



Kauno technologijos universitetas

Informatikos fakultetas

Bibliotekų, nustatančių žmogaus pozą, tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Tautvydas Jurgaitis

Projekto autorius

doc. dr. Mantas Lukoševičius

Vadovas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Informatikos fakultetas

Bibliotekų, nustatančių žmogaus pozą, tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Programų sistemų inžinerija (6211BX011)

Tautvydas Jurgaitis

Projekto autorius

doc. dr. Mantas Lukoševičius

Vadovas

doc. dr. Tomas Blažauskas

Recenzentas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Informatikos fakultetas

Tautvydas Jurgaitis

Bibliotekų, nustatančių žmogaus pozą, tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Tautvydo Jurgaičio, baigiamasis projektas tema „Bibliotekų, nustatančių žmogaus pozą, tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Jurgaitis, Tautvydas. Bibliotekų, nustatančių žmogaus pozą, tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Mantas Lukoševičius; Kauno technologijos universitetas, Informatikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų kryptių grupė): Technologijos mokslai, programų sistemų inžinerija.

Reikšminiai žodžiai: žmogaus pozos nustatymas, gestų aptikimas, valdymas gestais, dirbtinis intelektas.

Kaunas, 2020. 69 p.

Santrauka

Šiame darbe nagrinėjamos dirbtiniu intelektu paremtos bibliotekos ar modeliai, kurie vaizdo įrašė, nuotraukoje ar tiesioginiame vaizdo perdavime nustato žmogaus pozą. Šie žmogaus pozos nustatymo sprendimai atveria naujas galimybes žmogaus ir kompiuterio natūraliame sąveikavime, kadangi šių sprendimų dėka galima sukurti sistemą, kuri reaguoja į žmogaus judesius, kai vaizdas transliuojamas tiesiogiai iš paprastos internetinės kameros. Todėl šiame darbe taip pat pristatomas kompiuterinis žaidimas, kuris yra valdomas natūraliais gestais, kai vaizdo fiksavimui pasitelkiama internetinė kamera, o gestų apdorojimui naudojama viena iš analizuojamų bibliotekų.

Pirmajame skyriuje yra apžvelgiami tradiciniai metodai, kurie leidžia žmogui ir kompiuteriui natūraliai sąveikauti, tačiau šie metodai reikalauja įsigyti specialią techninę įrangą. Taip pat pateikiamos alternatyvios „OpenPose“, „PoseNet“, „DensePose“ bibliotekos (modeliai), kurios nereikalauja įsigyti specialių jutiklių.

Antrajame skyriuje yra aprašoma sukurta sistema, kuri leidžia valdyti sukurta žaidimą natūraliais gestais. Šiame skyriuje pateikiama sistemos paskirtis, panaudos atvejai, reikalavimai, diegimo aplinka, architektūra ir keletas žaidimo ekranvaizdžių.

Trečiajame skyriuje yra tiriamos „PoseNet“ ir „OpenPose“ bibliotekos. Šie tyrimai yra vykdomi pasitelkiant nuotraukas ir vaizdo įrašus, o gauti rezultatai yra aprašomi, nurodomi „PoseNet“, „OpenPose“ privalumai ir trūkumai.

Jurgaitis, Tautvydas. Research of Human Pose Estimation Libraries. Master's Final Degree Project / supervisor Dr. Mantas Lukoševičius; Faculty of Informatics, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Technological sciences, software engineering

Keywords: human pose estimation, gesture recognition, gesture control, artificial intelligence.

Kaunas, 2020. 69 p.

Summary

This work deals with libraries or models based on artificial intelligence, which detect human body in images and video. These human pose estimation solutions open up new possibilities for the natural interaction between humans and computers, as these solutions can be used to create a system that responds to human gestures when visual material is received from a simple webcam. This paper thus additionally presents a computer game that is controlled by natural gestures, when a webcam is used to capture the image, and one of the libraries analysed is used to process the gestures.

The first chapter reviews traditional methods that allow humans and computers to interact naturally. However, these methods require the purchase of special hardware. There are also alternative OpenPose, PoseNet, DensePose libraries (models) presented that do not require the purchase of special sensors.

The second section describes the system developed that allows to control the created game with natural gestures. This section presents the system's use cases, requirements, deployment diagram, architecture and some game screenshots.

The third chapter examines the PoseNet and OpenPose libraries. These studies are carried out using photos and videos. Furthermore, the results obtained are described and the advantages and disadvantages of PoseNet and OpenPose are presented.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	11
Įvadas	12
1. Analitinė dalis	13
1.1. Temos aktualumas ir tikslai	13
1.1.1. Žmogaus pozos, judesių nustatymo aktualumas	13
1.1.2. Uždaviniai	13
1.2. Egzistuojantys sprendimai	13
1.2.1. Sprendimai su specialia įranga.....	13
1.2.1.1. „Leap Motion“ rankos judesių nustatymo įranga.....	14
1.2.1.2. „VicoVR“ žmogaus pozos, judesių nustatymo įranga.....	15
1.2.1.3. „Kinect v2“ žmogaus pozos, judesių aptikimo įranga.....	16
1.2.2. Sprendimai, kurie leidžia analizuoti nuotraukas, vaizdo įrašus	17
1.2.2.1. „OpenPose“ biblioteka.....	17
1.2.2.2. „TensorFlow.js“ bibliotekos „PoseNet“ modelis	18
1.2.2.3. „DensePose“ modelis	20
1.2.3. Žmogaus pozos atpažinimo metodo pasirinkimas demonstracijos kūrimui	20
1.3. Analizės išvados.....	21
2. Projektinė dalis	22
2.1. Reikalavimų specifikavimas	22
2.1.1. Sistemos paskirtis.....	22
2.1.1.1. Projekto kūrimo pagrindas (pagrindimas)	22
2.1.2. Panaudojimo atvejai	22
2.1.3. Funkciniai reikalavimai	25
2.2. Architektūros specifikacija	28
2.2.1. Architektūros pateikimas	28
2.2.2. Architektūros apribojimai.....	28
2.2.3. Statinis sistemos vaizdas	28
2.2.3.1. Apžvalga	28
2.2.3.2. Paketų detalizavimas	29
2.2.4. Sistemos dinaminis vaizdas	31
2.2.4.1. Veiklos diagramos	31
2.2.4.2. Sąveikos diagramos	33
2.2.5. Išdėstymo vaizdas	36
2.3. Naudotojo dokumentacija.....	36
2.3.1. Sistemos funkcinis aprašymas	36
2.3.2. Naudotojo atmintinė	36
3. Tyrimo dalis	39
3.1. Bendra žmogaus pozos atpažinimo bibliotekų apžvalga.....	39
3.2. „PoseNet“ tyrimas	39
3.2.1. „PoseNet“ tyrimas naudojant nuotraukas	41
3.2.2. „PoseNet“ tyrimas su vaizdo įrašais ir tiesioginiu srautu iš kameros	53
3.3. „OpenPose“ tyrimas	54

3.3.1. „OpenPose“ tyrimas naudojant nuotraukas	54
3.3.2. „OpenPose“ tyrimas su vaizdo įrašais ir tiesioginiu srautu iš kameros	64
3.4. „PoseNet“ ir „OpenPose“ tikslumo tyrimas, kai naudojamas MPII duomenų rinkinys	64
3.5. Tyrimo išvados.....	65
Išvados	66
Literatūros sąrašas.....	67

Lentelių sąrašas

2.1 lentelė. Pasirinkti žaidimą PA	23
2.2 lentelė. Paleisti žaidimą PA.....	23
2.3 lentelė. Atidaryti lyderiaujančių sąrašą PA.....	23
2.4 lentelė. Įjungti gestų fiksavimą PA.....	24
2.5 lentelė. Išjungti gestų fiksavimą PA	24
2.6 lentelė. Peržiūrėti profilį PA.....	25
2.7 lentelė. Pirmas funkcinis reikalavimas	25
2.8 lentelė. Antras funkcinis reikalavimas.....	25
2.9 lentelė. Trečias funkcinis reikalavimas.....	26
2.10 lentelė. Ketvirtas funkcinis reikalavimas	26
2.11 lentelė. Penktas funkcinis reikalavimas	26
2.12 lentelė. Šeštas funkcinis reikalavimas.....	27
2.13 lentelė. Septintas funkcinis reikalavimas	27
2.14 lentelė. Aštuntas funkcinis reikalavimas.....	27
2.15 lentelė. Devintas funkcinis reikalavimas	28
3.1 lentelė. Bendrinė bibliotekų apžvalga.....	39
3.2 lentelė. „PoseNet“ ir „OpenPose“ tikslumo tyrimo rezultatai	64

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Virtuali plaštakos kopija [7]	14
1.2 pav. Plaštakos mostas [8]	14
1.3 pav. „VicoVR“ galimybės [16]	15
1.4 pav. „Kinect v2“ žmogaus skeleto apskaičiavimas [19].....	16
1.5 pav. Žmogaus pozos nustatymo pavyzdys [22].....	17
1.6 pav. Žmogaus pozos nustatymo pavyzdys su „PoseNet“ [27]	19
1.7 pav. „DensePose“ žmogaus kūno pikselių atpažinimas [31]	20
2.1 pav. Panaudojimo atvejų diagrama.....	22
2.2 pav. Esminiai serverio paketai.....	29
2.3 pav. Esminiai žaidimo paketai.....	29
2.4 pav. Žaidimo „MainScripts“ paketas	30
2.5 pav. Žaidimo „ColorHitGame“ paketo klasių sąveika su „MainScripts“ klasėmis.....	30
2.6 pav. Žaidimo „RunnerGame“ paketo klasių sąveika su „MainScripts“ klasėmis	31
2.7 pav. Paleisti pasirinktą žaidimą veiklos diagrama.....	31
2.8 pav. Gestų fiksavimo įjungimo veiklos diagrama.....	32
2.9 pav. Paskyros registracijos veiklos diagrama.....	32
2.10 pav. Prisijungimo prie paskyros veiklos diagrama	33
2.11 pav. Žaidimo paleidimo, kai pasirenkamas „City Runner“ sekų diagrama	34
2.12 pav. Paleisto „Color Hit“ žaidimo bendradarbiavimo diagrama	34
2.13 pav. Gestų fiksavimo įjungimo sekų diagrama	35
2.14 pav. Lyderiaujančių žaidėjų sąrašo atidarymo sekų diagrama	35
2.15 pav. Registracijos sekų diagrama	35
2.16 pav. Prisijungimo prie paskyros sekų diagrama.....	36
2.17 pav. Diegimo aplinkos diagrama.....	36
2.18 pav. „Color Hit“ objektų paaiškinimas, kai žaidimo laikas nepasibaigęs.....	37
2.19 pav. „Color Hit“ objektų paaiškinimas, kai žaidimo laikas pasibaigė.....	37
2.20 pav. „City Runner“ objektų paaiškinimas, kai personažas sėkmingai išvengia kliūčių	38
2.21 pav. „City Runner“ objektų paaiškinimas, kai personažas atsitrenkia į kliūtį	38
3.1 pav. „PoseNet“ išvesties rezultatų sutrumpintas pavyzdys.....	40
3.2 pav. Pirmos žmogaus pozos nustatymas su <i>MobileNetV1</i> ir <i>ResNet50</i> architektūromis.....	41
3.3 pav. Antros žmogaus pozos nustatymas su <i>MobileNetV1</i> ir <i>ResNet50</i> architektūromis	42
3.4 pav. Trečias žmogaus pozos nustatymas su <i>MobileNetV1</i> ir <i>ResNet50</i> architektūromis.....	42
3.5 pav. Ketvirtas žmogaus pozos nustatymas su <i>MobileNetV1</i> ir <i>ResNet50</i> architektūromis.....	43
3.6 pav. Penktas žmogaus pozos nustatymas su <i>MobileNetV1</i> ir <i>ResNet50</i> architektūromis.....	44
3.7 pav. Šeštas žmogaus pozos nustatymas su <i>MobileNetV1</i> ir <i>ResNet50</i> architektūromis	44
3.8 pav. Septintas žmogaus pozos nustatymas su <i>MobileNetV1</i> ir <i>ResNet50</i> architektūromis.....	45
3.9 pav. Aštuntas žmogaus pozos nustatymas su <i>MobileNetV1</i> ir <i>ResNet50</i> architektūromis	45
3.10 pav. Devintas žmogaus pozos nustatymas su <i>MobileNetV1</i> ir <i>ResNet50</i> architektūromis	46
3.11 pav. Dešimtas žmogaus pozos nustatymas su <i>MobileNetV1</i> ir <i>ResNet50</i> architektūromis.....	47
3.12 pav. Vienuoliktas žmogaus pozos nustatymas su <i>MobileNetV1</i> ir <i>ResNet50</i> architektūromis ..	47
3.13 pav. Dvyliktas žmogaus pozos nustatymas su <i>MobileNetV1</i> ir <i>ResNet50</i> architektūromis	48
3.14 pav. Tryliktas žmogaus pozos nustatymas su <i>MobileNetV1</i> ir <i>ResNet50</i> architektūromis	48
3.15 pav. Keturioliktas žmogaus pozos nustatymas su <i>MobileNetV1</i> ir <i>ResNet50</i> architektūromis ..	49
3.16 pav. Penkioliktas žmogaus pozos nustatymas su <i>MobileNetV1</i> ir <i>ResNet50</i> architektūromis ..	49

3.17 pav.	Šešioliktas žmogaus pozos nustatymas su <i>MobileNetV1</i> ir <i>ResNet50</i> architektūromis	50
3.18 pav.	Septynioliktas žmogaus pozos nustatymas su <i>MobileNetV1</i> ir <i>ResNet50</i> architektūromis	50
3.19 pav.	<i>MobileNetV1</i> ir <i>ResNet50</i> architektūrų greitaveikos palyginimas	51
3.20 pav.	Pirmas <i>MobileNetV1</i> architektūros tyrimas su skirtingomis <i>inputResolution</i> reikšmėmis	51
3.21 pav.	Pirmas <i>ResNet50</i> architektūros tyrimas su skirtingomis <i>inputResolution</i> reikšmėmis	52
3.22 pav.	Antras <i>MobileNetV1</i> architektūros tyrimas su skirtingomis <i>inputResolution</i> reikšmėmis	52
3.23 pav.	Antras <i>ResNet50</i> architektūros tyrimas su skirtingomis <i>inputResolution</i> reikšmėmis.....	53
3.24 pav.	Pozos nustatymo atsilikimas, kai naudojamos numatytosios reikšmės.....	53
3.25 pav.	Pirmas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“	54
3.26 pav.	Antras žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“	55
3.27 pav.	Trečias žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“	55
3.28 pav.	Ketvirtas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“	56
3.29 pav.	Penktas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“	56
3.30 pav.	Šeštas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“	57
3.31 pav.	Septintas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“	57
3.32 pav.	Aštuntas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“	58
3.33 pav.	Devintas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“	58
3.34 pav.	Dešimtas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“	59
3.35 pav.	Vienuoliktas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“	60
3.36 pav.	Dvyliktas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“	60
3.37 pav.	Tryliktas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“	61
3.38 pav.	Keturioliktas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“	61
3.39 pav.	Penkioliktas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“	62
3.40 pav.	Šešioliktas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“	62
3.41 pav.	Septynioliktas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“	63
3.42 pav.	„OpenPose“ atliktų bandymų greitaveika.....	63

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

LMC – „Leap Motion“ valdiklis (angl. *Leap Motion controller*).

