenje praktično jer osigurava jednostavnost, pouzdanost i povezivost. Omogućava istovremeno napajanje i komunikaciju između mikrokontrolera i računala, što je idealno za razvojne faze i debugging. Za ovaj projekt, često je korišteno napajanje putem powerbanka, zbog kompatibilnosti s USB priključcima te mogućnošću za punjenjem baterije (Slika 3.2).



Slika 3.2 Napajanje mikrokontrolera powerbankom putem USB sučelja

3.2. Softverska implementacija

3.2.1. Interpretacija naredbi

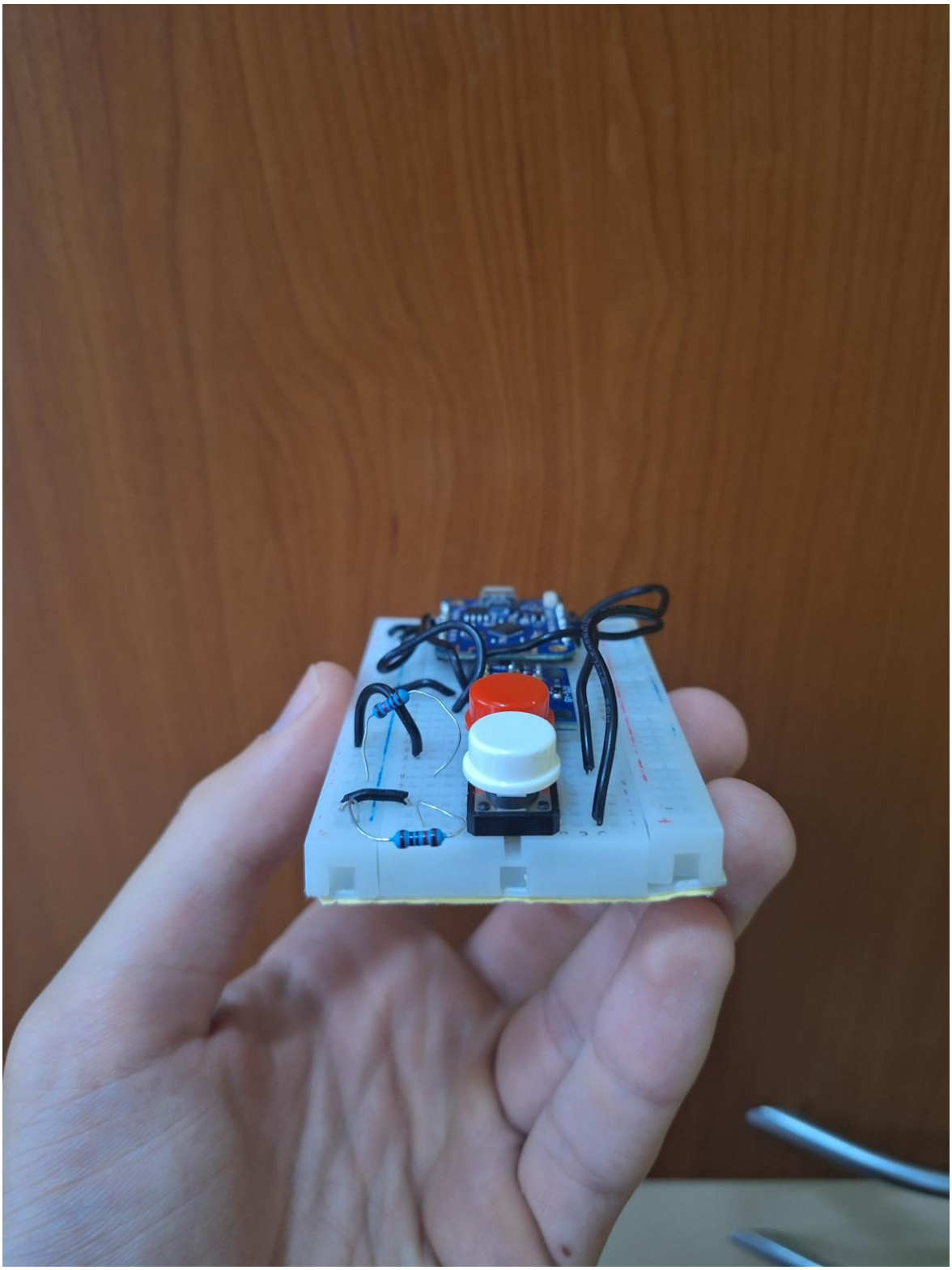
Interpretacija naredbi je ključna komponenta koja omogućuje i objašnjava pretvaranje fizičkih pokreta i interakcija korisnika u digitalne informacije koje upravljaju glazbom.

