

LIETUVOS MUZIKOS IR TEATRO AKADEMIJA
MUZIKOS FAKULTETAS
KOMPOZICIJOS KATEDRA

Raminta Naujanytė
KŪNO JUDESIAIS VALDOMŲ INSTRUMENTŲ PROTOTIPAI IR JŲ
AKTUALUMAS KOMPOZICIJOJE

Studijų programa: Kompozicija (skaitmeninės technologijos)
Magistro tiriamasis darbas

Darbo autorius:
(parašas)

Raminta Naujanytė

Darbo vadovas:
(parašas)

Lektorius – dr. Mykolas Natalevičius

Vilnius, 2019

LIETUVOS MUZIKOS IR TEATRO AKADEMIJA

BAIGIAMOJO DARBO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2019 m gegužės 17d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas (tema) „Kūno judesiais valdomų instrumentų prototipai ir jų aktualumas muzikoje“, yra parengtas savarankiškai.

1. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota, tyrimų duomenys yra autentiški ir nesuklastoti.
2. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių ir/ar autorių citatos ir/ar kita medžiaga pažymėta literatūros nuorodose arba įvardinta kitais būdais.
3. Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra.
4. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).
5. Su pasekmėmis, nustačius plagijavimo ar duomenų klastojimo atvejus, esu susipažinęs(-usi) ir joms neprieštarauju.

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

Santrauka

Šio tiriamojo darbo metu yra kuriami kūno judesiais valdomų instrumentų prototipai – jutikliais valdoma sistema, skirta perduoti rankų gestų duomenis ir *Kinect 2* įrenginys, pritaikytas garso parametrų valdymo procesams. Tyrime nagrinėjamos interaktyvių instrumentų galimybės, jų pritaikymas *Max MSP* programinėje aplinkoje. Išsiaiškinta, koku būdu kūno judesiai perduoda duomenis ir kaip jie paverčiami garso signalu. Taip pat lyginami sukurtų prototipų garso parametrų valdymo skirtumai. Panaudota *VST* virtualių instrumentų biblioteka padėjo įvertinti skirtingų įrenginių galimybes muzikos kūrimo procese pritaikant tuos pačius garso šaltinius. Padarytos išvados, kaip šie instrumentai atsiskleidžia atlikimo metu ir kokie tokio tipo instrumentų valdymo trūkumai.

Summary

With this research work gesture controlled instrument prototypes are being developed: sensor controlled system dedicated to the transfer of hand motions and *Kinect 2* device, dedicated to the processes of sound parameters control. Research explores potential of interactive instruments and their adaption in *Max MSP* sound programming environment. Ways of converting body gestures into transferable data and their conversion into sound were explored. Sound parameter control differences of created prototypes are also explored. Utilized *VST* virtual instrument library contributed towards evaluation of functionality of different devices in the music composition process. Conclusions were made, how these instruments reveal themselves in the performance and what are the shortcomings of instruments of such type.

TURINYS

ĮVADAS	5
1. Gestais valdomų sistemų kūrimas: <i>Max MSP</i> , <i>Arduino</i> , <i>Gadli</i> ir jutikliai	7
1.1. Mikrokompiuterių ir analoginių įrenginių projektas	7
1.1.1. <i>Arduino</i> sistema	7
1.1.2. <i>Gadli</i> pirštinės	11
1.1.3. Naudojamų jutiklių rūšys	13
1.2. <i>Kinect 2</i> kamera ir garso išgavimo būdas	18
1.2.1. <i>Kinect 2</i> istorija ir veikimo principai	18
1.2.2. <i>Kinect 2</i> įrenginio galimybės ir pritaikymas	21
2. Interaktyvių instrumentų valdymo parametrai	22
2.1. Interaktyvių instrumentų judėsio galimybės	22
2.1.1. Judesių pritaikymas interaktyviame muzikos atlikime	24
2.1.2. Individualiai kurtų instrumentų kūno judesių galimybės	24
2.2. Interaktyvių instrumentų parametrų valdymas	27
2.2.1. Duomenų priskyrima ir perdavimas	27
2.2.2. <i>Max MSP</i> objektų ir tembro valdymo sistemos	29
2.3. Jutiklių ir <i>Kinect 2</i> ypatybės garso valdymo procese	32
2.3.1. Techniniai privalumai ir trūkumai	32
2.3.2. Komponavimo ir improvizavimo estetika elektroninėje muzikoje	33

ĮVADAS

Temos aktualumas.

Eksperimentinės muzikos kūrėjai, garso menininkai, performanso atlikėjai dažnai taiko kūno judesiais valdomus interaktyvius įrenginius – įvairius jutiklius bei vaizdo atpažinimo priemones savo kūryboje. Žaidimų bei multimedijos srityse naudojami prietaisai, kurie dažnai pritaikomi performatyvioje muzikoje, yra dviejų skirtingų tipų: fiksuoja kūno judesius daviklių (sensorių) pagalba arba pritaikius vaizdo atpažinimo priemones. Egzistuoja daug skirtingų interaktyvių grojimo būdų, kuriais galime valdyti, bei keisti garso parametrus, bet jų pritaikymas muzikos kūryboje ir atlikime nėra išsamiai išnagrinėti, todėl būtų pravartu palyginti šių metodikų privalumus ir trūkumus bei išanalizuoti jų panaudojimo galimybes.

Tyrimo problema.

Šio darbo vienas pagrindinių klausimų yra kūno judesiais valdomų instrumentų galimybių tyrimas muzikos kūrybos procese ir jų įtaka galutiniam rezultatui. Taip pat kyla klausimas, ar šie grojimo būdai yra lengvai valdomi ir modifikuojami, kur kyla pagrindiniai sunkumai, kokie įmanomi patobulinimai ir kokios tokio garso išgavimo platesnio pritaikymo perspektyvos.

Tyrimo objektas.

Tyrimo metu kuriamos ir analizuojamos dvi kūno judesiais valdomos sistemos. Pirmoji interaktyvi muzikos atlikimo bei kūrimo sistema valdoma daviklių pagalba. Ji susideda iš *Arduino Mega 2560* mikrokompiuterio ir *Gadli*¹ sistemos. Šio interaktyvaus instrumento veikimo principas susideda iš jutiklių junginių, priskirtų valdyti juos rankomis, reaguojant į sulenkimą. Antroji sistema – vaizdo atpažinimo priemonė *Kinect 2*, kuri fiksuoja kūno taškus erdvėje ir priskiria juos norimai funkcijai.

Tyrimo tikslas.

Tyrimo metu siekiama palyginti dvi kūno judesiais valdomas muzikos atlikimo sistemas, veikiančias skirtingais principais. Taip pat siekiama nustatyti kūno judesių santykį su garsu. Tyrime bandoma numatyti pagrindinius, labiausiai atsiskleidžiančius garso parametrų valdymo principus bei įvertinti jų pritaikomumą muzikos atlikime.

¹ *Gadli* – interaktyvios pirštinės, susidedančios iš kelių skirtingų rūšių jutiklių ir mikrokompiuterio. Šio įrenginio kūrėjas, Muzikos inovacijų studijų centro garso režisierius – Vytėnas Gadliauskas (2019).

Analizuojant netradicinius garso valdymo būdus bus nagrinėjamas šių metodų kompleksiskumas, privalumai ir trūkumai, išraiškos laisvės bei išskirtiniai garso ir muzikos parametrų kontrolės ypatumai.

Tyrimo uždaviniai.

- Sukurti kūno judesiais valdomus grojimo būdus.
- Patikrinti ir palyginti juos praktikoje.
- Įvertinti sukurtų grojimo būdų atlikimo patogumą ir organiškumą.
- Nustatyti kokiais tembrais ir garso valdymo parametrais geriausia manipuliuoti.
- Apibendrinti nagrinėjamų objektų savybes.

Tyrimo metodai.

Šiame darbe temai išnagrinėti taikomi metodai:

- Empirinis tyrimas: kūno judesiais valdomų instrumentų kūrimas ir analizavimas.
- Lyginamasis (komparatyvinis).
- Mokslinės ir metodinės literatūros analizė.

Literatūra ir šaltiniai.

Aktualiausi darbo šaltiniai buvo kompozitorių ir instrumentų gamintojų moksliniai straipsniai, apie interaktyvių instrumentų kūrimą ir pritaikymą muzikoje. Juos dažniausiai radau internetinėse bibliotekose *JSTOR*, *MUSE* ir *IRCAM*, konkrečiai *Computer music Journal* ir *Leonardo Music Journal* leidiniuose. Taip pat didelę įtaką šiame darbe padarė Curtis Roads perskaityta knyga „Composing electronic music – A New Aesthetic“. Techninės dalies suvokimui skirtos knygos Jeff Kramer „Hacking the Kinect“, bei *Max MSP* programinės aplinkos gidas.

Darbo struktūra.

Darbas susideda iš dviejų skyrių. Pirmame skyriuje aptariamos kūno judesiais valdomų instrumentų techninės savybės, jų panaudojimo galimybės, programinės aplinkos paskirtys ir sąveika su interaktyviais instrumentais. Antrasis skyrius skirtas panagrinėti sukurtų instrumentų veikimo principus, galimybės, pagrindinius atlikimo bruožus ir juos tarpusavyje palyginti.

1. Gestais valdomų sistemų kūrimas: *Max MSP*, *Arduino*, *Gadli* ir jutikliai

Šiam tyrimų, kūrybos ir analizavimo etapui pasirinkta sukurti dvi, skirtingais veikimo principais grįstas, kūno judesiais valdomas atlikimo sistemas. Instrumentai, sudaryti iš keletos dalių – signalo šaltinio, jo perdavimo programos, ir programavimo aplinkos, kurioje signalas, virtęs skaitmeniniais duomenimis transformuojamas į garsus. Šiame skyriuje aptariami instrumentų komponentų veikimo principai bei savybės.

1.1. Mikrokompiuterių ir analoginių įrenginių projektas

1.1.1. *Arduino* sistema

Max MSP yra grafinė programavimo aplinka, skirta muzikai ir multimedijai. Nuo 1990 m. šią programą gali įsigyti ir naudoti atlikėjai, kompozitoriai, performeriai, tyrėjai, mokslininkai, mokytojai, studentai ir t.t. 1985 m. Dirbdamas *IRCAM*² centre, matematikas ir elektroninės muzikos kompozitorius Miller Puckette³ sukūrė *Max MSP*. 1989 m. *IRCAM* ir dar trisdešimt kitų centrų bei individualių studijų pradėjo dirbti su šia programa, kuri tuo metu kainavo apie dvylika tūkstančių dolerių. 1990 m. programą komerciniam naudojimui pritaikė ir išplėtė David Zicarelli, kuris įkūrė kompaniją *Cycling '74*⁴. Šiuo metu kompanija bendradarbiauja su *Ableton*⁵ įmone. *Max MSP* yra integruotas į *Ableton Live* programą, todėl *Max* projektus galima panaudoti ir minėtos programos muzikos kūrimo proceso metu.

Max MSP leidžia programuotojams kurti skaitmenines sistemas, kaip sąveikaujančių objektų kolekcijas, kurios turi tam tikras funkcijas. Programoje naudojami objektai perduoda informaciją per žinutes, kurios savyje talpina duomenis arba komandas. *Max MSP* turi daugelį pilno plėtojimo objektų kalbos savybių: moduliškumą, pakartotinį objektų naudojimą bei jų klasifikavimą⁶.

²*Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique (IRCAM)* – Akustikos ir muzikos tyrimų bei koordinavimo centras

³ Miller Smith Puckette (gimęs 1959 m.) Yra *Kompiuterijos ir menų tyrimų centro (CRCA)* direktorius, Kalifornijos universiteto ir San Diego universiteto muzikos profesorius. Puckette yra žinomas *Max* - grafinės muzikos ir daugialypės terpės sintezės kūrimo aplinkos, kurią jis sukūrė dirbdamas *IRCAM* 1980-ųjų pabaigoje, autorius. Jis taip pat yra *Pure Data (Pd)*, realiu laiku veikiančios platformos, skirtos garso, vaizdo ir grafikos programavimo kalbai, kūrėjas.

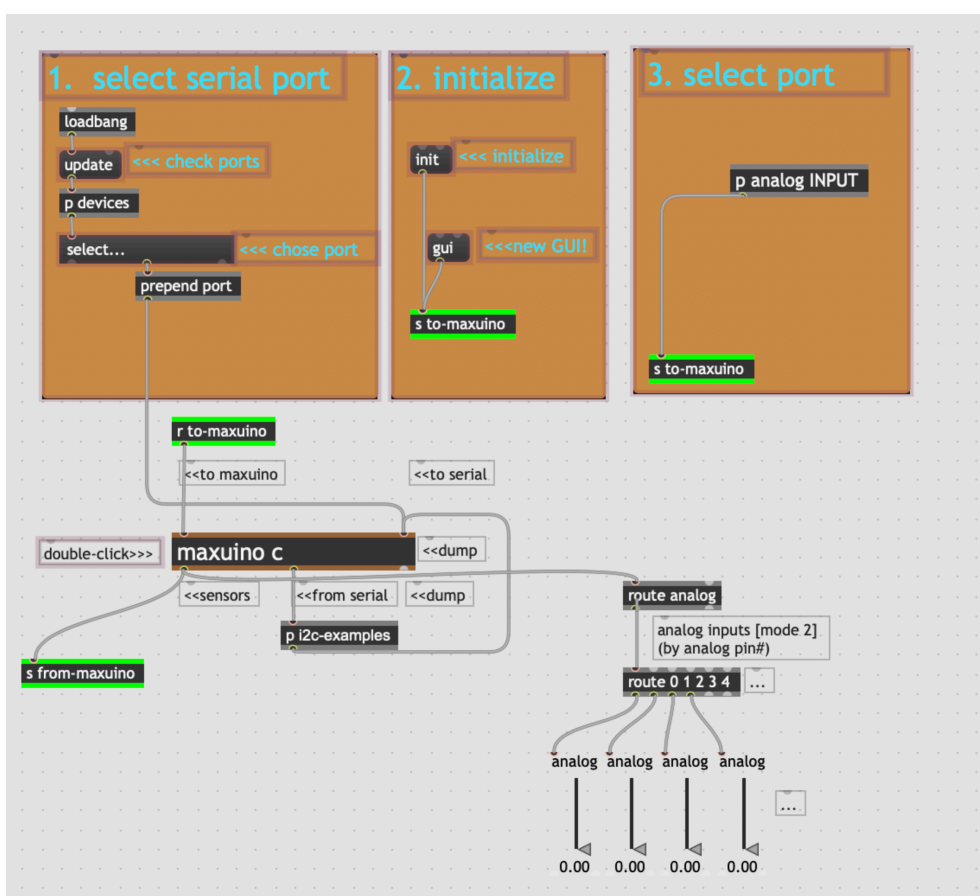
⁴ *Cycling 74* – Amerikos programinės įrangos kūrimo kompanija.