AR – papildyta realybė (angl. *augmented reality*).

VR – virtuali realybė (angl. *virtual reality*).

2D – dvimatis.

3D – trimatis.

CNN – konvoliuciniai neuroniniai tinklai (angl. *convolutional neural network*).

GPU – grafinė vaizdo plokštė (angl. *graphics processing unit*).

FPS – kadrai per sekundę (angl. *frames per second*).

SDK – programinės įrangos kūrimo reikmenys (angl. *software development kit*).

PA – panaudojimo atvejis.

Terminai:

OpenCV – tai atviro kodo biblioteka, kuri skirta kompiuterio regai ir mašiniam mokymuisi.

Caffe – tai giliojo mokymosi karkasas.

Bluetooth – belaidė technologija, kuri leidžia dalintis informacija tarp skaitmeninių įrenginių.

Google Play – tai skaitmeninio turinio platinimo platforma, kuri skirta „Android“ operacinę sistemą turintiems įrenginiams.

App Store – tai skaitmeninio turinio platinimo platforma, kuri skirta „Apple“ įrenginiams.

Įvadas

Dirbtinis intelektas – tai sparčiai tobulėjanti sritis, kurią pasitelkus daugelis darbų yra robotizuojami, kuriamos sumanios sistemos, kurios sugeba atlikti įvairius darbus be žmogaus įsikišimo. Taip pat dirbtiniu intelektu paremtos sistemos gali būti pritaikytos tiek darbinėje, tiek kasdieninėje veikloje ir jų tikslas yra padėti žmogui atlikti įvairias funkcijas. Šiuo metu rinkoje nėra tokios sistemos, kuri leistų valdyti kompiuterinį žaidimą rankos gestais, kurie yra nuskaitomi iš internetinės vaizdo kameros. Egzistuojančios sistemos reikalauja įsigyti papildomus įrenginius, pvz., „Leap motion“ valdiklį, „VicoVR“ ar kitus. Todėl šiame darbe tiriamos bibliotekos ar modeliai, kurie sugeba analizuoti nuotraukas, vaizdo įrašus ir iš jų nustatyti žmogaus pozą. Taip pat šiame darbe siekiama pritaikyti vieną iš analizuojamų bibliotekų kompiuteriniame žaidime, kuris būtų valdomas natūraliais gestais, kai vaizdo fiksavimui naudojama internetinė kamera.

Darbo tikslas – ištirti bibliotekas, kurios nustato žmogaus pozą iš vaizdinės medžiagos.

Darbo uždaviniai:

1. Apžvelgti techninę įrangą, kuri leidžia nustatyti žmogaus pozą.
2. Išanalizuoti bei palyginti bibliotekas, kurios nustato žmogaus pozą iš vaizdinės medžiagos (nuotraukų, vaizdo įrašų, tiesioginio srauto, kuris fiksuojamas iš kameros).
3. Išsiaiškinti sritis, kuriose galima panaudoti žmogaus pozos nustatymą.
4. Sukurti kompiuterinį žaidimą, kuris būtų valdomas natūraliais gestais, kai vaizdo fiksavimui naudojama internetinė kamera, o žmogaus pozos apdorojimui naudojama viena iš analizuojamų bibliotekų.
5. Ištirti pasirinktų bibliotekų keliamus reikalavimus, eksperimentiškai palyginti šių bibliotekų veikimo spartą, atlikti kiekybinę ir kokybinę eksperimentinę jų tikslumo analizę.

1. Analitinė dalis

1.1. Temos aktualumas ir tikslai

Pastaruoju metu yra pastebimos tendencijos, jog kuo toliau, tuo daugiau darbų yra robotizuojami, kuriamos pažangios valdymo sąsajos (valdymas balsu, kūno gestais) bei kitos sistemos, kurios sugeba atlikti įvairius darbus be žmogaus įsikišimo. Šios technologijos yra labiausiai vystomos remiantis dirbtiniu intelektu, kuris pasak Johno McCarthy'io yra: „intelektualių mašinų kūrimo mokslas ir inžinerija“ [1]. Kitaip tariant, dirbtinio intelekto tikslas yra atlikti intelektualias užduotis, kurias dažniausiai atlieka žmonės. Šis terminas yra gana platus, kadangi dirbtinis intelektas apima mašininį mokymąsi, gilųjį mokymąsi bei kitus metodus, dalykus, kurie nėra priskirti mokymuisi.

Mašininis mokymasis – tai metodas, kuris leidžia kompiuteriui analizuoti duomenis, nors jis nėra tiksliai užprogramuotas. Tačiau algoritmai turi būti apmokyti nustatytais duomenimis, kurie gali būti iš įvairių šaltinių (pvz., programos, jutikliai, įvairūs įrenginiai) [2]. Gilusis mokymasis – tai mašininio mokymosi atšaka ir šis mokymosi metodas yra sudarytas iš daugiasluoksnių neuroninių tinklų.

1.1.1. Žmogaus pozos, judesių nustatymo aktualumas

Žmogaus judesių ir pozos atpažinimas gali būti panaudojamas įvairiose programose bei srityse, pvz., „sporte, medicinoje, stebėjime, vaizdo įrašų saugojime ir ieškojime, žmogaus ir mašinos sąsajoje, vaizdo konferencijose, mene, robotikoje“ [3]. Todėl tokia sistema, kuri gali veiksmingai nuskaityti žmogaus pozą, judesius iš vaizdinės medžiagos, turi dideles perspektyvas. Šią mintį gali patvirtinti tai, jog žmogaus judesių atpažinimas yra viena iš svarbiausių šakų tyrimuose, kurie orientuoti į žmogų, ir kad pastaraisiais metais judesių atpažinimas patraukė daug dėmesio [4]. Tačiau įgyvendinti šią užduotį yra ypatingai sunku dėl „skirtingo apšvietimo, mastelio, kameros judesio, filmavimo kampo, fono, veiksmo ilgio, subjekto išvaizdos ir tipo“ [5]. Nepaisant sudėtingų sąlygų, žmogaus pozos nustatymas sparčiai progresavo per pastaruosius keletą metų ir metodai sugeba įgyvendinti vis sudėtingesnius scenarijus [6].

1.1.2. Uždaviniai

Analizės uždaviniai:

1. Susipažinti su įranga, kuri sugeba atpažinti žmogaus judesius, gestus ar pozą.
2. Apžvelgtai įrangai pateikti alternatyvius sprendimus, kurie nereikalauja įsigyti specialių jutiklių.
3. Išanalizuoti bibliotekas, modelius ar algoritmus, kurie sugeba apskaičiuoti žmogaus pozą ar judesius iš nuotraukų, vaizdo įrašų ar tiesioginių vaizdo transliacijų.

1.2. Egzistuojantys sprendimai

1.2.1. Sprendimai su specialia įranga

Šiame skyrelyje apžvelgiamos žmogaus judesių nustatymo įrangos:

- „Leap Motion“;
- „VicoVR“;
- „Kinect v2“.

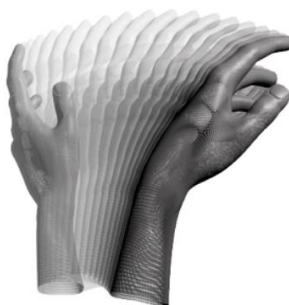
1.2.1.1. „Leap Motion“ rankos judesių nustatymo įranga

„Leap Motion“ valdiklis (LMC) – tai Jungtinių Amerikos Valstijų „Leap Motion“ įmonės sukurtas produktas, kuris leidžia aptikti plaštaką, sukurti jos virtualią kopiją (žr. 1.1 pav.) bei reaguoti į plaštakos atliekamus gestus.



1.1 pav. Virtuali plaštakos kopija [7]

Sukurta „Leap Motion“ sistema leidžia plaštakos gestais valdyti kompiuterį, o gestų kombinacijos yra panašios į įrenginių, turinčius liečiamus ekranus, valdymo gestus. Pvz., puslapio slinkimas yra atliekamas su smiliaus judesiu aukštyn, žemyn, kairėn ar dešinėn (žr. 1.2 pav.), puslapio priartinimas yra atliekamas su smiliaus ir nykščio pirštais, kai jie tolsta vienas nuo kito (sulenkti pirštai yra ištiesiami). Todėl naudojant šį valdiklį kompiuterio valdymas tampa panašus į išmaniojo telefono valdymą.



1.2 pav. Plaštakos mostas [8]

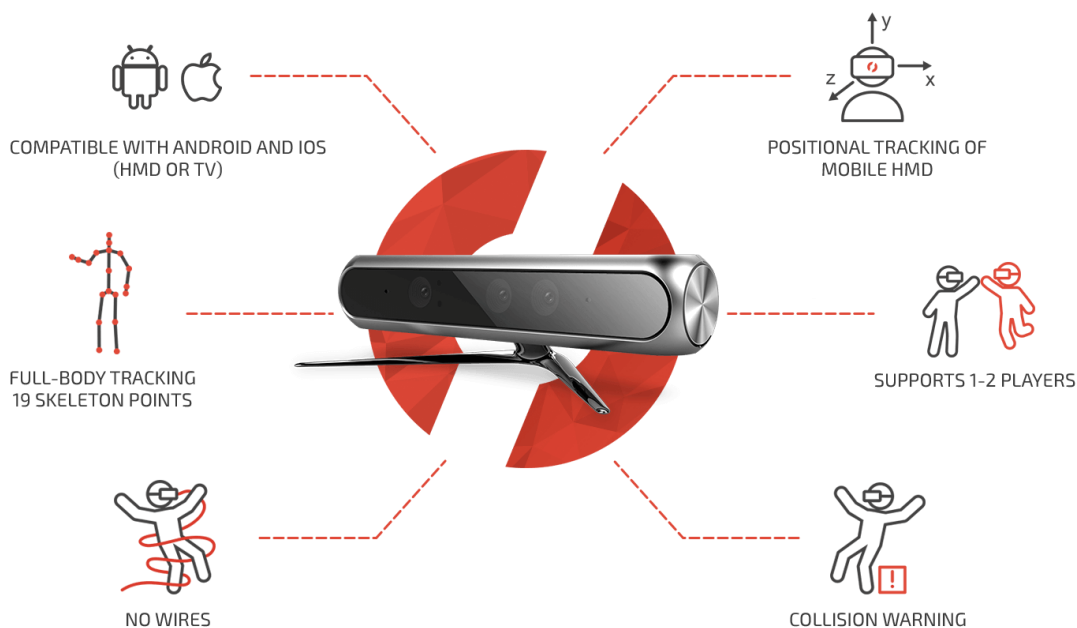
„Leap Motion“ įmonė pateikia programėlių parduotuvę, iš kurios vartotojai gali siųsti įvairias programas, kurios yra pritaikytos valdymui plaštakos gestais. Nėgana to, nuo įmonės nepriklausomi programuotojai gali kurti savo programas, kurios gauna plaštakos ir pirštų objektus, jų informaciją, atliekamus veiksmus [9] iš „Leap Motion“ valdiklio, o su gauta informacija galima užprogramuoti atitinkamas funkcijas. Pvz., šį valdiklį galima pritaikyti ne tik kompiuteriui valdyti, bet ir kompiuterinei programai, kuri leis valdyti droną rankos gestais, sukurti. Todėl šios sistemos didelis privalumas yra tas, jog nusipirkus „Leap Motion“ valdiklį, galima kurti savo programas, kurios bus valdomos gestais. Dar vienas svarbus privalumas yra tas, jog šį valdiklį galima pritaikyti įvairiose srityse, pvz., sparčiai besivystančioje ir tobulėjančioje papildytoje ar virtualioje realybėje. Įrenginio panaudojimas rankų reabilitacijoje pasitelkiant virtualiosios realybės (VR) pratimus [10], robotikoje

[11] ar žaidimuose [12] patvirtina sistemų, kurios fiksuoja žmogaus judesius, aktualumą. Tačiau šio produkto trūkumas yra tas, jog paprastam vartotojui reikia įsigyti papildomą įrangą. Taip pat norint valdyti sistemą reikia plaštakas laikyti virš „Leap Motion“ valdiklio bei ši sistema sugeba atpažinti tikrai plaštakas, todėl nepavyktų kurti programų, kurios reaguoja į kitus žmogaus judesius bei gestus, pvz., į kojų padėtį.

„Leap Motion“ valdiklis plaštakos fiksavimui nenaudoja gylio žemėlapių, tačiau remiasi pažangiais algoritmais, kurie apdoroja jutiklių (dvi kameros ir trys infraraudonųjų spindulių jutikliai) duomenis [13].

1.2.1.2. „VicoVR“ žmogaus pozos, judesių nustatymo įranga

„VicoVR“ – tai „3DiVi“ įmonės sukurtas produktas, kuris skirtas žmogaus kūno pozai apskaičiuoti ir judesiams fiksuoti. Šis įrenginys yra orientuotas į išmaniųjų telefonų VR ir mobiliuosius žaidimus, todėl įrenginys yra suderinamas su „Android“ ir „IOS“ ekosistemomis pasitelkiant „Bluetooth“ ryšį ir nenaudojant asmeninio kompiuterio, laidų ar nešiojamų jutiklių [14]. Susiejus „VicoVR“ įrenginį su išmaniuoju įrenginiu galima tam tikrais kūno gestais valdyti specialias programėles, kurios yra pritaikytos prie „VicoVR“. Šias programėles gali kurti tiek produktą kuriančios įmonės programuotojai, tiek programuotojai, nepriklausomi nuo įmonės. Programų kūrėjai gauna specialius programinės įrangos kūrimo reikmenis (angl. SDK – *software development kit*), kurie yra suderinami su „Unity“ arba „Unreal Engine“ karkasais [15]. Pagrindinės „VicoVR“ teikiamos galimybės pavaizduotos 1.3 pav.