Pretvaranje pokreta u informacije

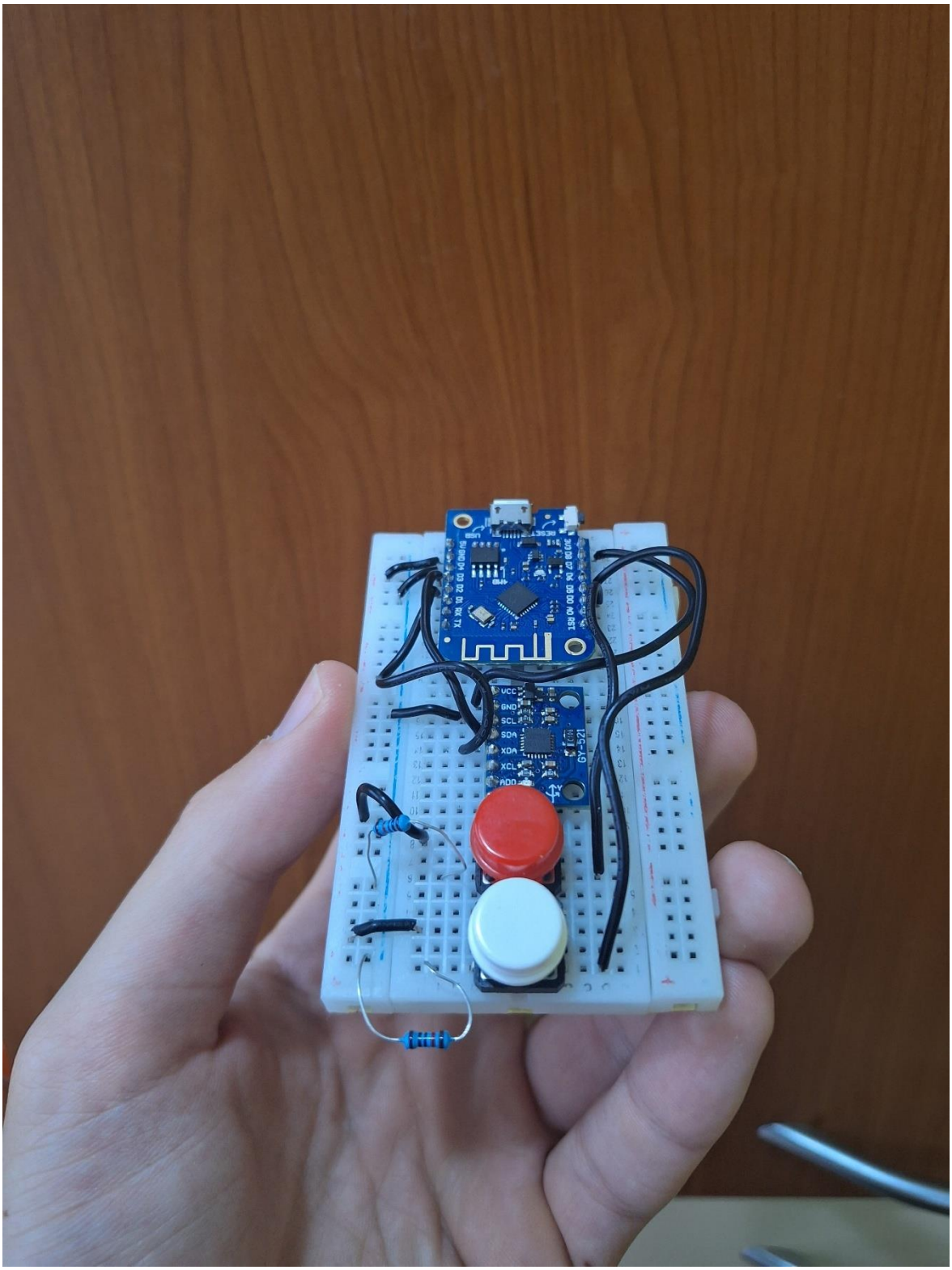
MPU6050 senzor se koristi za detekciju pokreta ruke u dvije dimenzije: roll i pitch. Ovaj senzor bilježi kutne brzine i ubrzanja koje se zatim pretvaraju u konkretne podatke o položaju i pokretima ruke. Kada korisnik pomakne ruku, senzor generira sirove podatke koji se obrađuju uz pomoć mikrokontrolera kako bi se izračunali odgovarajući kutovi.

Ove informacije se zatim šalju u obliku paketa preko Wi-Fi mreže. Paket sadrži dva osnovna parametra: naredbu (Naredba) i vrijednost (Vrijednost). Na primjer, kada se detektira promjena u pitch osi, generira se paket s naredbom za promjenu pitch osi i vrijednost koja predstavlja veličinu te promjene.

