

LIETUVOS MUZIKOS IR TEATRO AKADEMIJA
MUZIKOS FAKULTETAS
KOMPOZICIJOS KATEDRA

Deividas Vytautas Gikis

**MIDI VALDOMA ELEKTROMAGNETŲ SISTEMA
KAIP PERKUSINIS INSTRUMENTAS**

Studijų programa: kompozicija (skaitmeninės technologijos)

Magistro darbas

Darbo autorius:

Deividas V. Gikis

Darbo vadovas:

lekt. dr. Mykolas Natalevičius

Vilnius, 2021

TURINYS

Darbo autorius:	Deividas V. Gikis.....	1
Darbo vadovas:	lekt. dr. Mykolas Natalevičius.....	1
1. ELEKTROMAGNETAI KAIP MUZIKINIS INSTRUMENTAS		5
1.1. Elektromagnetai – kas tai, jų pritaikymo būdai		5
1.2. Elektromagnetų reikšmė muzikos atlikimo kultūroje		6
1.2.1 Fortepijoniniai robotai		6
1.2.2. Perkusiniai Robotai.....		8
1.2.3. Styginiai robotai		9
1.2.4. Vėjo instrumentai.....		10
1.3. Solenoidų ir servo motorų valdymas		10
1.4. Savadarbiai robotai kaip multi-instrumentas		12
1.5. Elektromagnetų ateities perspektyvos muzikos pasaulyje		13
2. MUZIKINIO ROBOTO KŪRIMAS.....		14
2.1. Midi valdoma elektromagnetų sistema		14
2.1.1. Techninė įranga.....		15
2.1.2. Programinė įranga		21
2.1.3. Reikalingas muzikos instrumentas		25
2.1.4. Elektromechanika		27
2.2. Tikimybės ir muzikos kompozicija.....		31
2.3. Praktinio darbo rezultatai.....		36
IŠVADOS.....		38

IVADAS

Temos aktualumas. Šiame magistro darbe analizuojami robotiniai instrumentai ir nagrinėjamas elektromagnetų panaudojimas šiuolaikinėje muzikoje. Tyrinėjami įvairūs solenoidų ir servomotorų panaudojimo ir pritaikymo būdai ritmo mašinų (angl. *drum machines*), perkusijos, klasikinių instrumentų ir realiu laiku atliekamos muzikos srityje, tam, kad kompozitoriai, atlikėjai, studentai, moksleiviai galėtų susipažinti su elektromagnetinės kūrybos sistema, ją pritaikyti ir panaudoti savo pasirodymuose ir kūryboje. Taip pat aptariama gamybos motyvacija, įgūdžiai kurių reikia norint sukurti tokią sistemą.

Tyrimo objektas – robotiniai mechanizmai pagaminti naudojant elektromagnetus, jų pritaikymas muzikai kurti, remiantis Gerhardo Trimpino ir Kolos Nikoladze eksperimentais, Ajay Kapur, Kurto W. Coble'o automatinių muzikos androidų tyrinėjimais.

Tyrimo tikslas – įsigilinti į naujus muzikos komponavimo procesus, išanalizuoti jau esamus elektromagnetinius robotus-muzikantus ir išsiaiškinti kaip sukurti mechatroninį perkusinį aparatą.

Šiam tikslui pasiekti buvo iškelti tokie **uždaviniai**:

- 1) Paašškinti kas yra elektromagnetas, jo pritaikymas pramonėje.
- 2) Aptarti solenoidų ir servomotorų reikšmę šiuolaikinėje muzikos kultūroje ir apibendrinti jų panaudojimo ir valdymo būdus muzikoje.
- 3) Pristatyti muzikinius robotus, pateikti keletą skirtingų pavyzdžių, kokie ir kaip buvo sukurti muzikiniai androidai.
- 4) Išanalizuoti ir surinkti žinias, kurių reikia kuriant robotinį multi-instrumentą.
- 5) Sukurti elektromagnetinį androidą naudojant solenoidus bei servomotorus, kuris galėtų atlikti sudėtingas ritmines ir melodines kompozicijas.

Tyrimui atlikti buvo taikomi šie **metodai**: mokslinės literatūros analizė, lyginamoji analizė, atvejo analizė, dokumentinės video medžiagos analizė.

Literatūra ir šaltiniai

Rašant darbą daugiausia buvo naudojama mokslinė literatūra, įvairūs internete patalpinti moksliniai straipsniai ir „pasidaryk pats“ veiklos aprašai. Internetiniai vaizdo įrašai, socialinių tinklų forumai.

Mokslinei informacijai surinkti remtasi Gerhardo Trimpino kūryba ir portfolio, straipsniais tokiais kaip *Soundsculptures: Five examples*. Apžvelgiama muzikos robotų kūrimo istoriją, naudojantis Ajay Kapuro pateikta informacija *Hystory of Robotic Musical Instruments*. Apžvelgiama Nikolajaus Baginskio sukurta trijų robotų grupė, remiamasi Atsuo Takanišio ir jo kolegų antropomorfinio roboto kūrimo tyrinėjimais.

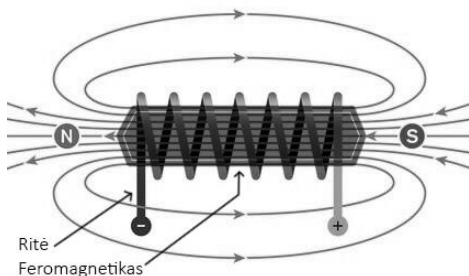
Praktinį darbą padedantys įgyvendinti empiriniai eksperimentai ir tyrimai: Kokos Nikoladzės elektromagnetinių būgnų mašinų kūryba, vokiečių komandos *Dada Machines* sukurtas solenoidais varomas perkusinis robotas, Džeisono Bauerio midi solenoidų praktinis darbas su paaiškinimais.

Darbo struktūra: įvadas, 2 skyriai, išvados, literatūros sąrašas, priedai.

1. ELEKTROMAGNETAI KAIP MUZIKINIS INSTRUMENTAS

1.1. Elektromagnetai – kas tai, jų pritaikymo būdai

Tikriausiai viena iš nuostabiausių, bet tuo pačiu metu paprasčiausių fizikinės reakcijos dėsnių yra magnetizmas. Net daugiau nei prieš tris tūkstančius metų daugelis senovės Graikijos ir Kinijos mokslininkų žinojo apie neįprastas „magnetinių akmenų“ savybes. Šiais laikais apie „magnetinių akmenų“ savybes žino kone kiekvienas paprastas žmogus, o jų panaudojimo būdai yra pritaikomi tiek pramonėje tiek medicinoje ir svyruoja nuo vandens srovės automatinių reguliavimo sklendžių iki robotų, virtuosiškai grojančių smuiku. Prietaisas, kurį vadiname elektromagnetu, buvo sukurtas XIX a., *William Sturgeon* rankomis. Pirmasis toks magnetas dienos šviesą išvydo 1825 m. [1]. Iš esmės, tai cilindro formos geležies gabalas, aplink kurį yra apvyniota stora izoliuota vario viela. Tuo metu, kai per geležį leidžiama elektros srovė, metalinis strypas įgyja magneto savybes. Kai srovę nutrauki, prietaisas nedelsiant praranda magnetizmą. Būtent tai, jog magnetą galima aktyvuoti ir deaktyvuoti leidžia jį naudoti daugelyje technologijų ir pramonės sričių. Vienas populiariausių pavyzdžių – sąvartyne esanti magnetinė plokštė, kuri atlieka geležies perkėlimo funkciją. Šiuolaikiniuose elektromagnetuose yra naudojama ritė (varinis laidas) bei feromagnetikas (geležis), apie kurį vyniojami ritės laidai. Veikimo principas iš esmės nepasikeitė, nutraukus srovę – prietaisas praranda magneto savybes. Toks elektromagnetas, kurį galima valdyti elektros srove vadinamas solenoidu (žr. pav.1). Šiuo elektromagnetinių principu taip pat yra sukurti ir kitokie valdikliai, vienas iš jų, mums aktualus, servomotoras, kuris veikia panašiu principu, tačiau užuot stumdęs elektromagnetą pirmyn arba atgal, jis priverčia jį sukis vietoje.



(Pav. 1) Elektromagnetas – solenoidas



(Pav. 2) Solenoido veikimo principas

1.2. Elektromagnetų reikšmė muzikos atlikimo kultūroje

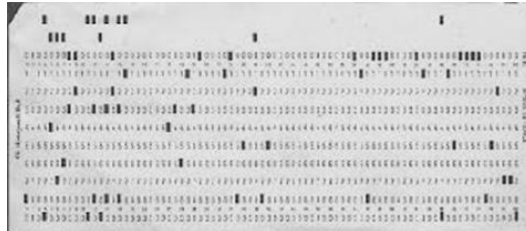
Nuo tų laikų, kai mūsų protėviai atrado, jog daužant lazda į bet kokį paviršių galima išgauti įdomų garsą įvyko daug atradimų. Žmonija investavo daug lėšų naujų kūrybinių žingsnių pramonėje ir kultūroje. Tobulėjant technologijos pramonei, evoliucionavo ir muzika, o su ja nuolat vykę įvairiausi eksperimentai atvedė mus į XXI amžių. Visuomenėje juntamas didžiulis mokslo ir meno sinergijos proveržis kultūros ir kitose srityse. Vis daugiau kalbama apie žmonių ir robotų neišvengiamą susijungimą ir susidūrimą. Priešasčių kodėl tai gerai ar blogai yra daug ir jos dažnai siejasi su sociologiniais ir filosofiniais aspektais, todėl toliau bus analizuojami technologinių robotikos bei muzikos ryšių aspektai. Elektra, mechanika ir muzika vis daugiau turi bendro dėka smalsuolių ir inovatorių, tokių kaip *Gerhard Trimpin* [2]. Žymus skulptorius ir muzikos meno kūrėjas interviu pasakojo istoriją, kaip jis būdamas penkerių metų pradėjo mokytis groti trimitu ir per daugelį metų jam išsivystė lupų alergija, dėl kurios jis nebegalėjo groti savo instrumentu. Tada Trimpiną nusprendė imtis klarneto, tačiau pastangos buvo nerezultatyvios – lupų alergija progresavo ir pasiekė liežuvį. Išeitį jis surado instrumento sukūrimu, kuris galėtų groti be žmogaus įsikišimo. Štai čia ir pasitarnavo įvairūs elektromechaniniai prietaisai.

Kitas atlikėjas naudojantis elektromagnetizmą mašinų kūrime, pseudonimu pasivadinęs *Jbot* kalbėjo apie tai, jog sukurdamas savo robotų grupę jis nebeturi jaudintis dėl savo kolegų nepastovumo. Anot jo, robotinėms sistemoms negresia depresija, nekamuoja pyktis ir neužpuola impulsyvios emocijos [4]. Taigi, galima manyti, jog elektromagnetų atsiradimas yra savotiškas išsigelbėjimas tiems, kurie dėl įvairių socialinių ir fizinių priežasčių neturi galimybės, laiko ir intelektinių resursų dirbti su instrumentu. Naudojant elektromagnetus ir neturint grojimo įgūdžių, užtenka pasitelkti mikro-valdiklius, įsigyti keletą elektromagnetų, sukurti dizaino sprendimą ir sujungus stebėti kaip robotinis virtuozas atlieka sudėtingiausias kūrinius. Elektromagnetai ir kiti elektros valdikliai keičia gyvo atlikimo principus ir tarsi leidžia žmogui atkurti sudėtingus kūrinius be ypatingų įgūdžių ir pastangų.

1.2.1 Fortepijoniniai robotai

Kad galėtume kalbėti apie galimus elektromagnetų panaudojimo būdus muzikoje, reikia pažvelgti į istorinius pavyzdžius. Pianola yra vienas iš pirmųjų mechanškai automatizuotų muzikinių instrumentų. Atlikėjas išspaudžia kompoziciją popieriuje ir tada mechanizmas

automatiškai pritaiko plaktukų smūgius prie informacijos popieriuje taip išgaudamas akordus, melodiją ir harmoniją. Prancūzų išradėjas Žanas Baptistas Fourneaux 1863 m. sukūrė pirmąjį tokį grojantį mechanizmą, kurį pavadino „Pianista“ . 1897 metais, Vokiečių išradėjas Edwino Welte pristatė fortepijoną , kuris veikė naudodamas Jacquardo Millso verpimo staklių technologiją, kurios veikė perfokortų¹ [4] pagalba.



(Pav. 3) Perfokorta

Tik vėliau, 1905 metais, rankomis kuriamos perfokortos buvo patobulintos Leipzige gyvenančio kompozitoriaus Ludwigo Hypfeldo. Jis sugebėjo užregistruoti atlikėjo ekspresyvumo dinamiką ir tempo pokytį, kas padarė mechaninę fortepijono automatiką šiek tiek dinamiškesnę. Vėlesni jo darbai pareikalavo elektrinės pompos, kuri buvo sutalpinta į fortepijono vidų, kas pavertė fortepijoną panašesnę į milžiniška muzikinę dėžę.[1]

1886 metais vokiečių Richardas Eisenmannas pabandė pirmą kartą panaudoti elektromagnetą prie fortepijono stygos norėdamas sukurti begalinį garso išlaikymą, kai elektromagnetas dideliu greičiu be perstojo judina stygą. Šis metodas kurį laiką nebuvo populiarus ir tapo gerokai ištobulintas tik 1913 metais (po 37-ių metų). Tai nutiesė kelią į mechaninių pianinų elektroninį valdymą. Vėliau tokios muzikinės informacinės laikmenos kaip perfokortos ir iškniedytų natų ritiniai buvo pakeisti magnetinių juostų ir sudėtingus skaičiavimus atliekančių muzikos atkūrimo ir komponavimo programų.

Nuolatiniai kūrėjų bandymai buvo reikšmingi. Šiandien *MIDI* informacija valdoma robotinį fortepijoną galima nusipirkti internetu arba bet kurioje didesnėje muzikos instrumentų parduotuvėje.