1.3 pav. „VicoVR“ galimybės [16]

„VicoVR“ sugeba aptikti 19 vieno žmogaus skeleto taškų ir vienu metu gali užfiksuoti vieno ar dviejų žmonių pozas ir judesius [17].

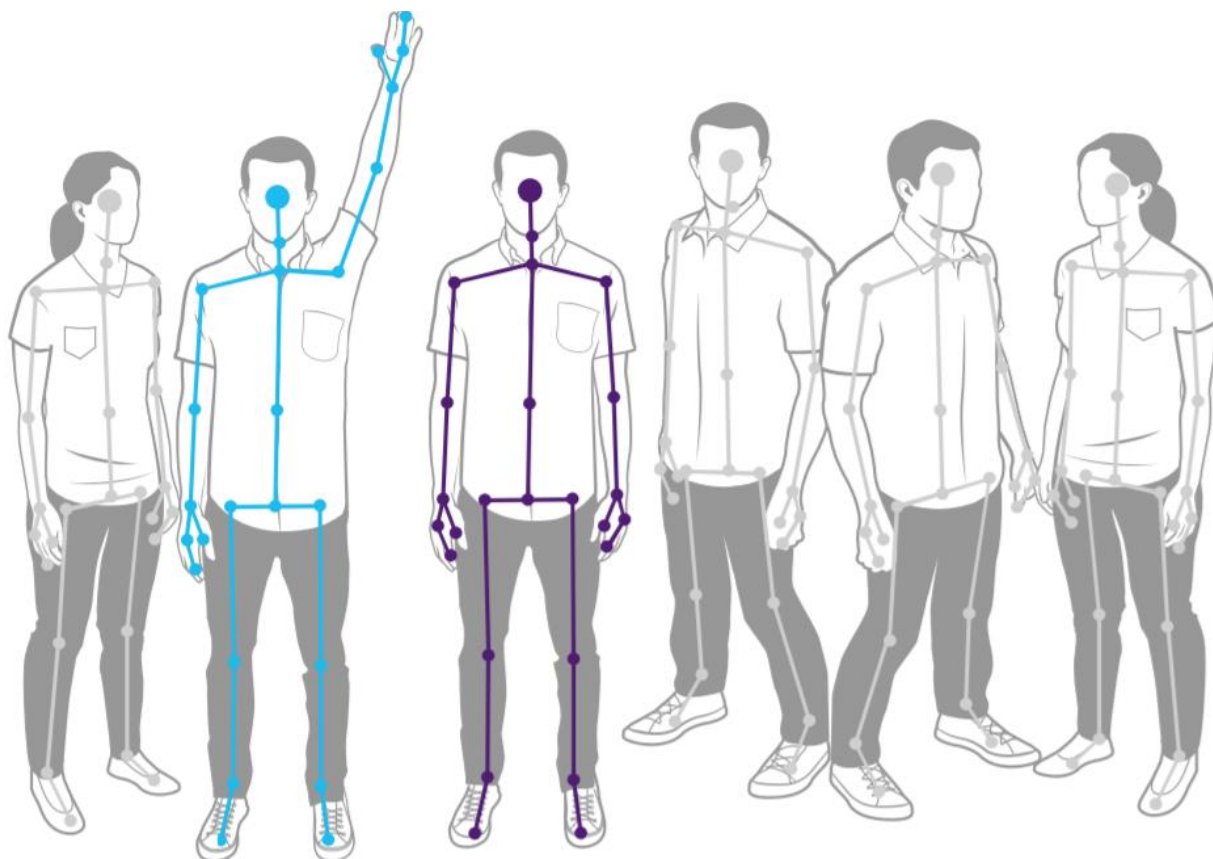
Taigi šis įrenginys yra orientuotas į išmaniųjų įrenginių rinką ir turi didelį privalumą, jog su išmaniuoju įrenginiu yra susiejamas belaidžiu tinklu. Taip pat didelis privalumas, jog galima kurti savo programėles, kurios bus suderintos su „VicoVR“, bei jomis galima pasidalinti su kitais klientais ir įkelti į „Google Play“ ar „App Store“. Tačiau šis įrenginys nesugeba aptikti rankos pirštų pozicijų,

o tai gali sukelti nepatogumų VR žaidimuose. Taip pat įrenginys sugeba maksimaliai atpažinti tik du žmones bei jis nėra pritaikytas prie asmeninio kompiuterio.

1.2.1.3. „Kinect v2“ žmogaus pozos, judesių aptikimo įranga

„Kinect v2“ – tai „Microsoft“ įmonės sukurta įranga, kuri leidžia aptikti žmogaus pozą ir žmogaus atliekamus judesius. Ši įranga naudotojams leidžia natūraliai sąveikauti su kompiuteriu ar žaidimų konsole pasitelkus gestų ir (ar) balso komandas [18]. Komandoms fiksuoti yra naudojami specialūs komponentai: 3D gylio jutikliai (infraraudonųjų spindulių skleidimo įranga ir infraraudonųjų spindulių gylio jutiklis), RGB kamera (spalvų jutiklis), mikrofonas [19].

„Kinect v2“ sugeba aptikti 25 vieno žmogaus skeleto taškus, juos sujungti ir vienu metu gali maksimaliai fiksuoti bei sekti 6 žmonių skeletą, judesius [19]. Įrenginio atpažįstami skeleto taškai: kairioji čiurna, dešinioji čiurna, kairioji alkūnė, dešinioji alkūnė, kairioji pėda, dešinioji pėda, kairioji plaštaka, dešinioji plaštaka, kairiosios plaštakos galas, dešniosios plaštakos galas, galva, kairysis klubas, dešinysis klubas, kairysis kelis, dešinysis kelis, kaklas, kairysis petys, dešinysis petys, stuburo apačia, stuburo vidurys, stuburo viršus, kairysis nykštys, dešinysis nykštys, kairysis riešas, dešinysis riešas [20]. Šių žmogaus skeleto taškų atpažinimo ir susiejimo pavyzdys pateiktas 1.4 pav.



1.4 pav. „Kinect v2“ žmogaus skeleto apskaičiavimas [19]

„Microsoft“ yra išleidę specialų SDK, kuris leidžia nuo įmonės nepriklausomiems programuotojams kurti programinę įrangą, pritaikytą „Kinect v2“ įrenginiui [21]. Tai atveria naujas galimybes įvairių programų kūrimui bei įrenginio pritaikymui įvairiuose srityse.

Taigi „Kinect v2“ sugeba atpažinti žmogaus skeletą, atliekamus judesius, todėl ši technologija leidžia žmogui natūraliu būdu bendrauti su kompiuteriu, valdyti jį. Taip pat nuo „Microsoft“ nepriklausomi

žmonės gali kurti įvairias programas, plėsti įrenginio panaudojimo sritis, o tai yra didelis šio produkto privalumas. Tačiau „Kinect v2“ vienu metu gali reaguoti tik į 6 žmonių judesius, taip pat šio įrenginio gamyba yra sustabdyta.

1.2.2. Sprendimai, kurie leidžia analizuoti nuotraukas, vaizdo įrašus

1.2.1 skyrelyje apžvelgti sprendimai reikalauja įsigyti specialią įrangą, kuri sugebėtų užfiksuoti vaizdą 3D formatu, tačiau pastaruoju metu sparčiai vystosi metodai, kurie sugeba iš nuotraukos, vaizdo įrašo ar tiesioginio vaizdo transliavimo aptikti žmogaus pozą, judesius. Dauguma vaizdo įrašų ar nuotraukų yra pateikiami 2D formatu. Taip pat didelė dalis nešiojamų kompiuterių, išmaniųjų telefonų turi integruotas kameras, kurios fiksuoja vaizdą 2D formatu. Todėl technologijos, kurios analizuoja žmogaus veiksmus iš 2D vaizdo formato, atveria naujas panaudojimo ir pritaikymo galimybes. Šios technologijos leidžia sukurti sistemas, kurios vaizdinę medžiagą gali gauti realiu laiku iš standartinės vaizdo kameros ir nereikalaujant specialios techninės įrangos.

Šiame skyrelyje yra apžvelgiamos trys bibliotekos, modeliai, kurie nustato žmogaus kūno pozą, kai analizuojama nuotrauka, vaizdo įrašas ar tiesioginis vaizdo perdavimas:

- „OpenPose“;
- „PoseNet“;
- „DensePose“.

1.2.2.1. „OpenPose“ biblioteka

„OpenPose“ – tai biblioteka, parašyta su C++ kalba ir naudojant *OpenCV* ir *Caffe*, kuri sugeba realiu laiku nustatyti žmogaus pozą (skeletą). Ši biblioteka sugeba vienu metu aptikti žmogaus kūno, plaštakų, veido ir pėdų pagrindinius taškus (iš viso 135 pagrindiniai taškai) [22]. Žmogaus pozos, kai taip pat aptinkamas veidas ir plaštakos, nustatymo pavyzdys pateiktas 1.5 pav.



1.5 pav. Žmogaus pozos nustatymo pavyzdys [22]

„OpenPose“ biblioteka sugeba iš vaizdinės medžiagos, kuri pateikta 2D formatu, apskaičiuoti žmogaus kūno padėtį, todėl ši biblioteka vaizdinę medžiagą gali gauti iš paprastos internetinės kameros, vaizdo įrašo ar nuotraukos. Tai yra didelis šios bibliotekos pranašumas, kadangi naudotojams, turintiems kompiuterius, nereikia įsigyti papildomos techninės įrangos nebent

naudotojas neturi internetinės kameros ir jam yra reikalingas realaus laiko pozos nustatymas iš tiesioginio srauto, o ne iš vaizdo įrašo ar nuotraukos.

Žmogaus pozos nuskaitymas yra paremtas konvoliuciniais neuroniniais tinklais (angl. CNN – *Convolutional neural network*), kai pirmiausiai yra nustatomi pagrindiniai kūno taškai, kurie vėliau yra sujungiami [23]. Todėl veikimo laikas susideda iš dviejų pagrindinių komponentų:

CNN apdorojimo laiko, kurio sudėtingumas yra $O(1)$, kai konstanta priklauso nuo žmonių skaičiaus [23].

Žmonių analizavimo, kurio sudėtingumas yra $O(n^2)$, kai n yra žmonių skaičius [23].

Bibliotekos kūrėjai, analizuodami „OpenPose“ veikimo laiką, naudojo vaizdo įrašus, kurių skiriamąją gebą (angl. *resolution*) buvo pakeitę į 368×654 bei naudojo nešiojamą kompiuterį, kuriame yra „Nvidia“ *GeForce GTX-1080* grafinė vaizdo plokštė (angl. GPU – *graphics processing unit*). Jų sukurtas žmogaus pozos nustatymo metodas pasiekė 8.8 kadru per sekundę (angl. FPS – *frames per second*) greitį, kai vaizdo įrašė buvo 19 žmonių [23]. Iš gautų našumo rezultatų yra matoma, jog sistemą reikia tobulinti bei gerinti veikimo laiką. „OpenPose“ biblioteka reikalauja galingo GPU, todėl potencialiems bibliotekos ar programinės įrangos, kuri naudoja „OpenPose“ biblioteką, naudotojams, kurie naudotų tokią sistemą įprastoje veikloje, gali būti nenaudinga, nes tai sukeltų papildomas išlaidas. Taip pat ypač svarbu yra optimizuoti šią biblioteką, jei ją planuojama naudoti išmaniuosiuose telefonuose ar planšetėse. Tačiau biblioteka yra neseniai išleista (2017 balandis) ir ji yra nuolat vystoma (paskutinis atnaujinimas buvo išleistas 2020 balandžio mėn.), todėl šios bibliotekos perspektyvos yra didelės.

„OpenPose“ biblioteką galima panaudoti įvairiose srityse, kuriose aktualus žmogaus kūno padėties nuskaitymas. Pvz., robotikoje, medicinoje, sporte, žmogaus-kompiuterio valdymo sąsajose, kūno kalbos analizavime ar kitose srityse. Robotikos perspektyvas patvirtina tai, jog yra sukurtas pusiau autonominis robotas, kuris yra valdomas rankų gestais, pasitelkus „OpenPose“ biblioteką [24]. Aprašomas robotas gali atlikti įvairias paprastas užduotis (netgi pakelti dėžę) su mechaninėmis rankomis, kai atkartoja žmogaus atliekamus veiksmus. Todėl toks robotas galėtų pakeisti žmogų pavojinguose darbuose, jei jo valdymas būtų patobulintas ir pritaikytas konkrečiai darbinei aplinkai. Taip pat ši sistema gali būti panaudota rankų judesių apmokymo duomenų surinkimui ir šie duomenys galėtų būti panaudoti humanoidų apmokyme [24]. Dar vienas „OpenPose“ robotikoje panaudojimo pavyzdys: žmogaus ir roboto sąveika, kai robotai turi dalintis darbine aplinka su žmonėmis ir turi įvertinti atstumą iki žmonių, sąveikavimą su jais [25].

Taigi ši biblioteka turi dideles perspektyvas, kadangi ją galima panaudoti įvairiuose srityje, kadangi ji sugeba ne tik žmogaus pozą nuskaityti, bet ir pirštų, veido kontūrus. Taip pat ji nereikalauja specialios 3D kameros ir apskaičiavimus sugeba gauti iš vaizdinės medžiagos, kuri pateikta 2D formatu. Tačiau kol kas ši biblioteka reikalauja nemažų kompiuterio resursų.

1.2.2.2. „TensorFlow.js“ bibliotekos „PoseNet“ modelis

„TensorFlow.js“ – tai atviro kodo *JavaScript* biblioteka, kuri skirta mašininio mokymosi modelių mokymuisi ir diegimui (naudojimui) internetinėje naršyklėje arba *Node.js* aplinkoje [26].

„PoseNet“ – tai savarankiškas „TensorFlow.js“ modelis, kuris sugeba realiu laiku nustatyti žmogaus pozą (skeletą) iš nuotraukų, vaizdo įrašų ar tiesioginės vaizdo transliacijos bei kuris veikia naršyklėje

[27]. Šis modelis sugeba vienu metu atpažinti 17 pagrindinių žmogaus kūno taškų (nosis, akis, ausis, petys, alkūnė, riešas, klubas, kelis, čiurna [27]). „PoseNet“ žmogaus pozos nustatymo pavyzdys pateiktas 1.6 pav.