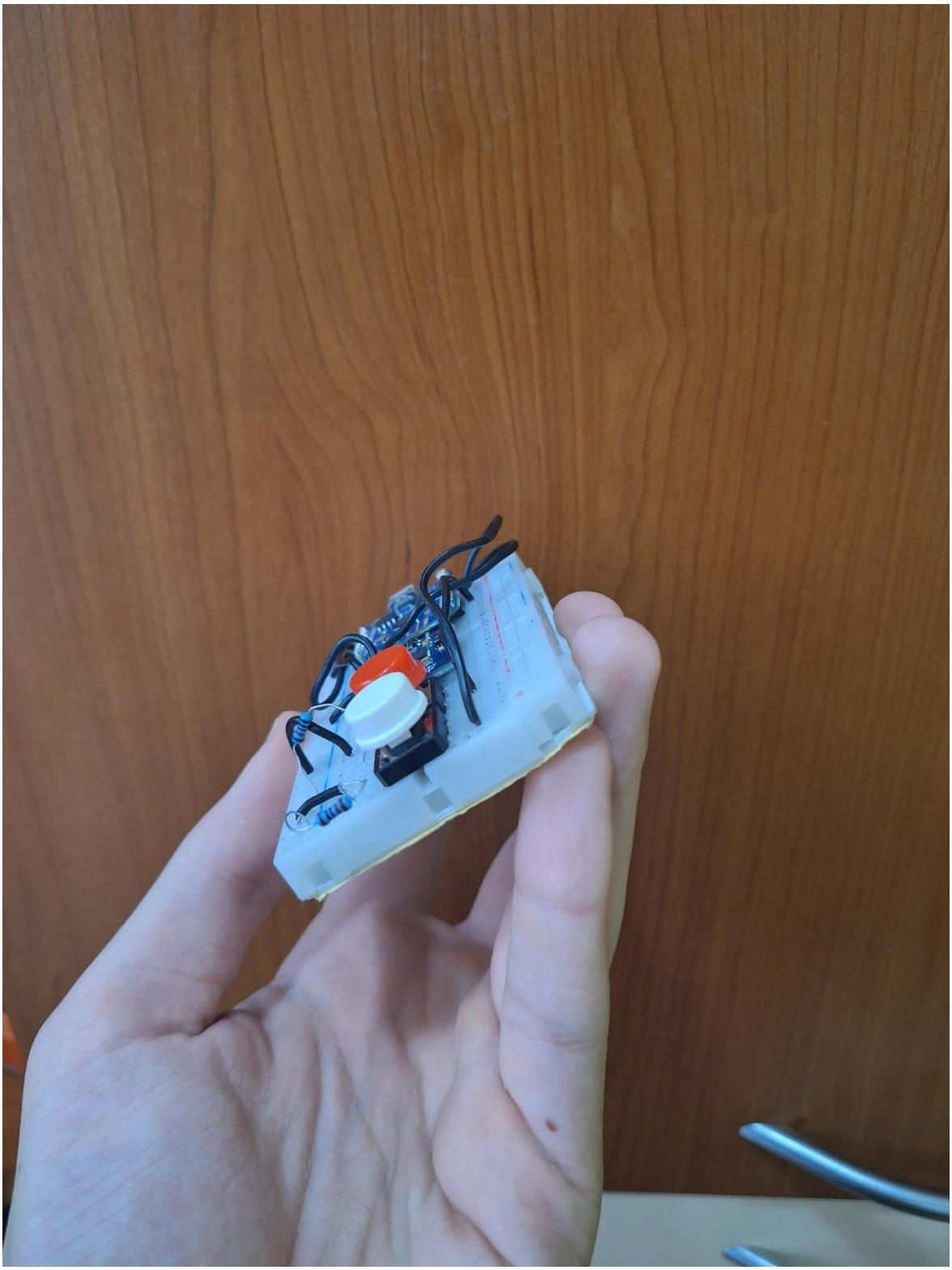
Promjena informacija o osima se događa kada se iz početnog položaja (Slika 3.3) senzor MPU6050 (odnosno cijela ploča) naginje prema korisniku odnosno od korisnika (Slika 3.4) za pitch te naginjanje lijevo-desno (Slika 3.5) za roll.



Slika 3.3 Početni položaj



Slika 3.4 Promjena pitch osi



Slika 3.5 Promjena roll osi

Korištenje fizičkih gumba

Sustav koristi dva fizička gumba koji omogućuju korisniku da dodatno upravlja načinom rada i odabirom kanala.

Gumb za odabir načina rada:

- Nije stisnut: U ovom načinu rada sustav osluškuje zamahe ruke korisnika. Ovi zamahe se interpretiraju kao specifične naredbe koje mijenjaju određene parametre zvuka.
- Stisnut: Kada je gumb stisnut, sustav prebacuje fokus na promjene u roll i pitch osima. U ovom načinu rada, pokreti ruke koji mijenjaju roll i pitch koriste se za precizno podešavanje zvučnih efekata.

Gumb za odabir kanala:

- Dugo držanje (1 sekunda): Kada korisnik dugo drži ovaj gumb, sustav odabire sve kanale za primjenu efekata. To znači da će se sve naredbe i promjene primijeniti istovremeno na sve dostupne kanale.
- Kratak stisak: Kratki stisak gumba omogućuje korisniku da selektivno prolazi kroz kanale. Ako su prethodno bili odabrani svi kanali, kratki stisak će prebaciti odabir na posljednji pojedinačni kanal koji je bio aktivan.

3.2.2. Algoritmi za obradu senzorskih podataka

Algoritmi za obradu senzorskih podataka ključni su za pretvaranje sirovih podataka iz MPU6050 senzora u korisne informacije o pokretima ruku.

Komplementarni filter podataka

Kada MPU6050 mjeri ubrzanje i kutnu brzinu, generira sirove podatke koji mogu biti vrlo bučni. Šum u ovim podacima može proizaći iz različitih izvora, uključujući elektronički šum, vibracije okoline i inherentne nesavršenosti senzora. Bez odgovarajućeg filtriranja, ovaj šum

može dovesti do netočnih ili nestabilnih mjerenja, što može negativno utjecati na performanse aplikacije koje se oslanjaju na te podatke [6].

Komplementarni filter se koristi za fuziju podataka iz akcelerometra i žiroskopa:

```
Total_angle[0] = 0.98 * (Total_angle[0] + Gyro_angle[0] *
elapsedtimex) + 0.02 * Acceleration_angle[0];
Total_angle[1] = 0.98 * (Total_angle[1] + Gyro_angle[1] *
elapsedtimex) + 0.02 * Acceleration_angle[1];
```

Komplementarni filter kombinira prednosti oba senzora. Akcelerometar daje stabilne kutne podatke, ali je osjetljiv na linearno ubrzanje i vibracije, dok žiroskop pruža točne podatke o promjenama kuta u kratkom vremenskom intervalu, ali je sklon laganom odmicanju tijekom vremena. Filter koristi sljedeći princip:

- Žiroskopski podaci: Glavna komponenta koja prati brze promjene u kutu, uz korištenje prošlog kuta (`Total_angle[0]` ili `Total_angle[1]`) i brzine rotacije iz žiroskopa, ponderirane s faktorom 0.98.
- Akcelerometarski podaci: Sekundarna komponenta koja se koristi za dugoročno stabiliziranje kuta, ponderirana s faktorom 0.02.