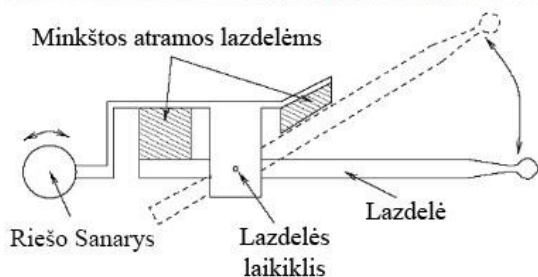
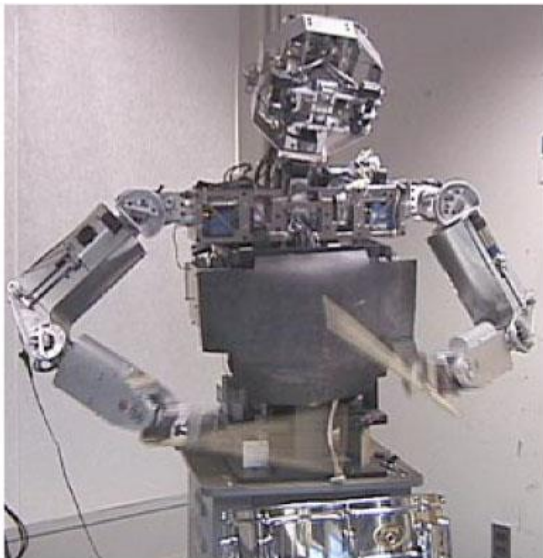
¹ Perfokorta - dažniausiai stačiakampio formos ir iš standaus popieriaus (kartono) pagaminta duomenų laikmena, naudojama automatizuotose duomenų apdorojimo sistemose. Informacijoje joje užrašoma išmušant skylutes tam tikrose perfokortos vietose.

1.2.2. Perkusiniai Robotai

Įvairiais elektromagnetais valdomi perkusiniai robotai gali būti suskirstyti į tris rūšis:

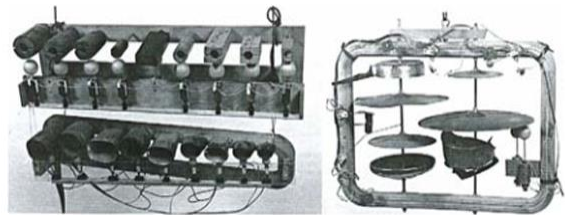
1. Membranofonai - būgnai, kurie turi membraną. Ją galima mušti lazdelėmis arba rankomis.
2. Idiofonai.
3. Papildomi išplėstiniai androidai (netelpa nei į 1 ar 2 kategoriją).

Membranofonai. Vienas iš būdų kaip galima sukurti perkusinį robotą yra solenoidai ir servomotorai. Tereikia aktyvuoti motorus, kad šie daužytų lazdelę į būgno membraną. Harvardo universiteto tyrėjai sukūrė sistemą, kuri leidžia robotui atlikti staigius būgnų smūgius naudojant pneumatinius aktuatorius (elektromagnetus). Sukurtas robotas galėjo pasiekti 40-160 milisekundžių intervalą tarp smūgių. Tai greitis, prilygstantis geriausių būgnininkų didžiausiam atlikimo greičiui (žr. Pav. 4) [3]. Žinoma, be šio roboto buvo daugybė panašių projektų, tokių kaip Dr. Mitsua Kawato mėginimai sukurti realistiškai būgnais grojantį robotą arba Chiko MacMurtie sukomponuotas androidas turintis silikonines rankas [3].



(Pav. 4) „Cog“ Robotas groja būgnais

Idiofonai. Tradiciškai idiofonais yra laikomi marimba, ksilofonas, varpeliai, gongai ir panašūs instrumentai. [3]. Tačiau anksčiau minėtas Gerhardas Trimpinas 1970 m. sukūrė pirmąjį automatinės mechanikos perkusinį instrumentą. Prietaisas grojo solenoidų pagalba ir įdomiausia kūrinio dalis buvo tai, jog sukurta elektros grandinės sistema leido reguliuoti kokių intensyvumu lazdelės trenks į skambančius objektus.

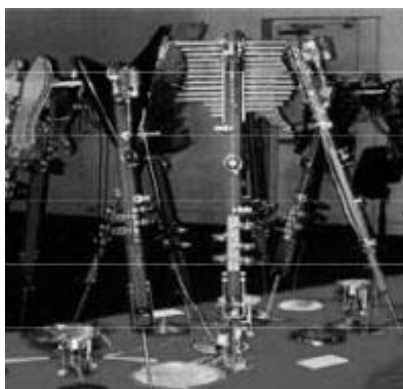


(Pav. 5) Trimpin'o robotiniai idiofonai.

Išplėstiniai androidai. Ši muzikinių robotų rūšis nepakliūna nei į membranofoninių, nei į idiofoninių rūši. Paprastai jie naudojami įvairioms muzikinio meno formoms išreikšti. Vienas iš pavyzdžių tai Trimpino „Ringo“ solenoidinių stūmoklių sistema, kuri galėjo trankytis į 120 skirtingų instrumentų tokių kaip ksilofono plokštelės, cilindrai, mediniai cilindrai ir daugybė kitokių iš pažiūros paprastų formų. Gordonas Monahanas taip pat turėjo panašių idėjų, norėdamas sukurti elektroninį orkestrą iš įvairių skambančių šiukšlių, kurią pavadino „Multiple Machine Matrix“ (liet. daugialypė mašinų matrica). Tik vėliau ją šiek tiek sumažino ir pavadino „Silicon Lagoon“ (liet.k silikoninė lagūna) [3].

1.2.3. Styginiai robotai

1990 m. Trimpinas sukūrė 12 robotų, panašių į gitaras seriją. Kiekviena gitara turėjo motorinį mechanizmą, kuris solenoidų pagalba, virpino stygas, o kita magnetų grupė galėjo aktyvuoti iki 4 natų (žr. pav. 6 (a)). O štai N.A. Baginskis leido sau sukurti *gitarą-slider'į* (žr. pav. 6 (b)). Kuri, tų pačių elektromagnetų pagalba, galėjo užspausti visas stygas tarsi vienu pirštu ir slankioti per visą (kairės rankos) stygų išklotinę .



(Pav. 6) (a) Trimpino gitarų pavyzdžiai

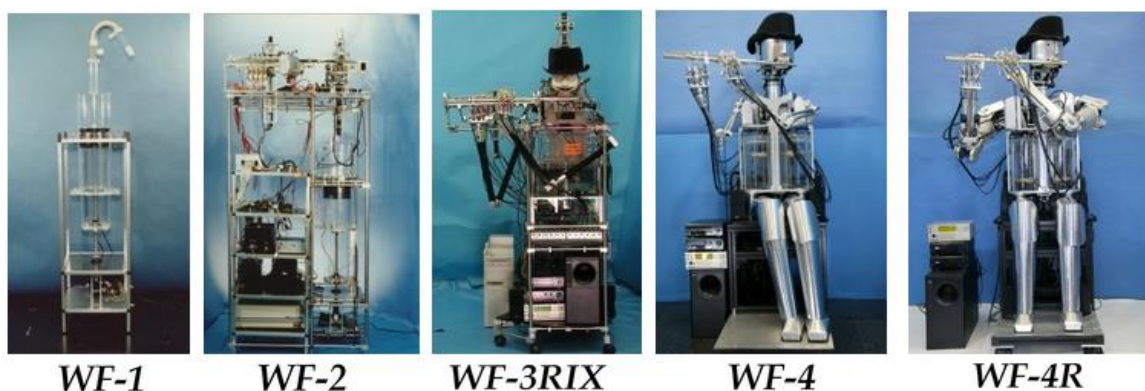
(b) Baginskio slider'is.

1997 m. Sergis Jordas Afasia sukūrė 72 pirštų kairės gitaros rankos sistemą, kuri turėjo po 12 elektromagnetinių plaktukų kiekvienai gitaros stygai. Taip pat „GTRBot“ projektas sukurtas kompanijos „Captured by Robots“ leido androidui groti gitara ir bosu vienu metu. [6]

Tačiau didžiausias styginių mechaninių muzikinių boto sukūrimo titulas vis tiek lieka Trimpinui. Šio inovatoriaus projektas apima 500 robotinių gitarų ir yra patalpintas Muzikos projektų muziejuje, Seattle [3].

1.2.4. Vėjo instrumentai

Tokijo Waseda universiteto inovatorių komanda, skyrė daugiau nei dešimtmetį antropomorfinio roboto kūrimui ir tobulinimui. Nuo 1990 metų vystyta mechanitroninė sistema, kurios seriją jie pavadino WF, daugiau nei per dešimtmetį įgavo žmogus formą primenantį pavidalą. Robotas fleita galėjo atlikti pačius sudėtingiausius kompozicinius kūrinius. O komandos siekis - atkurti žmogiškumo jausmą turintį robotą, kuris savo dydžiu, forma būtų panašus į tikrą, gyvą atlikėją [7].



(Pav. 7) WF roboto evoliucija.

Aptartos skirtingų robotinių instrumentų grupės daugiausiai buvo kontroliuojamos elektromagnetais (solenoidais), vadinasi tai viena populiariausių ir prieinamiausių formų kaip galima sukurti šiuolaikišką robotinį instrumentą.

1.3. Solenoidų ir servo motorų valdymas

Netrukus po sėkmingos kompiuterių integracijos į mūsų kasdienybę, greta atsirado ir mikro kompiuteriai. Įvairūs mikrovaldikliai arba mikrokompiuteriai, tokie kaip *Arduino*², leidžia pasitelkus programavimo kodą valdyti elektronines sistemas, pvz. solenoidų kontroliuojamą mechanizmą. Sujungus teisingai grandinę, galima užprogramuoti mikrovaldiklį, kad šis judintų elektromagnetą 5-15 Hz dažniu, priklausomai nuo elektromagneto pagaminimo kokybės ir savybių. Kai srovė pasiekia elektromagnetą, užtenka 20-30 ms, kad šis sureaguotų į signalą.

² Arduino – kompanijos ir mikro-valdiklio pavadinimas, kuris programinio kodo dėka, gali kontroliuoti įvairius elektroninius įtaisus.

Nors elektromagnetai pradėti naudoti dar XIX a., reikėjo dar apie šimto metų, kad jų potencialas ir valdymo principas išsiskleistų ir taptų patogus ir prieinamas kiekvienam. Dabar esant mikrovaldikliams, šiuos solenoidus galima pritaikyti praktiškai bet kokiam muzikos instrumentui. Atlikėjai gali sukurti niekada neklystantį akustinį būgnininką ar gitaristą. Kompozitoriai gali laisvai eksperimentuoti ir kurti gyvas kompozicijas nemokėdami groti nei vienu realiu instrumentu. Elektromagnetų pagalba buvo sukurta daugybė įdomių garsinių instaliacijų. 2014 m. Berlyne pasirodė pirmasis, portabilus elektromagnetų kūrimo rinkinys „Dada Machines“³, kuris leidžia vartotojui bet kokius namų apyvokos daiktus paversti perkusiniaisiais instrumentais ir tuo pat metu juos visus valdyti savo telefonu [8]. Video peržiūrų internetinėje svetainėje Youtube⁴ suvedus užklausą „solenoid musical instruments“ (liet.k solenoidiniai muzikos instrumentai) sistema parodo daugiau nei 150 rezultatų. Kiekviename vaizdo įrašė matyti įvairūs bandymai ir būdai kaip galima pritaikyti šiuos elektromagnetus muzikoje ir kaip skirtingai galima juos valdyti. Namų apyvokos daiktai tampa instrumentais, o atlikėjai pasinaudoję tokiomis programomis kaip PureData arba Max/MSP gali perkelti visą solenoidų valdymo sistemos bloką į savo kompiuterį ar net elektrinį pianiną.

Elektromagnetai taip pat plačiai naudojami įvairių garso instaliacijų kūrėjų (tarp jų ir lietuvis S. Nekrošius), kurie nuolat eksperimentuoja su naujais muzikinių robotų išradimais. Įdomus pavyzdys yra Timo Yates „Curio“ [9] instaliacija. Tai 120x120 cm medinė siena ant kurios pritaisyti solenoidai groja įvairiais Timo surinktais daiktais. Geriausia dalis, jog solenoidų ritmą gali valdyti bet kuris žmogus, stovintis priešais instaliaciją. Tereikia pasiimti valdymo pultą ir įvesti norimą ritminę seką. Dar įdomiau tai, jog mikrovaldiklių ir infraraudonųjų spindulių dėka elektromagnetai gali būti valdomi visiškai be jokio telefono ar planšetės, laikant rankose tik mažą sensorių, kurio judėjimo trajektorijai paklūsta visi priešais esantys solenoidais. Atlikėjas judina ranką horizontaliai iš dešinės į kairę – solenoidai staiga groja iš dešinės į kairę. Būtent tokiu valdymo principu sukurta būgnų mašina Dokuz Eylul universitete, Turkijoje [10]. Vadinas dėka tobulėjančių technologijų, pingančios elektronikos pasiūlos, elektromagnetinę muzikos robotų sistemą galima valdyti ne tik lokaliu kompiuteriu, bet ir wi-fi, bluetooth signalais bei infraraudonaisiais spinduliais. Apibendrinant galima teigti, jog solenoidų panaudojimo ir valdymo būdų limitas yra tik mūsų pačių fantazijos ribose.