⁵ *Ableton* – progaminė įranga, muzikos ir garso kūrimui.

⁶ Talpina objektų grupes programėlėse, arba didesniuose objektuose.

Max MSP programinė kalba yra pritaikyta darbui su garsu, vaizdu, multimedia ir įvairaus veikimo principo jutikliais. Šiame darbe naudojama *Max MSP 8.0* versija⁷, kurios veikimo principas padalijamas į tris projektus. Du projektai skirti jutiklių ir mikrokompiuterių sistemai, kuri konvertuoja analoginius jutiklių duomenis į skaitmeninius.

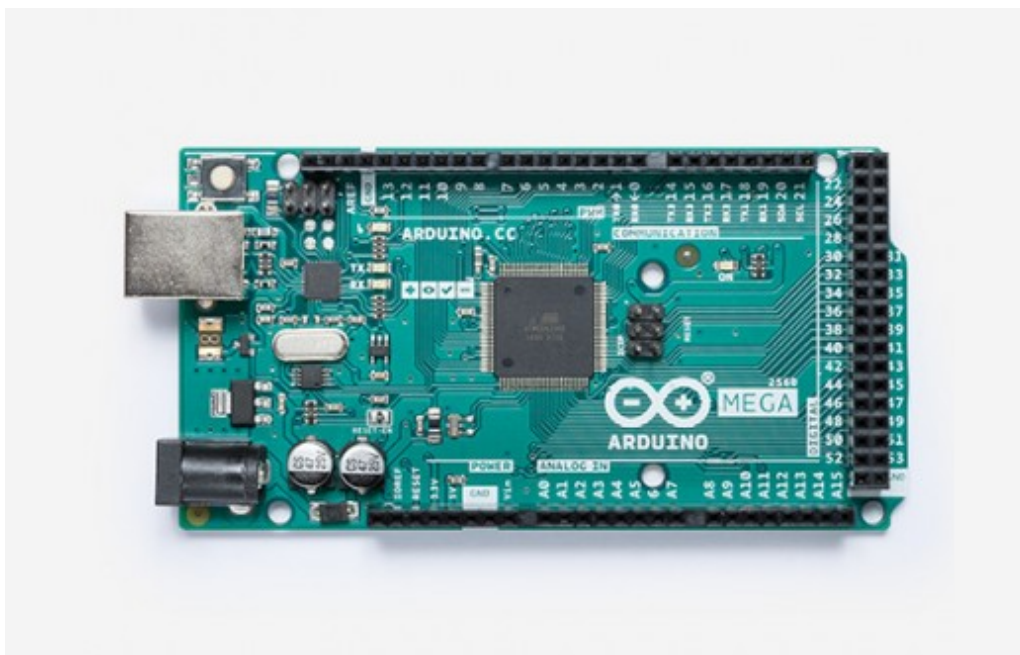
Pirmasis projektas - *Arduino* mikrokompiuterių ir lenkiamųjų jutiklių programėlė, kurioje naudojama *Max MSP* programos dalis skirta kurti garso valdymo sistemas. Per programinę biblioteką *Maxuino*⁸ imami duomenys, kurie yra konvertuojami iš analoginių jutiklių į skaitmeninius duomenis. *Maxuino* biblioteka sukuria galimybę apdoroti konvertuotus duomenis ir priskirti juos objektams, kurie generuoja garsą ir kontroliuoja muzikinius parametrus.



Paveikslas Nr. 1. *Max MSP* programinės aplinkos projektas.

⁷ Naujasis *Max* versija yra 8.0.5. Dėl programinės aplinkos stabilumo naudojama versija, su kuria ir pradėtas projektas – *Max 8.0*.

⁸ *Maxuino* yra atviro kodo biblioteka, skirta lengviau ir greičiau naudoti *Cycling '74* programines aplinkas, tokias kaip *Max MSP/Jitter*, *Max6*.



Paveikslas Nr. 2. *Arduino MEGA2560* mikrokompiuteris.

Arduino – yra atviro kodo elektroninė platforma, sukurta nesudėtingam techninės ir programinės įrangos naudojimui. *Arduino* plokštė gali reaguoti į įvairius signalo perdavimo šaltinius – jutiklius, mygtukus, *Twitter* žinutes. Mikroplakštė gavusį signalą, aktyvuoja jį į naują informaciją – perduoda duomenis esamuoju laiku. *Arduino* plokštei galima nurodyti instrukcijas specialia *Arduino* programine kalba. Mikrokompiuteris, skirtas kurti nuo paprasčiausių objektų iki sudėtingų išradimų. *Arduino* kūrėjų tikslas buvo sukurti produktą, kurį suvaldyti galėtų ir programavimo pagrindų neturintys studentai.

Arduino plokštė išrasta *Ivrea* interakcijos dizaino institute, skirta paprastesniu būdu kurti įvairius elektroninius prototipus. Šiuo metu galima rasti įvairaus sudėtingumo ir rūšių *Arduino* plokščių – *UNO*, *BUETOOTH*, *DUEMILANOVE*, *DIECIMILA*, *EXTREME*, *SERIAL*, *LILYPAD*, *MEGA*, *NANO*, *MINI*. Įrengimas yra atviro kodo, įgalinantis vartotoją individualiai pritaikyti mikrokompiuterį savo poreikiams.

Dėl didelio įvesčių kiekio pasirinktas *Arduino MEGA 2560* modelis. Plėtojant projektą šiame mikrokompiuteryje, esant poreikiui, bus padidintas jutiklių kiekis. Šiame modelyje yra 54 skaitmeniniai išėjimai/įėjimai, iš kurių 14 gali būti naudojami kaip *PWM*⁹ išėjimai, 16 analoginių išėjimų, 4 techninės įrangos nuoseklūs portai, *USB* jungtis, maitinimo jungtis, *ICSP*¹⁰ jungtis, perkrovimo mygtukas. *MEGA 2560* valdiklių ploštėje naudojamas mikrovaldiklis *ATmega 2560*.

⁹ *PWM* - pulse width modulation - elektrinio signalo vidutinės galios sumažinimo būdas, efektyviai pjaustant jį į atskiras dalis. https://www.tftcentral.co.uk/articles/pulse_width_modulation.htm

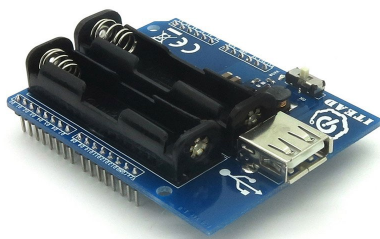
¹⁰ *ICSP* (In Circuit Serial Programming) – protokolas naudojamas programuoti mikrokontrolerius.

Norint, kad valdiklis veiktų nuotoliniu būdu, reikalingos papildomos detalės. Kuriamame instrumento valdyje reikalingas kūno judesių laisvumas. Egzistuoja keli pasirinkimai kaip tai įgyvendinti – *Bluetooth*, *USB* arba *Wi-Fi* duomenų perdavimo būdai. Minėtasis *Arduino MEGA 2560* modelis turi galimybę perduoti informaciją *USB* jungties pagalba, bet tai verčia likti priklausomam nuo atstumo, kur stovi kompiuteris ir kaip juda atlikėjas su įrenginiu. Tačiau *USB* jungties privalumas – užtikrintas duomenų perdavimo stabilumas. Vengiant atlikėjo suvaržymo, minėtame junginyje pasirinkta *Wi-Fi* jungtis:



Paveikslas Nr. 3. *Arduino Wi-Fi* skydas.

Taip pat prietaisui reikalingas energijos šaltinio priedėlis, kuris naudoja dvi *AAA* tipo baterijas:



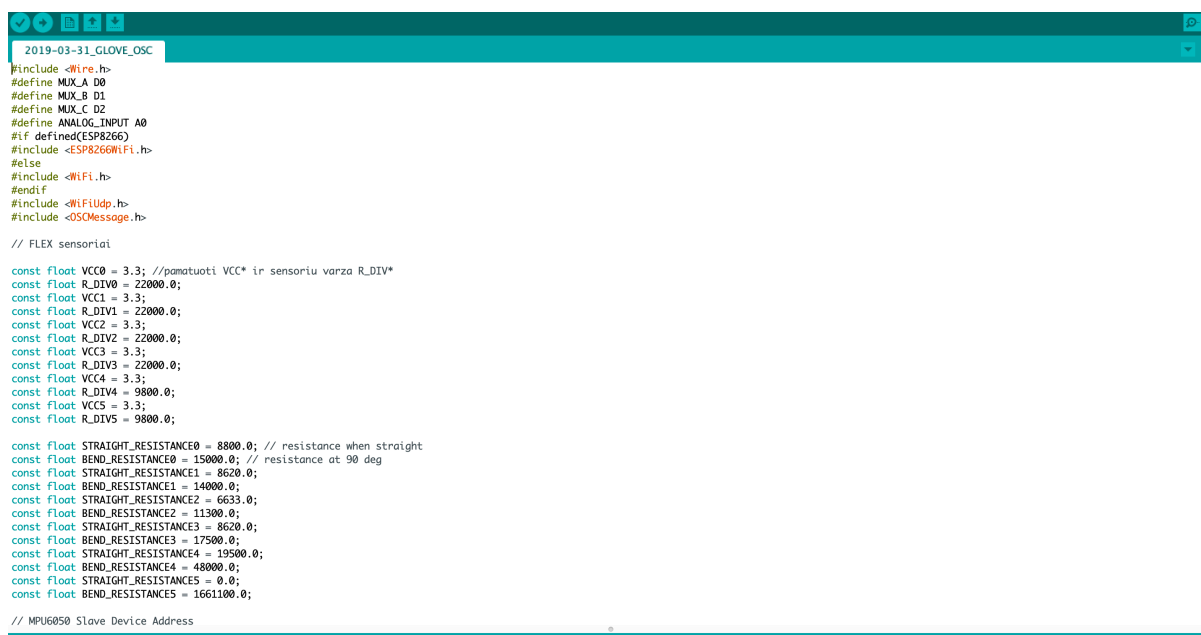
Paveikslas Nr. 4. *Arduino* energijos šaltinio priedėlis

Prie *Arduino Mega 2560* išvardintų įrenginio detalių, standartiniais *CAT 5e*¹¹ kableliais prijungiami keturi lenkiamieji davikliai. Iš jų gaunamas analoginis signalas į mikrokompiuterį, kuriame gauti duomenys paverčiami skaitmenine informacija ir pritaikoma garso kūrimo procese.

¹¹ CAT 5e - pora dengtų kabelių, skirtų kompiuterio tinklams. Kabelių standartas užtikrina iki 100 MHz našumą.

1.1.2. Gadli pirštinės

Antrasis *Max MSP* projektas suteikia galimybę naudotis kita jutiklių ir mikroschemų valdymo sistema – *Gadli*. Šių interaktyvių pirštinių pagrindinis mikrokompiuteris *ESP 8266*¹² veikia *Arduino* programavimo kalba, todėl duomenų perdavimo principas labai panašus į pirmojo projekto veikimo sistemą, bet dėl kitų gamintojų, nėra galimybės pritaikyti *Maxduino* biblioteką. Sistema susideda iš skirtingų gamintojų mikroschemų ir įrenginio suprogramavimo. Šiame projekte naudojamos kelios programinės bibliotekos. Viena jų skirta bevielio tinklo veikimo kontrolieriui (*Wi-Fi*) ir užrašoma *I²C*¹³ protokolu, kitos bibliotekos naudojamos *OSC*¹⁴ žinutėms gaminti ir perduoti per *UDP*¹⁵ tinklą. Suprogramavus įrenginį signalai paskirstomi į stulpelius, apvelkami į *OSC* žinutes ir duomenys yra perduodami programavimo aplinkai, šiuo atveju – *Max MSP* programavimo aplinkai, kurioje vyksta duomenų panaudojimas garso generavimui bei jo parametrų valdymui.



```
2019-03-31_GLOVE_OSC
#include <Wire.h>
#define MUX_A D0
#define MUX_B D1
#define MUX_C D2
#define ANALOG_INPUT A0
#ifdef ESP8266
#include <ESP8266WiFi.h>
#else
#include <WiFi.h>
#endif
#include <WiFiUdp.h>
#include <OSCMesssage.h>

// FLEX sensoriat

const float VCC0 = 3.3; //pamatuoti VCC* ir sensoriu varza R_DIV*
const float R_DIV0 = 22000.0;
const float VCC1 = 3.3;
const float R_DIV1 = 22000.0;
const float VCC2 = 3.3;
const float R_DIV2 = 22000.0;
const float VCC3 = 3.3;
const float R_DIV3 = 22000.0;
const float VCC4 = 3.3;
const float R_DIV4 = 9800.0;
const float VCC5 = 3.3;
const float R_DIV5 = 9800.0;

const float STRAIGHT_RESISTANCE0 = 8800.0; // resistance when straight
const float BEND_RESISTANCE0 = 15000.0; // resistance at 90 deg
const float STRAIGHT_RESISTANCE1 = 8620.0;
const float BEND_RESISTANCE1 = 14000.0;
const float STRAIGHT_RESISTANCE2 = 6633.0;
const float BEND_RESISTANCE2 = 11300.0;
const float STRAIGHT_RESISTANCE3 = 8620.0;
const float BEND_RESISTANCE3 = 17500.0;
const float STRAIGHT_RESISTANCE4 = 19500.0;
const float BEND_RESISTANCE4 = 48000.0;
const float STRAIGHT_RESISTANCE5 = 0.0;
const float BEND_RESISTANCE5 = 1661100.0;

// MPU6050 Slave Device Address
```

Paveikslas Nr. 5 *Arduino* atvirojo kodo programinė įranga.