Integracija podataka

Korištenje integracije za pretvaranje kutnih brzina u kutove (roll i pitch).

Kutni podaci se dobivaju kombiniranjem podataka iz akcelerometra kako bi se odredila orijentacija uređaja u prostoru. Akcelerometar mjeri ubrzanje duž tri osi (X, Y, Z), a kutovi se izračunavaju pomoću trigonometrijskih funkcija arctangent i korijena kvadrata sume kvadrata osi:

```
Acceleration_angle[0] = atan((Acc_rawY / 16384.0) /
sqrt(pow((Acc_rawX / 16384.0), 2) + pow((Acc_rawZ / 16384.0),
2))) * rad_to_deg;
Acceleration_angle[1] = atan(-1 * (Acc_rawX / 16384.0) /
sqrt(pow((Acc_rawY / 16384.0), 2) + pow((Acc_rawZ / 16384.0),
2))) * rad_to_deg;
```

`Acceleration_angle[0]` predstavlja kut u stupnjevima između osi X i Z, dok `Acceleration_angle[1]` predstavlja kut između osi Y i Z. Funkcija `atan` se koristi za izračun tangensa kutova, a `sqrt` za izračun kvadratnog korijena sume kvadrata osi, što omogućuje dobivanje kuta nagiba uređaja u odnosu na gravitacijsko polje.

Ovaj pristup omogućava precizno određivanje orijentacije uređaja na temelju mjerenja akcelerometra, što je ključno za praćenje pokreta ruku korisnika u projektu "Digitalni dirigent". Integracija ovih kutnih podataka s podacima o kutnim brzinama iz žiroskopa omogućava kompletnu procjenu i kontrolu pokreta u stvarnom vremenu.

Detekcija zamaha

Algoritmi za prepoznavanje specifičnih uzoraka u podacima akcelerometra koji odgovaraju zamahu ruke. Zamah se prepoznaje kao naglo povećanje ukupne akceleracije, popraćeno naglom retardacijom. Ukupna akceleracija se dobiva korjenovanjem zbroja kvadrata svih smjerova akceleracija:

```
int totalAcc =
sqrt(pow((Acc_rawX),2)+pow((Acc_rawY),2)+pow((Acc_rawZ),2));
```

Ako akcelerometar očita vrijednost ukupne akceleracije iznad postavljenog praga (`thresholdSwing`), ulazi se u stanje trenutnog zamaha te ako nakon toga očita vrijednost ukupne akceleracije ispod postavljenog praga (`thresholdStop`), program će to shvatiti kao da je zamah stao. S obzirom na šumove i slučajne nagle pokrete, dodan je i algoritam koji gleda zadnjih par očitanja senzora te uzima prosjek svih očitanja. Ovo omogućuje da drhtanje ruku ili neki drugi šumovi ostanu nezamijećeni kao zamah ruke.

Ovi algoritmi omogućuju sustavu da precizno prepozna i interpretira pokrete korisnika odnosno pretvara sirove informacije senzora u namjeru korisnika (podizanje ruke za dodavanje efekta, zamasi ruke za određivanje tempa…)

3.2.3. Komunikacija između mikrokontrolera i računala (WiFi)

Komunikacija između mikrokontrolera i računala odvija se putem WiFi mreže koju omogućuje WiFi modul integriran u Wemos D1 mini mikrokontroler. WiFi modul se prvo mora inicijalizirati, a zatim se preko njega mogu slati i primati podaci putem UDP protokola. UDP protokol je korišten u sustavu jer omogućava slanje podataka bez potvrde što je važno za upravljanje zvukom u stvarnom vremenu.

Za rad s WiFi modulom na mikrokontroleru te slanje UDP paketa korištene su knjižnice `ESP8266WiFi` i `WiFiUDP`, a za pretvaranje paketa u JSON oblik korištena je knjižnica `ArduinoJson`. Ove knjižnice se uključuju u program na početku koda:

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiUdp.h>
#include <ArduinoJson.h>
```

Inicijalizacija WiFi modula

Postavljanje WiFi modula na Wemos D1 mini za povezivanje na lokalnu mrežu ili stvaranje vlastite mreže. Program se na početku svog rada (unutar `setup()` funkcije) pokušava spojiti na WiFi mrežu s hard-kodiranim `ssid` i `password`:

```
WiFi.begin(ssid, password);
```

te čeka na uspješno spajanje na mrežu.

Otvaranje poslužitelja na mikrokontroleru

Program otvara poslužitelj na *dobro poznatim vratima* zbog uspostave veze sa WPF aplikacijom:

```
udp.begin(localPort);
```

Ovaj poslužitelj ima samo jednu svrhu, a to je da pronađe WPF aplikaciju u mreži. Šalje paket s vrijednostima `int naredba = 0` i `int vrijednost = 1` (u kontekstu ping/pong algoritma, ovo označava početni ping) na broadcast adresu koji WPF aplikaciji isključivo znači da je mikrokontroler krenuo sa radom te traži aplikaciju u mreži. Nakon slanja inicijalizacijskog paketa, mikrokontroler čeka odgovor WPF aplikacije slušanjem na svojim *dobro poznatim vratima* te pri primitku paketa provjerava je li sadržaj paketa jednak

stringu „pong“. Ukoliko jest, to znači da je WPF aplikacija pokrenuta te je i ona spremna na primanje paketa od mikrokontrolera. IP adresa pošiljatelja tog paketa se sprema u varijablu `remoteIP` te služi za daljnju komunikaciju s WPF aplikacijom.

Slanje podataka

Pokreti ruku se kodiraju u pakete i šalju putem UDP-a WPF aplikaciji na *dobro poznatim vratima*. S obzirom na to da se koristi UDP, program ne čeka na potvrdu primitka paketa.

Prijem podataka na računalu

WPF aplikacija napisana u C# programskom jeziku koristi knjižnicu `System.Net.Sockets` za primanje paketa podataka i njihovo dekodiranje.

Aplikacija otvara UDP klijenta koji sluša na *dobro poznatim vratima*:

```
var udpClient = new UdpClient(12345)
```

te na svaki ispravni primljeni paket poduzima neku akciju. Ukoliko je paket imao vrijednost varijable `naredba` jednaku 0, otvara se novi UDP klijent koji šalje poruku „pong“ na adresu s koje je paket došao:

```
switch (paket.Naredba)
{
    case 0:
        using (var udpClient = new UdpClient(12346))
        {
            udpClient.Send(Encoding.UTF8.GetBytes("pong"),
sender);
        }
        break;
    ...
}
```

Pouzdana WiFi komunikacija osigurava da podaci o pokretima ruku budu dostupni za obradu u stvarnom vremenu.

3.2.4. Obrada MIDI datoteka

Računalni program koristi MIDI datoteke kao izvor glazbe. WPF aplikacija prosljeđuje MIDI naredbe sintesajzeru te tako služi kao posrednik između izvora melodije te uređaja koji proizvodi zvuk odnosno šalje podatke zvučnoj kartici. To omogućuje programu da mijenja MIDI naredbe te dodaje svoje.

Aplikacija kao posrednik stoga omogućuje prilagodbu zvuka u stvarnom vremenu na temelju podataka o pokretima ruku korisnika, uključujući promjene u pitch, roll i zamahu.

Sustav omogućuje sljedeće efekte promjene odnosno dodavanja MIDI naredbi: glasnoća zvuka, visina tona, oblik tona, tempo melodije te dodavanje udarca. Ovi efekti su definirani kao enum vrijednosti:

```
enum EFFECTS
{
    VOLUME, PITCH, SHAPE, TEMPO, KICK
}
```

te se ovi efekti dalje dijele na kvantitativne efekte (`VOLUME`, `PITCH` i `SHAPE`) te efekte zamaha (`TEMPO` i `KICK`). Kvantitativni efekti su oni efekti koji mogu imati jakost efekta odnosno u kolikoj mjeri će utjecati taj efekt na zvuk. Efekti zamaha su događaji koji se dogode u određenom vremenskom trenutku te se ne mogu kvantificirati odnosno njihov utjecaj na zvuk.

VOLUME

Omogućava promjenu glasnoće melodije. Poprima vrijednosti sedam-bitnog broja (0 za najtiše, 127 za najglasnije).

PITCH

Omogućava promjenu visine tonova melodije. Efekt mijenja visinu tonova svih sljedećih nadolazećih nota MIDI datoteke.

SHAPE

Omogućava postavljanje oblika tona odnosno postavlja izgled frekvencija titranja unutar sintesajzera.

TEMPO

Omogućava mijenjanje tempa melodije tako što računa vrijeme između zamaha ruku te tu vrijednost pretvara u BPM (Beats per Minute) i postavlja brzinu playbacka na zadanu vrijednost.

KICK

Dodaje zvuk udarca na odabranom kanalu tako što pošalje notu te nakon 100 milisekundi ugasi tu notu. Sintesajzer određuje kako će taj udarac zvučati.

3.2.5. Integracija s WPF aplikacijom

WPF aplikacija pruža grafičko korisničko sučelje i omogućuje interakciju korisnika sa sustavom.

Prijem i obrada podataka

U WPF (Windows Presentation Foundation) aplikaciji, prijem i obrada podataka s mikrokontrolera odvijaju se prema definiranom formatu paketa koji sadrži Naredbu i Vrijednost. Ovaj pristup omogućuje interakciju s "Digitalnim dirigentom", gdje se korisnički pokreti ruku prenose u stvarnom vremenu radi manipulacije zvukom.

Svaki pristigli paket sastoji se od dva dijela - Naredbe i Vrijednosti. Naredba određuje vrstu akcije koju mikrokontroler želi izvršiti, dok vrijednost može biti različita ovisno o kontekstu naredba.

Obrada samih podataka se može podijeliti u razlučivanje naredbe i ažuriranje sučelja.

Prvi korak u obradi je razumijevanje naredba koja je primljena. Prema definiranom formatu:

Naredba = 0: Ova naredba signalizira uspostavu veze između mikrokontrolera i WPF aplikacije. Aplikacija bi trebala odgovoriti na ovu inicijalnu poruku kako bi se potvrdila veza.

Naredba = 1 ili 2: Ove Naredbe koriste se za promjene osi roll i pitch. Vrijednost podataka može biti u rasponu koji odgovara promjenama u orijentaciji ruku korisnika.

Naredba = 3: Ova naredba detektira zamah. Detalji o Vrijednosti mogu pružiti informacije o intenzitetu ili brzini zamaha.

Naredba = 4: Ova naredba se koristi za promjenu kanala. Vrijednost može određivati koji kanal ili parametar se mijenja.

Nakon obrade podataka, WPF aplikacija ažurira svoje sučelje prema primljenim podacima. To uključuje vizualne indikatore mapiranja osi na efekte te trenutni kanal nad kojima se vrše efekti.

Tablica 3.1 Moguće naredbe i njihova interpretacija

Naredba	**Opis**	**Vrijednost**
0	Uspostava veze	-
1	Promjena osi roll	Numerička vrijednost za kut roll-a
2	Promjena osi pitch	Numerička vrijednost za kut pitch-a
3	Detekcija zamaha	-
4	Promjena kanala	0 – svi kanali, 1 – povećanje trenutnog kanala za 1

Kontrola zvuka

Kontrola zvuka se odvija kroz posredovanje između MIDI datoteke, korisničkih interakcija i sintesajzera. Aplikacija djeluje kao sučelje koje prima MIDI note iz MIDI datoteke ili direktno od korisničkih interakcija putem senzora. Svaka nota ili akcija (kao što su promjene glasnoće i visine tonova) se prvo obrađuje u aplikaciji.

Aplikacija može modificirati note i njihove karakteristike prije nego što ih proslijedi sintesajzeru. To uključuje prilagođavanje pitch-a (visine tonova) i glasnoće svake note prema zadanim ili dinamički promijenjenim parametrima. Osim toga, aplikacija može dodati specifične efekte na zvuk putem MIDI Control Change (CC) poruka koje šalje sintesajzeru.

Na taj način, WPF aplikacija omogućuje kompleksnu kontrolu nad glazbenim izvedbama, dopuštajući korisnicima da izraze svoju kreativnost i interpretaciju glazbe kroz geste ruku koje su pretvorene u digitalne komande. Integracija MIDI protokola i upravljanje sintesajzerom putem CC poruka pruža fleksibilnost i preciznost u manipulaciji zvukom, ključnu za realizaciju ideje "Digitalnog dirigenta".

Korisničke postavke

Omogućavanje korisnicima da mapiraju osi (roll, pitch i zamah) na proizvoljne efekte putem sučelja. Roll i pitch se mogu mapirati na kvantitativne efekte, a zamah na efekte zamaha. Također daje vizualnu informaciju o tome koji je kanal trenutno „odabran“ odnosno nad kojim će se kanalom vršiti efekti promjene zvuka.

Integracija s WPF aplikacijom osigurava intuitivnu i korisniku prijaznu kontrolu nad sustavom.

3.3. Korisničko sučelje

3.3.1. Dizajn sučelja

Dizajn korisničkog sučelja ključan je za osiguranje pozitivnog korisničkog iskustva. Aspekti dizajna su intuitivnost i jednostavnost. Sučelje treba biti jednostavno za korištenje, čak i za korisnike bez tehničkog znanja. Svi važni elementi i kontrole trebaju biti lako dostupni. Izgled početnog sučelja je prikazan na sljedećoj slici:

Slika 3.6 Početni prikaz korisničkog sučelja

3.3.2. Funkcionalnosti sučelja

U sučelju aplikacije "Digitalni dirigent", korisnici imaju na raspolaganju nekoliko ključnih funkcionalnosti koje olakšavaju kontrolu glazbenog procesa:

- Pokretanje i zaustavljanje melodije: Korisnici mogu upravljati reprodukcijom melodije pomoću gumba "Start" za početak i "Stop" za zaustavljanje glazbe. Ova funkcionalnost omogućuje intuitivno upravljanje tijekom izvedbe.