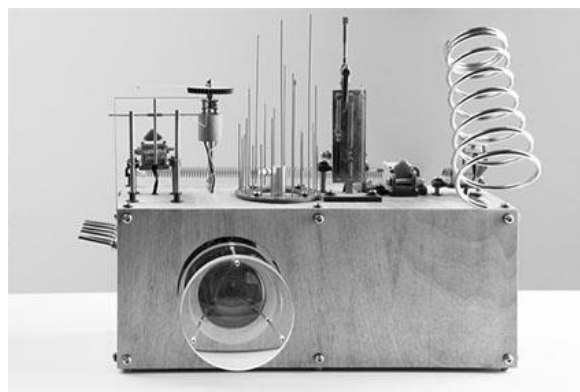
³ Dada Machines – www.dadamachines.com

⁴ Youtube – www.youtube.com

1.4.Savadarbiai robotai kaip multi-instrumentas

Užimta diena, jūs skubate gatve ir esate susikongcentravę ties savo problemomis. Staiga jums dedant žingsnius nuaidi buitinius daiktus primenantys garsai. Jūs sustojate, apsidairote. Muzika sustoja. Svarstote „kas čia vyksta?“. Tada pastebite, jog kurį laiką dėjote žingsnius ant kreida išpiešto fortepijono klavišų. Kiekvienas jūsų žingsnis veikia kaip kibirkštis, kuri, sensorių dėka, nukeliauja į kompiuterį ir įsako elektromagnetams judėti. Pastarieji sugroja kabančiais puodais, keptuvėmis ir skardinėmis. Taigi, jūsų judesiai kuria muziką. Kompozitorius ir garsinių instaliacijų kūrėjas Koka Nikoladze jau ne pirmus metus eksperimentuoja su elektromagnetais galvodamas apie įvairias garso mašinas ir instaliacijas. Šiuo metu po jo vardu puikuoja keliolika unikalių garso mašinų ir kiekviena iš jų yra kaip multi instrumentas, kuris judina skirtingus objektus ir išgauna autentiškus tembrus. Pasak Kokos, elektromagnetus pastiprinus mikrofonais, nedidelė garso dėžutė ar mažyčiai objektai, tokie kaip vaistų piliulė, gali išjudinti pilną žmonių futbolo stadioną. Koka yra sukūręs daugiau kaip 10 skirtingų garso mašinų ir dažniausiai naudoja selenoidus, nes tai patogiu, suprantama ir veiksminga. Elektromagnetai suteikia galimybę paversti bet ką instrumentu, todėl tai tarsi multi-instrumentinis įrankis.

K. Nikoladze būtent apie tai kalbėjo įvairiose konferencijose, tarp jų ir TEDx. Demonstravo robotų ritminius sugebėjimus, vedė paskaitas apie mikrovaldiklių ir elektromagnetų, kaip multi-instrumentų panaudojimą. Auditorija liko sužavėta [11].



(Pav. 8) Koka Nikoladze ritmo mašina nr. 7

Youtube video turinio kūrėjas Semas Batlas, pasivadines „*Look Mum No Computer*“ (liet. k. mama, žiūrėk, aš ne prie kompiuterio) nuolat eksperimentuoja su įvairiomis senomis ir naujomis garso sistemomis, tarp jų ir elektromagnetai [12]. 2017 metais, pasinaudojęs elektromagnetais ir *redbull* energetinio gėrimo skardinėmis jis sukūrė vertikalią muzikinę dėžę, kurios unikaliai skambesiu sunku rasti alternatyvą. Solenoidas veikia kaip mušamoji lazdelė, kuri gali priversti skambėti materialius objektus. Tai inovatyvi mechatroninės kūrybos forma.

1.5. Elektromagnetų ateities perspektyvos muzikos pasaulyje

Yra daugybė krypčių, kuriomis gali pasukti muzikiniai elektromagnetiniai robotai. Programinės įrangos ir mechaninių robotų dizaino progresas jau dabar leidžia elektromagnetiniams robotams pagroti MIDI informacinius aplankus (skaitmenines partitūras) su žymiausių kompozitorių darbais. Jau šiandien galima taikyti mašininio ir giliojo mokymosi technologiją⁵ (*angl. k. Machine learning*), kuri leidžia apdoroti informaciją, iš jos mokytis ir pritaikant tikimybių teoriją - improvizuoti. Ateityje muzikiniai robotai turėtų labiau atsižvelgti į emocinį muzikos atlikimo aspektą, kad sukurtų didesnę ryšį tarp klausytojo ir roboto-atlikėjo.

Belaidės lazerinės valdymo technologijos taip pat paspartina tokių ir panašių instrumentų naudojimą performatyvių menų kategorijoje. Atlikėja ir kompozitorė 2014 metais pristatė sensorines pirštines, kuriomis galima kurti bei kontroliuoti muziką ir jos dinamiką. [13]. Daug dėmesio skiriama sistemoms, kurios leidžia betarpiškai groti bananais, obuoliais ar kitais buities objektais. Solenoidai ir išstobulintos programinės įrangos tarnauja kaip modernūs instrumentai galintys atlikti sudėtingas elektrinės ir akademinės muzikos operacijas. Jau dabar muzikologas, išradėjas Kurt W. Coble savo straipsnyje „Experimental Robot Musicians“ kalba apie galimybę netolimoje ateityje atkurti visą orkestrą, kuriam nereikėtų dirigento ar žmonių [14]. Reikia sutikti, jog tai būtų ganėtinai įspūdingas reginys, tačiau, tikriausiai, ganėtinai triukšmingas dėl kol kas ribojančios mechaninės technologijos. Perspektyvų – daug. Tačiau ar tai taps ypatingai svarbia mūsų muzikos kultūros dalimi? - Kol kas sunku pasakyti.

⁵ Mašininis mokymasis - dirbtinio intelekto metodų klasė, kuriai būdingas ne tiesioginis problemos sprendimas, o mokymasis, kaip pritaikyti daugelio panašių problemų sprendimus.

2. MUZIKINIO ROBOTO KŪRIMAS

2.1. Midi valdoma elektromagnetų sistema

Turėdami daugiau informacijos apie elektromagnetų pritaikymą pramonėje, muzikos ir performatyvių menų pasaulyje galime pabandyti sukurti *MIDI* valdomą elektromagnetinę sistemą. Prieš pradedant šį skyrių svarbu pabrėžti, jog tai yra tik mano inžinerinės ir kompozicinės kelionės dokumentacija. Jeigu norėsite sukurti tokį ar panašų elektromagnetais valdomą instrumentą – teks nemažai sprendimų priimti patiems.

Koncepcija:

Gyvename laikais, kai filmas *Terminatorius* ar Aldus Huxley „Puikus Naujas Pasaulis“ knyga neatrodo tik mokslo fantastikos žanrai. Kadangi vis greičiau žengiame į dirbtinio intelekto amžių, siekiu sukurti sistemą, kuri kažkuria prasme būtų nepriklausoma nuo asmeninių sprendimų ir įpročių bei galėtų generuoti, mano projekto atveju, muziką. Tai tarsi frankenšteinas, kuris veikia „laisva“ valia.

Techninė idėja:

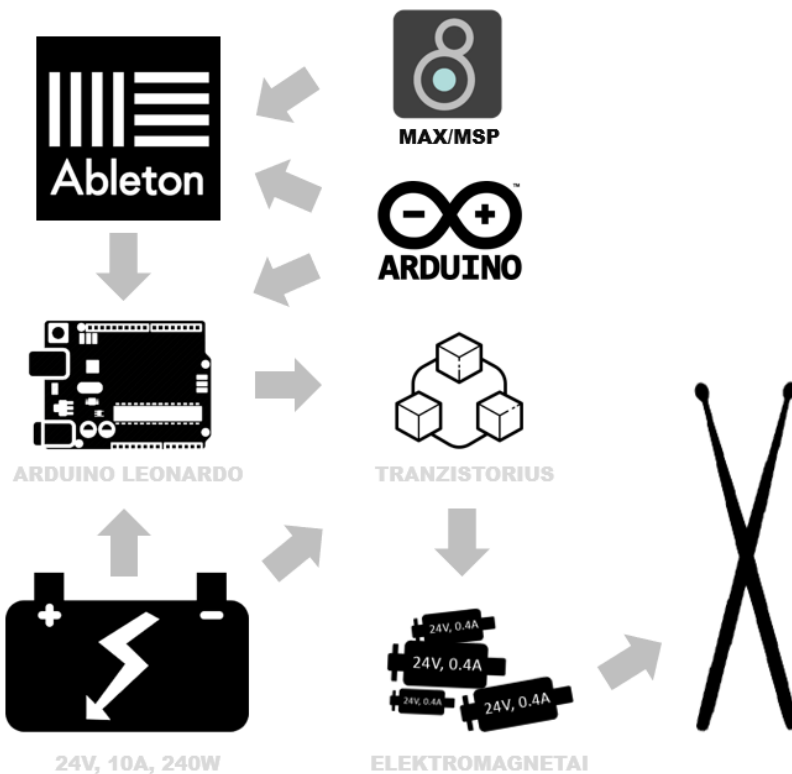
20 solenoidų valdo 20 būgnų lazdelių, kurios groja plieno būgneliais. Natos išdėstytos chromatine tvarka. Iš viso įmanoma išgauti 20 natų. Naudodamas mano sukurtą programinį pasitelkiant Max/MSP programą, būgnų robotas gali kurti generatyvias melodijas. Robotas gali atlikti įvairius MIDI failus 20-ties natų aukštyje (nuo *G3* iki *E5*). MIDI robotu taip pat gali groti bet kuris žmogus, pasinaudojęs prijungta MIDI klaviatūra per Ableton Live⁶ muzikos kūrimo programą.

Kad kūrybinis procesas eitų sklandžiai, privalu susiskirstyti darbus į skirtingus segmentus. Pasirinkau visą darbų eigą išdėstyti, pasitelkiant tris kategorijas. Siekiant įgyvendinti šį projektą reikia užtikrinti instrumento veikimą šiose kategorijose:

1. Techninė įranga (Arduino valdiklis, solenoidai, tranzistoriai, maitinimas ir kt.).
2. Programinė įranga (Arduino programa, MIDI valdymas per Ableton ir MAX/MSP).
3. Mechanika ir instrumentai (Elektromagnetų sistemos pajungimas prie būgnų lazdelių.).

⁶ Ableton Live – skaitmeninė garso kūrimo ir manipuliavimo programa. Funkciškai labiausiai pritaikyta gyvam grojimui ir atlikimui.

Štai kaip atrodo galutinė projekto schema:

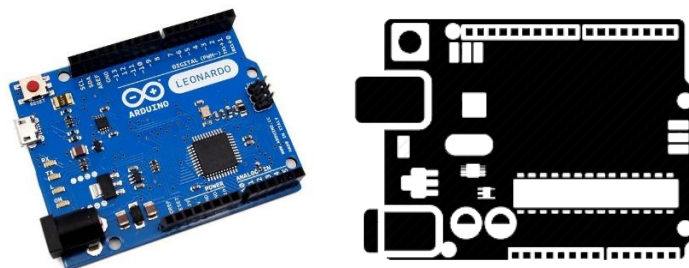


(Pav. 9) Bendroji skaitmeninės ir elektrinės grandinės schema.

2.1.1. Techninė įranga

Pirmiausia reikia pradėti nuo techninės įrangos dalies. Kad galėtume groti *MIDI* natas su solenoidais reikalingas:

- **Arduino mikrovaldiklio.** (Svarbu, kad mikrovaldiklis turėtų USB-A, Micro USB arba USB-C jungtį, todėl rinkdamasis valdiklį turėjau šiuos variantus: *Leonardo*, *Micro*, *Due*, *Zero*. Projektui pasirinktas *Arduino Leonardo*, kuris atrodo štai taip:



(Pav. 10) Arduino Leonardo mikrovaldiklis

- **Solenoidų (elektromagnetų).** Renkantis šiuos elementus svarbu atkreipti dėmesį į jų techninius parametrus. Pirmoje dalyje analizuotuose pavyzdžiuose kūrėjai paprastai naudojo 12V, 500 mA-2000 mA solenoidus, kuriuos būtų galima pavadinti mikrosolenoidais. Kuriant instrumentą tokios galios turėjo užtekti pajudinti medinei būgnų lazdelei, tačiau neužteko. Teko pasirinkti 24V, 400mA 3 kartus didesnius solenoidus nei planuota.



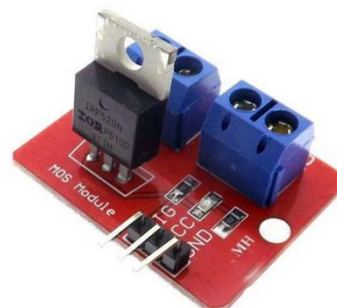
(Pav. 11) 24V,0.4A Solenoidas.

- **Tranzistorių (tik pat kiek ir solenoidų).** Tranzistorius yra fundamentali kompiuterių ir kitų modernių elektroninių prietaisų detalė. Pradėjus dirbti su tranzistoriais gali pasirodyti, jog tai komplikuotas įrenginys, tačiau internete yra prieinama daug įvairios informacijos, kaip pasitelkti šį nesudėtingą puslaidininkinį įtaisą, kuris praleidžia ir nukreipia srovę reikiama linkme. Tranzistorių gali būti įvairių, todėl projekto eigoje reikėjo nuspręsti kuris tipas yra labiau tinkamas. Iš analizuotų pavyzdžių, kituose panašaus pobūdžio projektuose neretai naudojamas šis modulis (žr. pav. 11),



(Pav. 12) Modulio relė, Tranzistorius.

tačiau jis turi vieną minusą – kai ši modulinė relė praleidžia srovę ji skleidžia garsą. Mūsų tikslas – kuo mažiau garso, todėl pasirinkau Mosfet-522 modulį, kuris yra kompaktiškas ir neskleidžia jokio garso (žr. pav. 12). Šis tranzistorius veikia labai paprastai. „Arduino“ mikroprocesorius siunčia jam 5V stiprumo signalą. Kai modulis priima signalą jis atidaro kanalą į kurį ateina maitinimas. Atsidarius šachtai, maitinimas nuteka į solenoidą – solenoidas užsidaro. Vadinasi Arduino siunčia signalus į modulį, kad šis praleistų ateinančią srovę iš maitinimo bloko tiesiai į solenoidą.