¹² *ESP 8266* – *Wi-Fi* mikroprocesorius, turintis *TCP/IP* jungtį ir pilną mikrokontrolerio pajėgumą. Pagamintas Šanchajuje, Kinijoje.

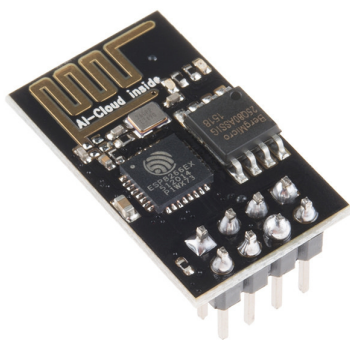
¹³ *I²C* (Inter-Integrated Circuit) ypač plačiai naudojamas prijungti periferinius integrinius grandynus (*IC*) į procesorius ir mikrokontrolerius trumpo atstumo vidinėje komunikacijoje.

¹⁴ „*Open Sound Control*“ (*OSC*) yra garso sintezatorių, kompiuterių ir kitų daugialypės terpės įrenginių tinklų sujungimo protokolas, skirtas muzikos atlikimui ar valdymui.

¹⁵ *UDP* (*User Datagram Protocol*) – *TCP/IP* naudojamas perdavimo protokolas. Naudojamas trumpų segmentų perdavimui.

Gadli pirštinės – tai ineraktyvus įrenginys, kuriuo galima valdyti jutiklių ar mažesnių mikrovaldiklių siunčiamus duomenis. Šio įrenginio kūrėjas Vytenis Gadliauskas 2019 m. sujungė įrenginio detales į sistemą ir pritaikė jas naudoti *Max MSP* programinėje aplinkoje. Kūrėjo tikslas buvo pagaminti jutiklių rinkinį, kurio funkcionalumo pritaikymas priklauso nuo individualaus muzikos kūrėjo. Taip pat ruošiant šį prietaisą buvo išsikeltas uždavinys sukurti kuo mažesni įrenginį, kuris turėtų individualų maitinimą ir nebūtų priklausomas nuo laidinių jungčių. Dar viena priežastis, kodėl buvo sukonstruotos *Gadli* pirštinės – originaliai pagamintų komercinių pirštinių kaina ir funkcijų pasirinkimo ribos.

Interaktyvaus įrenginio pagrindinė detalė yra mikrokompiuteris – *ESP 8266*. Jis gaminamas ir parduodamas kompanijos *Espressif Systems*. Šis mikrokompiuteris viduje turi integruotą 2,4 Ghz bevielio tinklo kontrolierį, yra atsparus temperatūros kaitai (veikia -40°C to $+125^{\circ}\text{C}$ temperatūroje). Jo viduje integruota *ESP8285* - 8 Mbit blykstė. 2014 m. *ESP 8266* kūrėjai išleido oficialų programinės įrangos rinkinį (*SDK*), bet mikrokompiuterį galima naudoti ir su alternatyviomis programomis. Mikhail Grigorev¹⁶ sukūrė neoficialų plėtros rinkinį¹⁷, kuris leidžia mikrokompiuterį *ESP 8266* naudoti *Arduino* programine kalba.

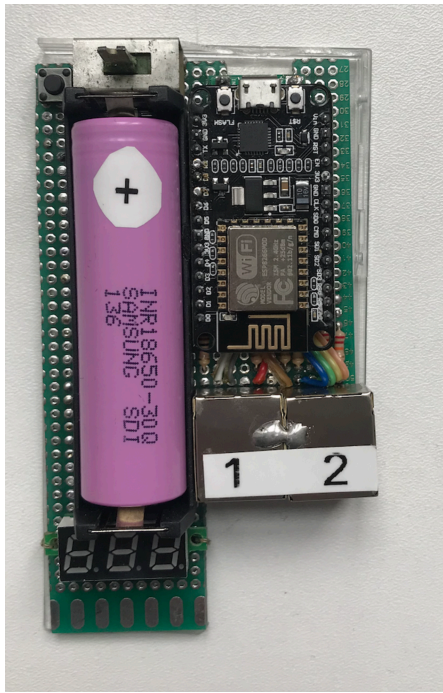


Paveikslas Nr. 6. Mikrokompiuteris - *ESP 8285*.

Prie mikrokompiuterio pritaisyta ličio jonų pakraunamoji baterija. Pasirinktas baterijos tipas yra greitai pakraunamas, jų energijos tankis yra didesnis todėl baterija pasižymi ilga veikimo trukme. Taip pat prie *ESP 8266* pritaisytas ekranas, kuriame galime stebėti baterijos pakrovimo lygį. Patogesniai baterijos naudojimui prie įrenginio pritaisyta srovės įjungimo/išjungimo svirtis.

¹⁶ Mikhail Grigorev – mokėsi Maskvos fizikos ir technologijų institute, inovacijų ir aukštųjų technologijų departamente, baigė taikomųjų mokslų bakalauro studijas.

¹⁷ *Unofficial Development Kit* (angl. neoficialus plėtros rinkinys). Jame esantys programinės įrangos pavyzdžiai užrašyti šaltinio kode *C* kalba, kuri yra naudojama ir *Arduino* programavimo metu.



Paveikslas Nr. 7. Ličio jonų pakraunamoji baterija.

Kita ineraktyvios pirštinės įrenginio sistema susideda iš yra įvairaus tipo jutiklių, tvirtinamų prie kūno. *Gadli* interaktyvioji pirštinė susideda iš kelių skirtingo tipo jutiklių – lenkiamųjų, slėgio, temperatūros jutiklių, girometro ir akselerometro. Visi šie jutikliai su pagrindiniu mikrokompiuteriu yra jungiami standartiniais *CAT 5e* kabeliais, kurie tvirtinasi prie specialiai pritaikyto rūbo. Daviklių sistemos tvirtinimui naudojamos dvigubos pirštinės, kuriose jutikliai pritaisyti, atitinkamai pagal jų specifines savybes – stabiliai arba paslankioje būsenoje.

Atlikimo metu *Gadli* įrenginio pagrindinis mikrokompiuteris dedamas į specialią laikiklį, kuris diržu tvirtinamas prie apatinės nugaros dalies. Šiame laikiklyje kartu talpinama ir Arduino mikrokompiuterio dalis.

1.1.3. Naudojamų jutiklių rūšys

Arduino ir *ESP 8266* mikrokompiuteriai interaktyvių instrumentų pritaikyme funkcionuoja tik su signalo perdavimo šaltiniu. Kuriant garso valdymo sistemą, tyrimo metu išnagrinėjus visas jutiklių rūšis, priimtas sprendimas pasirinkti ir pritaikyti kelis skirtingus jutiklių tipus.

Jutiklių rūšis galima kategorizuoti pagal jų veikimo principo specifines savybes¹⁸:

- Akseleracijos, pagreičio jutikliai.
- Biosignaliniai jutikliai.

¹⁸ <https://sensorwiki.org/sensors> siūloma jutiklių klasifikacija

- Atstumo jutikliai.
- Judesio jutikliai.
- Jėgos/slėgio/įtempimo/ lenkimo jutikliai.
- Drėgmės jutikliai.
- Linearios pozicijos/horizontalumo jutikliai.
- Orientaciniai/krypties nuolydžio jutikliai.
- Radio dažnių jutikliai.
- Rotaciniai, sukimosi pozicijos jutikliai.
- Sukimosi greičio jutikliai.
- Įjungimo/išjungimo jutikliai.
- Temperatūros jutikliai.
- Vibracijos jutikliai.
- Šviesos intensyvumo jutikliai.

Islandijos menų universitete¹⁹ praktiškai išbandytas Wayne Siegel²⁰ ir Jens Jacobsen²¹ kurtas *DIEM*²² *dance system* instrumentas tyrimo metu padėjo įsigilinti į interaktyvių instrumentų veikimo principus ir pritaikomumą. *DIEM dance system* veikimo principą sudaro - lenkiamieji jutikliai, sujungti su *MIDI* informacijos perdavimo bloku ir *bluetooth* nuotolinio signalo perdavimo modemu, kuris perduoda informaciją *Max MSP* programai. Ši sistema buvo sukurta 1998 m. kūriniui *SISTERS*²³ dvejoms šokėjoms ir kompiuteriui. Nors sistema pakankamai sena ir skirta išreikšti judesiui, o ne jį suvaldyti, *DIEM dance system* instrumento galimybės padėjo tolesniems tyrimams ir ieškojimams.

Kitas ryškus interaktyvių instrumentų tipo pavyzdys – *mi.mu*²⁴ pirštinės. Pagrindinė idėjos autorė – Imogen Heap²⁵ su komanda ilgus metus ieškojo patogaus jutiklių ir mikrokompiuterių sistemos varianto, kuriuo būtų patogiu atlikti muziką. Jame ir kitose panašaus veikimo principo sistemose pagrindiniai naudojami jutikliai yra lenkimo (bend) bei jėgai jautrūs (force-sensitive resistor) jutikliai, girometras ir akselerometras.

¹⁹ <https://www.lhi.is/en>

²⁰ Wayne Siegel – Danijoje gyvenantis, Kalifornijoje gimęs kompozitorius, performeris, tyrėjas, mokytojas, elektroninės muzikos profesorius. <http://waynesiegel.dk>

²¹ Elektros inžinierius, dirbęs kartu su Wayne Siegel skaitmeninių šokių projekte 1995-1999m.

²² *DIEM* – Danijos elektroninės muzikos institutas (angl. Danish institute of electronic music) <https://www.musikkons.dk/index.php?id=3824>

²³ plačiau – http://waynesiegel.dk/?page_id=750

²⁴ plačiau – <https://mimugloves.com/#section-3-4>

²⁵ Imogen Heap – britų kilmės dainininkė, prodiuserė, dainų autorė, audio inžinierė, multiinstrumentalistė. Ji yra pagrindinė *mi.mu* pirštinių idėjos autorė ir atlikėja.

Lenkiamieji jutikliai

Yra keli lenkiamųjų jutiklių klasifikavimo būdai. Vienas jų - pagal medžiagų savybes: šviesolaidiniai, veikiantys laidžios tekstilės ar polimerų²⁶ principu ir jutikliai, veikiantys laidžios medžiagos (pv. anglies dalelių) principu.

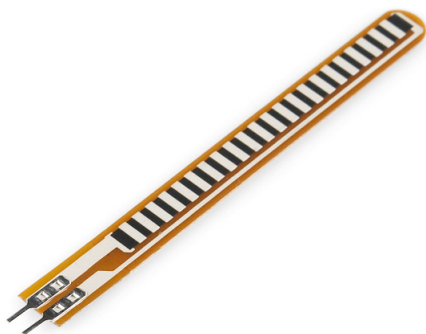
Pagrindinės lenkiamųjų sensorių savybės²⁷:

- Deformacijos diapazonas – nustato maksimalų deformacijos kampą, kurį galima išmatuoti (priešingai nei maksimalus kampas, kurį jutiklis gali sulenkti).
- Pasipriešinimo diapazonas – sulenkimo jutimas gali labai skirtis net ir viename jutiklyje. Atsparumas matuojamas nuo nominalios vertės stabilioje pozicijoje iki pilnos deformacijos.
- Vienkryptis ir dvikryptis jutimas – kai kurie lenkiamieji jutikliai didina pasipriešinimą, kai jie yra sulenkiami bet kuria kryptimi. Tuomet matavimo skirtumai nėra susiję su krypties pasirinkimu. Kiti, vienakrypčiai jutikliai – didina pasipriešinimą lenkiami tik į vieną pusę.
- Polinis ir dvipolinis jutimas – dvipolio lenkiamojo jutiklio matmenys fiksuojami dvejomis priešingomis kryptimis, todėl suteikiami skirtingi matavimo rezultatai. Polinis jutimas leidžia gauti duomenis tik viena kryptimi.

Dar viena nepaminėta lenkiamųjų jutiklių savybė, jog lenkimo kampas negali viršyti 90° laipsnių, nes stipresnis sulenkimas gali sugadinti patį jutiklį. Taip pat, svarbu tinkamai pritaikyti kūno vietą, kokybiškai jį pritvirtinti ir suorganizuoti stabilų veikimo principą. Pristatant prie kūno lenkiamųjų vietų savybių, *Gadli* įrenginio ir *Arduino* sistemos darbuose pasirinkti lenkiamieji jutikliai, kurie yra vienakrypčiai ir poliniai. Jie fiksuoja pokyčio duomenis jutiklio viduje esančių elektrai laidžių anglies dalelių varžos keitimosi principu. Jų varža priklauso nuo laidininko ploto storo ilgio. Keičiantis dalelių plotui, atitinkamai kinta ir jų varža, kurios pokyčio duomenis ir yra perduodami mikrokompiuteriui.

²⁶ Polimeras – medžiaga, kurios molekulės sudarytos iš mažesnių pasikartojančių vienetų, vadinamų monomerais.