1.6 pav. Žmogaus pozos nustatymo pavyzdys su „PoseNet“ [27]

„PoseNet“, kaip ir anksčiau aprašyta „OpenPose“, turi didelį privalumą, jog sugeba apskaičiuoti žmogaus poziciją iš vaizdinės medžiagos, kuri pateikta 2D formatu, o ši medžiaga gali būti pateikiama iš paprastos internetinės kameros, vaizdo įrašo ar nuotraukos. Taip pat „PoseNet“ didelis privalumas yra tas, jog ją galima panaudoti programose, kurios parašytos pasitelkus *JavaScript* programavimo kalbą, o tai leidžia šį modelį panaudoti internetinėse svetainėse. Todėl *JavaScript* palaikymas suteikia platų įrenginių panaudojimą, kuriuose būtų galima panaudoti šį modelį, kadangi tereikia, jog naudojamame įrenginyje veiktų *JavaScript* palaikymas, kuris dažniausiai yra tiek asmeniniuose kompiuteriuose, tiek išmaniuosiuose telefonuose, planšetėse. Tai yra didelis privalumas, kadangi potencialiems naudotojams nereikės įsigyti papildomos techninės įrangos ar netgi programinės įrangos, kadangi informaciją galės pasiekti per internetinę naršyklę. Nebent sukurta sistema reikalaus tiesioginio srauto ir tada naudotojui teks įsigyti internetinę kamerą, jei tokios jis neturi.

„PoseNet“ gali būti naudojamas apskaičiuojant vieno žmogaus pozą arba kelių žmonių pozas, todėl šiame modelyje yra dvi skirtingos algoritmo versijos [28]. Pirmoji versija, kai apskaičiuojama vieno žmogaus poza, yra greitesnė, tačiau reikalauja tik vieno žmogaus vaizdinėje medžiagoje ir jei vaizdinėje medžiagoje bus daugiau negu vienas žmogus, tai didelė tikimybė, jog algoritmas klaidingai apskaičiuos žmogaus pozą. Kita algoritmo versija, kai apskaičiuojama daugelio žmonių poza, kūno padėtis, yra sudėtingesnė ir lėtesnė negu vieno žmogaus pozos nustatymo algoritmas [28]. Ši algoritmo versija, kuri sugeba apskaičiuoti daugelio asmenų pozą, remiasi godaus dekodavimo algoritmo idėja, kuri yra aprašyta „PersonLab: Person Pose Estimation and Instance Segmentation with a Bottom-Up, Part-Based, Geometric Embedding Model“ [29] straipsnyje. Žmogaus pozos apskaičiavimas, kaip ir anksčiau aprašytoje „OpenPose“, yra paremtas konvoliuciniais neuroniniais tinklais (CNN), kai pirmiausiai yra nustatomi esminiai žmogaus pozos taškai, kurie vėliau yra sugrupuojami į atskirus asmenų objektus [29]. „PoseNet“ veikimo laikas, priešingai negu „OpenPose“, nepriklauso nuo žmonių skaičiaus vaizdinėje medžiagoje ir priklauso tik nuo CNN

skaičiavimo laiko [29], todėl algoritmo skaičiavimo laikas nepadidės, jei vaizdinėje medžiagoje daugės žmonių.

Taigi „PoseNet“ modelis turi dideles perspektyvas, kadangi jį galima pritaikyti įvairiuose srityse bei įrenginiuose, kai reikia nustatyti žmogaus pozą, judesius iš nuotraukų, vaizdo įrašų. Tačiau šis modelis turi trūkumų, pvz., jis nesugeba atpažinti veido kontūrų ar pirštų.

1.2.2.3. „DensePose“ modelis

„DensePose“ – tai „Facebook“ dirbtinio intelekto tyrėjų (angl. FAIR – *Facebook Artificial Intelligence researchers*) išleistas atviro kodo modelis, kuris skirtas žmogaus kūno padėties nustatymui. Tačiau šis modelis yra kitoks negu anksčiau aptarti sprendimai. „DensePose“ tikslas yra atpažinti visus žmogaus kūno pikselius iš nuotraukų ar vaizdo įrašų ir sukurti atitinkamą 3D žmogaus kūno maketą [30], o anksčiau apžvelgti metodai („OpenPose“, „PoseNet“) orientuojasi į žmogaus pozos nustatymą, skeleto kontūrų aptikimą. Žmogaus kūno pikselių atpažinimo pavyzdys pateiktas 1.7 pav.



1.7 pav. . „DensePose“ žmogaus kūno pikselių atpažinimas [31]

1.2.3. Žmogaus pozos atpažinimo metodo pasirinkimas demonstracijos kūrimui

Demonstracijos kūrimui bus reikalinga žmogaus skeleto atpažinimo biblioteka, kuri veiktų „Windows 10“ aplinkoje, kadangi bus kuriamas demonstracinis žaidimas, kuris bus pritaikytas būtent „Windows 10“ operacinei sistemai. Iš anksčiau 1.2.2 skyriuje aptartų bibliotekų netinka „DensePose“, kadangi ji yra pritaikyta tik prie „Linux“ operacinės sistemos. Todėl lieka „OpenPose“ ir „PoseNet“ bibliotekos, kurių lyginimo metu buvo nustatyta:

1. „OpenPose“ ir „PoseNet“ vienu metu gali nustatyti daugiau negu vieno žmogaus pozą.
2. „OpenPose“ tiksliau nustato žmogaus skeletą negu „PoseNet“.
3. „OpenPose“ pateikia daugiau skeleto taškų už „PoseNet“.
4. „OpenPose“ geriausiai veikia su „Nvidia“ vaizdo plokštėmis, o naudojant „AMD“ vaizdo plokštes sulėtėja bibliotekos veikimas.
5. „PoseNet“ yra lengvesnė ir greitesnė už „OpenPose“.
6. „PoseNet“ lengviau pritaikoma prie įvairių įrenginių. Šią biblioteką galima pritaikyti ne tik kompiuteriams, bet ir išmaniesiems įrenginiams, kai „OpenPose“ galima vykdyti tiktais kompiuteriuose.
7. „PoseNet“ reikalauja mažesnio pasiruošimo, ją lengviau paleisti negu „OpenPose“.

8. „PoseNet“ našumas yra toks pats tiek su „Nvidia“, tiek su „AMD“, tiek su „Intel“ vaizdo plokštėmis. Žinoma, pati greita veika priklauso nuo vaizdo plokštės parametrų, tačiau ne nuo jos gamintojo. Priešingai yra su „OpenPose“, kuri geriausiai pritaikyta prie „Nvidia“.

Taigi demonstracijos kūrimui yra pasirenkama „PoseNet“, kadangi ji yra našesnė ir nesusieta prie konkrečių vaizdo plokščių.

1.3. Analizės išvados

1. Nustatyta, jog yra įvairios techninės ir programinės įrangos, kuri atpažįsta žmogaus gestus ar pozą, tačiau šios sistemos reikalauja specialios įrangos, įvairių jutiklių.
2. Nustatyta, jog pastaraisiais metais atsiranda nauji sprendimai, kurie sugeba iš nuotraukų, vaizdo įrašų atpažinti žmogaus pozą, judesius.
3. Nustatyta, jog bibliotekos ar modeliai, kurie apskaičiuoja žmogaus pozą iš vaizdo, kuris pateiktas 2D formatu, reikalauja didelių kompiuterio resursų arba jiems trūksta tikslumo.
4. Patobulinus žmogaus pozos apskaičiavimo algoritmus, kurie nustato žmogų iš nuotraukos, vaizdo įrašo ar tiesioginio vaizdo perdavimo, galima atverti naujas verslo galimybes bei pakeisti žmogaus ir kompiuterio sąveikavimą, kai kompiuterio valdymas natūraliais gestais taps įprastas.
5. Tikimasi, jog nauji sprendimai, kurie nustato žmogaus pozą iš vaizdo, kuris pateiktas 2D formatu, sugebės nustatyti daug žmonių vienu metu ir neturės limitu žmonių kiekiui vaizdinėje medžiagoje.
6. Sistemos įgyvendinime bus naudojama „PoseNet“.

2. Projektinė dalis

2.1. Reikalavimų specifikavimas

2.1.1. Sistemos paskirtis

Sistemos paskirtis yra pritaikyti žmogaus pozos (skeleto) atpažinimo bibliotekas kompiuteriniams žaidimams. Šios naujos bibliotekos yra ypatingos tuo, jog jos nustato žmogaus pozą (skeletą) iš 2D vaizdo formato, kai naudojama paprasta internetinė kamera. Taip pat sistema yra pramogų pobūdžio, kadangi kuriamas žaidimas, kuris valdomas natūraliais gestais, kai tiesioginis vaizdinės medžiagos srautas yra fiksuojamas per internetinę kamerą.

Sistemos sukūrimas gali palengvinti žmogaus ir kompiuterio sąveikavimą natūraliais judesiais (NUI) bei pakeisti žaidimų, kurie reaguoja į žmogaus atliekamus gestus, kūrimą. Todėl sistema gali būti ypač aktuali virtualios ar išplėtosios realybės žaidimų kūrime. Taip pat panaudojus naujas bibliotekas, kurios nustato žmogaus pozą iš vaizdo įrašo, tikimasi atverti naujas galimybes 3D personažų kūrimui, kai aktoriams nebereikės vilkėti specialios judesių fiksavimo įrangos.

2.1.1.1. Projekto kūrimo pagrindas (pagrindimas)

Šiuo metu dažniausiai žmogaus pozos (skeleto) aptikimas yra sprendžiamas pasitelkus specialią techninę įrangą, kuri turi specialius jutiklius. Pvz., „Kinect v2“ turi šiuos komponentus: 3D gylio jutikliai (infraraudonųjų spindulių sklaidimo įranga ir infraraudonųjų spindulių gylio jutiklis), RGB kamera (spalvų jutiklis), mikrofonas. Analizuojamos bibliotekos atveria naujas žmogaus judesių nustatymo galimybes, kadangi jos be specialios techninės įrangos sugeba analizuoti žmogaus pozą (skeletą) iš nuotraukų, vaizdo įrašų ar tiesioginio srauto, kai yra perduodama vaizdinė medžiaga. Todėl tokių bibliotekų pagalba galima gestais sąveikauti su kompiuteriu ar išmaniuoju telefonu, kai yra naudojama internetinė kamera ar išmaniojo telefono kamera.

2.1.2. Panaudojimo atvejai

Sistemos panaudojimo atvejų diagrama pateikta 2.1 pav.



2.1 pav. Panaudojimo atvejų diagrama

Panaudojimo atvejų paaiškinimai pateikti 2.1 – 2.6 lentelėse.

2.1 lentelė. Pasirinkti žaidimą PA

PA pavadinimas		1. Pasirinkti žaidimą
Tikslas		Pasirinkti vieną iš dviejų žaidimų.
Aprašymas		Klientas gali rinktis iš šių žaidimų: „City Runner“ arba „Color Hit“. Klientui yra atidaromas pasirinkto žaidimo pagrindinis langas, bet pats žaidimas nėra paleidžiamas.
Dalyviai		Klientas
Ryšiai su kitais PA	Išplečiantys PA	Keisti žaidimo lygį, Paleisti žaidimą
	Apimami PA	–
	Specializuoja PA	–
Prieš sąlygos		Klientas yra pagrindiniame programos lange
Sužadinimo sąlyga		Klientas pasirenka žaidimą
Po-sąlyga		Atidaromas pasirinkto žaidimo pagrindinis langas
Pagrindinis scenarijus		Rodomas pagrindinis žaidimo langas, kuriame klientas gali keisti žaidimo lygį, paleisti patį žaidimą
Alternatyvūs scenarijai		Išvedama klaida, jog nepavyko atverti pagrindinio žaidimo lango

2.2 lentelė. Paleisti žaidimą PA

PA pavadinimas		2. Paleisti žaidimą
Tikslas		Paleisti žaidimą
Aprašymas		Klientui paleidžiamas pasirinktas žaidimas
Dalyviai		Klientas
Ryšiai su kitais PA	Išplečiantys PA	–
	Apimami PA	–
	Specializuoja PA	–
Prieš sąlygos		Klientas yra pasirinkęs žaidimą
Sužadinimo sąlyga		Klientas nurodo, jog nori žaisti
Po-sąlyga		Paleidžiamas žaidimas
Pagrindinis scenarijus		Klientas gali žaisti
Alternatyvūs scenarijai		Išvedama klaida, jog nepavyko paleisti žaidimo

2.3 lentelė. Atidaryti lyderiaujančių sąrašą PA

PA pavadinimas		3. Atidaryti lyderiaujančių sąrašą
Tikslas		Peržiūrėti lyderiaujančių sąrašą
Aprašymas		Klientas gali atsidaryti lyderiaujančių sąrašą, peržiūrėti savo ar kitų žaidėjų pozicijas. Jei klientas nėra susikūręs paskyros, tai jo rezultatai nėra išsaugomi į lyderiaujančių sąrašą
Dalyviai		Klientas

Ryšiai su kitais PA	Išplečiantys PA	–
	Apimami PA	–
	Specializuoja PA	–
Prieš sąlygos	Klientas yra pagrindiniame programos lange	
Sužadinimo sąlyga	Klientas pasirenka lyderiaujančių sąrašą	
Po-sąlyga	Atidaromas lyderiaujančių sąrašas	
Pagrindinis scenarijus	Klientui rodomas lyderiaujančių sąrašas, kuriame taip pat yra jo rezultatai	
Alternatyvūs scenarijai	Klientui rodomas lyderiaujančių sąrašas, kuriame nėra jo rezultatų; Išvedama klaida, jog nepavyko atverti lyderiaujančių sąrašo	

2.4 lentelė. Įjungti gestų fiksavimą PA

PA pavadinimas	4. Įjungti gestų fiksavimą	
Tikslas	Fiksuoti kliento gestus	
Aprašymas	Sistema fiksuoja žmogaus pozą	
Dalyviai	Klientas	
Ryšiai su kitais PA	Išplečiantys PA	–
	Apimami PA	–
	Specializuoja PA	–
Prieš sąlygos	Klientas yra pagrindiniame programos lange	
Sužadinimo sąlyga	Klientas įjungia gestų fiksavimą	
Po-sąlyga	Apskaičiuojama žmogaus poza (skeletas)	
Pagrindinis scenarijus	Žaidimas reaguoja į gestus	
Alternatyvūs scenarijai	Išvedama klaida, jog nepavyko įjungti gestų fiksavimo; Klientas nesutinka įjungti kamerą	

2.5 lentelė. Išjungti gestų fiksavimą PA

PA pavadinimas	5. Išjungti gestų fiksavimą	
Tikslas	Išjungti kliento gestų fiksavimą	
Aprašymas	Išjungiamas gestų fiksavimas	
Dalyviai	Klientas	
Ryšiai su kitais PA	Išplečiantys PA	–
	Apimami PA	–
	Specializuoja PA	–
Prieš sąlygos	Klientas yra pagrindiniame programos lange	
Sužadinimo sąlyga	Klientas išjungia gestų fiksavimą	
Po-sąlyga	Nebefiksuojami gestai	
Pagrindinis scenarijus	Žaidimas nebereaguoja į žmogaus atliekamus gestus	

Alternatyvūs scenarijai	Išvedama klaida, jog nepavyko išjungti gestų fiksavimo
--------------------------------	--

2.6 lentelė. Peržiūrėti profilį PA

PA pavadinimas	6. Peržiūrėti profilį	
Tikslas	Pasirinkti vieną iš dviejų žaidimų.	
Aprašymas	Klientas gali peržiūrėti savo profilio informaciją	
Dalyviai	Klientas	
Ryšiai su kitais PA	Išplečiantys PA	–
	Apimami PA	–
	Specializuoja PA	–
Prieš sąlygos	Klientas yra pagrindiniame programos lange	
Sužadinimo sąlyga	Klientas pasirenka savo profilio informacija	
Po-sąlyga	Pakraunama profilio informacija	
Pagrindinis scenarijus	Rodoma profilio informacija	
Alternatyvūs scenarijai	Išvedama klaida, jog nepavyko pateikti profilio informacijos	

2.1.3. Funkciniai reikalavimai

Funkciniai reikalavimai pateikti 2.7 – 2.15 lent.