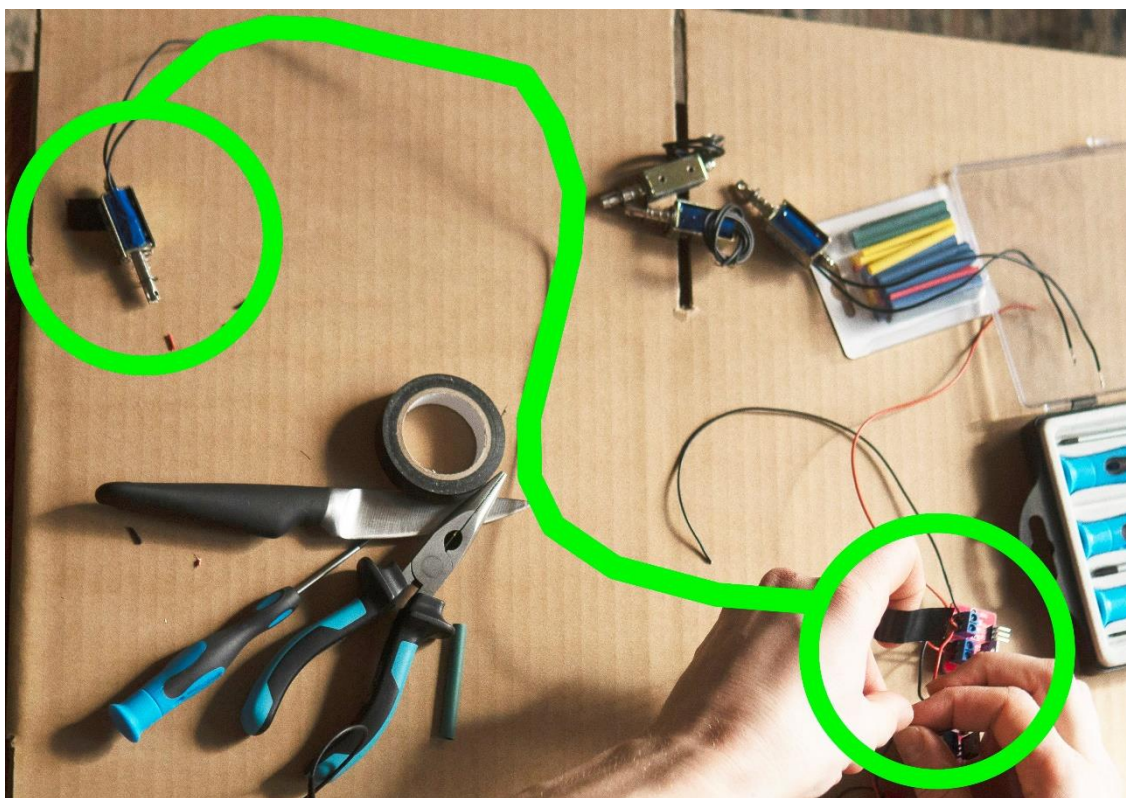
(Pav. 13) Mosfet 522 modulis.

- **Maitinimo šaltinio.** Norint aktyvuoti 20 skirtingų solenoidų, kurie judina 20 būgnų lazdelių reikia nemažai elektros energijos. Kadangi šiame projekte naudoti 24V, 400 mA elektromagnetai, reikėjo 24V maitinimo šaltinio. Vienas solenoidas naudoja 0.4 A srovę, todėl reikėjo nuspręsti kiek solenoidų vienu metu reikės pajudinti. Tarkime, į

programą įsikėlus sudėtingą muzikos kūrinį MIDI informacijos pavidalu, kuriame grojama vienu metu dviem skirtingais septakordais (8 natos), svarbu, kad maitinimo srovė būtų bent $0.4 \times 8 = 3.2 \text{ A}$ stiprumo, kitaip solenoidams neužteks energijos ir kažkuris ar net keli iš jų nesuveiks arba suveiks nepakankamai stipriai.

O jeigu norima, kad sistema sugrotų vienu metu visas 20 natų reikia 8 A ($0.4 \times 20 = 8 \text{ A}$) srovės. Šio projekto atveju pirmiausia pasirinktas 24V, 15A šaltinis, tačiau jis sudegė. Taip atsitiko, todėl kad nepaisiau gamintojo rekomendacijų. Kitas pasirinktas šaltinis 24V, 6 A. Vadinasi vienu metu galima naudoti 15 solenoidų, nes 6 A maksimalus skaičius padalintas iš 0.4 A yra 15. Tai reiškia 15 skirtingų solenoidų gaunančių maksimalią įtampą ir praleidžiančių per save maksimalią jiems reikalingą srovę – 0.4A. Be abejo, vienu metu pagrojus 15 natų galima po 10 ms vėl groti kitas 15 skirtingų natų. Svarbu, kad būtų padaryta bent nedidelė pauzė.

Taip pat reikėtų turėti omenyje, jog kiekviena viršuje išvardinta dalis nėra nepakeičiama. Vietoje solenoidų galima naudoti servomotorus, vietoje MOSFET tranzistorių buvo galima naudoti kitus modulius, o „Arduino“ plokštei yra daugiau nei 10 prieinamų alternatyvų. Kuriant tokį ar panašų projektą alternatyvių įgyvendinimo būdų yra labai daug, tačiau įgyvendinant projektą buvo pasirinktas vienas patogiausių ir mažiau komplikuotų kelių.

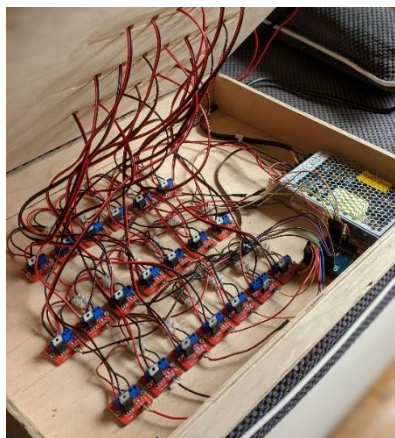


(Pav. 14) Modulio jungtis su solenoidu.

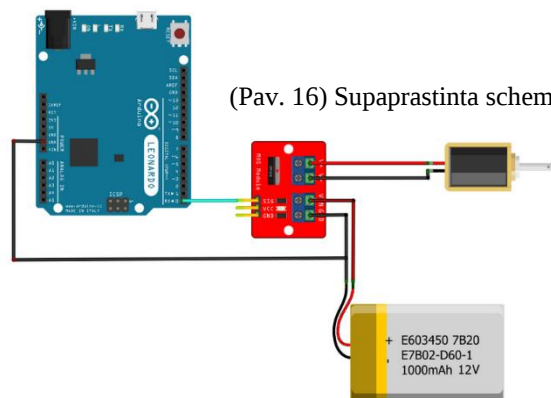
Pirmas žingsnis, turint visus išvardintus elementus yra jų sujungimas į bendrą grandinę. Pirmiausia nuspręsta sujungti Mosfet-522 tranzistorių su elektromagnetais. Mosfet-522 modulis pasirodė labai tinkamas, nes neskleidžia triukšmo, yra kompaktiškas ir jį galima lengvai prisukti prie bet kokios medžio ar plastiko plokštės (žr. pav. 14). Kiekvienas Mosfet-522 modulis gali perleisti 5 A srovę, o štai pasirinktiems solenoidams užtenka 0.4 A, vadinasi 12 kartų mažiau negu reikia. Toks sprendimas suteikia galimybę ateityje turėti rezervo, norint prisijungti didesnius solenoidus.

Iš solenoidų išeina du laidai – jų spalva dažniausiai būna vienoda, bet kartais pasitaiko, jog vienas laidas būna juodas, kitas raudonas. Kai sujungiame tuos laidus į grandinę (pavyzdžiui prie paprastos baterijos), solenoido kaištis užsidaro. Kai grandinė atjungiama – kaištis grįžta atgal (žr. pav. 2). Nėra svarbu kokia tvarka sujungsime solenoido laidus prie maitinimo šaltinio ar tranzistoriaus, tačiau dėl bendros tvarkos, jeigu, tarkime, jūsų elektromagnetas turi raudoną ir juodą laidus, tada yra rekomenduojama jungti juodą laidą į V-, o raudoną į plusą V+. Mūsų projekto atveju solenoido laidai buvo mėlyni, todėl buvo galima juos jungti prie tranzistorių bet kokia tvarka. Vienas laido galas į modulio plusą (pažymėta V+), kitas į minusą (V-).

Prieš pradėdant jungti elektromagnetus su moduliais, teko pailginti solenoidų laidus, nes jie buvo labai trumpi (žr. pav. 13). Taip pat laidai turėtų būti pakankamai stori, kad atlaikytų įtampą ir tekančią srovę. Projekte naudoti 3 mm storio laidai. Per plonas laidas (pvz. 1.5 mm) nespės pernešti reikalingo kiekio elektronų. Kaip rašė Jasonas Baueris savo elektromagnetinio projekto apraše [15], per didelė įtampa gali išlydyti plono laido gumą, sukelti pavojų jums ir jūsų aplinkai, todėl prijungiant maitinimą svarbu stebėti ar laidai nekaista. O jeigu atsiduriame priešingoje situacijoje ir solenoidas vos juda, reikėtų patikrinti ar laidais atkeliauja tokia srovė kokios reikalauja pats magnetas (mano atveju, 24V įtampa ir 0.4A (400mA) srovė).



(Pav. 15) Arduino Leonardo, moduliai, maitinimas ir solenoidai sujungti į vieną grandinę.



(Pav. 16) Supaprastinta schema.

Kad solenoidas būtų kontroliuojamas – reikia valdymo centro, kuris leistų išsiųsti signalą į turimą modulį. Kaip prieš tai minėta, šiame projekte naudotas valdiklį „Arduino Leonardo“. Šis mikrovaldiklis turi 20 reikalingų kištukų (nuo PIN0 iki PIN13 ir A0 iki A5). Nuo kištukų skaičiaus priklauso kiek signalų galima išsiųsti į skirtingus tranzistorius. Šiuo atveju aš galiu išsiųsti 20 signalų, vadinasi galėsiu pajudinti 20 skirtingų solenoidų, kurie atliks 20 natų. Solenoidai, Arduino ir Mosfet-522 sujungti nuosekliai (žr. pav. 15). „Arduino“ valdiklis jungiamas prie Mosfet-522 SIG ženklo, kuris reiškia signalą (žr. pav. 16). Modulis taip pat turi VCC ir GND išsikišimus, kurie šiame projekte nėra reikalingi, todėl gali būti ignoruojami.



(Pav. 17) Mosfet 522 modulio SIG jungtis.



(Pav. 18) Moduliai sujungti į grandinę.

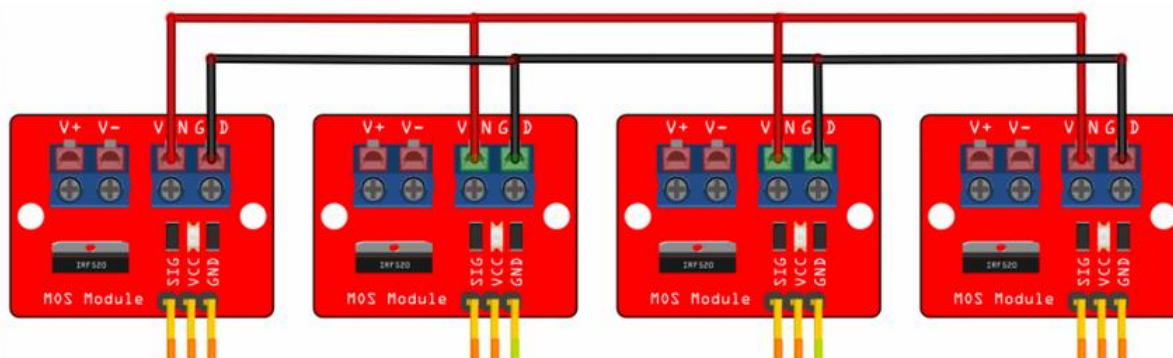
Paskutinis šios techninės grandinės elementas turėtų būti maitinimas. Deja, nors „Arduino Leonardo“ lengvai prijungiamas prie kompiuterio naudodamas *USB-A*, *Mini* arba *C* jungtis, tačiau maksimali įtampa, kurią iš kompiuterio gali pasiimti mikrovaldiklis tėra 5V, o solenoidų energijos poreikis yra gerokai didesnis – 24V, todėl būtina prijungti išorinį maitinimą. Tai gali būti akumulatorius, baterija ar impulsinis maitinimo šaltinis. Jasonas Baueris [15] savo kūrybinio eksperimento apraše užsiminė, jog naudojo seną nešiojamo kompiuterio pakrovėją, tačiau šio projekto atveju, patogesnis pasirodė impulsinio maitinimo šaltinio



(Pav. 19) Impulsinis maitinimo šaltinis

variantas. Paprastai tokie šaltiniai savyje talpina daug galios ir užima sąlyginai nedaug vietos, o ir jų išvaizda patrauklesnė nei juodas pakrovimo blokas (žr. pav. 18).

24V, 6A šaltinis užtikrina 24V 0.4A solenoidų elektros poreikius. Sistema neperkaista ir veikia stabiliai.



(Pav. 20) Moduliai sujungti į vientisą maitinimo grandinę. (VIN su VIN, GND su GND)

MIDI protokolu valdomo elektromagnetų projekto atveju reikia turėti tiek modulių kiek ir elektromagnetų. O kad šie sugebėtų pamaitinti kiekvieną elektromagnetą, svarbu sujungti visus modulius į vientisą grandinę. Atvedus V+ laidą nuo maitinimo iki pirmo modulio, reikia jį įjungti į VIN sekciją. Ateinantį V- (arba kituose šaltiniuose pažymėtą kaip COM laidą) atvesti į GND sekciją. Konstruojant maitinimo grandinę turėta galimybė iš impulsinio maitinimo bloko atvesti tris V+ laidus, todėl moduliai išdėlioti į 3 eiles (po 7, 7 ir 6 modulius), viso 20 vnt. (žr. pav. 14 ir 19). Tiesa, iš pradžių išbandyti silpniausi turimi solenoidai, jungiant juos prie 6 MOSFET tranzistorių grandinės. Būtų neracionalu viską sujungti iš karto, kadangi kiekvienas prijungimas reikalauja daug laiko išteklių, o tada sužinoti, kad turimi elektromagnetai per silpni. Šiuo atveju, projekto eigoje teko daugiau nei keletą kartų prijungti ir atjungti laidus tarp solenoido ir modulio. Tik išbandžius ir atradus, kurie magnetai bus tinkamiausi, Mosfet-522 moduliai buvo sujungti į nuoseklią maitinimo grandinę, o tada greta jų ir solenoidai.