²⁷ Klasifikacija pateikta E. Miranda and M. Wanderley knygoje “New Digital Instruments: Control and Interaction Beyond the Keyboard”



Paveikslas Nr. 8. Lenkiamasis jutiklis.

Dažnai šie davikliai naudojami žaidimų kontrolieriuose (vienas pirmųjų pavyzdžių – *Nintendo Power Glove*²⁸), medicininiuose prietaisuose, matavimo įrenginiuose, saugos jungiklių kūrimo, laivyboje, mašinų valdymo sistemose, robotikoje ir muzikos instrumentų kūrimo.

Pagrindinės lenkiamojo jutiklio savybės, kurios padėjo pasirinkti šį tipą yra:

- Atsparumas triukšmui.
- Išlinkimo ploto rezistorius ne viename taške.
- Aukštas temperatūros ir drėgmės toleravimas.
- Palyginti mažos kainos.

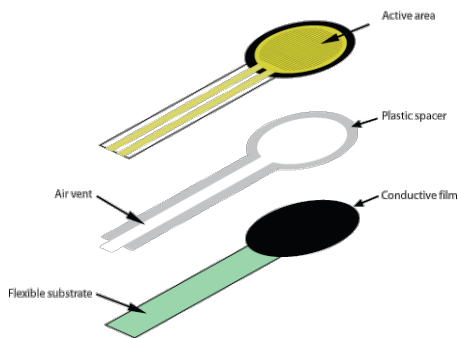
Gadli įrenginyje panaudoti penki 11,43cm (4,5 colių) jutikliai, o Arduino sistemoje pritaikyti dviejų ilgių jutikliai – 5,58cm (2,2 colių) ir 11,43cm (4,5 colių).

Jėgai jautrus jutikliai

Jėgai jautrus jutiklis naudojamas interaktyvių pirštinių prototipo kairės rankos gestų fiksavimui. Jis susideda iš keletos sluoksnių:

- Apsauginio plastiko sluoksnio.
- Aktyviosios medžiagos (anglies dalelių) apskritimo formos sluoksnio, prijungto prie elektrodų.
- Plastikinės dalies rėmelio, kuri sukuria oro tarpus.
- Lankstaus paviršiaus, padengto polimerine arba *FSR* medžiaga.

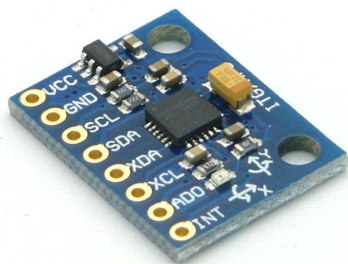
²⁸ *Nintendo Power Glove* – Nintendo žaidimų sistemos kontrolieris, judesių valdiklis, sukurtas 1989 m.



Paveikslas Nr. 9. Jėgai jautraus jutiklio sudedamosios dalys.

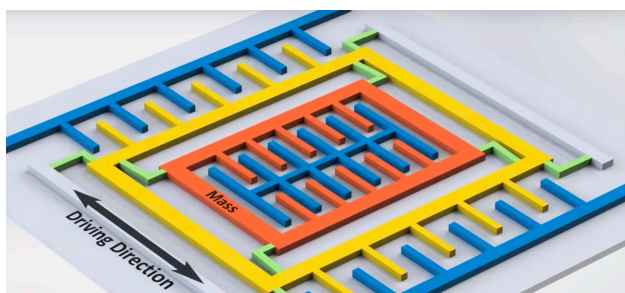
Kai jutikliui taikoma išorinė jėga, varžinis elementas deformuojamas. Oras iš tarpiklio angos yra perstumiamas per oro išėjimo angą, o laidžioji medžiaga ant pagrindo liečiasi su aktyvios srities dalimis. Kuo daugiau aktyvios srities, kuri liečia laidų elementą, tuo mažesnė varža.

MPU 6050 – mikroschema, jungianti trijų rūšių jutiklius: akselerometrą, giroskopą ir termometą. Jis veikia, kaip atskiras įrenginys, veikimo principas panašus į išorinės garso plokštės.



Paveikslas Nr. 10. Akselerometro, girometro ir temperatūros jutiklio mikroschema.

Akselerometras susideda iš fiksuotų plokštelių, kuriose yra slankiojantis įrenginys. Jis priklausomai nuo judesių krypties reaguoja į pokytį trimatėje erdvėje (x y z). Mikroelektromechaniniai akselerometrai dažnai įmontuojami nešiojamuose elektroniniuose aparatuose, taikomi mobiliuosiuose telefonuose, video žaidimų valdymų pulteliuose.



Paveikslas Nr. 11. Akselerometro ir girometro veikimo principo modelis.

Giroskopo jutikliai (angl. *gyro sensor*) – dažniausiai naudojami kartu su akselerometro plokštelėmis. Ši technologija leidžia užfiksuoti vibracijas ir išeigos jėgą. Giroskopo jutiklis matuoja kampinį greitį naudojant *Coriolis* efektą. Kai masė juda tam tikra kryptimi su tam tikru greičiu, ji sukelia statmeną masės poslinkį. Taigi, šis poslinkis sukelia talpos pokyčius, kurie bus matuojami, apdorojami ir atitiks tam tikrą kampinį greitį.²⁹

Temperatūros daviklis – mikroschemoje *MPU 6050* veikiantis aktyvus elementas, matuoja pasikeitusios varžos arba įtampos skirtumus. Termometro kontroleris lygina gamintojo įvestus pradinius parametrus ir naujai gautus duomenis. Jų santykis nurodo gautos temperatūros reikšmę.

1.2. *Kinect 2* kamera ir garso išgavimo būdas

1.2.1. *Kinect 2* istorija ir veikimo principai



Paveikslas Nr. 12. *Kinect 2* įrenginys.

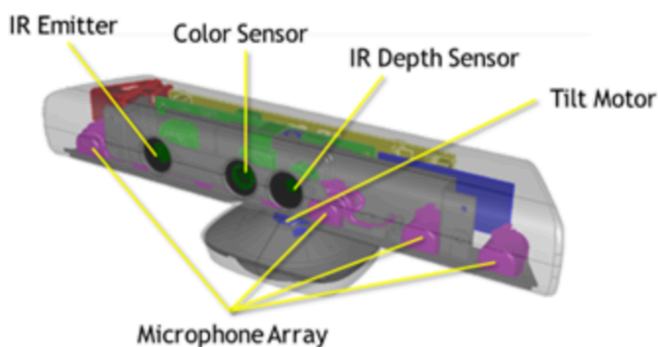
Kinect pirmoji versija buvo sukurta ir paleista į prekybą 2010 m. lapkričio 4 d. Pardavimų kiekis sumušė rekordą, kuris buvo užfiksuotas Gineso rekordų knygoje. Per šešiasdešimt dienų buvo išparduoti aštuoni milijonai įrenginio vienetų. *Kinect* buvo pirmasis komercinis jutiklių įtaisas, leidžiantis sąveikauti su pultu per natūralią vartotojo sąsają - vietoj žaidimo valdiklio naudoti gestus, žodžių komandas.

²⁹ <https://howtomechatronics.com/how-it-works/electrical-engineering/mems-accelerometer-gyrocope-magnetometer-arduino/> giroskopo jutiklio veikimo būdo aprašymo vertimas.

2009 m. įrenginys buvo pristatytas *Project Natal* vardu, bet 2010 m. vardas pakeistas. *Kinect* tai žodžių žaismas tarp *connect* (angl. – prisijungti) ir *kinectic* (angl. – judesys, judėti) apibūdina pagrindinę įrenginio paskirtį. Kompanijos idėja, jog kiekvienas įrenginiu besinaudojantis žmogus ir tampa pačiu kontrolieriu.

Pagrindinis *Kinect 2* veikimo dėsnis yra grindžiamas struktūruotu apšvietimo metodu, kuris yra susijęs su infraraudonųjų spindulių taškų panaudojimo principu. Mansib Rahman knygoje „Microsoft Kinect fos Windows SDK 2.0“ *Kinect 2* veikimas palyginamas su *QR* kodų esminiu veikimo principu – fiksuojama apimtis, kuri telpa į regėjimo lauką. Žinant, kad toliau esančių objektų gauti duomenys bus labiau iškraipyti, infraraudonųjų spindulių kamera fiksuoja šį iškraipymą per veidrodinę atspindžio plokštę, kuri matuoja bendro vaizdo gylį regimame lauke.

Kinect 2 jutiklyje yra *RGB* kamera, gylio jutiklis, kurį sudaro: infraraudonųjų spindulių lazerio projektorius, infraraudonųjų spindulių *CMOS*³⁰ jutiklis ir daugialypis mikrofonas, leidžiantis lokalizuoti garsą ir slopinti aplinkos triukšmą. Jame taip pat yra šviesos diodų apšvietimas, trijų ašių pagreičio matuoklis ir mažas *servo* motoras³¹, valdantis prietaiso pakreipimą.



Paveikslas Nr. 13. *Kinect 2* pagrindinių dalių išsidėstymo schema – *IR* spindulys, spalvos jutiklis, *IR* gylio jutiklis ir pakrypimo matuoklis (iš kairės į dešinę).

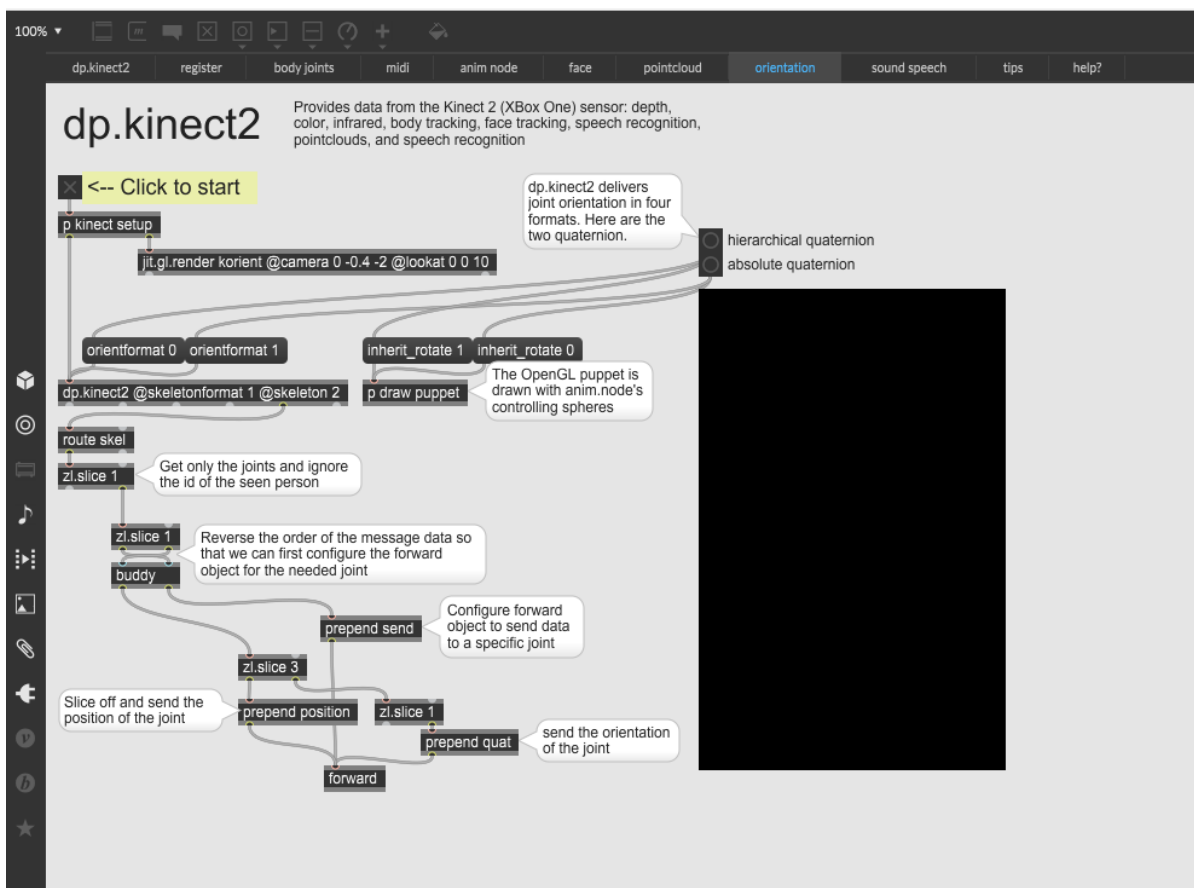
Norėdami valdyti iš *Kinect 2* gaunamus duomenis, turime naudoti šiai įrangai pritaikytą įskiepi – *DP Kinect 2* (kūrėjas – Dale Phurrough³²). Šis *Max MSP* plėtinys, kurtas ne pačioje *Max* aplinkoje, bet su ta pačia programine *C* kalba. *DP Kinect 2* įskiepis fiksuoja *Kinect 2* jutiklių perduodamą informaciją ir su naujai sukurtais objektais *Max MSP* programinėje aplinkoje leidžia priimtus kintamus duomenis panaudoti tolesniam garso generavimui bei muzikos kūrimui.

³⁰ *CMOS* - yra vaizdo jutiklis, kurio kiekviename vaizdo elemente yra fotodetektorius ir aktyvus stiprintuvas.

³¹ *Servo* motoras - yra automatinis įrenginys, kuris naudoja klaidų jutimo neigiamą grįžtamąjį ryšį, kad koreguotų mechanizmo veikimą.

³² Dale Phurrough – programinės įrangos kūrėjas, interaktyvaus meno kūrėjas bei atlikėjas.