2.7 lentelė. Pirmas funkcinis reikalavimas

<u>Reikalavimas: 1</u>	<u>Reikalavimo tipas: 9</u>	<u>Ivykis/panaudojimo atvejis: 4</u>
<u>Aprašymas:</u>	Sistema turi įjungti kamerą	
<u>Pagrindimas:</u>	Reikalinga vaizdo transliacija, jog žaidimą būtų galima valdyti gestais	
<u>Šaltinis:</u>	Užsakovas	
<u>Tinkamumo kriterijus:</u>	Įjungiamą kamera, kurios fiksuojamas vaizdas yra perduodamas į sistemą	
<u>Užsakovo tenkinimas:</u>	2	<u>Užsakovo netenkinimas: 5</u>
<u>Priklausomybės:</u>	Nėra	<u>Konfliktai:</u> Nėra
<u>Papildoma medžiaga:</u>	Nėra	
<u>Istorija:</u>	Užregistruotas 2019 vasario 3 d.	

2.8 lentelė. Antras funkcinis reikalavimas

<u>Reikalavimas: 2</u>	<u>Reikalavimo tipas: 9</u>	<u>Ivykis/panaudojimo atvejis: 4</u>
<u>Aprašymas:</u>	Sistema turi atvaizduoti fiksuojamą vaizdą	
<u>Pagrindimas:</u>	Naudotojas turi matyti, kokį kampą fiksuoja kamera, jog galėtų pasirinkti tinkamą poziciją	
<u>Šaltinis:</u>	Užsakovas	
<u>Tinkamumo kriterijus:</u>	Kameros vaizdas yra atvaizduojamas internetinėje naršyklėje	

<u>Užsakovo tenkinimas:</u>	2	<u>Užsakovo netenkinimas:</u>	5
<u>Priklausomybės:</u>	Nėra	<u>Konfliktai:</u>	Nėra
<u>Papildoma medžiaga:</u>	Nėra		
<u>Istorija:</u>	Užregistruotas 2019 vasario 3 d.		

2.9 lentelė. Trečias funkcinis reikalavimas

<u>Reikalavimas:</u>	3	<u>Reikalavimo tipas:</u>	9	<u>Ivykis/panaudojimo atvejis:</u>	4
<u>Aprašymas:</u>	Sistema turi pažymėti žmogaus skeletą vaizdinėje medžiagoje				
<u>Pagrindimas:</u>	Naudotojas turi matyti, ar teisingai užfiksuojamas jo skeletas				
<u>Šaltinis:</u>	Užsakovas				
<u>Tinkamumo kriterijus:</u>	Vaizdinėje medžiagoje yra nubraižomas žmogaus skeletas				
<u>Užsakovo tenkinimas:</u>	2	<u>Užsakovo netenkinimas:</u>	5		
<u>Priklausomybės:</u>	Nėra	<u>Konfliktai:</u>	Nėra		
<u>Papildoma medžiaga:</u>	Nėra				
<u>Istorija:</u>	Užregistruotas 2019 vasario 3 d.				

2.10 lentelė. Ketvirtas funkcinis reikalavimas

<u>Reikalavimas:</u>	4	<u>Reikalavimo tipas:</u>	9	<u>Ivykis/panaudojimo atvejis:</u>	4
<u>Aprašymas:</u>	Žmogaus skeleto taškai turi būti perduoti į žaidimą				
<u>Pagrindimas:</u>	Skeleto taškus reikia perduoti į žaidimą, jog būtų galima reaguoti į atliekamus gestus, kūno padėtį				
<u>Šaltinis:</u>	Užsakovas				
<u>Tinkamumo kriterijus:</u>	Žmogaus skeleto taškai perduodami į žaidimą				
<u>Užsakovo tenkinimas:</u>	2	<u>Užsakovo netenkinimas:</u>	5		
<u>Priklausomybės:</u>	Nėra	<u>Konfliktai:</u>	Nėra		
<u>Papildoma medžiaga:</u>	Nėra				
<u>Istorija:</u>	Užregistruotas 2019 vasario 3 d.				

2.11 lentelė. Penktas funkcinis reikalavimas

<u>Reikalavimas:</u>	5	<u>Reikalavimo tipas:</u>	9	<u>Ivykis/panaudojimo atvejis:</u>	5
<u>Aprašymas:</u>	Sistema nustoja fiksuoti žmogaus pozą (skeletą)				
<u>Pagrindimas:</u>	Naudotojas nebevaldys žaidimo gestais, todėl galima atlaisvinti pozos atpažinimui naudojamus kompiuterio resursus				
<u>Šaltinis:</u>	Užsakovas				
<u>Tinkamumo kriterijus:</u>	Išjungiamas žmogaus pozos (skeleto) fiksavimas bei skeleto taškai nebeperduodami į žaidimą				
<u>Užsakovo tenkinimas:</u>	2	<u>Užsakovo netenkinimas:</u>	5		
<u>Priklausomybės:</u>	Nėra	<u>Konfliktai:</u>	Nėra		

<u>Papildoma medžiaga:</u>	Nėra
<u>Istorija:</u>	Užregistruotas 2019 vasario 3 d.

2.12 lentelė. Šeštas funkcinis reikalavimas

<u>Reikalavimas:</u> 6	Reikalavimo tipas: 9	Įvykis/panaudojimo atvejis: 5
<u>Aprašymas:</u>	Atjungiamas srautas iš kameros	
<u>Pagrindimas:</u>	Naudotojas nebevaldys žaidimo gestais	
<u>Šaltinis:</u>	Užsakovas	
<u>Tinkamumo kriterijus:</u>	Fiksuojamas kameros vaizdas neberodomas internetinėje naršyklėje bei išjungiamą kamera	
<u>Užsakovo tenkinimas:</u>	2	<u>Užsakovo netenkinimas:</u> 5
<u>Priklausomybės:</u>	Nėra	<u>Konfliktai:</u> Nėra
<u>Papildoma medžiaga:</u>	Nėra	
<u>Istorija:</u>	Užregistruotas 2019 vasario 3 d.	

2.13 lentelė. Septintas funkcinis reikalavimas

<u>Reikalavimas:</u> 7	Reikalavimo tipas: 9	Įvykis/panaudojimo atvejis: 6
<u>Aprašymas:</u>	Sistema turi pateikti naudotojo pasiekimus žaidimuose	
<u>Pagrindimas:</u>	Naudotojui gali būti įdomūs jo pasiekimai	
<u>Šaltinis:</u>	Užsakovas	
<u>Tinkamumo kriterijus:</u>	Pateikiami naudotojo geriausi pasirodymai žaidimuose	
<u>Užsakovo tenkinimas:</u>	4	<u>Užsakovo netenkinimas:</u> 2
<u>Priklausomybės:</u>	Nėra	<u>Konfliktai:</u> Nėra
<u>Papildoma medžiaga:</u>	Nėra	
<u>Istorija:</u>	Užregistruotas 2019 vasario 3 d.	

2.14 lentelė. Aštuntas funkcinis reikalavimas

<u>Reikalavimas:</u> 8	Reikalavimo tipas: 9	Įvykis/panaudojimo atvejis: 3
<u>Aprašymas:</u>	Sistema turi leisti filtruoti lyderiaujančių sąrašą pagal dieną, savaitę, einamąjį mėnesį ar visą laikotarpį	
<u>Pagrindimas:</u>	Naudotojui gali būti įdomūs jo pačio ar kitų žaidėjų pasiekimai tam tikram laikotarpyje	
<u>Šaltinis:</u>	Užsakovas	
<u>Tinkamumo kriterijus:</u>	Lyderiaujančių sąrašą galima filtruoti pagal dieną, savaitę, einamąjį mėnesį ar visą laikotarpį	
<u>Užsakovo tenkinimas:</u>	2	<u>Užsakovo netenkinimas:</u> 1
<u>Priklausomybės:</u>	Nėra	<u>Konfliktai:</u> Nėra
<u>Papildoma medžiaga:</u>	Nėra	
<u>Istorija:</u>	Užregistruotas 2019 vasario 3 d.	

2.15 lentelė. Devintas funkcinis reikalavimas

<u>Reikalavimas:</u> 9	<u>Reikalavimo tipas:</u> 9	<u>Ivykis/panaudojimo atvejis:</u> 3
<u>Aprašymas:</u>	Kai paspaudžiama „pakeisti žaidimą“, tai turi būti rodomas įkėlimo langas	
<u>Pagrindimas:</u>	Naudotojas žino, kad žaidimas yra įkeliamas	
<u>Šaltinis:</u>	Užsakovas	
<u>Tinkamumo kriterijus:</u>	Rodomas krovimo langas, kai paspaudžiama „pakeisti žaidimą“	
<u>Užsakovo tenkinimas:</u>	5	<u>Užsakovo netenkinimas:</u> 2
<u>Priklausomybės:</u>	Nėra	<u>Konfliktai:</u> Nėra
<u>Papildoma medžiaga:</u>	Nėra	
<u>Istorija:</u>	Užregistruotas 2019 vasario 3 d.	

2.2. Architektūros specifikacija

2.2.1. Architektūros pateikimas

Architektūra yra pateikiama *UML* formatu bei naudojantis „MagicDraw“ įrankiu. Architektūroje yra pateikti šie vaizdai:

1. Sistemos statinis vaizdas (paketų ir klasių diagramos).
2. Sistemos dinaminis vaizdas (veiklos, sekų diagramos).
3. Išdėstymo vaizdas (diegimo diagrama).

2.2.2. Architektūros apribojimai

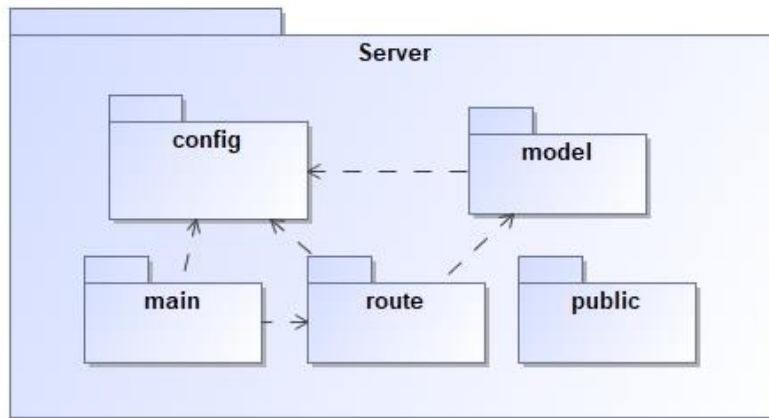
Architektūros apribojimais:

1. Naudojama trečiųjų šalių biblioteka „PoseNet“, kuri skirta atpažinti žmogaus pozą.
2. Žmogaus poza atpažįstama naudojantis paprasta internetine kamera.
3. Žmogaus skeleto kontūrai atvaizduojami internetinėje naršyklėje (turi veikti „Chrome“, „Firefox“ ar „Opera“ naršyklėse).
4. Žaidimas turi veikti „Windows 10“ atlinkoje.
5. Žaidimas kuriamas „Unity“ aplinkoje.

2.2.3. Statinis sistemos vaizdas

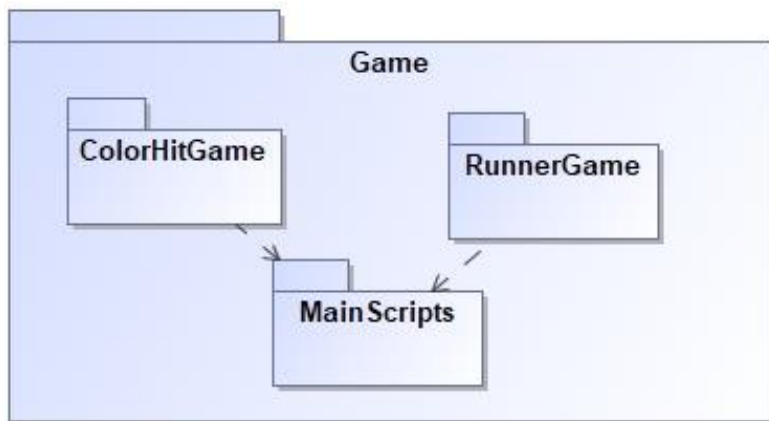
2.2.3.1. Apžvalga

Esminiai serverio paketai pavaizduoti 2.2 pav.



2.2 pav. Esminiai serverio paketai

Esminiai žaidimo paketai pavaizduoti 2.3 pav.