Atlikus pirmuosius techninius žingsnius t.y. turint prijungtą maitinimą, 20 solenoidų, 20 modulių ir mikrovaldiklį (kuris sujungtas su nešiojamu kompiuteriu mini-USB laidu) reikia įsivertinti ar grandinė yra veikianti. Tą padaryti galima su paprasčiausiu voltmetru, kuris parodo kokia įtampa ar srovė atiteka iki tranzistoriaus. Jeigu skaičiai teigiami, šio projekto atveju voltmetras rodė 23.59-24V, tai vadinasi viskas sujungta teisingai. Turima techninė

grandinė dabar gali priimti signalus iš mikro kompiuterio, praleisti arba užblokuoti 24V įtampą. Tačiau tai, toli gražu, dar ne viskas. Toliau reikia sugeneruoti signalus ir prijungti MIDI sąsają.

2.1.2. Programinė įranga

Prieš pradėdant projektą svarbu apsispręsti kokią programinę muzikos kūrimo įrangą naudoti kartu su „Arduino“ mikrokompiuteriu. Geriau patyrinėjus populiary internetinių socialinių tinklų forumą *Reddit*⁷ galima susidaryti įspūdį, kad daugelis vartotojų gyvos muzikos atlikimui ir apdirbimui renkasi Ableton Live programą, kuri ypač tinka įvairiems garso eksperimentams ir interaktyviems projektams.

- Pirmiausia ir svarbiausia norint, kad kompiuteris galėtų komunikuoti su „Arduino“ mikrokompiuteriu reikia turėti Arduino valdymo programą. Ją galima parsisiųsti tiesiogiai iš Arduino puslapio⁸. Ši programa yra būtina norint turėti priėjimą prie mikrovaldiklio.
- Muzikos apdirbimo programa, šio projekto atveju Ableton Live. Tai inovatyvi, tinkanti tiek sudėtingoms kompozicijoms kurti, tiek improvizuotam gyvam grojimui atlikti, programa. Ja naudotis galima išmokti sąlygiškai greitai. Yra puikus virtualių pamokų ciklas Youtube platformoje⁹.
- Paskutinė ir visą kūrinio koncepciją apjungianti programa turėtų būti Max/MSP. Kaip anksčiau minėjau, tai grafinė objektinio programavimo kalba, kuri leidžia programuoti audiovizualinius kūrinius. Nesunkiai galima susikurti generatyvią muzikinę, atsitiktinumų varomą, struktūrą. Tačiau turint daugiau žinių įmanoma sugeneruoti ir tikimybėmis bei sudėtingomis matematinėmis formulėmis veikiančią sistemą. Apie tai daugiau informacijos pateikta vėlesniuose skyriuose.

Iš aukščiau išvardintų reikalingų programų būtinos yra tik dvi. Tai Ableton Live ir Arduino. Trečioji, Max/MSP, reikalinga tik tuo atveju, jeigu norite pritaikyti algoritminės kompozicijos principus robotinei sistemai.

Norint apdoroti MIDI signalus naudojant Ableton Live programą ir Arduino mikrovaldiklį reikia įsikelti jau paruoštą *MIDIUSB*¹⁰ biblioteką Arduino programoje. Kadangi Arduino

⁷ Reddit - amerikiečių socialinių naujienų tinklas ir internetinių forumų svetainė, įkurta 2005 m.

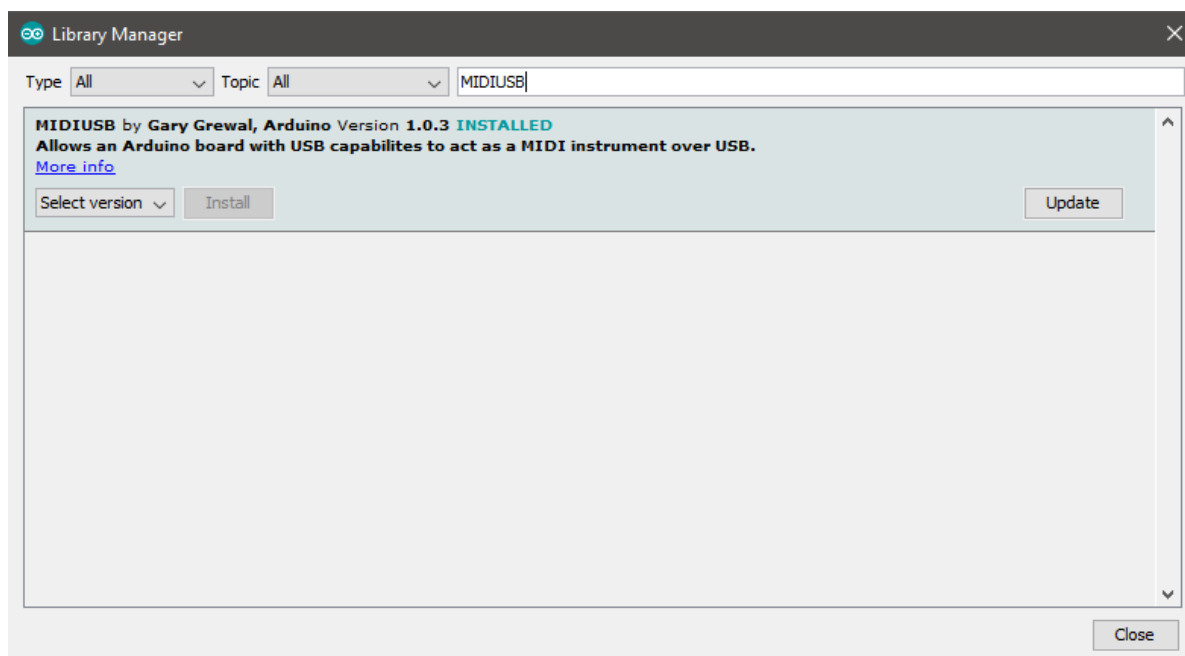
⁸ Arduino programą rasite čia - <https://www.arduino.cc/en/software>

⁹ Youtube Ableton pamokos - https://www.youtube.com/channel/UCj0-W75RL3AS_psDIWBqu1w

¹⁰ MidiUsb – Arduino programoje esanti sistema, kuri leidžia Arduino mikrokompiuteriui veikti kaip MIDI instrumentui.

mikrokompiuteriai yra plačiai naudojami, todėl yra sukurta nemažai įvairių iš anksto suprogramuotų bibliotekų, kurios leidžia sutrumpinti kai kuriuos komunikacijų tarp sistemų procesus. Šiuo atveju MIRIUEB biblioteka paverčia „Arduino Leonardo“ į MIDI instrumentą.

Tools->Manage Libraries->MIDIUSB (spaudžiame Install, žr. pav. 20)



(Pav. 21) MIDIUSB bibliotekos įdiegimas
Arduino programoje.

Šiame etape prasideda viso MIDI valdymo centro kūryba. Kai Arduino programoje atsirado MIDIUSB, dabar galima naudotis šiuo programiniu objektu:

```
1 void loop() {
2 //Klausosi naujų MIDI žinučių
3 midiEventPacket_t rx = MidiUSB.read();
4 processMidi(rx);
5 }
```

Šis ganėtinai paprastas objektas laukia ateinančių MIDI žinučių. Arduino paima tą informaciją iš Ableton ir siunčia į „Arduino Leonardo“ mikrovaldiklį. Tačiau, nors „Arduino“ gali suprasti MIDI žinutes, deja, jam dar trūksta duomenų koks klavišas, kokiam aukštyje, kokia trukme ir į kurį „Arduino Leonardo“ segmentą (digital pin, analog pin) turi keliauti MIDI signalas. Vadinasi, reikia programai pateikti daugiau duomenų kaip ši turėtų elgtis paspaudus bet kurią MIDI natą.

Pagrindiniai įvykiai, kurie reikalingi panašaus pobūdžio projekte yra **-nata įjungta** ir **-nata išjungta**.

```

1 void processMidi(midiEventPacket_t rx) {
2   switch (rx.header) {
3     case 0x0:
4       // Nieko nedaryti
5       break;
6
7     // Nata įjungta
8     case 0x9:
9       handleNoteOn(rx.byte1 & 0xF, rx.byte2, rx.byte3);
10      break;
11
12     // Nata išjungta
13     case 0x8:
14       handleNoteOn(rx.byte1 & 0xF, rx.byte2, 0);
15      break;

```

Kiekviena įjungta ir išjungta nata savyje talpina 2-3 skirtingus įvykius. Atidžiai peržiūrėję kodą pamatysite *rx.byte* pavadinimą. Jis nurodo:

Rx.Byte1 – Kokiam kanale grojama. (Paprastai yra 1-32 kanalai, kuriuos galite keisti savo turimoje programoje arba MIDI klaviatūroje. Pavyzdys kodėl to gali prireikti: Turite 4 kanalus, norite, kad ant kiekvieno iš jų skambėtų skirtingas tembras, tačiau kad viską galėtumėte įrašinėti vienu metu – tada paprasčiau būtų kaitalioti skirtingus kanalus ant kurių būtų skirtingi tembrai nei naudoti vieną kanalą, kuriame reiktų nuolat kaitalioti tembrą. Su MIDI klaviatūra galite keisti kanalus vienu, dviejų mygtukų paspaudimu).

Rx.Byte2 – Koks natos aukštis

Rx.Byte3 – Kokiu stiprumu atliekama nata (stiprumas svyruoja nuo 0 iki 127, kai 0 nata negroja, o kai 127 nata groja visa jėga ir garsumu.)

Dabar, kai programa įvykius fiksuoja detaliau – galima laisvai pasirinkti kuri MIDI nata išsiųs signalą į kurią „Arduino Leonardo“ segmentą (digital pin, analog pin), o jeigu prisimenate, iš ten signalas keliauja į modulį, kuris praleidžia arba nepraleidžia 24V įtampą į solenoidą.

Pvz. 55 midi skaičius yra G3 (trečios oktavos *Sol*), o skaičius 56 yra G3# (trečios oktavos *Sol diaz*) ir t.t.

```

static Hammer hammers[20] = {

//Hammer(type, pin, midiNote),

  Hammer(digital, 0, 55), - Čia G3

  Hammer(digital, 1, 56), - Čia G3#

```

Hammer(digital, 2, 57), - Čia A3

Hammer(digital, 3, 58), - Čia A3#

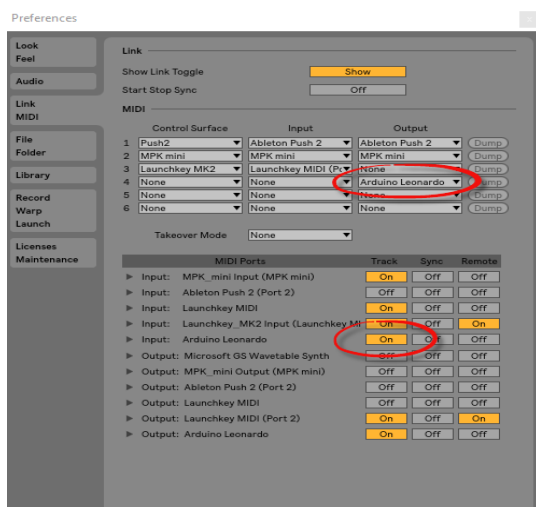
Hammer(digital, 4, 59), - Čia B3

[...]

Turėdami tai omenyje dabar galime pasirinkti kuris, į „Arduino Leonardo“ valdiklį, signalas virs kokia nata. Viršuje matome kaip aš pasirinkau suporuoti Leonardo segmentus su Midi natomis. Digital 0 – 55, todėl paspaudus 55 midi natą Arduino programa per Ableton išsiųs signalą į mikrovaldiklio Digital 0 segmentą, kuris nukelias į modulį ir sakys „praleisk 24V įtampą į solenoidą“. Kai tai atsitiks – solenoidas pajudės.

Pilną pirminį kodą galite rasti literatūros šaltinyje [16].

Šiame etape pagaliau turiu veikiančią elektros grandinę, suprogramuotą valdymo rėmą, per kurį galiu judinti elektromagnetus. Tiesa, iki šiol MIDI klaviatūra judinti solenoidus galėjo tik teoriškai, nes dar nesujungiau Ableton su pačia Arduino programa. Kad tai padaryti reikėjo atlikti kelis žingsnius:



(Pav. 22) Ableton nustatymai

pav. 22). Nuo šiol visa informacija teka iš Ableton į Arduino, kur midi informacija yra interpretuojama MIDIUSB bibliotekos pagalba. Dabar parašytas kodas Arduino išsiunčia midi informaciją į mikrovaldiklį.

Šis pavyzdys tinka būtent tik Ableton ir Arduino programų sinchronizacijai. Kad tai įvyktų užtenka nustatyti MIDI išėjimą kaip Arduino Leonardo ir aktyvuoti *MIDI Port > Track > ON* segmentą (žr. pav. 21). Sekantis žingsnis – būtina pasirinkti kuri nors kanalą Ableton programoje ir jame aktyvuoti „External Instruments“ įsieją. Jį atsidarius tereikia iš sąrašo parinkti Arduino Leonardo (žr.



(Pav. 23) 'Ext. Instrument' įskiepas

Paskutinis žingsnis apie kurį kalbėjau programinės įrangos potėmės pradžioje yra matematinių tikimybių pritaikymas šiam instrumentui, tam nusprendžiau pasitelkti Max/MSP vizualinę programavimo sistemą. Šis etapas nėra būtinas, nes jau šioje studijoje galima atlikti solenoidais naudojant MIDI klaviatūrą arba per Ableton programą, tačiau būtent šio projekto

atveju sukurtos sistemos gebėjimas improvizuoti yra būtinas, kitaip idėja ir koncepcija nebus išpildyta iki galo. Tačiau prieš pereinant į paskutinį ir svarbiausią šio kūrybinio projekto aspektą – generatyvią kompoziciją – reikia sukonstruoti rėmą, kuris pritvirtintų solenoidus prie būgnų lazdelių ir pasirinkti kokių instrumentu tos lazdelės gros.

2.1.3. Reikalingas muzikos instrumentas

Viską atlikus teisingai sistema leidžia pajudinti solenoidus, tačiau kas iš to, jeigu jie nėra niekaip sujungti su koku nors įmantriu mechaniniu skeletu, kuris grotų muzikos



(Pav. 24) Plieno būgneliai.