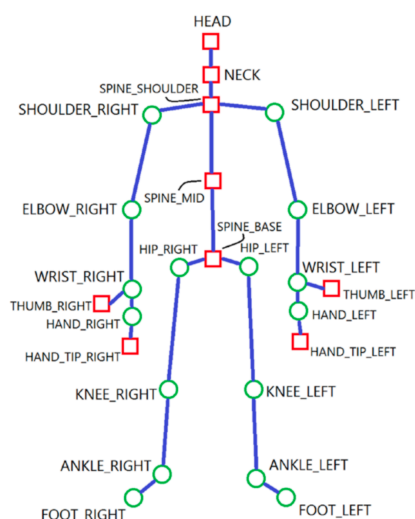
DP Kinect 2 perduoda kūno padėties duomenis. Įskiepio pagalba gauname informaciją apie įrenginio fiksuojamus gylio, spalvos, kūno padėties erdvėje, veido mimikų pokyčius. Taip pat galimas kalbos atpažinimas. Šio projekto metu naudojama orientavimosi erdvėje programėlė, kuri fiksuoja tam tikrus kūno taškus erdvėje (x, y, z) ir reaguoja į gaunamų duomenų pokyčius.



Paveikslas Nr. 14. DP Kinect 2 įskiepio projektas Max MSP programavimo aplinkoje.

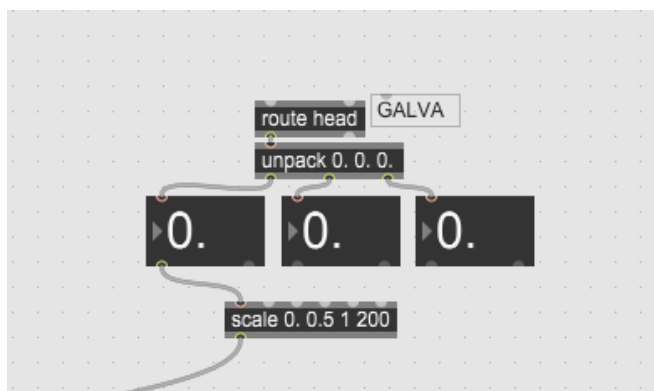
Kūnas yra suskirstomas segmentais. Atskirai pažymimi kairės ir dešinės rankų taškai: petys, alkūnė, riešas, delnas, nykštys. Taip pat atskirai pažymimi kairės ir dešinės kojų taškai: klubas, kelis, kulkšnis ir pėda. Fiksuojami juosmens, liemens, kaklo ir galvos taško duomenys. Naudojant *Puredata*³³ programavimo aplinką, dar papildomai būtų galima pažymėti tris stuburo padėties taškus.

³³ *Puredata* pradinis kūrėjas Miller Puckette (kaip ir Max MSP). *Puredata* – yra atviro kodo grafinė programavimo aplinka. *Puredata* nuo Max MSP skiriasi sudėtingesne vartotojo sąsaja, bei ne tokia aiškia dokumentacija, kaip *Max MSP*.



Paveikslas Nr. 15. Fiksuojamų kūno taškų brėžinys.

Kiekvienas kūno taškas perduoda skaitmeninius trimatės erdvės duomenis x , y , z . Šiuos tris nuo judesio pokyčio kintančius skaičius *Max MSP* programoje gauname žinutės pavidalu. Žinutėje esantis skaičius dažniausiai yra nedidelės vertės, skaičius po kabelio, nepasiekiantis sveiką skaičiaus reikšmės. Todėl naudodami mastelio keitimo objektą *scale*, iš kūno taško gautus kintančius duomenis, pasiverčiame didesnės vertės kintančių skaičių žinute.



Paveikslas Nr. 16. Duomenų perdavimo objektų junginys.

1.2.2. Kinect 2 įrenginio galimybės ir pritaikymas

RGB kamera.

RGB maksimalus kameros darbo dažnis yra 30Hz prie 640x512 rezoliucijos. Didžiausia rezoliucija yra 1280x1024 pikselių, tačiau tokiu atveju kamera veikia 20Hz dažniu. Kamera turi puikų funkcijų rinkinį, įskaitant automatinį baltos spalvos balansavimą, juodos spalvos atskaitą, mirgėjimo vengimą, spalvų sodrumą ir defektų taisymą.

Gylio jutimo kamera.

Šią jutimo kamerą sudaro dvi dalys: *IR* lazerio skleidėjas ir *IR* kamera. *IR* lazerio spinduliuotė sukuria strukturizuotą *IR* šviesos (830 niutonmetrų) grubių (noisy) dalelių vaizdinį.



Paveikslas Nr. 17. *IR* gylio jutiklio taškais fiksuojamas vaizdas .

Paveikslėlyje galime išvelgti devynis šviesiausius taškus. Tai sąlygoja netobulo šviesos filtravimo metodo pritaikymas. Filtrai, naudojami tokiems taškams išgauti, dažniausiai geba išryškinti tik vieną šviesiausią tašką. Devynių taškų užfiksavimo patentuota sistema³⁴ suteikia galimybę naudoti didesnio galingumo lazerį. Gylio fiksavimas veikia struktūrizuotos šviesos principu. Vaizdo pasikeitimai nustatomi taškų išstumimo ir kameros (pseudorandominiu) metodu. Pakitusią informaciją *IR* kamera įsirašo ir palygina su pirmine informacija. Taip aptinkami paviršiaus pakitimai, kurie gali būti fiksuojami arčiau arba toliau. Abi kameras būtina prieš naudojimą praktikoje sukalibruoti.

2. Interaktyvių instrumentų valdymo parametrai

2.1. Interaktyvių instrumentų judėsių galimybės

Prieš pradėdant aptarinėti kūno judesiais valdomų instrumentų kontroliavimo galimybes, norisi apsibrėžti, kokio tipo instrumentai patenka į šią kategoriją. Interaktyvūs grojimo prietaisai gali būti suskirstomi pagal veikimo principus. Marcelo m. Wanderley straipsnyje „Gestural Control of Music”³⁵ siūlo skaitmeniniu principu veikiančius instrumentus skirstyti pagal fiksuojamą žmonių judesių ir kontrolierio sąveikos skirtumus:

³⁴ *US201001181123 Prime Sense* kompanijos patentuotas metodas, skirtas *IR* kamerai.

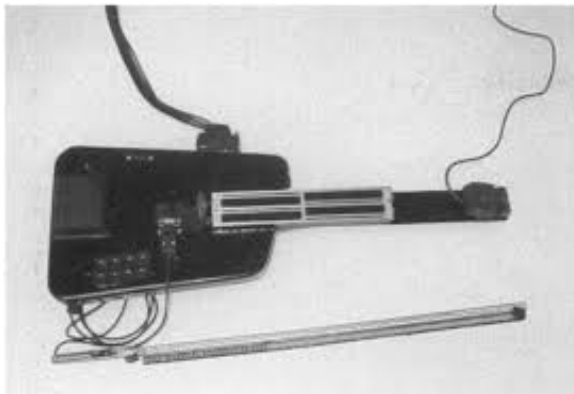
³⁵ Marcelo M. Wanderley, *Gestural Control of Music*, IRCAM - Centre Pompidou 1, Pl. Igor Stravinsky 75004 -

- Instrumentai – kontrolieriai. Instrumentai, kurių konstrukcija primena egzistuojančio (akustinio) prietaiso detalių išvaizdą (elektroninės klaviatūros, gitaros, saksofonai, marimbos ir pan.). Vienas iš pavyzdžių – *Yamaha wx7* klarinetas.



Paveikslas Nr. 18 *Yamaha wx7* klarinetas.

- Instrumentai, inspiruoti kontrolierių. Jų konstrukcija taip pat turi panašumo į akustinių instrumentų formas, bet garso išgavimo technika skirta kitokiam panaudojimui. Pavyzdžiui, *SuperPalm*³⁶ smuiko forma primena smuiką, bet garso generavimas išgaunamas granulinės sintezės metu.



Paveikslas Nr. 19. *SuperPalm* smuikas.

- Išplėstiniai (extended) instrumentai. Prie akustinių instrumentų (pvz. fleitos, fortepijono) pridedami papildomi jutikliai, kurie generuoja naujus garsus arba keičia bei papildo originalaus instrumento tembrus.
- Alternatyvūs kontrolieriai. Instrumentai, kurių forma neprimena akustinių instrumentų išvaizdos. Šiai grupei priklauso instrumentai, valdomi rankomis, burna, žaidimų kontrolieriai ir panašiai. Gestais vadamų instrumentų sistemą (*Arduino* ir *Gadli*) būtų galima priskirti prie šios grupės. Marcelo m. Wanderley straipsnyje nėra užsimenama apie instrumentus, valdomus nuotoliniais objektais. *Kinect 2*, kameros ir pan., iš tiesų grupuotųsi kaip alternatyvūs kontrolieriai.

³⁶ *SuperPalm* – S. Goto, A. Terrier, and P. Pierrot sukurtas instrumentas

2.1.1. Judesių pritaikymas interaktyviame muzikos atlikime

Judesių skaitmenizavimas muzikoje žinomas daugiau nei penkiasdešit metų (Frederic Bevilacqua, Norbert Schnell and Sarah Fdili Alaoui, 2011). Gestais valdomų instrumentų kūrimas, skirtas šokio pasirodymams išpopuliarėjo devintojo dešimtmečio laikotarpyje.

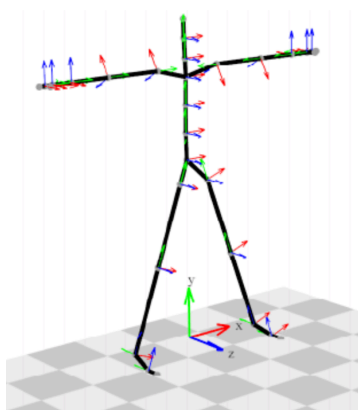
Šokio pasirodyme naudojami interaktyvūs instrumentai, dažniausiai pritaikomi prie kūno linkių arba pagaminami specialūs kostiumai. Interaktyvaus šokio judesys priklausomas nuo gestų, garso ir vaizdo procesų sinchronizacijos. Kitaip tariant, interakcijos procesą gali lemti laikinieji įvykiai, laiko sekos ir sinchronizavimo mechanizmai. Atsiradus *Kinect* ir panašaus veikimo įrenginiams interaktyvaus šokio srityje iškilo galimybė atsiriboti nuo įrenginių, kurie varžo judesį. Taip pat padidėjo pasirodymo erdvės panaudojimo galimybės.

Neretai šokio scenarijus susijęs ir keičiasi tobulinant muzikos, choreografijos ir programinės įrangos kūrimą. Šokyje naudojami garsai gali būti įvardinami kaip skambesys tarp teatro garso efektų ir muzikos kompozicijos (Alexander Jensenius, 2011).

Instrumentinėje muzikoje naudojami judesiai turi savo paskirtį. Juos galima suskirstyti į *performatyvius, komunikacinius ir pagalbinius* (Dan Overholt, John Thompson, Lance Putnam, Bo Bell, Jim Kleban, Bob Sturm and JoAnn Kuchera-Morin, 2009). Dažnai interaktyvios instrumentinės muzikos atlikimui naudojami įvairūs jutiklių junginiai skirti rankoms. Istoriskai susiklosčiusios aplinkybės lemia žmogaus įprotį kontroliuoti garsą viršutine kūno dalimi, konkrečiai rankomis ir pirštais. Todėl interaktyvios žaidimams skirtos pirštinės arba jų prototipai pritaikomi ir muzikos atlikimo mene.

2.1.2. Individualiai kurtų instrumentų kūno judesių galimybės

Kinect 2 kamera valdomų judesių perduodami duomenys yra priklausomi vienas nuo kito. Šio projekto metu naudojams orientacijos erdvėje projektas, kurio pagrindiniai parametrai matuojami trijų koordinačių x , y , z plokštumoje.



Paveikslas Nr. 20. *Kinect 2* kamera fiksuojamų taškų siluetas, su koordinačių krypties nurodymais.

Norint gauti galvos judesio duomenų pokyčio rezultata y (žemyn/aukšyn) ašyje, kartu gausime ir kitų kūno dalių pokyčio rezultata. Mažiausiai nuo kitų kūno judesių priklausomi taškai yra kairės ir dešinės rankų (atskirai) nykščių, delnų, bei alkūnių gestai. Keliant kairę arba dešinę koją dažniausiai sujuda visas kūno korpusas, ir gaunami visų taškų rezultato pakitimai. Labiausiai priklausomi yra liemens, juosmens, kaklo bei galvos kūno taškai. Skaitmeniniai duomenys, kurie gaunami x ašyje (judesys į kairę arba dešinę pusę) turi bendrą pokyčio rezultata, judinant vieną ar kitą kūno tašką. Mažiausiai priklausomi kūno taškai yra fiksuojami galūnėse. Susidaro individualios kūno taškų judėjimo krypties grupės:

- Dešinieji (alkūnė), delnas, nykštys ir riešas.
- Kairieji (alkūnė), delnas, nykštys ir riešas.
- Galva ir kaklas.
- Dešinieji (kelis) pėda ir kulkšnis.
- Kairieji (kelis) pėda ir kulkšnis.

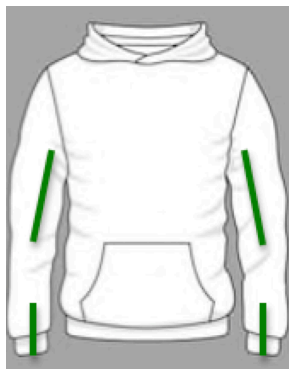
Vienu atveju keliai ir alkūnės tampa jungiamosiomis dalimis, kurios šiek tiek pajuda ir perduoda pokyčio duomenį. Kitas variantas, kai jungiamoji, mažiau reaguojanti dalis tampa pečių arba klubo fiksuojami taškai.

Trečioji kūno judesiais perduodamų duomenų ašis z (į priekį ir atgal). Joje, kaip ir kitose ašyse, didesnė judėjimo individualumo galimybė priklauso rankoms ir kojoms, bet ši ašis turi išskirtinę savybę – galima smarkiai didinti arba mažinti gaunamo duomens vertę prisiartinus arba atitolus nuo kameros visu kūnu. Tuomet z ašies duomenys kinta visuose kūno taškų objektuose ir duoda didžiausią, iš visų ašių duomenų pakitimų, rezultata.