- Odabir kanala: Na sučelju se prikazuje informacija o trenutno odabranom kanalu, što je posebno važno za višekanalne postavke. Korisnici mogu odabrati određeni kanal ili opciju "All" koja označava da su aktivirani svi dostupni kanali.
- Mapiranje efekata na osi: Svaka os na senzoru (yaw, pitch) može biti mapirana na određeni efekt. Sučelje omogućuje korisnicima da definiraju koji efekt će biti povezan s kojom osi, pružajući personaliziranu kontrolu nad glazbenim izražajem.
- Promjena i prilagođavanje efekata: Korisnici imaju mogućnost mijenjati postavke efekata kroz sučelje. To uključuje podešavanje parametara efekata kao što su modulacija, reverberacija ili filtriranje zvuka, omogućujući im da prilagode zvuk prema svojim estetskim preferencijama i izričaju.

Ove funkcionalnosti zajedno čine sučelje "Digitalnog dirigenta" moćnim alatom za interaktivnu glazbenu produkciju. Omogućuju korisnicima da ne samo što dirigiraju melodiju pokretima ruku, već i da aktivno oblikuju i transformiraju zvukove u realnom vremenu, unoseći osobnost i kreativnost u glazbene izvedbe, a da pritom dobivaju povratne informacije vizualno kroz sučelje (Slika 3.7).

Slika 3.7 Prikaz korisničkog sučelja nakon sitnih promjena

4. Oblik zvuka

4.1. Uvod u oblikovanje zvuka

Oblikovanje zvuka je proces kreiranja i prilagodbe zvučnih valova kako bi se postigao željeni zvučni efekt. U kontekstu "Digitalnog dirigenta", oblikovanje zvuka igra ključnu ulogu jer omogućuje korisnicima da manipuliraju zvukom u stvarnom vremenu koristeći pokrete ruku. Oblikovanje zvuka može uključivati razne aspekte kao što su ton, glasnoća, trajanje i razni efekti (npr. reverb, delay).

4.2. Sintesajzer i oblikovanje zvuka

Sintesajzer je uređaj ili softver koji generira elektroničke zvukove i može simulirati razne instrumente. U ovom projektu, sintesajzer se koristi za interpretaciju MIDI datoteka i stvaranje zvuka na temelju tih podataka. MIDI datoteke sadrže niz naredbi koje specificiraju koje note treba svirati, s kojom dinamikom, trajanjem i drugim parametrima [5].

4.2.1. Surge XT

Surge XT je popularan softverski sintesajzer koji se koristi za testiranje u ovom projektu. On nudi širok raspon zvučnih mogućnosti i fleksibilnosti, što ga čini idealnim alatom za eksperimentiranje s različitim zvučnim efektima. Surge XT omogućuje korisnicima da definiraju kako će određena MIDI naredba zvučati, koristeći razne parametre i modulacijske mogućnosti [7].

4.2.2. Kako sintesajzer određuje zvuk MIDI naredbi

Kada MIDI datoteka šalje naredbu sintesajzeru, nekoliko koraka se odvija kako bi se ta naredba pretvorila u zvuk:

Interpretacija MIDI poruke: MIDI poruka može sadržavati informacije o notama (note on, note off), kontrolnim promjenama (npr. modulacija, pitch bend), promjenama programa (promjena instrumenta) i drugim parametrima. Surge XT prima ove poruke i određuje koji zvučni parametri trebaju biti aktivirani:

- Odabir oscilatora: Oscilatori su osnovni gradivni blokovi zvuka u sintesajzerima. Surge XT koristi različite vrste oscilatora (npr. sinusni, pilasti, kvadratni) koji generiraju osnovni zvučni val. Ovisno o MIDI poruci, sintesajzer odabire odgovarajući oscilator i frekvenciju.
- Oblikovanje valnog oblika: Valni oblik oscilatora može se dodatno oblikovati pomoću filtara i modulacijskih izvora. Surge XT omogućuje primjenu različitih filtara (npr. niskopropusni, visokopropusni) i modulacijskih tehnika (npr. LFO, envelope) za postizanje željenog zvuka.
- Primjena efekata: Surge XT nudi širok spektar ugrađenih efekata kao što su reverb, delay, chorus i distortion. Ovi efekti se mogu primijeniti na zvuk kako bi se postigli različiti zvučni karakteri. Efekti se mogu mijenjati u stvarnom vremenu, što omogućuje dinamično oblikovanje zvuka.
- Kontrola dinamičkih parametara: MIDI poruke također mogu sadržavati informacije o dinamici kao što su velocity (brzina pritiska tipke) i aftertouch (pritisak nakon pritiska tipke). Surge XT koristi ove informacije za prilagodbu glasnoće, jačine efekata i drugih dinamičkih parametara zvuka.

4.2.3. Primjena Surge XT u projektu "Digitalni dirigent"

Surge XT je moćan softverski sintesajzer koji nudi širok raspon zvučnih mogućnosti i efekata. U projektu "Digitalni dirigent", Surge XT se koristi kao glavni sintesajzer za obradu i generiranje zvukova prema naredbama koje dolaze iz MIDI protokola.

Integracija Surge XT sa sustavom

WPF aplikacija šalje MIDI podatke koje primaju senzori spojeni na mikrokontroler. Ove MIDI podatke Surge XT interpretira i pretvara u zvuk. MIDI CC (Control Change) poruke igraju ključnu ulogu u ovoj integraciji jer omogućuju dinamičku kontrolu nad različitim parametrima sintesajzera u stvarnom vremenu.

Korištenje MIDI CC za primjenu efekata

MIDI CC poruke omogućuju preciznu kontrolu nad parametrima zvuka u Surge XT. U projektu "Digitalni dirigent", ove poruke koriste se za dodavanje i prilagođavanje različitih efekata na zvukove koji se generiraju [8]. Na primjer, korisnik može manipulirati parametrima poput filtera, reverberacije, modulacije i drugih efekata jednostavnim pokretima ruku.

WPF aplikacija presreće MIDI događaje i šalje MIDI CC poruke koje definiraju specifične promjene u zvuku.

Konfiguracija i prilagodba efekata

Kroz korisničko sučelje WPF aplikacije, korisnici mogu odabrati koji efekt će biti pridružen kojoj osi senzora. Na taj način, svaki pokret ruke može direktno utjecati na određeni aspekt zvuka. Ova konfiguracija omogućuje izvođačima da personaliziraju svoje zvučne performanse, stvarajući jedinstvene i kompleksne zvučne teksture.