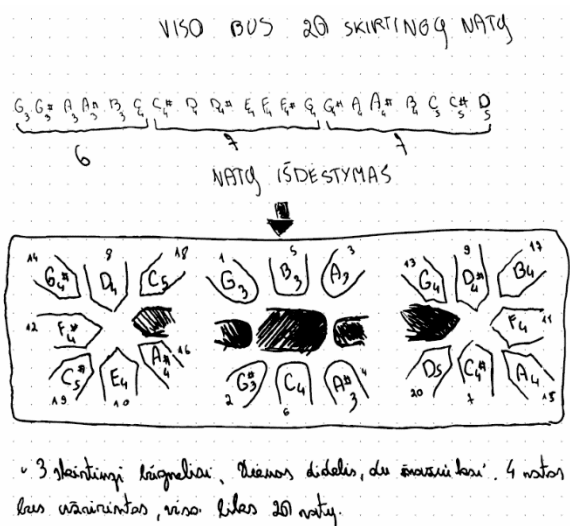
instrumentu. Todėl prieš pradėdant gaminti skeletą reikia nuspręsti kokių būtent instrumentu visa schema gros. Ieškoti toli nereikėjo, nes jau nuo pat idėjos pradžios žinojau kam bus pritaikytas kuriamas elektromagnetinis robotas. Inspiracija kurti šį projektą atsirado iš to, jog pats gaminu plieno būgnelius (angl. k. *Steel tongue drum*).¹¹Tai, dažniausiai, pentatoninėse dermėse derinami meditaciniai instrumentai – būgnai, kurių paviršiuje išpjaunamos 8-9 natos (žr. pav. 23). Nuo būgno tūrio, skersmens ir metalo storio priklauso kokiam registre jis gali skambėti. Pvz, mano gaminami instrumentai (22cm DIA, 1.8mm plieno storio) leidžia išgauti nuo G3 iki E5 natų intervalą, tai yra 22 natas. Kadangi Arduino Leonardo turi 14 skaitmeninių segmentų ir 6 analoginius, vadinasi yra 20 panaudojamų signalų. Būtent dėl to techninis projekto planas apsiriboja 20-ties natų instrumentu ir būtent dėl to teko dviejų aukščiausių natų (D#5 ir E5) atsisakyti. Vėliau, proceso metu, išryškėjusi klaida parodė, kad geriau būtų palikti aukščiausias natas ir išimti G3 ir G#3 apatines natas dėl jų ne itin švaraus tembro.

¹¹ Plieno būgneliai – www.tititata.org

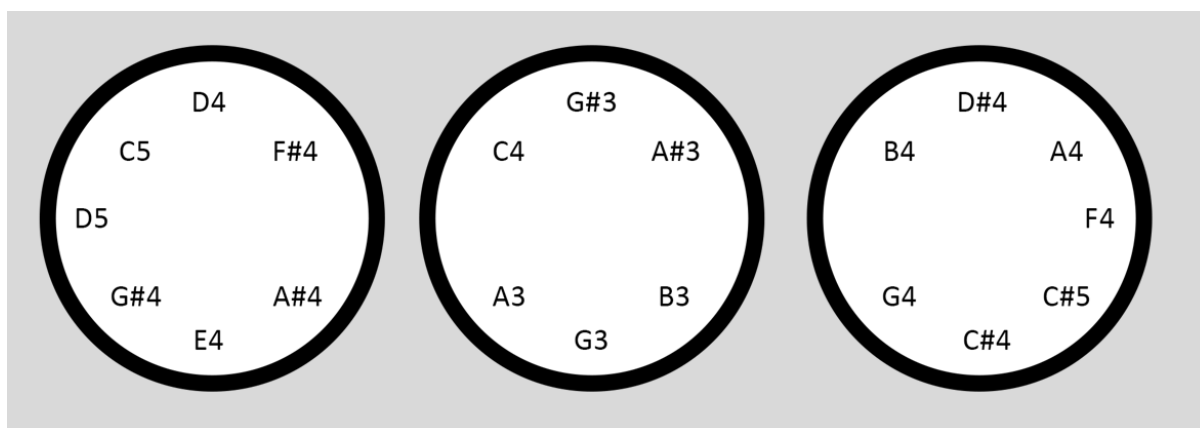
Dar kartą prisiminkime techninę projekto idėją: 20 natų groja 20 būgnų lazdelių. Vienas būgnelis turi 8 natos, todėl man reikėjo iš viso 3 instrumentų, kurių natų skaičių padalinau taip: pirmas būgnelis – 7 natos, antras būgnelis – 6 natos, trečias būgnelis – 7 natos. Viso 20 chromatinė seka einančių natų.

Kitas reiškinys su kuriuo reikia nuolat kovoti tai gretimų natų rezonanso interferencija. Jeigu suderinsime pirmą būgnelio liežuvį A4 aukštyje, tai šalia nederėtų derinti A4# natos, kadangi instrumentas vienu metu skamba iš savęs ir kartu yra savo paties, pavadinkime, akustinė dėžė, todėl svarbu gretimas natos išdėstyti protingai ir kuo toliau viena nuo kitos (žr. pav. 24).

MIDI valdomos elektromagnetų sistemos privalumas yra tai, jog įmanoma iš esmės pritaikyti bet kokį instrumentą. Kaip jau parodė pirmame skyriuje aptarti pavyzdžiai, gali būti styginiai, perkusiniai, vėjo instrumentai ir t.t. Tačiau būtent dabar buvo pasirinktas plieno būgnelis. Atlikus tyrimą internete paaiškėjo, jog konkrečiai tokio - chromatinio, perkusinio, melodinio instrumento, kuriuo būtų grojama skaitmena dar nėra sukurto.



(Pav. 25) Natų išdėstymo eskizas



(Pav. 25) Natų išdėstymo eskizas nr. 2

2.1.4. Elektromechanika

Šis proceso segmentas užima didžiausią laiko dalį, kadangi reikia išsiaiškinti keletą dalykų:

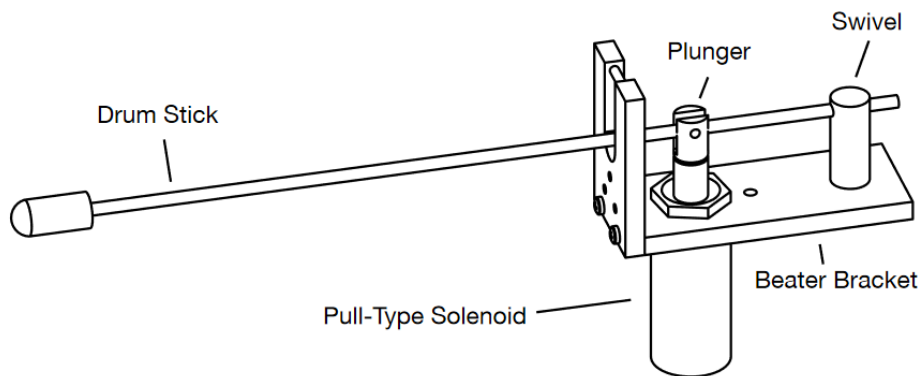
1. Koks yra efektyviausias solenoidų tvirtinimo prie būgnų lazdelės būdas?
2. Kokia laikančioji konstrukcija reikalinga?
3. Kaip atrodys mechatroininė konstrukcija?

1.

Yra daug skirtingų elektrinių motorų, kurie gali atlikti tą pačią funkciją, tačiau dėl savo paprastumo projektu metu naudojami solenoidai. Šie būgnams mušti tinkantys elektromagnetai buvo ir yra naudojami įvairiuose mechatroninėse instaliacijose nuo pat mechatronikos gimimo 1970-aisiais. Praėjusiuose dešimtmečiuose šias priemones naudodavo įvairūs ansambliai, o akedimikai aprašinėdavo tai savo tyrinėjimuose. Solenoidų perkusinė sistema ir panašios į ją, buvo inkorporuojamos pirmuosiuose Trimpino darbuose [17].

Automatiniai būgnų muštukai nėra tinkamiausias pasirinkimas dėl savo paprastumo. Viena vertus, turėti tik dvi galimas baigtis t.y. uždaryta arba atidarytą solenoidą yra patogiu, tačiau kita vertus, toks apribojimas neleidžia groti skirtingais stiprumais.

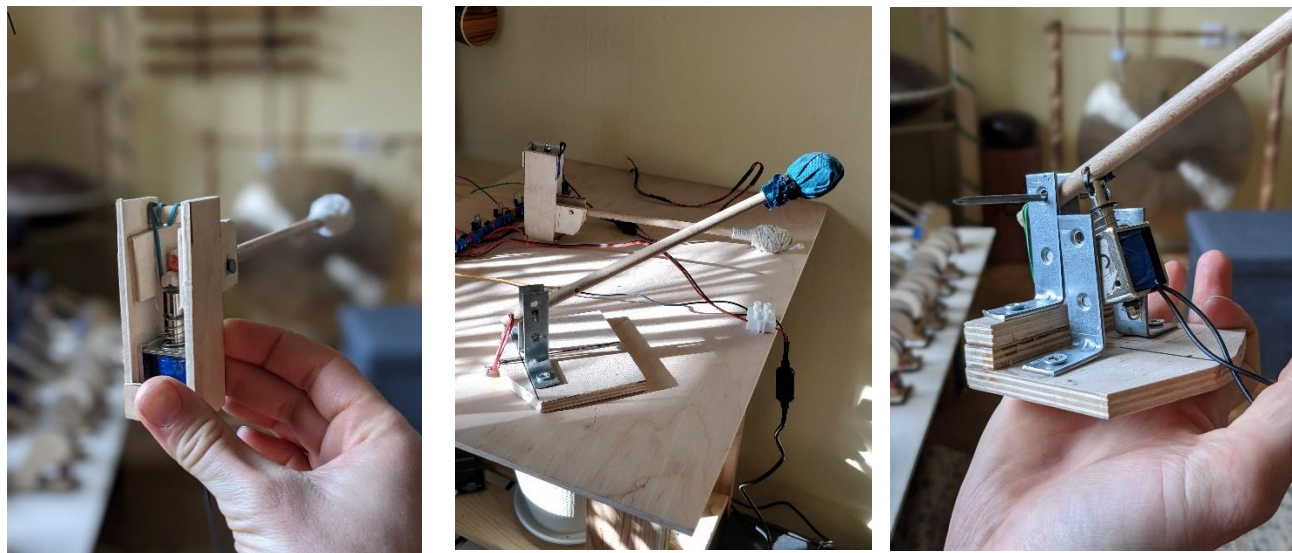
Pasak J. Murphy skaitmeninių technologijų daktaro, problema yra šios solenoidų sistemos galimybių stoka. Užsidarantis ir atsidarantis magnetas gali groti tik tokia pačia arba panašia galia ir tuo pačiu negali keisti savo pozicijos, tačiau yra vienas didelis plusas – joks kitas variklis negali judėti taip greitai aukštyn-žemyn, pirmyn-atgal. Būtent tai paskatina midi protokolu varomai elektromagnetų sistemai kaip



(Pav. 26) Užsidarančio ir atidarančio solenoido iliustracija. Prie elektromagneto galo pritaisyta būgnų lazdelė. Solenoidui užsidarius, lazdelė nusileidžia žemyn.

Solenoidas gali tempti paskui save lazdelę į viršų, tačiau taip prarandama šiek tiek traukimo jėgos, kadangi elektromagnetas ne tik turi traukti save (kaištį), lazdelę, kompensuoti savo jėga susidariusią trintį tarp įvairių jungčių, bet ir kovoti su $g=9.8 \text{ m/s}^2$ jėga.¹² Todėl norint išvengti galio ir jėgos praradimo reikia sukurti tokią konstrukciją, kuri trauktų kaištį ir lazdelę žemyn.

Pirmieji, primityvūs, bandymai sukonstruoti laikančiosios konstrukcijos prototipus:



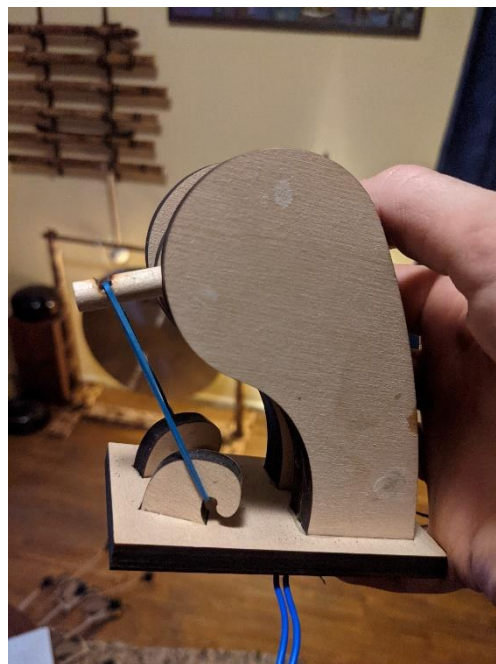
(Pav. 29) Pirmieji mechatroniniai prototipai.

Kaskart sukūrus prototipą buvo išbandoma jo judesio amplitudė ir skleidžiamas triukšmo lygis. Kiekvieno testo metu buvo stebima kaip tyliai, kokia jėga veikia sistema ir kaip tarnauja konstrukcija. Pirmieji prototipai parodė taisytinas vietas. Didelis triukšmas dėl nekokybiškų ir negerai apgalvotų jungčių, stabilaus pagrindo trūkumas, neteisingas solenoido ir būgnų lazdelės prijungimo atstumas. Reikalingos atraminės gumos, kai lazdelė po pritraukimo grįžta į pradinę poziciją, taip pat reikalingas solenoido gamyklinių detalių pašalinimas dėl per didelio skleidžiamo triukšmo. Ištaisius šias klaidas ir pasirinkus naudoti 8mm storio OSB plokštes naujai konstrukcijai statyti - elementarūs testai parodė tenkinamus rezultatus – solenoido triukšmas eliminuotas, o lazdelės svyravimas atitinka pilną solenoidu atitekančią energijos jėga.

¹² $G=9.8 \text{ m/s}^2$ jėga – Žemės paviršiaus gravitacijos akseleracijos pagreitis.