Taip pat būtina paminėti atstumo nuo *Kinect 2* kameros požymius. Kokybiško signalo perdavimui reikalingas maždaug 1,5m. atstumas nuo kameros, tuomet visi taškai pažymimi be trigdžių ir pastebimi visi pokyčiai. Ant aukštesnio pagrindo padėti *Kinect* prietaisai didina atstumą, kuriame pasiekiamas pilno kūno fiksacijos lygis, todėl visai patogiu *Kinect 2* prietaisą laikyti ant žemės ar nedidelio paaukštinimo. Praktikoje gesto atpažinimui šviesos šaltinis įtakos neturi, todėl išsiplečia vizualinės kūrinio atlikimo galimybės.

Interaktyvi grojimo sistema, kurios signalo šaltiniai yra įvairūs jutikliai veikia, lyginant su *Kinect 2* kamera, individualesniu principu. Įrenginio privalumas tas, kad jutikliai gali būti išdėstyti pagal įrenginio kūrėjo poreikius. Bet būtinas išankstinis detalių junginio planas, kuriame numatomi kabelių ilgiai. Lenkiamieji jutikliai, veikiantys su *Arduino* mikrokompiuteriu, turi būti tvirtinti prie lenkiamųjų kūno vietų. Šiame projekte apsiribota viršutine kūno dalimi, o dar tiksliau, jutiklių sistema pritaikoma tik rankų judesiams. Du jutikliai įsiūti į specialią aprangą atitinka atlikėjo alkūnių lenkimo vietą. Nors yra pavojus, jog

lenkiamasis jutiklis negali būti maksimaliai sulenktas (toku būdu gali negrįžtamai nutrūkti jo veikimo procesas), siekiant tikslaus valdymo proceso, jutiklis yra tvirtinamas vidinėje rankos pusėje. Dar du lenkiamieji jutikliai yra tvirtinami prie to paties rūbo vietos, atitinkančios riešų plotą.



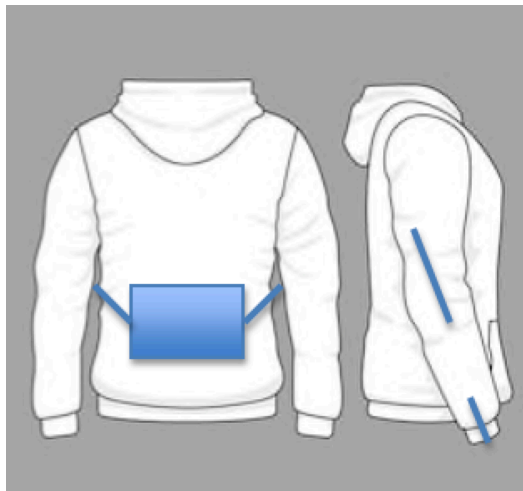
Paveikslas Nr. 21. *Arduino* sensorių padėtis specialiai pritaikytoje aprangoje.

Gadli įrenginio jutikliai tvirtinami dvigubose pirštinėse. Šio interaktyvių pirštinių varianto penki lenkiamieji jutikliai tvirtinami dešinėje rankoje – prietaisai priklijuojami ir sutvirtinami apsiuvimu dvigubo sluoksnio pirštinėje. Kairėje rankoje jėgai jautrus jutiklis pritvirtinamas prie pirštinės ploto, atitinkančio smiliaus piršto pagalvėlę, todėl patogiausias duomenų išgavimo būdas yra kontaktuoti su kairės rankos nykščiu (galimi ir kitokie variantai). Mikroschema, kuri perduoda akselerometro, girometro ir temperatūros duomenis, tvirtinama prie viršutinės delno pusės, netoli riešo. Kairės rankos pirštinė taip pat susideda iš dvigubos medžiagos sluoksnio.



Paveikslas Nr. 22 *Gadli* pirštinės.

Nugaroje pritaikoma dėžutėje, į kurią įdedami abiejų jutiklių sistemų mikrokompiuteriai. Jei sistema nepajungta, įrenginių laikiklis nėra susijęs su apranga, bet tvirtinasi prie jos diržu.



Paveikslas Nr. 23. Jutiklių sistemos pritaikymo pavyzdys.

Visas įrengimas yra skirtas individualiam atlikėjui. Taip pat bendrą jutiklių įrenginių sistemą galima lengvai nuimti ir persiūti prie naujų medžiagų. Šis prototipo variantas yra pirminė įrenginio versija, todėl aprangos estetiškas pateikimas nėra galutinis.

2.2. Interaktyvių instrumentų parametrų valdymas

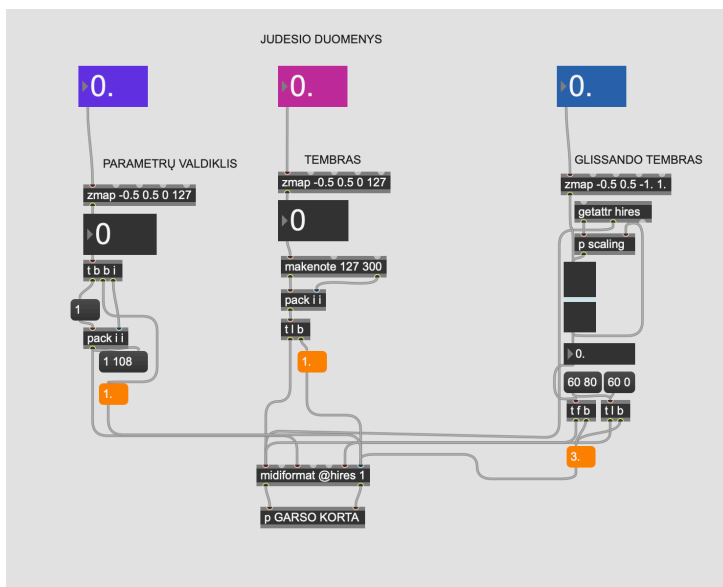
2.2.1. Duomenų priskyrima ir perdavimas

Norint priskirti garso parametrus prie duomenų, gautų iš tam tikrų jutiklių (šiuo atveju *Kinect 2* ir jutiklių sensorių sistemos), reikalingas *Max MSP* programavimo aplinkoje sukurtas objektų junginys. Duomenys (pvz. rankos padėties pozicija) *Max MSP* programavimo aplinkoje gaunami skaičiumi, kurį galime priskirti garso parametrų valdymui. Egzistuoja keli parametrų priskyrimo būdai, priklausomai nuo komandų sudėtingumo ir paskirties. Šiuo atveju naudojamas *zmap* priskyrimo objektas. Jame įrašomas jutiklio siunčiamo signalo skaitmenizuotų duomenų intervalas (pvz. -0.5 0.5), ir jis priskiriamas (įrašomas) *MIDI* parametrų intervalui, t.y. tame pačiame objekte įrašomi maksimalūs arba individualūs *MIDI* parametrai (pvz. 0 127). Apibūdinto proceso metu galime priskirti duomenis prie bet kurių *MIDI* parametrų duomenų valdymo.

Interaktyvių garso grojimo būdų projektuose (*Max MSP* programinėje aplinkoje) naudojami trys skirtingi priskyrimo būdai:

- Skaitmenizuoti jutiklių arba kameros duomenys priskiriami prie CC^{37} parametrų. Tai reiškia, kad prie kontrolinės *MIDI* informacijos, kuri dažniausiai yra naudojama garso tembro efektų parametrų valdymui, priskiriami judesio parametrai. Panašiai veikia sukami ir slankiojantys reguliatoriai, esantys garso pultuose arba pridėti prie įvairaus tipo klavišinių instrumentų (sintezatorių, *MIDI* klaviatūrų), tik projektuose naudojamu atveju vietoj reguliatoriaus veikia kūno judesys.
- Kitas variantas, kai jutiklių arba kameros siunčiami duomenys priskiriami prie *MIDI* natos vertės (*MIDI* note). Tokiu atveju kiekvienas pasikeitimas duomenų objekte pakeičia pasirinkto tembro garso aukščio signalą. Fiksuojamų skaitmenų amplitudė primena klaviatūros skalę – kiekvienas garso aukštis prasideda su nauja garso ataka.
- Dar vienas garso kontroliavimo būdas kai duomenys priskiriami tik vienai *MIDI* natai, kuri tuo pačiu priskiriama ir garso aukščio reguliatoriaus³⁸ kontrolei.

Visi išvardinti objektai jungiasi su objektu *midiformat*, kuris visus gautus duomenis paverčia į *MIDI* signalą. Duomenys fiziniiais laidais per garso kortą keliauja į kitą darbo stotį, kuri interpretuoja gautą *MIDI* informaciją. Antroje darbo stotyje (antrame kompiuteryje) talpinami kompanijos *Spectrasonics*³⁹ virtualūs instrumentai – *Keyscape*, *Trilian* ir *Omnisphere*. Šie virtualūs instrumentai suprogramuoti gauti *MIDI* informaciją ir kontrolinius parametrus ir ją gavus paversti pasirinktu norimu tembru. Tai reiškia, kad pačiuose *VST* instrumentuose atsiranda galimybė nustatyti garso aukščio reguliatoriaus intervalą ir bet koki garso parametą (pvz. reverberaciją, filtravimą) priskirti pasirinktam judesiui.



Paveikslas Nr. 24. *Max MSP* objektų garso parametrų valdymo schema.

³⁷ *CC* (kontrolinis *MIDI* parametras) *MIDI* protokolo dalis, skirta perduoti kontrolinei informacijai.

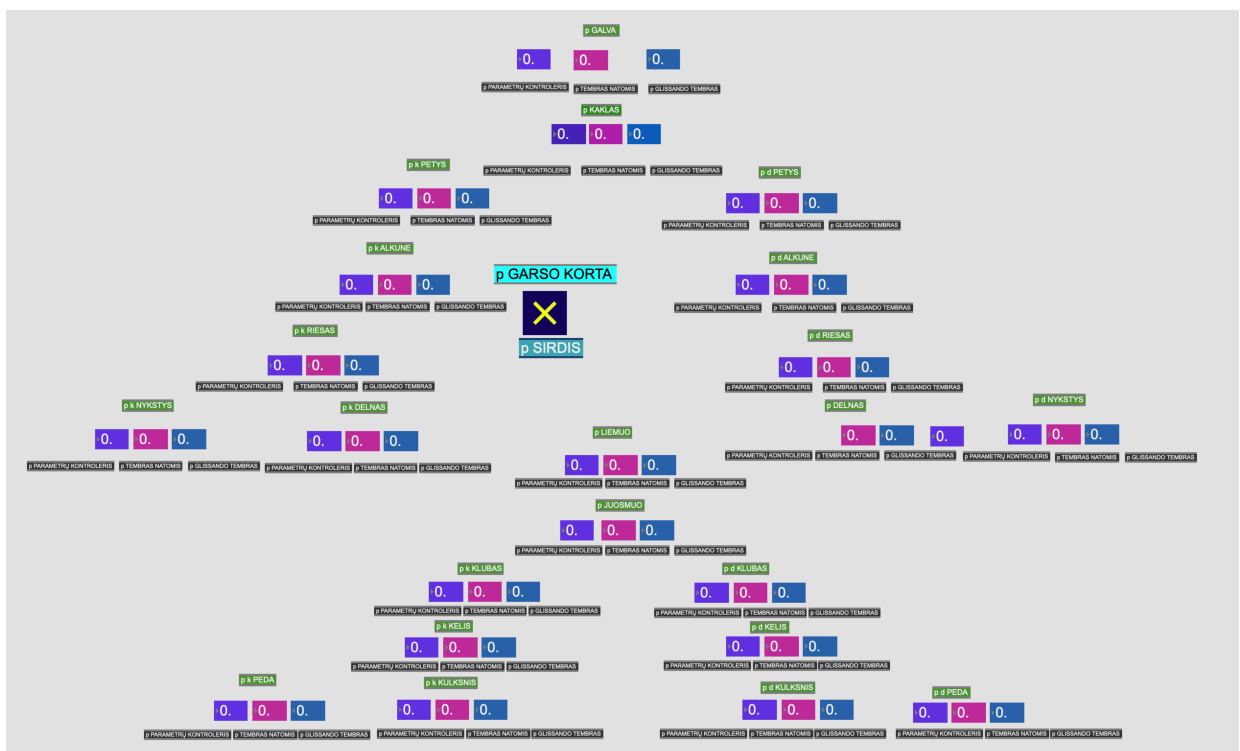
³⁸ Garso aukščio reguliatorius (angl. pitch bend) - įtaisas sintezatoriaus, skirtas tolygiai keisti garso aukštį.

³⁹ *Spectrasonics* - virtualių instrumentų ir garso bibliotekų kūrimo kompanija, gyvuojanti nuo 1994 m.

Šiame tyrime skirtingoms gestų valdymo sistemoms naudojami vienodi *VST* garso šaltiniai (bet ne tembrai). Toks pasirinkimas lemia aiškesnį muzikos parametrų valdymo skirtumų rezultata. Kadangi tyrimo tikslas nėra susijęs su garso sintezės panaudojimu ar asmeniniu sintezatorių kūrimu, gestais valdomų instrumentų sistemose panaudoti šių *VST* formato instrumentų tembrai pasirinkti dėl asmeninės patirties ir didelės tembrų įvairovės. *Spectrasonics* virtualūs instrumentai turi platų garso parametrų valdymo pasirinkimą. Didelė dalis tembrų susideda iš dviejų ar daugiau skirtingų instrumentų, kurių tarpusavio santyki galime nustatyti rankiniu būdu.