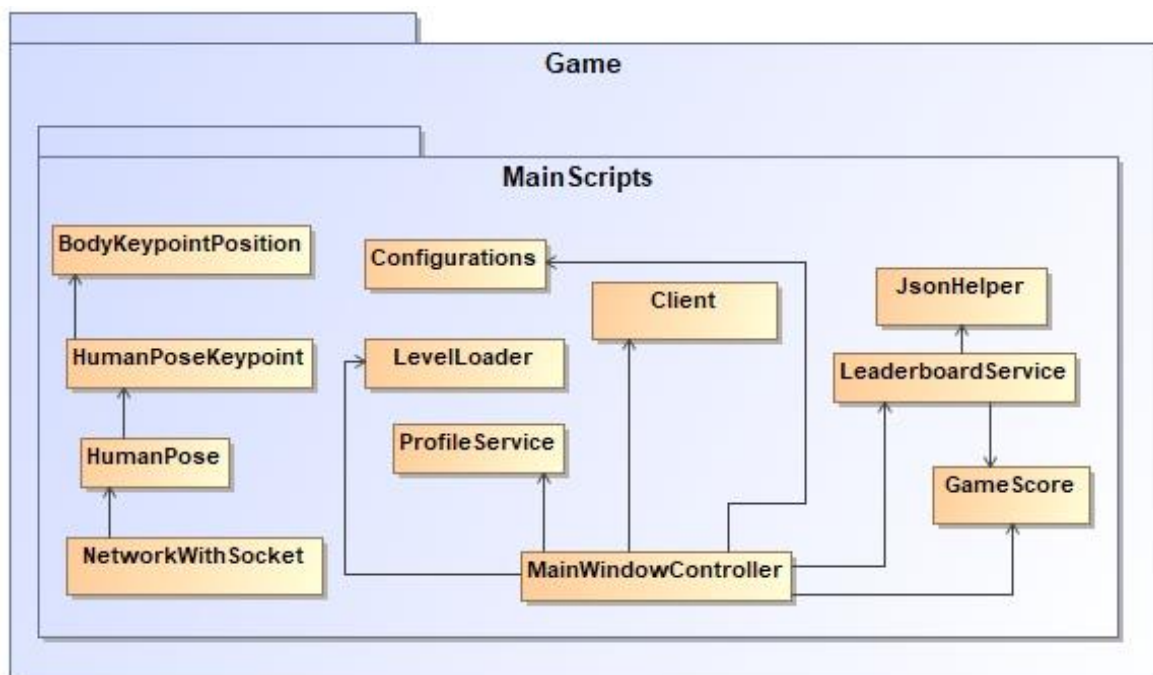
2.3 pav. Esminiai žaidimo paketai

2.2.3.2. Paketų detalizavimas

Žaidimo paketų detalizavimas, kai nurodomos klasių sąveikos, pateiktas 2.4 – 2.6 pav.

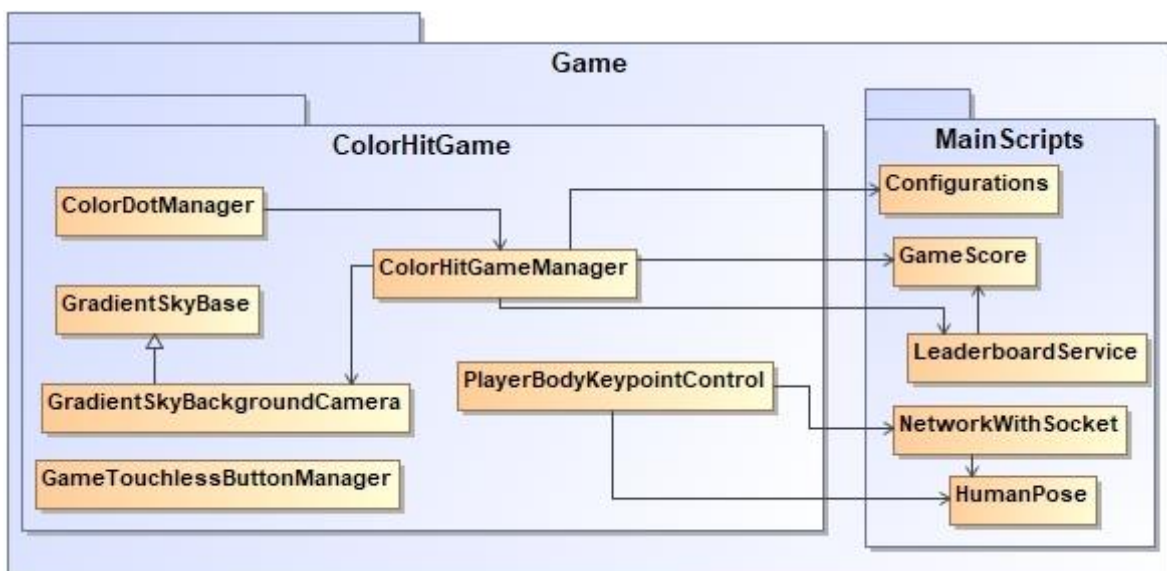
Pakete „MainScripts“ (žr. 2.4 pav.) esančios klasės yra atsakingos už pradinio lango, sąveikavimo su serveriu funkcionalumą bei už konfigūracijų saugojimą. Pagrindinė sąveikavimo su serveriu klasė yra „NetworkWithSocket“, kuri atsakinga už duomenų gavimą ir siuntimą į serverį. Pradinio lango svarbiausia klasė yra „MainWindowController“, kurios pagrindinės funkcijos yra šios:

1. Naudotojo paskyros sukūrimas ir prisijungimas prie jos.
2. Žaidimo pasirinkimas.
3. Pasirinkto žaidimo paleidimas.
4. Lyderių lentelės peržiūra.
5. Gestų fiksavimo įjungimas.



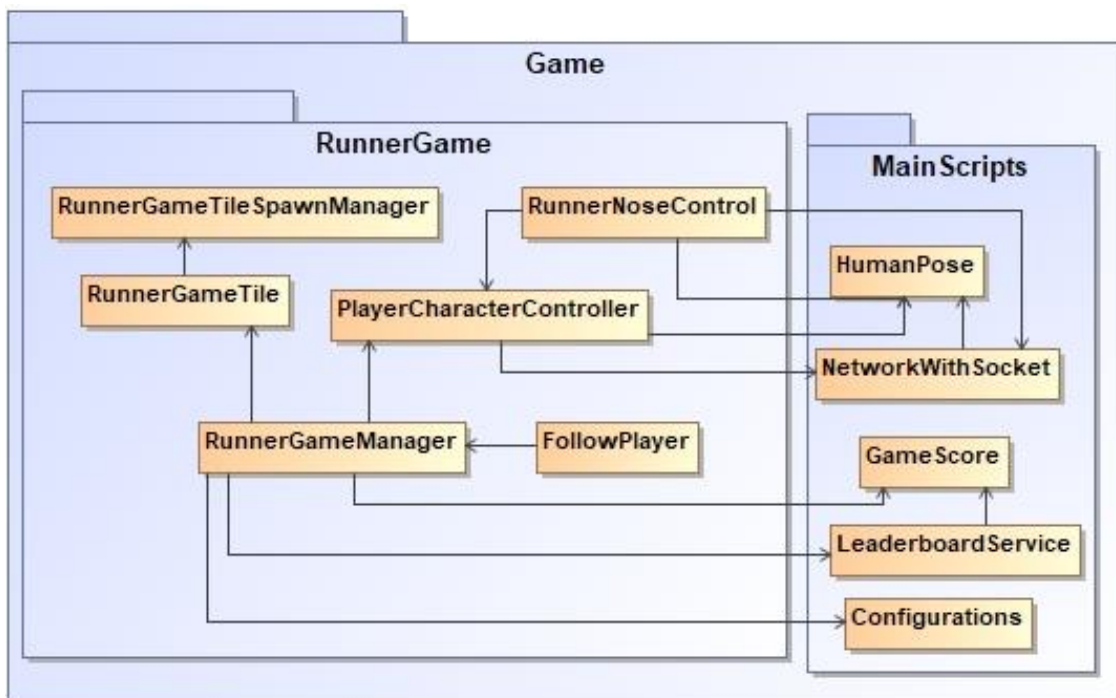
2.4 pav. Žaidimo „MainScripts“ paketas

Pakete „ColorHitGame“ (žr. 2.5 pav.) esančios klasės yra atsakingos už „Color Hit“ žaidimo vykdymo logiką. Šiame pakete yra dvi svarbiausios klasės: „ColorHitGameManager“, „PlayerBodyKeypointControl“. „ColorHitGameManager“ klasė yra atsakinga už žaidimo logikos valdymą, o „PlayerBodyKeypointControl“ klasė reaguoja į žmogaus atliekamus gestus ir juos atvaizduoja žaidime.



2.5 pav. Žaidimo „ColorHitGame“ paketo klasių sąveika su „MainScripts“ klasėmis

Pakete „RunnerGame“ (žr. 2.6 pav.) esančios klasės yra atsakingos už „City Runner“ žaidimo logiką. Šiame pakete yra trys svarbiausios klasės: „RunnerGameTileSpawnManager“, „RunnerGameManager“ ir „PlayerCharacterController“. „RunnerGameTileSpawnManager“ klasė yra atsakinga už žaidime esančios aplinkos kūrimą. „PlayerCharacterController“ klasė valdo žaidimo personažą pagal žmogaus atliekamus gestus. „RunnerGameManager“ klasė yra atsakinga už žaidimo valdymą.

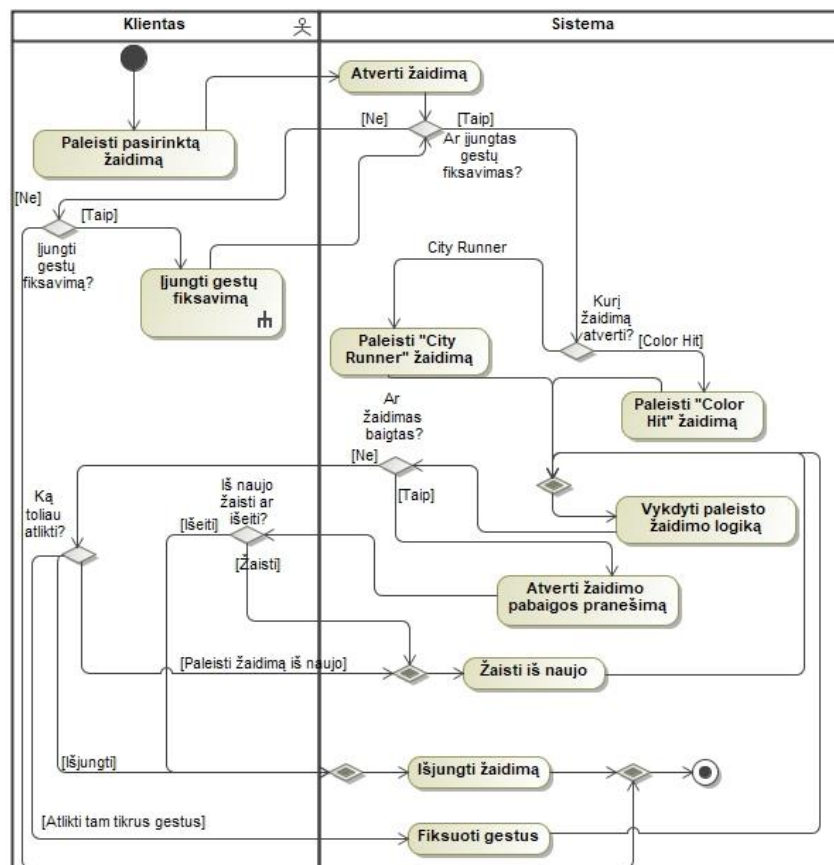


2.6 pav. Žaidimo „RunnerGame“ paketo klasių sąveika su „MainScripts“ klasėmis

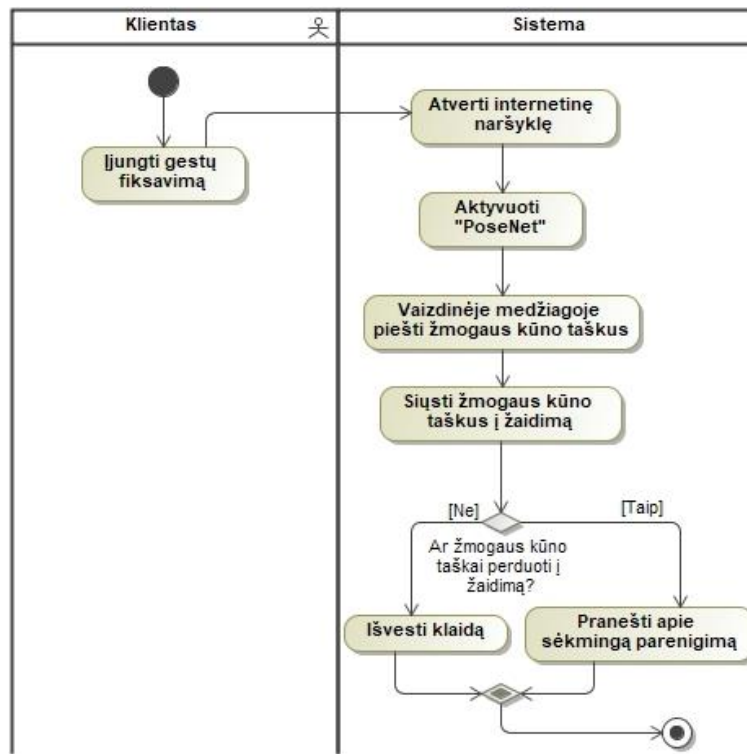
2.2.4. Sistemos dinaminis vaizdas

2.2.4.1. Veiklos diagramos

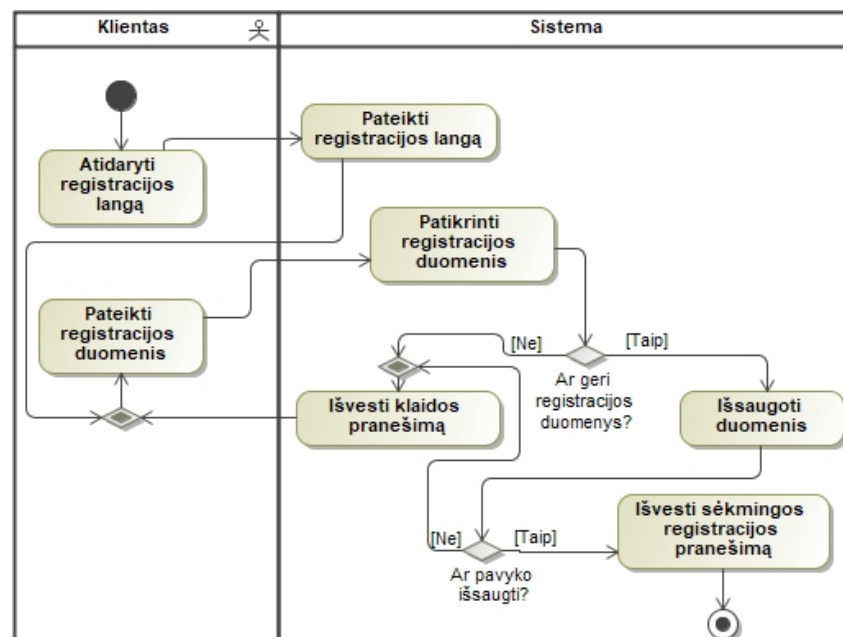
Pagrindinės sistemos veiklos diagramos pateiktos 2.7 – 2.10 pav.