Mechatronika suveikia tada, kai elektromagnetu teka srovė - jis užsidaro, o iš paskos ta pati jėga trūkteli prie solenoido pririštą lazdelę. Būgnų lazdelės gale pritvirtinta guma, jos paskirtis kuo greičiau grąžinti ją į pradinę būseną kartu su solenoidu. Lazdelę ir magnetą iš šonų laiko dvi osb plokštės (8 mm storio). Po apačia taip pat yra pagrindas į kurį tvirtinasi šoninės struktūros.

Po sėkmingų testų buvo nuspręsta pasilikti prie 8mm storio OSB plokštelių kurios bus visos laikančiosios konstrukcijos pagrindas. Dabar galima pradėti galvoti apie tolesnį etapą – kaip atrodys galutinis vizualus mechatronikos variantas.

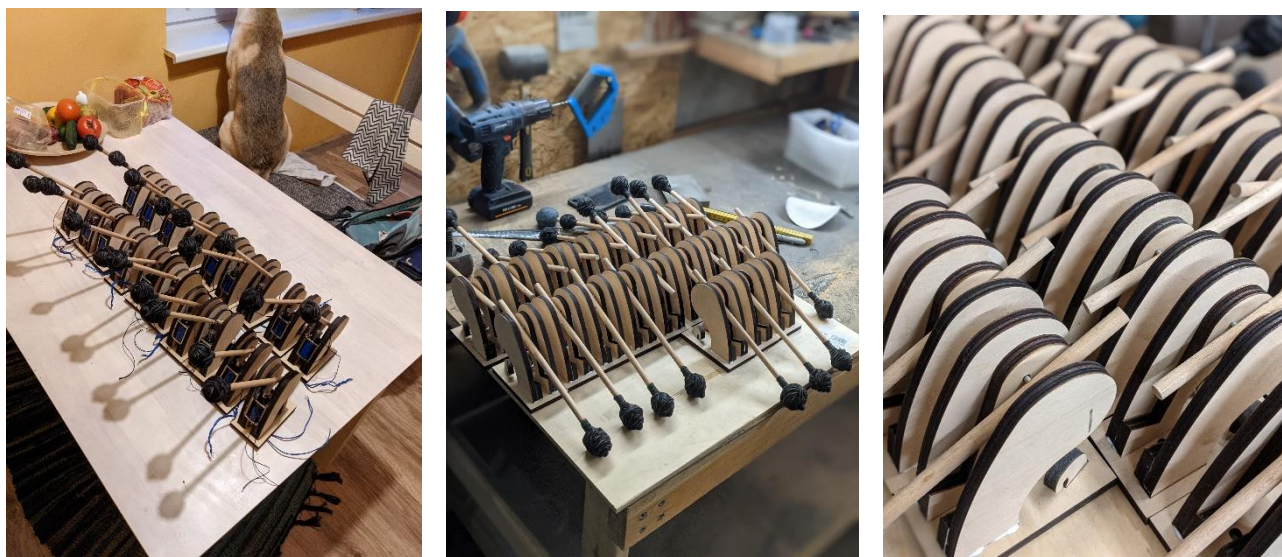


(Pav. 30) Lazdelės gale pritaista guma, kuri grąžina lazdelę į pradinę laikyseną po to kai ją pritraukia solenoidas.

3.

Architektas Tomu Valentinaitis įvertinęs projekto techninę būklę sukūrė paprastus, estetiškus brėžinius, kurie buvo panaudoti pjaustant OSB plokštes medžio lazeriu. Iš viso lazeris išpjovė 20 vnt. pagrindų visai konstrukcijai laikyti, 40 vnt. šoninių sienų, 40 vnt. laikančių šonines sienas profilių, 40 vnt. grįžtamąją gumą laikančių kabliukų. Visas detales suklijavus sukurta 20 vienodų laikančiųjų konstrukcijų į kurias reikėjo sudėti elektromagnetus, lazdeles, gumas ir kitas tvirtinimo bei triukšmą šalinančias detales.

Galutinis laikančiosios konstrukcijos variantas atrodo štai taip:



(Pav. 31) Pirmieji mechatroniniai prototipai.

2.2. Tikimybės ir muzikos kompozicija.

Kad išsipildyti ne tik techninę idėją, bet ir meninę kūrinio koncepciją – generatyvios muzikinės improvizacijos sistemą – reikia sugalvoti kokių matematiniu modeliu ar principu veiks algoritmas. Iki dabar turime sukurtą mechatroninę sistemą, kuri per save perleisdama elektrinius signalus gali judinti būgnų lazdeles. Esminis klausimas kaip panaudoti šį lazdelių judėjimą. Čia į pagalbą ateina Max/MSP vizualiojo programavimo programa, leidžianti kurti įvairius programinius rėmus audio-vizualiniams projektams.

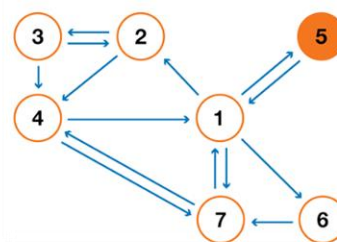
2019 m. Youtube platformoje Samuel Pearce-Davis įkėlė pirmus video mokymus kaip panaudoti matematinį tikimybių modelį muzikos kompozicijoje žinomą kaip Markovo grandinė. Samuelis sukūrė dvi mokomąsias serijas, kuriose konkrečiai aiškina kaip naudojant Max/MSP programą galima pritaikyti tikimybių teorijas generatyviajai muzikai kurti [19]. Šios serijos greičiausiai nebūtų įmanomos jei ne multimedijų menininkas ir kompozitorius Benjamin Day Smith, kuris sukūrė skaitmeninę *ml.star* biblioteką. Tai mašininio mokymosi (*angl. k. machine learning*) algoritmai ir skaitmeniniai įrankiai skirti Max/MSP programai. Vienas iš *ml.star* pakete suprogramuotų įskiepių pavadinimu *ml.markov* leidžia pritaikyti mašinų mokymosi technikas ir tikimybėmis varomas grandines naujiems generatyviosios kompozicijos modeliams kurti.

Kad geriau suvoktume kaip galime pritaikyti Benjamin Day Smith sukurtus Max/MSP įrankius, pasiaiškinkime kaip galėtų būti traktuojama Markovo grandinė apskritai. Mus supantys įvykiai skirstomi į privalomus (laikas eina į priekį), negalimus (vieną rytą saulė švies žaliai) ar atsitiktinius (šiandien lis arba ne). Pasak Kopenhagos Universiteto profesoriaus Anders Tolver tarp atsitiktinių įvykių yra įvykiai, kurie neturi įtakos, t.y. nepriklausomi – juos galima vadinti nesusijusiais, kai pravažėjęs mėlynai mašinai žmogus metė monetą ir jam iškrito herbas arba nepriklausomi, kai metamos monetos rezultatui ankstesni metimo bandymai nedaro įtakos.

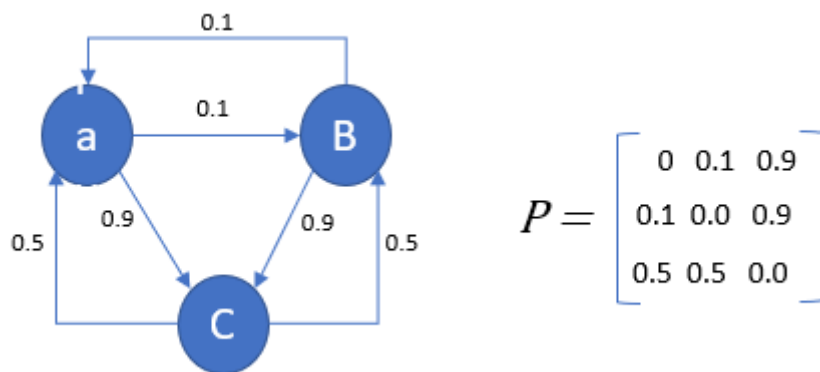
Kokio nors reiškinio atsitiktinių įvykių seką galime vadiname atsitiktiniu procesu. Su atsitiktiniu įvykiu susijusi atsitiktinio dydžio (nebūtinai skaitinio) sąvoka. Pvz., metant lošimo kauliuką atsitiktiniu kampu (vadinkime tai išraiškos dydžiu) gali būti atsitiktinis iškritusių akių skaičius. Išraiškos dydžiai taip pat gali būti priklausomi ir nepriklausomi. Tam tikro parametro (pvz., laiko) atžvilgiu sutvarkyta atsitiktinių dydžių seka ir yra atsitiktinis procesas (priklausomas arba nepriklausomas).

Paskaitoje „An Introduction To Markov Chains“ Andersas Tolveris toliau dėsto, kad tarp priklausomų įvykių išsiskiria silpnai priklausomų procesų grupė – tai Markovo procesai, kurių sekančią būseną lemia ne visa proceso praeitis, o tik dabartinė būsena. Pvz., kasdien stebime koku kampu švytuoja klevo lapas (mūsų akims tai atsitiktinis dydis). Matavimų seka sudaro Markovo procesą, nes spėjamas rytdienos įvykis priklauso ne nuo prieš metus buvusių matavimų, o tik nuo šiandienos matavimo [20].

Paprasčiausi Markovo procesai – Markovo grandinės, kai kiekvienas įvykis tarsi sujungtas su prieš jį einančiu įvykiu į ilgą grandinę. Šių procesų teorijos pradžia laikytinas 1906 m. A. Markovo straipsnis. Paėmęs A. Puškino poemą „Eugenijus Oneginas“ 20 tūkst. raidžių dalį, A. Markovas ištyrė balsių ir priebalsių kaitą ir nustatė, kad tai galima laikyti Markovo grandine. labai greitai jos imtos taikyti gamtos moksluose, tapo tikimybių teorijos išplėtimu, kur didelį indėlį padarė A. Kolmogorovas [21] (žr. pav. 32).



(Pav. 31) Supaprastinta Markovo grandinės iliustracija.



(Pav. 32) P = duomenų matrica. Kad Markovo grandinė veiktų, jai reikia sumaitinti tam tikrą kiekį duomenų, kurie tarnauja kaip gairės naujoms tikimybėms formuoti.

Markovo procesai gali būti panaudojami ir muzikinėms kompozicijoms modeliuoti. Nuo 6-to dešimtmečio pradžios pirmieji mašininės ir eksperimentinės elektroninės muzikos pionieriai kalbėjo apie laiką, kai kompiuterinės sistemos galės pačios generuoti sudėtingus audio kūrinius. Tačiau tokios mintys net ir šiandien yra sutinkamos sąlyginai skeptiškai. Matematikas tyrinėjantis Markovo tikimybes Charles Ames buvo vienas iš tokių žmonių, kurie nesutiko, kad kada nors tokia, ar panaši sistema, galėtų būti naudojama muzikos kompozicijoms generuoti, tačiau 1986 m. pakviestas prisidėti prie kompozitorius John Myhill muzikinio kūrinio, Charles Ames nuomonę pakeitė. 1989 m. jis išleido mokslinį straipsnį, kuriame nuodugniai nagrinėja Markovo Procesus kaip naują muzikos kompozicijai taikytiną modelį [22].

Aptarus kokių veikimo principu vadovaujasi markovo grandinė galima pamėginti pasinaudoti Benjamin Day Smith sukurtą Max/MSP biblioteka. Mašininis mokymosi algoritmas siekia išpildyti tris kriterijus:

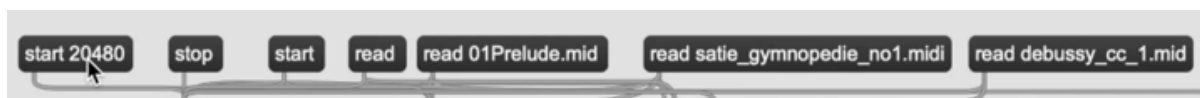
1. Visa valdymo sistema yra nesunkiai perprantama nepatyrusiems programos naudotojams ir nereikalauja specifinių žinių.
2. Išanalizuoja skaitmeninius kūrinio duomenis (pvz MIDI failą) ir pateikia savo sugeneruota melodiją, harmoniją, ritmą, tempą, tembrą ir dinamiką.
3. Gali kurti sudėtingus kompozicinius modelius nereikalaudamas papildomo muzikanto/atlikėjo įsikišimo.

Iš esmės šis programinis įskiepis pavadinimu ml.star siekia reprezentuoti istorinius žingsnius virtualaus ir intelektualaus muzikinio partnerio paieškose, kuris sugebėtų improvizuoti ir atlikti muziką taip ekspresyviai kaip sugeba kvalifikuotas muzikantas. Tam kad

tai pavyktų reikia sudėtingo programinio rėmo, kurį šio projekto atveju kuriame remiantis prieš tai minėto Samuel Pearce-Davis pamokomis.

Galutinis tikslas yra sudėlioti tokią sistemą į kurią būtų galima sukelti dviejų skirtingų ir sudėtingų MIDI kūrinių aplankus. Sistema apdorojusi kiekvieną midi failą atskirai turi galėti kurti originalią kompoziciją. Programą valdantis žmogus gali pasirinkti kiek paskutinių natų Markovo grandinė susikelia į duomenų matricą.

Pvz., Nuskaityti 2 skirtingi MIDI kūrinių – prancūzų kompozitoriaus *Erik Satie - Gnossienne No.1* ir taipogi prancūzo *Claude Debussy Clair De Lune* muzikiniai darbai (žr. pav. 33).



(Pav. 33) Max/MSP algoritminės kompozicijos programos elementai.

Kai algoritmas suskaičiuoja kiekvieną natos trukmę, aukštį ir stiprumą galima aktyvuoti bendrą programą ir pasirinkti, kad Markovo procesas generuotų naujas garsinę tikimybes pagal sugrotas paskutines 4 natas. Reikia nepamiršti, kad algoritmas vienu metu klausosi kelių kūrinių. Vystant programinį rėmą yra daugybė galimų naujų įvesčių, pvz., skirtingi kūrinių nuskaitymo tempai, skirtingai pulsuojantys kompozicijų tempai. Programa nuskaityda daugiau kūrinių, todėl turi daugiau medžiagos. Kokia trukmė, greičiu ir garsumu grojama pirma, antra, trečia, ketvirta natos, atsitiktinės pauzės (kurių nėra kūriniuose). Iš esmės koreguotinų opcijų yra daugybė ir visa tai priklauso nuo algoritminę kompoziciją kuriančio atlikėjo.