2.2.2. *Max MSP* objektų ir tembro valdymo sistemos

Duomenys, kuriuos dabar jau galime įvardinti kaip garso parametras arba tembrą, susideda į sistemą, nuo kurios priklauso, kaip veiks instrumentas. *Kinect 2* įrenginio fiksuojami koordinacių duomenys gali būti suskirstyti keliais būdais. Vienas jų, objektus išdėliojant pagal kūno taškų grupes.



Paveikslas Nr. 25. *Kinect 2* duomenų perdavimo ir garso parametrų valdymo *Max MSP* objektų sistema.

Tokiu principu išdėlioti objektai padeda išlaikyti duomenų ir kūno dalių funkcionavimo logiką. Koordinacių objektai matomi toje pozicijoje, kurioje ir kūno taškas. Tokiu principu grupuojami objektai labiau tinkami variantui, kai *Kinect 2* įrenginį interpretuojame kaip vieną instrumentą. Galime daryti prielaidą, kad atliekant muziką,

prioritetu tampa ne tembrų įvairovė, o garso parametrų valdymo paskirstymas kūno taškams. Šiuo atveju koordinačių ašys tampa glaudžiai susijusios. Prie pasiūlytos sistemos atlikimo neretu atveju priderinamas ir paruoštas garso takelis ar kolaboruojama su kitais garso šaltiniais – įvairiais instrumentais, balsu, gyva elektronika.

Kitas objektų grupavimo variantas galimas pagal ašių priskyrimą garso kontrolės funkcijoms. Tai reiškia, kad pasirinkus duomenis, kurie valdys garsą, gruopuojame kartu, o garso parametrų keitimui skirti objektai bus sujungti į atskirą sistemą. Grupavimas prilauso nuo individualaus kūrinio, įmanomi skirtingi variantai. Patartina atsižvelgti į koordinačių ir kūno taškų priklausomumą vienas kito atžvilgiu. Naudojant šią sistemą galima išgauti didesnę skirtingų tembrų pasirinkimą, bet kyla pavojus, jog valdymo sistema taps labai sudėtinga. Taip pat sumažėja priskirtų garso parametrų funkcionalumas.

Įrenginiuose, kuriais judesys fiksuojamas jutiklio pagalba (*Arduino* sistema, *Gadli* instrumentas) tembrų ir parametrų valdymo funkcionalumas priklauso nuo jutiklių kiekio ir išdėstymo. Šio tyrimo metu sukurtame prototipe turime devynis lenkiamuosius jutiklius, kurių penki vienetai yra išdėstyti ant dešinės rankos pirštų, du – pritaistyti prie riešų, ir dar du prie abiejų rankų alkūnių vidinės lenkimo linijos. Taip pat sistemoje naudojamas akselerometras ir girometras bei jėgai jautrus jutiklis. Nors yra papildoma temperatūros duomenų gavimo funkcija, interaktyvaus grojimo metu šio jutiklio siunčiami duomenys sunkiai panaudojami – kinta lėtai, nėra patogu pritaikyti atlikimo metu. Jutiklių sistemos duomenys gaunami pakankamai individualiai, kad būtų galima kiekvienam informacijos perdavimo objektui priskirti atskirą paramertą ar tembrą. Svarbu nusistatyti prioritetus – norime gauti kuo labiau kontroliuojamą interaktyvų instrumentą ar svarbiausia išgauti kuo daugiau įvairių garsų, kurių atlikimo sukomponavimas tampa kūrinio siekiamybe.

Parametrų valdymo suskirstymo pasirinkimui įtakos turi ir jutiklių veikimo savybės. Akselerometro ir girometro siunčiami duomenys reaguoja į kryptį, girometras – pagreitį. Kairėje rankoje esantys jutikliai gali būti naudojami kaip garso parametrų valdiklis, gaunamus duomenis priskirti prie reverberacijos kiekio nustatymų, filtravimo parametrų. Kiekvieno judesio perduodamą informaciją galima priskirti nebūtinai vienam garso parametru.



Paveikslas Nr. 26. *Omnisphere* virtualaus instrumento parametų skydo pavyzdys.

Pateiktame pavyzdyje galime matyti dalį parametų įvairovės, kurie gali būti valdomi priskyrus juos prie jutiklio duomenų.

Jėgai jautrus jutiklis siunčia vieną aiškų ir greit kintantį duomenį, kurio priskyrimas gali būti išnaudotas įvairiais variantais:

- Vienos natos (pvz. žemo tembro) įjungimo/išjungimo funkcija.
- Garso aukščio reguliatorius.
- Kaip atmosferinio tembro akomponavimo funkcija.

Svarbu nepamiršti, kad kiekvieno atlikėjo, kompozitoriaus pasirinkimo galimybės gali būti praplėstos pagal poreikius arba panaudotos kitais būdais. Tyrime pateikti variantai išbandyti praktikoje ir yra pateikiami kaip galimybės.

Lenkiamieji jutikliai pirštuose yra labiausiai vienas nuo kito priklausoma grupė. Nors ir galimas atskiras kiekvieno piršto funkcionavimas, kai kurių pirštų judėjimas kartu neįmanomas be kitų. Vienas iš variantų, kaip panaudoti dešinės rankos pirštų jutiklių duomenis – skirti jiems melodijos vaidmenį grojimo metu. Visiems pirštams priskiriamas tas pats tembras, bet skirtinguose registruose ar panašiai. Dar viena galimybė – prijungti į sistemos dalį riešo jutiklį. Tuomet pirštų jutikliai gali būti atsakingi už harmonikų keitimą, o riešo judesys keistų aukščio parametą. Kai jutikliais gaunami duomenys yra mažiau priklausomi vieni nuo kitų įmanomas didesnis parametų ir tembrų paskirstymo pasirinkimas.

2.3. Jutiklių ir *Kinect 2* ypatybės garso valdymo procese

2.3.1. Techniniai privalumai ir trūkumai

Panagrinėjus suprojektuotus interaktyvius grojimo įrenginius, išryškėja tam tikri instrumentų skirtumai ir panašumai. Jutiklių grojimo įrenginių sistemos privalumas, jog kiekvieną norimą duomenį galima valdyti beveik nepriklausomai nuo kitų jutiklių. *Kinect 2* kameros veikimo metu duomenų perdavimas labai susijęs. Kita vertus, *Kinect 2* kamera fiksuoja daugybę taškų, galimos įvairios kūno duomenų fiksavimo galimybės, todėl galimi subtilesni muzikos valdymo sistemų kūrimai.

Jutiklių sistemos junginyje esantys duomenys į *Max MSP* programą patenka *Wi-Fi* duomenų perdavimo būdu. Tokiu principu veikianti sistema suteikia judesio laisvę. Duomenų perdavimo metu svarbu atkreipti dėmesį į kompiuterio resursų naudojimą ir *Wi-Fi* šaltinio veikimo kokybę. *Kinect 2* kamera veikia infraraudonųjų spindulių veikimo principu, matuojamas kambario gylys, žmogaus atstumas, judesio laisvė visai nevaržoma. Kaip ir jutiklių instrumentui, apšvietimas neturi įtakos duomenų perdavimo kokybei. Bet svarbu žinoti, jog *Kinect 2* kameros pritaikymas galimas tik uždaroje patalpoje, nes kamerai reikalingi kambario ploto duomenys. Nors *Kinect 2* įrenginys nevaržo judesiu, bet per staigus pasikeitimas ne visada laiku perduoda duomenis, dėl didelio kiekio duomenų perdavimo praktikoje kartais patiriamas informacijos vėlavimas. Jutiklių instrumento prototipas tokios problemos nesukelia.

Gadli ir *Arduino* sistemos junginio apipavidalinimas ir jutiklių pozicija pritaikyta individualiam atlikėjui. Norint pagaminti universalų instrumentą, reikalingas didesnis dėmesys instrumento konstrukcijos detalėms. Jutikliai, kabeliai, mikrokompiuterių dėklas pritaikomi prie kūno kartais varžo judėjimo laisvę. Tuo pat metu fiziniai objektai sukuria instrumento pojūčių imitaciją – jaučiamų detalių pokytis koreliuoja su grojimo metu vartojamų refleksų ir impulsų pojūčiais. *Kinect 2* kamera duoda visišką judesio laisvę, kuri, viena vertus yra labai komfortabili atlikimo metu, bet tuo pačiu ir neleidžia pajauti fiksuotų pozicijų, turi įtakos aukščio parametrų valdymui. Būtų galima mąstyti apie specialius vibraciją skleidžiančius jutiklius, kurie padeda pajauti fiksuotą poziciją. Anksčiau tyrime minėtų *mi.mu* pirštinių dizainas per keletą metų išvystytas iki subtilaus minimalistinio dizaino, kuriame panaudotos gamtai nekenksmingos medžiagos.

Verta paminėti sudėtingą abiejų sistemų valdymą. Tokio tipo instrumentai nėra kontroliuojami įprastų akustinių instrumentų grojimo būdu. Pavyzdžiui *Neova*⁴⁰ instrumento kūrėjų pagrindinė užduotis ir buvo sukurti kuo patogesnę, paprastesnę, žmogaus kūno judesiams artimą valdymo įrankį. O šio tyrimo metu sukurtose kūno judesiais valdomų

⁴⁰ *Neova* – žiedo formos *MIDI* kontroleris. <https://www.enhancia.co>

instrumentų sistemose, reikalingas specialus mokymosi procesas, kad gautas rezultatas turėtų sudėtingesnę meninį rezultatą.

2.3.2. Komponavimo ir improvizavimo estetika elektroninėje muzikoje

Interaktyvių instrumentų atlikimo metu svarbu iš anksto apgalvoti kiek galima daugiau detalių. Dar nepradėjus valdyti instrumento, galima numanyti, kokio rezultato tikiesi, kokia kryptimi galima ieškoti tembrinių ar atlikimo sprendimų. Žinoma, tokio tipo kūrimo procese sunkiai suvokiamas formos apibrežtumas. Įmanomas preliminarus grafinis brėžinys, nepriklausantis nuo sukontroliuoto laiko parametro. Grojimo metu vykstantys procesai, jų valdymo sistema leidžia daryti prielaidą, kad improvizacinis momentas neišvengiamas tokio tipo kūrimo atlikime.

Iš pirmo žvilgsnio, praktiškai sunku įgyvendinti tradicinės muzikos komponavimo būdus. Skiriasi instrumento valdymo principai, įmanomi smarkūs tembro pasirinkimai ir pokyčiai, platus garso parametrų kontroliavimo pasirinkimas. Curtis Roads, knygoje “Composing Electronic Music” aptarė ir palygino pagrindinius elektroninės ir tradicinės muzikos komponavimo estetinius panašumus, kurie padeda nenutolti nuo tradicinių grojimo būdų, bet ir išvelgti elektroninių instrumentų pranašumus (Roads, 2015).

1. Nėra tradicinės muzikos teorinio aspekto (gamos, melodijos, harmonijos, ritmo), kurio nebūtų galima išnaudoti elektroninėje muzikoje.
2. Elektroninė muzika pati savaime nėra muzikinis stilius. Instrumentai, priemonės, skirtos kurti elektroninę muziką yra lanksčiai pritaikomi tam tikruose muzikos stiliuose.
3. Elektroninės muzikos tembrų platumas, jei yra poreikis, leidžia atkurti panašius į akustinių instrumentų tembrus. Rezultatui išgauti naudojami įvairiausi garso išgavimo būdai – semplavimas, adityvinė sintezė, fizinio modeliavimo sintezė ir panašiai.
4. Daugybė elektroninės muzikos kontrolių sukurti taip, jog groti galima pritaikant instrumentą solo ir ansamblinio grojimo būdai. Dar vienas pastebėjimas, jog elektroninės muzikos pasirodymo metu, galimas ir ansambliavimas kartu su akustiniais instrumentais, gyvo grojimo metu modifikuojant jų garso signalo paramertus.
5. Komponuojant ar atliekant muziką, galime jungti elektroninės ir tradicinės muzikos stilius, juos miksuoti, perdirbti, panaudoti tradicinės muzikos elementus kaip naują muzikinę medžiagą.

6. Nepriklausomai nuo muzikos kūrimo būdo, kyla tie patys muzikos organizavimo iššūkiai. Melodijos dizainas, harmoninė tekstūra, dinaminiai pokyčiai, frazavimas, ritmika, tembro kitimas, forma yra svarbūs kiekviename muzikos kūrinyje. Iškyla tos pačios problemos: simetrijos ir asimetrijos klausimai, linearūs/nelinearūs naratyvai, repetatyvumo dažnumas, balsų ar instrumentų pasiskirstymas orkestruotėje.
7. Bet kokia muzikinė aplinka, taip pat ir elektroninė skirta išreikšti kūrinio idėją. Priemonės, skirtos įgyvendinti kompozitorių užmanymams.
8. Tradicinės ir elektroninės muzikos atlikimui būtina praktika, atitinkamas pasiruošimas. Tuomet galima išgauti reikšmingus rezultatus.
9. Elektroninės muzikos žymėjimas, kaip ir tradicinės muzikos, gali būti užrašomas įvairiais būdais. Tinkamos įvairios notacijos, grafiniai piešiniai. Užrašymo tipas turi tarnauti atlikėjui pasirodymo metu tarsi daikto naudojimo instrukcija.

Šie pastebėjimai gali padėti apsispręsti, į ką reikia atkreipti dėmesį kūrinio rašymo proceso metu. Beabejo, didelė dalis sprendimų ateina iš praktinės pusės, išbandant instrumentą. Todėl dažniausiai interktyvios muzikos kūrėjai patys tampa atlikėjais.

IŠVADOS

Tyrimo metu vienas iš pagrindinių tikslų buvo palyginti du skirtingus kūno judesiais valdomų instrumentų prototipus. Didelę svarbą pritaikymui turėjo instrumentų sukūrimo procesas, veikimo principų palyginimas ir suvokimas. Išnagrinėjus jau esamus pavyzdžius ir praktiškai išbandžius garso parametro valdymo veikimo principus buvo galima plačiau suvokti ir įvertinti kūno judesių santykį su garsu.