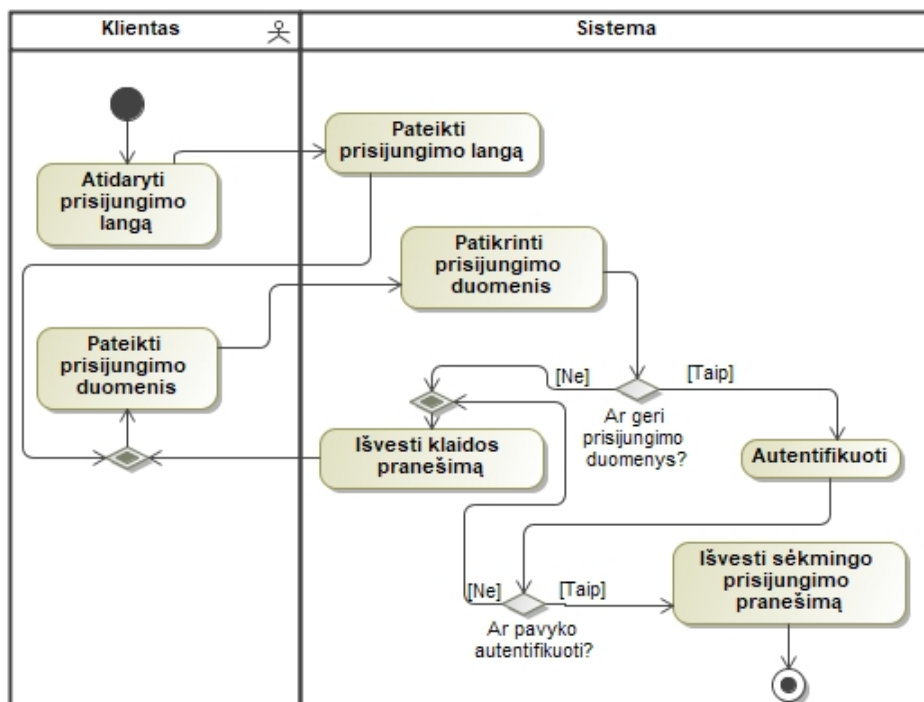
2.7 pav. Paleisti pasirinktą žaidimą veiklos diagrama



2.8 pav. Gestų fiksavimo įjungimo veiklos diagrama



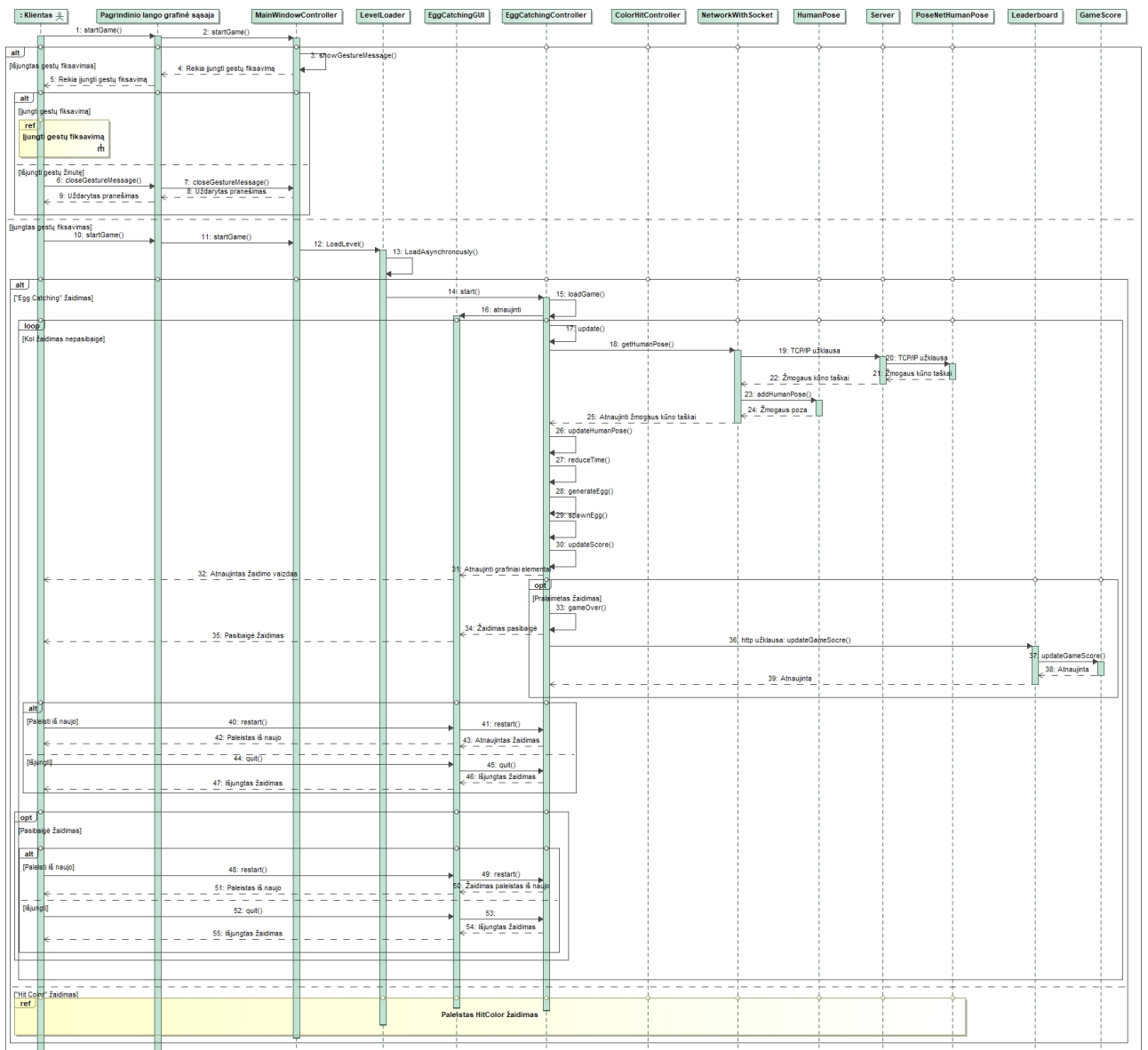
2.9 pav. Paskyros registracijos veiklos diagrama



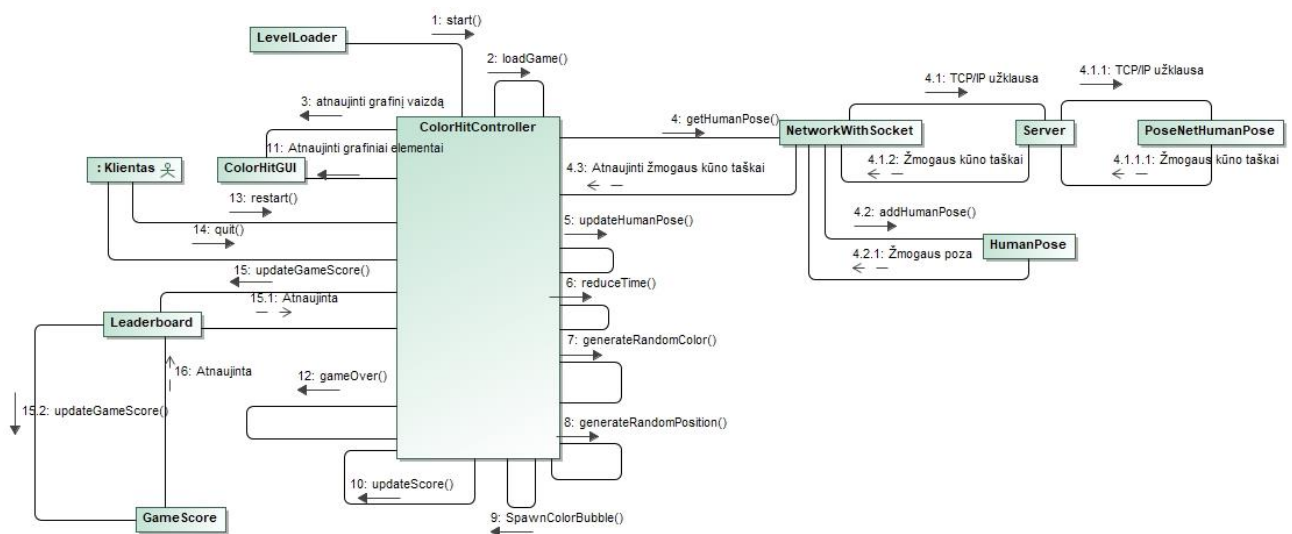
2.10 pav. Prisijungimo prie paskyros veiklos diagrama

2.2.4.2. Sąveikos diagramos

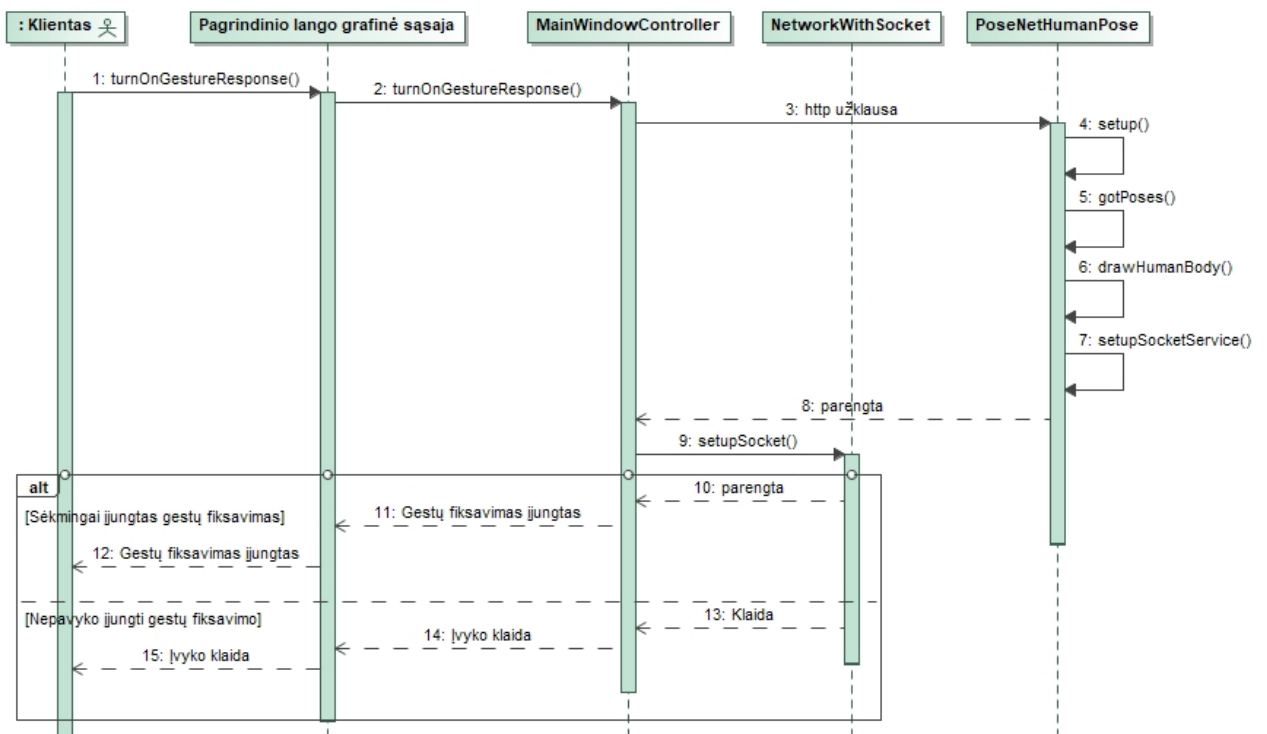
Pagrindinės žaidimo sąveikos diagramos pateiktos 2.11 – 2.16 pav.



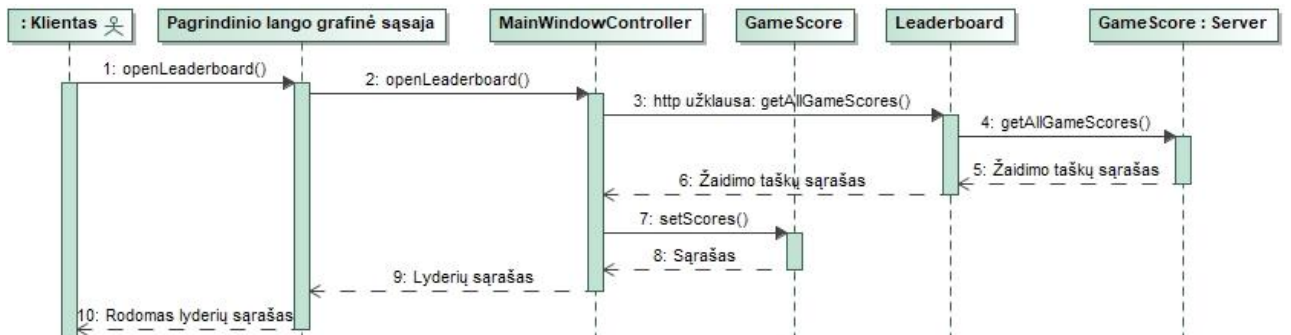
2.11 pav. Žaidimo paleidimo, kai pasirinkamas „City Runner“ sekų diagrama



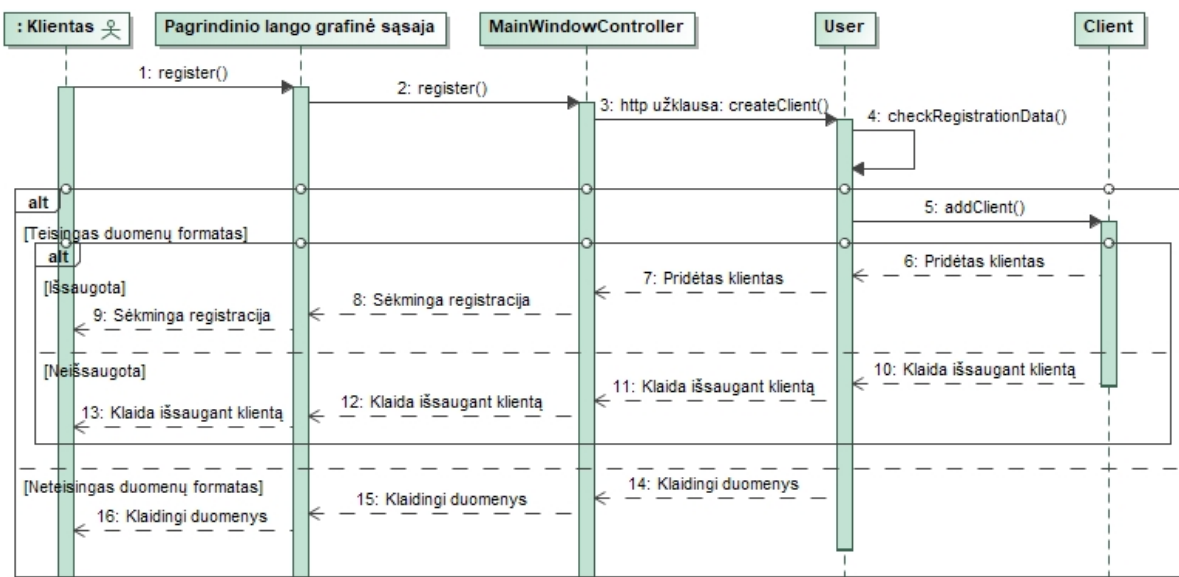
2.12 pav. Paleisto „Color Hit“ žaidimo bendradarbiavimo diagrama