Naudojant šį metodą yra pastebima, kad nuo to kokių kūrinių duomenis pasirenkame sukelti į programą priklauso kokia yra kūrinio nuotaika. Šiuo konkrečiu Markov.ml programinio įsienio atveju sistema leidžia sugeneruoti iš dalies negirdėtus, sudėtingus ir originalius garsinius sprendimus, tačiau reikia nepamiršti, kad šios programos veikimo metu pradiniai duomenys yra gaunami ne atsitiktiniu būdu, o iš praeityje sukurtų realių kūrinių. Viena vertus, galima teigti, kad tai muzikos plagijavimas dėl vietomis, galimai, atpažįstamų motyvų. Kita vertus, viskas programomis operuojančio kompozitoriaus rankose. Ilgesnės programos grandinės ir sudėtingesnis algoritmas gali sugeneruoti neatpažįstamą kūrinį, traktuojama kaip naujos kompozicijos atsiradimą.

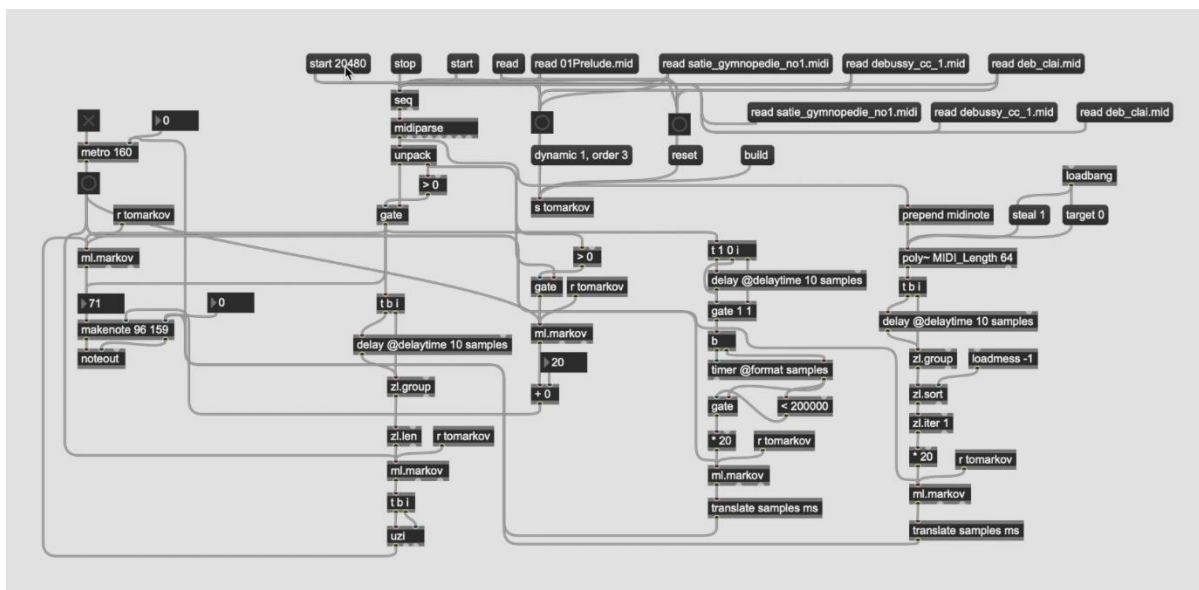
Galima kelti klausimą ar generatyvioji kompiuterių muzika kada nors prilygs žmogui. Pasak psichoakustinių tyrimų profesorius Bruno H. Repp kiekvienas kompozitorius turi tam tikrus savo kūrybinių sugebėjimų atsikartojimus, kurie atsiskleidžia cikliška kuriant naujus darbus. Bruno juos vadina muzikinėmis mini struktūromis. Tai principai ir savybės,

kurios yra būdingos kompozitoriams. Aprašomos teorijos teritorija nėra nuodugniai išanalizuota, tačiau iki tam tikro lygio galima interpretuoti atlikėjų bruožus ir pabandyti suskirstyti juos į muzikinės ekspresijos, kuri glaudžiai siejasi su psichologija, stilius. B. H. Repp grubiai skirsto mini struktūrų ekspresijas į 4 kategorijas:

1. Muzikinių frazių struktūra, jų forma, melodijos linija ir tai kaip progresuoja harmonija. Konkretūs atsikartojantys nukrypimai išvairdintose srityse išryškina atlikėjo mini struktūros unikalumą.
2. „Autentiškas skambesys“ - ekspresyvos ministruktūros aspektai, kurie atspindi kompozitoriaus asmenybės individualumą. Šią kategoriją labai sunku tyrinėti dėl didelio neapibrėžtumo ir konkrečių pavyzdžių trūkumo.
3. Individualaus atlikėjo specifinės manieros ir nerašytos taisyklės, kurių sąmoningai arba nesąmoningai laikosi kompozitorius kurdamas arba atlikdamas kūrinį.
4. Kūrinio diktuojamos sąlygos ir atlikėjo motorinės limitacijos išgauna specifines mini struktūras.

B.H.Repp šias ekspresijų formas vadina pulsais. Per muzikinę ir akademinę karjerą profesorius surinko nemažai duomenų apie muzikinių ekspresijų unikalumą skirtinguose kūrinuose atliekant skirtingiems atlikėjams [23]. Taigi, turint omenyje, kad yra įvairių apčiuopiamų ir neapčiuopiamų muzikinės ekspresijos atlikimo principų galima bandyti jau surinktą informaciją skaitmenizuoti ir ją pritaikyti Markovo grandinėje. Taip paverčiant virtualų kompozitorių dar originalesniu ir autentiškesniu kūrėju, kuris galėtų sugeneruoti dar niekada prieš tai niekur negirdėtus muzikinius kūrinius.

Šiame projekte programinis rėmas veikia be konkrečių anksčiau aptartų mini struktūrų, tačiau neabejotinai rezultatai gali būti stulbinami dėl markov.ml įskiepio galimybių (sudėtingo matematinių tikimybių skaičiavimo būdo) ir papildomų programinių elementų, kuriuos leidžia naudoti Max/MSP programa. Visa tai apjungus į vieną sistemą gauname muzikinę mašininę mokymosi struktūrą, kuri gali prisiminti programuotojo/atlikėjo ribose nustatytą muzikinę praeitį ir iš jos sukurti naują ateitį (žr. pav. 34).



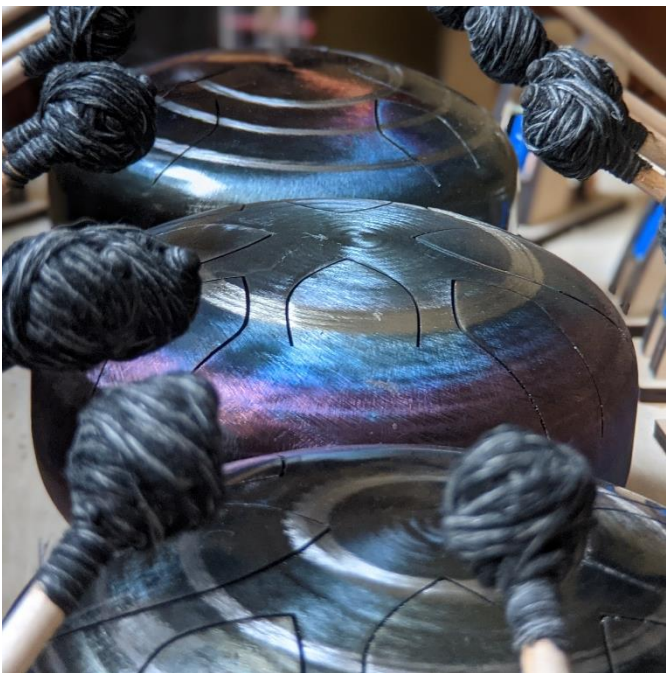
(Pav. 33) Max/MSP Markov.ml įskiepu paremtas algoritminės kompozicijos kodas.

2.3. Praktinio darbo rezultatai

Igyvendinus užsibrėžtus tikslus ir patikrinus kiekvienos segmento veikimą galima teigti, kad projektas sėkmingai baigtas. Mechatroninė sistema valdo 20 būgnų lazdelių, kuriomis galima skambinti 20 skirtingų objektų (šiuo atveju būgnelio natų). Instrumentu galima groti naudojant bet kurią MIDI klaviatūrą sujungtą su nešiojamu arba stacionariu kompiuteriu, galima groti pačioje Ableton programoje naudojant MIDI sekciją, be to dargi galima aktyvuoti daugybę kitų kanalų su skirtingais elektroninės muzikos garsais, kurie šalia skambėtų kaip akomponuojanti muzika.

Galutinė vizija išpildyta. Midi protokolu valdomas perkusinis instrumentas gali generuoti unikalias muzikines melodijas pasitelkdamas Markovo grandinės matematinį tikimybių skaičiavimo modelį per Max/MSP programą.





IŠVADOS

1. Platus solenoidų panaudojimas skatina technologinį progresą ir leidžia pritaikyti mechatronines sistemas naujų muzikos komponavimo modelių sukūrimui, integruojančių fizinius objektus performatyvaus garso pasirodymuose.
2. Elektromagnetų atsiradimas padarė didelę įtaką muzikos kūrimo ir atlikimo srityje, o audiovizualinių menų srityje skatina meno ir mokslo disciplinų tarpusavio bendradarbiavimą.
3. Robotinės sistemos, kuriose pasitelkiami elektromagnetai, tarnauja kaip modernūs instrumentai galintys atlikti sudėtingas eksperimentinės ir akademinės elektroakustinės muzikos operacijas, kurių žmogus negali atlikti dėl fizinių apribojimų.
4. Šiandien norint sukurti MIDI protokolu valdomą elektromagnetų sistemą, kuri veiktų kaip perkusinis instrumentas, užtenka bazinių žinių fizikos, programavimo ir kompozicijos srityse. Tai suteikia didelių galimybių kūrėjų, pasitelkiančių „pasidaryk pats“ kryptį veiklos plėtrai.
5. Meninio tyrimo metu sukurta sistema veikia sklandžiai ir leidžia groti plieno būgneliais naudojant MIDI klaviatūrą, naudojant Ableton MIDI valdymo centrą. Taip pat robotinis instrumentas gali improvizuoti, pasitelkiant Max/MSP programinėje kalboje suprogramuotu algoritmu, veikiančiu Markovo grandinės pagrindu..

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. McElhone, K. *Mechanical Music*. AMICA. USA. 2008.
2. Trimpin, *SoundSculptures: Five Examples*, MGM MediaGruppe Munchen, Munich, Germany. 2000.
3. Trimpin, Portfolio, Seattle, Washington
4. Kapur, A. *Hystory of Robotic Musical Instruments*, Univerisity of Victoria, Victoria, Canada, 2016
5. Rossing, T. D., Moore, F.R., and P.A. Wheeler. *The Science of Sound*. Addison Wesley, San Francisco, 2002.
6. Baginsky, N.A. *The Three Sirens: A Self Learning Robotic Rock Band*, Prieinama čia: <http://www.the-three-sirens.info/>
7. Jorge, S., Takanishi, A., Maeda, M., *Development of Anthropomorphic Flutist Robot WF-3RI*, Proceedings of the International Computer Music Conference. Michigan, USA, 1998.
8. DadaMachines. <https://www.youtube.com/watch?v=YE7XhlgnaEQ> , Youtube, 2017.
9. Tim Yates projektas „Curio“ <https://hackoustic.org/hackoustic-festival-2016/> , 2016.
10. Kılıç, V., Gül, E., Karabulut G. *DLC solenoid orchestra*, <https://www.youtube.com/watch?v=x6L6reTEGro>
11. Nikoladze, K. Tedx konferencija <https://www.youtube.com/watch?v=FmPVzEvi30s> Oslo, 2019. Portfolio: <https://vimeo.com/user22916064> (vimeo)
12. Battle, S. „Solenoid Drum Machine the XA-20 Loading New Samples“, Youtube, 2017. <https://www.youtube.com/watch?v=EkaalhRHqlk>
13. Heap, I. „Change the way we make music“. Youtube, 2014. <https://www.youtube.com/watch?v=ci-yB6EgVW4&t=172s>
14. Coble, K.W. *EXPERIMENTAL ROBOT MUSICIANS*, JAV. 2006. <http://www1bpt.bridgeport.edu/soe/risc/pdf/paper38new.pdf>
15. Bauer, J. *Actuators-Solenoids* internetinis straipsnis. https://www.societyofrobots.com/actuators_solenoids.shtml
16. Bauer, J. Bazinis midi valdymui skirtas kodas. <https://efundies.com/src/arduino/midi-solenoids.ino>
17. Murphy J., *Expressive Musical Robots: Building, Evaluating, and Interfacing with an Ensemble of Mechatronic Instruments*, 2014. Skaityti čia:

<https://core.ac.uk/download/pdf/41338998.pdf>

18. Gopinath, D., Weinberg, G., *Generative Physical Model Approach for Enhancing the Stroke Palette for Robotic Drummers*, Georgia Tech, Atlanta, GA, 30318, USA, 2016.
19. Pearce-Davis, S. *Machine Learning in Max/MSP*, Youtube, 2019.
<https://www.youtube.com/watch?v=LG-GYFyJw74>
20. Tolver, A. *An Introduction To Markov Chains*, Kopenhaga, Danija, 2016. Skaityti čia:
<http://web.math.ku.dk/noter/filer/stoknoter.pdf>
21. Anderson, J. W., *Continuous-Time Markov Chains: An Applications-Oriented Approach*, Kanada, 1999. Skaityti čia: <https://cutt.ly/6bJnoK2>
22. Ames, C. *The Markov Process as a Compositional Model: A Survey and Tutorial*, 1989.
23. H. R., Bruno, *Expressive Microstructure in Music: A Preliminary Perceptual Assessment of Four Composers' "Pulses"*. 1989