- Tyrimo metu sukurta jutiklių valdymo sistema, kuri susideda iš Arduino mikrokompiuteriu valdomos sistemos ir *Gadli* pirštinių sistemos. Taip pat judesio valdymo procesų nagrinėjimui pritaikytas *Kinect 2* įrenginys. Išsiaiškinta instrumentų kūrimo eiga, veikimo principai.
- Jutiklių sistemos ir *Kinect 2* įrenginio grojimo būdai skiriasi ne tik fizinių pojūčių atžvilgiu. *Arduino* ir *Gadli* sistemos jutikliai veikia pakankamai individualiai, todėl atsiskleidžia konkrečios garso parametrų valdymo galimybės. *Kinect 2* kameros veikimo metu galima užfiksuoti didesnę duomenų skaičių, bet signalai yra priklausomi vienas nuo kito.
- Interaktyvios grojimo sistemos turi bendrą muzikos atlikimo bruožą. Gestus galima interpretuoti kaip vientisą instrumentą ir kūno judesių duomenis panaudoti efektų kontrolierio vaidmeniui. Instrumento garso valdymo procesai gali būti derinami su kitomis technologijomis (pvz. gyva elektronika, akustiniais instrumentais, balsais). Taip pat, kūno judesiais valdomų instrumentų prototipų kontroliavimo procesus galima panaudoti keleto tembrų tarpusavio derinimui.
- Tembrų pasirinkimo ir valdymo procesai priklauso nuo individualaus kūrėjo pasirinkimo ir kūrinio atlikimo užmanymo. Čia pasireiškia instrumento išraiškos laisvė.
- Apibendrinant naginėjamų prototipų savybes, galima teigti, jog kompozitoriaus rolė instrumento kūrimo proceso metu yra ne tik sugalvoti garsų grojimo principą, bet ir dalyvauti instrumento kūrimo eigoje, svarbus bendras technologinis ir meninis kūrimo procesas. Kai kurie procesai reikalauja patirties programavimo ir fizikos srityse.
- Bet kokia muzikinė aplinka, taip pat ir elektroninė, skirta išreikšti kūrinio idėją. Todėl galima teigti, kad visos priemonės skirtos įgyvendinti kompozitorių užmanymams. Priemonių kūrimas efektyviausiai funkcionuoja, kai tarnauja meninės idėjos įgyvendinimui.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. <http://www.abc.net.au/tv/goodgame/stories/s2248843.htm> tikrinta 2019 05 04
2. <https://www.ableton.com/en/blog/ableton-cycling-74-new-partnership/> tikrinta 2019 05 04
3. <https://web.archive.org/web/20090609205550/http://www.cycling74.com/twiki/bin/view/FAQs/MaxMSPHistory> tikrinta 2019 05 03
4. <https://www.arduino.cc/en/guide/introduction>, tikrinta 2019 05 03
5. <https://cycling74.com> tikrinta 2019 05 04
6. https://docs.cycling74.com/max5/vignettes/core/live_resources_pluggo.html, tikrinta 2019 04 12
7. <https://www.enhancia.co> tikrinta 2019 05 13
8. https://www5.epsondevice.com/en/information/technical_info/gyro/ tikrinta 2019 05 13
9. <https://www.espressif.com/en/products/hardware/esp8266ex/overview> tikrinta 2019 05 04
10. <https://hidale.com> tikrinta, 2019 03 18
11. <https://howtomechatronics.com/how-it-works/electrical-engineering/mems-accelerometer-gyroscope-magnetometer-arduino/> tikrinta 2019 05 14
12. <https://interactionivrea.org/en/index.asp>, tikrinta 2019 05 06
13. <https://www.linuxjournal.com/content/introduction-osc> tikrinta 2019 05 13
14. <http://www.maxuino.org> tikrinta 2019 05 07
15. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/396441.pdf> tikrinta 2019 05 04
16. <https://music.gatech.edu/research> tikrinta, 2019 03 25
17. <https://www.musikkons.dk/index.php?id=3824> tikrinta 2019 05 04
18. <https://puredata.info> tikrinta, 2019 03 25
19. <https://www.slideshare.net/AminAvadia/robotcarnew> tikrinta 2019 05 03

20. <https://www.soundonsound.com/reviews/spectrasonics-keyscape> tikrinta 2019 05 14
21. https://www.tftcentral.co.uk/articles/pulse_width_modulation.htm tikrinta 2019 05 13
22. <https://waynesiegel.dk> tikrinta, 2019 05 02
23. Ambrazevičius, Rytis, *Tembras muzikos psichologijoje*, Lietuvos muzikologija, t. 13, 2012.
24. Brady, Michael, Sarah Palecki, and Allan Belfort, *Wireless Midi Controller Glove*, Team 57, ECE 445 Design Document, 2018.
25. Burdea, G., *Force and Touch Feedback for Virtual Reality*. New York, NY: Wiley, 1996.
26. Camarillo, Interlink Electronics, *FSR Integration Guide & Evaluation Parts Catalog*, Company brochure, 2005.
27. Chen, Yi-Huei, Wen-Shu Lai, *Conceptual and Aesthetic Dimensions of an ECG/RESP Sensor Artwork*, Leonardo, The MIT Press, 2017, Vol.50, Nr. 1, p. 68–69.
28. Caramiaux, B., Jules Francoise, Norbert Schnell, Frédéric Bevilacqua, *Mapping Through Listening*, Computer Music Journal, The MIT Press, 2014, Vol. 38, Nr. 3, p. 34–48.
29. Dudas, Richard, *"Comprovisation": The Various Facets of Composed Improvisation within Interactive. Performance Systems*, Leonardo Music Journal, The MIT Press, 2010, Vol. 20, p. 29-31, <https://www.jstor.org/stable/40926370>, tikrinta 2019 02 11.
30. Emerson, Simon, *Living Electronic Music*, De Montfort University, Leicester, UK, 2007.
31. Ghimire, Adarsh, Aakriti Basnet, Anushma Shrestha, Bhupendra Kadayat, *Smart Gloves*, publikacija <https://www.researchgate.net/publication/330497137>, 2019.
32. Goto, Suguru, *The Aesthetics and Technological Aspects of Virtual Musical Instruments: The Case of the SuperPolm MIDI Violin*, Leonardo Music Journal, Vol. 9, MIT Press, 1999, p. 115–120.
33. Grey, John M., *Multidimensional Perceptual Scaling of Musical Timbres*, Journal of the Acoustical Society of America, 1977.
34. Garnett, E., *The Aesthetics of Interactive Computer Music*, Computer Music Journal, Vol. 25, No. 1, Aesthetics in Computer Music, The MIT Press, 2001, p. 21-33, <https://www.jstor.org/stable/3681632> tikrinta 2019 02 11.
35. Herkenrath, G., Karrer, T., and Borchers, J. *"Twend: twisting and bending as new*

- interaction gesture in mobile devices.*” Florence, Italy, 2008.
36. Iazzetta, F., *Meaning in Musical Gesture* Universidade de São Paulo iazzetta@usp.br, Perspausdinta : *Trends in Gestural Control of Music*, M.M. Wanderley and M. Battier, Ircam - Centre Pompidou, 2000.
 37. Inostroza, Marie Carmen Gonza’les, *Design of Mapping Strategy for Computer Sound Synthesis in Multi-touch Surfaces Based on Expressive Analysis of Gestures*, Pontificia Universidad Carolic Adechile Escuela de Ingenieria, Santiago de Chile, October 2018.
 38. Jensenius, A. R., Wanderley, M. M., Godøy, R. I., & Leman, M. (2010). Musical gestures: Concepts and methods in research. In R. I. Godøy & M. Leman (Eds.), *Musical gestures: Sound, movement, and meaning*, New York: Routledge, 2010, p. 12–35.
 39. Jessop, E., *Capturing the Body Live: A Framework for Technological Recognition and Extension of Physical Expression in Performance*, Leonardo music Journal, MIT Press, 2015, Vol. 48, Nr. 1, p. 32–14.
 40. Seng Eu, Kok, Soon Loong Yong, Mum Wai Yip, Yoon Ket Lee and Ying Hao Ko, *Fingers Bending Motion Controlled Electrical Wheelchair by Using Flexible Bending Sensors with Kalman filter Algorithm*, Contemporary Engineering Sciences, 2014, Vol. 7, no. 13, 637 - 647 HIKARI Ltd., www.m-hikari.com.
 41. Kramer, J., Nicolas Burrus, Florian Echtler, Daniel Herrera C., Matt Parker, *Hacking the Kinect*, Apress, 2012.
 42. Krefeld, V., *The Hand in the Web: An Interview with Michel Waisvisz*. Computer Music Journal, 1990, Vol. 14, No. 2, p. 28–833.
 43. Marshall, J., Demetrios Airantzis, Alice Angus, Nick Bryan-Kinns, Robin Fencott, Giles Lane, Frederik Lesage, Karen Martin, George Roussos, Jenson Taylor, Lorraine Warren, Orlagh Woods, *Sensory Threads*, Leonardo, The MIT Press, 2010, Vol. 43, Nr. 2, p. 196–197.
 44. McAdams, Stephen, & Giordano, Bruno L., *The Perception of Musical Timbre*. In: S. Hallam, I. Cross, & M. Thaut, *The Oxford Handbook of Music Psychology*. Cambridge: MIT Press, 2009.
 45. Melgar, Enrique Ramos, Ciriaco Castro Díez, with Przemek Jaworski, *Arduino and Kinect Projects Design, Build, Blow Their Minds*, Springer Science+Business Media New York, 2012.

46. Miranda, Eduardo R. and Marcelo M. Wanderley With a Foreword by Ross Kirk, *New Digital Musical Instruments: Control AND INTERACTION BEYOND THE KEYBOARD*, A-R Editions, Inc., Middleton, Wisconsin 53562 © 2006 All rights reserved. Printed in the United States of America, 2006.
47. Mitchell, T., Sebastian Madgwick, Imogen Heap, *Musical Interaction with Hand Posture and Orientation: A Toolbox of Gestural Control Mechanism*, http://eprints.uwe.ac.uk/18267/1/272_Final_Manuscript.pdf, tikrinta 2019 02 11.
48. Morales-Manzanares, R., Eduardo F. Morales, Roger Dannenberg and Jonathan Berger, *SICIB: An Interactive Music Composition System Using Body Movements*, *Computer Music Journal*, The MIT Press, 2001, Vol. 25, No. 2, p. 25-36, <https://www.jstor.org/stable/3681529> , tikrinta 2019 02 11.
49. Overholt, Dan, John Thompson, Lance Putnam, Bo Bell, Jim Kleban, Bob Sturm and JoAnn Kuchera-Morin, *A Multimodal System for Gesture Recognition in Interactive Music Performance*, *Computer Music Journal*, The MIT Press, 2009, Vol. 33, No. 4, p. 69-82, <https://www.jstor.org/stable/25653514>, tikrinta 2019 02 11.
50. Pope, S.T. (Ed). *The Well-Tempered Object: Musical Applications of Object-Oriented Technology*. MIT Press, 1991.
51. Rahman, Mansib, *Beginning Microsoft Kinect for Windows SDK 2.0: Motion and Depth Sensing for Natural User Interfaces*, Montreal, Quebec, Canada, Apress, 2017.
52. Ramos, Enrique, Melgar and Ciriaco Castro Diez, *Arduino and Kinect Projects*, Apress, 2012.
53. Rodes, Curtis, *Composing Electronic Music – A New Aesthetic*, Oxford University Press, New York, 2015.
54. Schacher, Jan C., *Gestural Performance of Electronic Music—A “NIME” Practice as Research*, Leonardo, The MIT Press, 2016, Vol. 49, Nr. 1, p. 84–85.
55. Schuette, Paul, *Demystifying Max/MSP A guide for musicians approaching programming for the first time*, <http://www.paulschuette.com/wp-content/uploads/2013/01/DEMYSTIFYING-MAXMSP.pdf>, tikrinta 2019 05 12.
56. Tahiroglu, Koray, Juan Carlos Vasquez, Johan Kildal, *Facilitating the Musician’s Engagement with New Musical Interfaces: Counteractions in Music Performance*, *Computer Music Journal*, The MIT Press, 2017, Vol. 41, Nr. 2, p. 69–82.
57. Tanaka, Atau, *Intention, Effort, and Restraint: The EMG in Musical Performance*, Leonardo, The MIT Press, 2015, Vol.48, Nr. 3, p. 298–299.

58. Tian, Ying-li, Lisa Brown, Arun Hampapur, Sharat Pankanti, Andrew Senior and Ruud Bolle Exploratory, Computer Vision Group, *Real World Real-time Automatic Recognition of Facial Expressions*, IBM T. J. Watson Research Center PO Box 704, Yorktown Heights, NY 10598 {yltian,lisabr,arunh,sharat,aws,bolle}@us.ibm.com <http://www.andrewsenior.com/papers/TianPETS03.pdf>., Tikrinta 2019 05 16.
59. Torre, Giuseppe, Kristina Andersen, Frank Balde, *The Hands: The Making of a Digital Musical Instrument*, Computer Music Journal, The MIT Press , 2016, Vol. 40, Nr. 2, p. 22–34.
60. Wanderley, Marcelo M., *Gestural Control of Music*, IRCAM - Centre Pompidou 1, Pl. Igor Stravinsky 75004 - Paris – France, 2004.
61. Wanderley, Marcelo M., *Gestural Control of Sound Synthesis*, Proceedings of the IEEE, Vol. 92, No. 4, April 2004.
62. Wanderley, Miranda and M., *New Digital Instruments: Control and Interaction Beyond the Keyboard*, A-R Editions, Wisconsin, 2006.
63. Winkler, T., *Composing Interactive Music: Techniques and Ideas using Max*. MIT Press, 1999.