Zaključak

U ovom diplomskom radu istražena je i razvijena inovativna aplikacija nazvana "Digitalni dirigent", koja omogućuje interaktivno upravljanje zvučnim signalima putem pokreta ruku. Glavna svrha ovog projekta je omogućiti korisnicima da preuzmu ulogu dirigenta i da na intuitivan način prilagođavaju i manipuliraju zvukom u stvarnom vremenu. Korištenjem modernih tehnologija, kao što su Wemos D1 mini mikrokontroler, žiroskop i akcelerometar MPU6050 te WiFi komunikacija, uspješno je implementiran sustav koji integrira hardverske i softverske komponente za dinamičko upravljanje zvukom.

Razvoj ovog sustava uključivao je niz ključnih koraka, uključujući povezivanje i kalibraciju hardverskih komponenti, razvoj algoritama za obradu senzorskih podataka, uspostavljanje pouzdane komunikacije između mikrokontrolera i računala te implementaciju intuitivnog korisničkog sučelja koristeći WPF aplikaciju. Poseban naglasak stavljen je na oblikovanje zvuka putem Surge XT sintesajzera, koji omogućuje bogate mogućnosti za prilagodbu zvučnih efekata i kreiranje kompleksnih glazbenih izvedbi.

"Digitalni dirigent" predstavlja značajan doprinos u području interaktivnih glazbenih sustava, demonstrirajući kako se moderni senzorski uređaji i mikrokontroleri mogu koristiti za inovativno upravljanje zvukom. Ovaj projekt može poslužiti kao temelj za daljnje istraživanje i razvoj u području interaktivne glazbe, pružajući korisnicima nove alate za kreativnu ekspresiju i manipulaciju zvukom.

Konačno, ovaj rad ističe važnost interdisciplinarnog pristupa u razvoju novih tehnologija, kombinirajući znanja iz područja elektronike, programiranja i glazbe kako bi se stvorilo jedinstveno i korisno rješenje koje može obogatiti iskustvo stvaranja glazbe i proširiti granice onoga što je moguće u digitalnom glazbenom okruženju.

Literatura

[1] Byron, J., *MIDI Tutorial*, SparkFun, 2018. Poveznica: https://learn.sparkfun.com/tutorials/midi-tutorial/all; pristupljeno 13. lipnja 2024.

[2] Rothwell, N., *Ableton Live 11 – Music production software*, Sound on sound, 2021. Poveznica: https://www.soundonsound.com/reviews/ableton-live-11; pristupljeno 12. lipnja 2024.

[3] The News Team, *The Awesome Instrument You've Never Heard Of: Reactable*, Dance Music Northwest, 2015. Poveznica: https://www.dancemusicnw.com/awesome-instrument-youve-never-heard-reactable/; pristupljeno 12. lipnja 2024.

[4] Said-Moorhouse, L., *Imogen Heap's sci-fi gloves make anyone a musician*, CNN, 2015. Poveznica: https://edition.cnn.com/2015/01/12/technology/imogen-heap-mimu-music-gloves-blk/index.html; pristupljeno 12. lipnja 2024.

[5] Dunwell, J., *Difference Between MIDI Controllers & Digital Synthesizers*, Music Giants, 2022. Poveznica: https://www.musicgiants.com/midi-vs-synthesizers/; pristupljeno 13. lipnja 2024.

[6] Admin, *IMPROVING ACCURACY OF MPU6050 DATA USING A COMPLIMENTARY FILTER,* TopTechBoy, 2023. Poveznica: https://toptechboy.com/improving-accuracy-of-mpu6050-data-using-a-complimentary-filter/; pristupljeno 13. lipnja 2024.

[7] Steve, „OSC", *Fantastic (free) synths and how to use them: Surge XT*, Music Radar, 2022. Poveznica: https://www.musicradar.com/how-to/fantastic-free-synths-surge-xt; pristupljeno 15. lipnja 2024.

[8] Fisher, D., *What Is MIDI CC?*, Sweet Water, 2022. Poveznica: https://www.sweetwater.com/insync/what-is-midi-cc/; pristupljeno 15. lipnja 2024.

[9] Joseph, J., *How Does the MPU6050 Accelerometer & Gyroscope Sensor Work and Interfacing It With Arduino*, Circuit Digest, 2022. Poveznica: https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/interfacing-mpu6050-module-with-arduino; pristupljeno 15. lipnja 2024.

[10] Innovative Tom, *Wemos ESP8266 Getting Started Guide With Arduino IDE*, Instructables, 2017. Poveznica: https://www.instructables.com/Wemos-ESP8266-Getting-Started-Guide-Wemos-101/; pristupljeno 16. lipnja 2024.

Sažetak

Digitalni dirigent: Interaktivno upravljanje zvučnim signalima pokretima ruku

Ovaj rad istražuje i implementira sustav "Digitalni dirigent" koji omogućuje korisnicima da interaktivno upravljaju zvučnim signalima putem pokreta ruku. Sustav se temelji na Wemos D1 mini mikrokontroleru i senzorima poput MPU6050 za praćenje pokreta. Kroz integraciju s WPF aplikacijom i Surge XT sintesajzerom, korisnicima se pruža mogućnost dinamičnog oblikovanja zvuka u stvarnom vremenu. Ovaj rad ističe važnost interdisciplinarnog pristupa u razvoju digitalne glazbene tehnologije i otvara nova područja istraživanja u interaktivnim glazbenim sustavima.

Ključne riječi: digitalni dirigent, interaktivno upravljanje zvukom, pokreti ruku, Wemos D1 mini, MPU6050, Surge XT

Summary

Digital Conductor: Interactive Control of Sound Signals through Hand Movements

This paper explores and implements the "Digital Conductor" system, enabling users to interactively control sound signals through hand movements. The system is based on the Wemos D1 mini microcontroller and sensors such as the MPU6050 for motion tracking. Through integration with a WPF application and the Surge XT synthesizer, users are provided with the capability to dynamically shape sound in real-time. This study highlights the importance of an interdisciplinary approach in the development of digital music technology and opens new avenues for research in interactive music systems.

Keywords: digital conductor, interactive sound control, hand movements, Wemos D1 mini, MPU6050, Surge XT