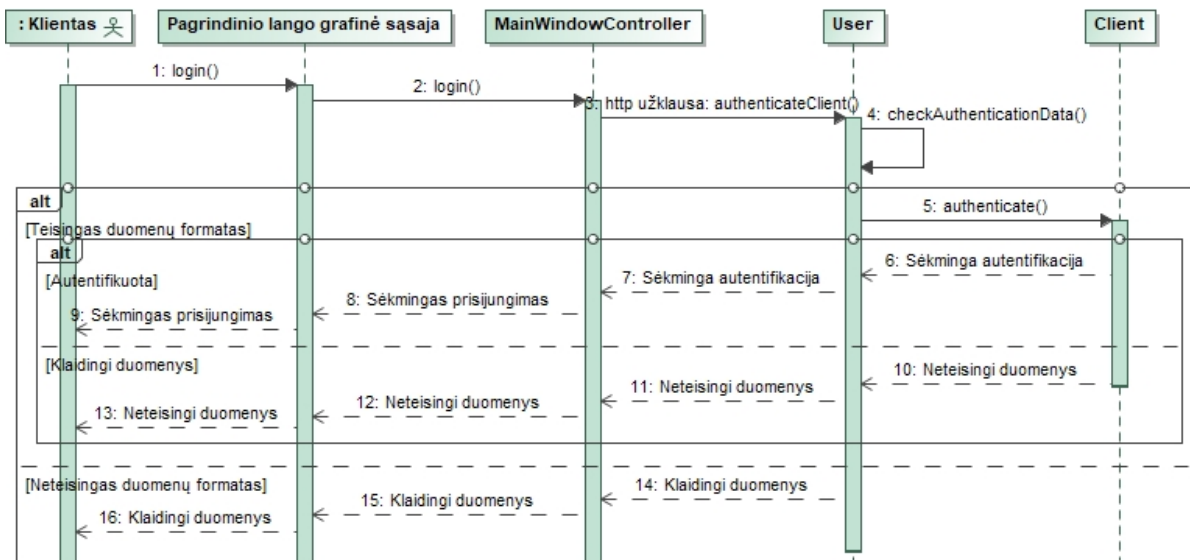
2.13 pav. Gestų fiksavimo įjungimo sekų diagrama



2.14 pav. Lyderiaujančių žaidėjų sąrašo atidarymo sekų diagrama

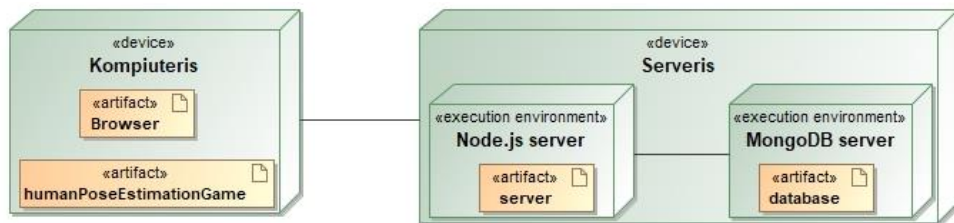


2.15 pav. Registracijos sekų diagrama



2.16 pav. Prisijungimo prie paskyros sekų diagrama

2.2.5. Išdėstymo vaizdas



2.17 pav. Diegimo aplinkos diagrama

2.3. Naudotojo dokumentacija

2.3.1. Sistemos funkcinis aprašymas

Sukurtos sistemos produktas, kurį mato naudotojai, yra kompiuterinis žaidimas, kuris yra pritaikytas prie „Windows 10“ operacinės sistemos. Sistema yra sukurta taip, jog kompiuterinis žaidimas būtų valdomas natūraliais gestais naudojant paprastą internetinę kamerą. Sukurtoje programoje yra du žaidimai: „Color Hit“ ir „City Runner“. „Color Hit“ žaidime yra fiksuojama nosis, kairys ir dešinys riešai, su kuriais reikia pataikyti į atitinkamus spalvotus apskritimus. „City Runner“ žaidime natūraliais gestais yra valdomas žmogaus personažas, kuris bėga per miestą ir turi išvengti kliūčių. Taip pat sistema saugo geriausius naudotojų rezultatus bei leidžia konkuruoti su kitais žaidėjais pagal surinktus taškus.

2.3.2. Naudotojo atmintinė

„Color Hit“ žaidimo tikslas yra kuo daugiau kartų su rutuliais pataikyti į apskritimus. Šio žaidimo pavyzdys su paaiškinimais, kai žaidimo laikas nepasibaigęs, pateiktas 2.18 pav.



2.18 pav. „Color Hit“ objektų paaiškinimas, kai žaidimo laikas nepasibaigęs

„Color Hit“ žaidimo pavyzdys su paaiškinimais, kai žaidimo laikas pasibaigęs, pateiktas 2.19 pav.



2.19 pav. „Color Hit“ objektų paaiškinimas, kai žaidimo laikas pasibaigė

„City Runner“ žaidimo tikslas yra su turimu personažu išvengti kuo daugiau kliūčių ir nubėgti kuo didesnę atstumą. Šiame žaidime esantis personažas yra valdomas pagal žmogaus kūno poziciją. Personažas peršoka į kairesnę juostą, jei žmogus juda į kairę pusę, o jeigu žmogus juda į dešinę pusę, tai tada personažas peršoka į dešinesnę juostą.

„City Runner“ žaidimo pavyzdys su paaiškinimais, kai personažas sėkmingai išvengia kliūčių, pateiktas 2.20 pav.



2.20 pav. „City Runner“ objektų paaiškinimas, kai personažas sėkmingai išvengia kliūčių

„City Runner“ žaidimo pavyzdys su paaiškinimais, kai personažas atsitrenkia į kliūtį, pateiktas 2.20 pav.



2.21 pav. „City Runner“ objektų paaiškinimas, kai personažas atsitrenkia į kliūtį

3. Tyrimo dalis

Tyrimo metu yra analizuojamos žmogaus pozos (kūno) atpažinimo bibliotekos: nagrinėjamos jų savybės, konfigūracijų parametrai, žmogaus atpažinimo tikslumas, našumas bei pateikiami bibliotekų palyginimai. Šiems tyrimams yra reikalingi nuotraukų bei vaizdo įrašų duomenys, kuriuose būtų pavaizduoti žmonės, todėl bibliotekų analizei buvo nuspręsta naudoti viešai prieinamus ir tyrimo metu susikurtus duomenų rinkinius.

MPII duomenų rinkinys – tai nuotraukų rinkinys, kurį sudaro 25000 nuotraukų, kuriose užfiksuota 40000 žmonių [32]. Šiame duomenų rinkinyje nuotraukos yra suskirstytos į 410 žmogaus atliekamų veiklų, todėl yra patogu nagrinėti bibliotekų veikimą, kai analizuojamos įvairios žmogaus kūno padėty skirtingose aplinkose.

Tyrimams naudojamo kompiuterio aprašymas: procesorius „Intel“ Core™ i7-7500U, kurio taktinis dažnis 2.7 GHz, vaizdo plokštė „AMD“ Radeon R7 M445, kurios atmintinė 4GB, 256GB SSD talpa, 16 GB operatyvioji atmintis (angl. RAM), operacinė sistema „Windows 10“ Home 64bit.

3.1. Bendra žmogaus pozos atpažinimo bibliotekų apžvalga

Bendra bibliotekų naudojimosi informacija pateikta 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. Bendrinė bibliotekų apžvalga

	„PoseNet“	„OpenPose“
Operacinės sistemos, kuriose palaikoma	„Windows“, „Linux“, „MacOS“, „Android“, „iOS“	„Windows“, „Linux“, „MacOS“
Maksimalus atpažįstamų žmogaus kūno taškų kiekis	17	135
Licencija	Galima laisvai naudoti tiek komerciniuose, tiek nekomerciniuose projektuose ar tyrimuose	Galima naudoti tik nekomerciniams tikslams ir tyrimams.
Galimos įvestys	Nuotrauka, vaizdo įrašas, tiesioginis vaizdo srautas iš kameros	Nuotrauka, vaizdo įrašas, tiesioginis vaizdo srautas iš kameros
Rezultatų išvedimas	JSON formatu išvedami duomenys, kurie nurodo žmogaus kūno taškų koordinatas	Nuotrauka ar vaizdo įrašas, ant kurio sužymėti žmogaus kūno taškai, taip pat taškų išvedimas į masyvą ar JSON, XML, YML formatą
Aparatinė įranga, kurioje vykdoma	Bet kokia vaizdo plokštė	„Nvidia“ (reikalinga CUDA) arba „AMD“ Vega serijos (reikalinga OpenCL) vaizdo plokštė, arba bet koks procesorius

3.2. „PoseNet“ tyrimas

Analitiniame skyriuje buvo išsiaiškinta, jog „PoseNet“ turi du skirtingus algoritmus: vieno žmogaus pozos nustatymo ir kelių žmonių pozų nustatymo. Tačiau nebuvo išnagrinėti kiti kintantys parametrai, kurie gali turėti įtakos atpažinimo tikslumui ar vykdymo greičiui. Šių parametru paaiškinimai:

1. *architecture* – nusako, kokią modelio architektūrą įkelti. Yra du variantai: *MobileNetV1* arba *ResNet50*. Numatytoji reikšmė yra *MobileNetV1*. *MobileNetV1* modelis yra lengvesnis ir greitesnis, tačiau jam trūksta tikslumo, o *ResNet50* – tikslesnis, tačiau sunkesnis ir lėtesnis [27], todėl jį gali būti sunku pritaikyti realaus laiko sistemose.

2. *outputStride* – išvesties žingsnio dydis. Kuo mažesnė reikšmė, tuo didesnė išvesties skiriamoji geba ir tuo didesnis tikslumas, tačiau lėtėja vaizdo apdorojimas [27]. *MobileNetV1* modelyje galimos reikšmės: 8, 16 (numatytoji). *ResNet50* modelyje galimos reikšmės: 16, 32 (numatytoji).
3. *inputResolution* – apibrėžia dydį, pagal kurį yra pakeičiamas vaizdinės medžiagos dydis (skiriamoji geba), prieš paduodant į „PoseNet“ modelį. Kuo didesnė reikšmė, tuo tikslesnis žmogaus atpažinimas, tačiau atitinkamai lėtėjantis veikimas [27]. Parametras gali būti nurodytas kaip skaičius arba kaip objektas, pavyzdžiui: `{ width: 257, height: 200 }`. Jei nurodomas tik skaičius, tai tokiu atveju įvedamos vaizdo medžiagos aukštis ir plotis bus pakeičiamas į nurodytą reikšmę. Maksimali reikšmė yra 801, o minimali – 161. Numatytoji reikšmė yra 257 [27].
4. *multiplier* – tai daugiklis, kuris naudojamas konvoliucijos skaičiavime. Kuo didesnis daugiklis, tuo didesnis veikimo tikslumas, tačiau krenta našumas [27]. Šis parametras yra naudojamas tik *MobileNetV1* modelyje, o galimos reikšmės yra šios: 1.01, 1.0, 0.75 (numatytoji reikšmė), 0.50.
5. *quantBytes* – nusako bitų kiekį, kai keičiamas įvedamo vaizdo dydis. Kuo didesnis skaičius, tuo didesnis tikslumas, bet tuo lėtesnis veikimas [27]. Galimos reikšmės: 4, 2 (numatytoji), 1.
6. *scoreThreshold* – įvedamas skaičius nuo 0 iki 1, pagal kurį nustatoma ar grąžinti žmogaus kūno taškus. Šis skaičius nusako minimalų koeficientą, pagal kurį grąžinamas rezultatas arba ne [27]. Pvz., *scoreThreshold* yra nustatytas į 0.7, o iš analizuojamo vaizdo gauname 0.3 tikimybę, kad vaizde yra žmogus, tai tokiu atveju nebus grąžinami žmogaus kūno taškai. Numatytoji reikšmė yra 0.5.
7. *detectionType* – nurodo algoritmo tipą: *multiple* arba *single* [27]. Nurodžius *multiple* reikšmę yra paleidžiamas kelių žmonių pozų atpažinimo algoritmas, o nurodžius *single* – vieno žmogaus pozos atpažinimo algoritmas. Numatytoji reikšmė yra *multiple*.
8. *flipHorizontal* – apversti įvesties vaizdą horizontaliai (*true*) arba ne (*false*) [27]. Numatytoji reikšmė yra *false*. Šį parametą patartina nustatyti į *true*, kai naudojama vaizdo kamera.
9. *maxPoseDetections* – maksimalus žmogaus pozų aptikimo skaičius [27]. Numatytoji reikšmė yra 5, vadinasi, maksimaliai bus atpažinti tik 5 žmonės. Šis parametras aktualus tik kelių žmonių pozų atpažinimo algoritme.

„PoseNet“ rezultatus pateikia JSON formatu, kurio sutrumpintas pavyzdys, kai naudojamas vieno žmogaus pozos atpažinimo algoritmas, pateiktas 3.1 pav. Rezultatuose yra pateikiami žmogaus kūno taškai, su nurodyta atpažinimo tikimybe, įvardintu taško pavadinimu bei nustatytomis taško koordinatėmis.

```

{ "score": 0.32371445304906,
  "keypoints": [
    {
      "position": {
        "y": 76.291801452637,
        "x": 253.36747741699
      },
      "part": "nose",
      "score": 0.99539834260941
    },
    ...
    {
      "position": {
        "y": 347.41177368164,
        "x": 203.88229370117
      },
      "part": "rightAnkle",
      "score": 0.8255187869072
    }
  ]
}

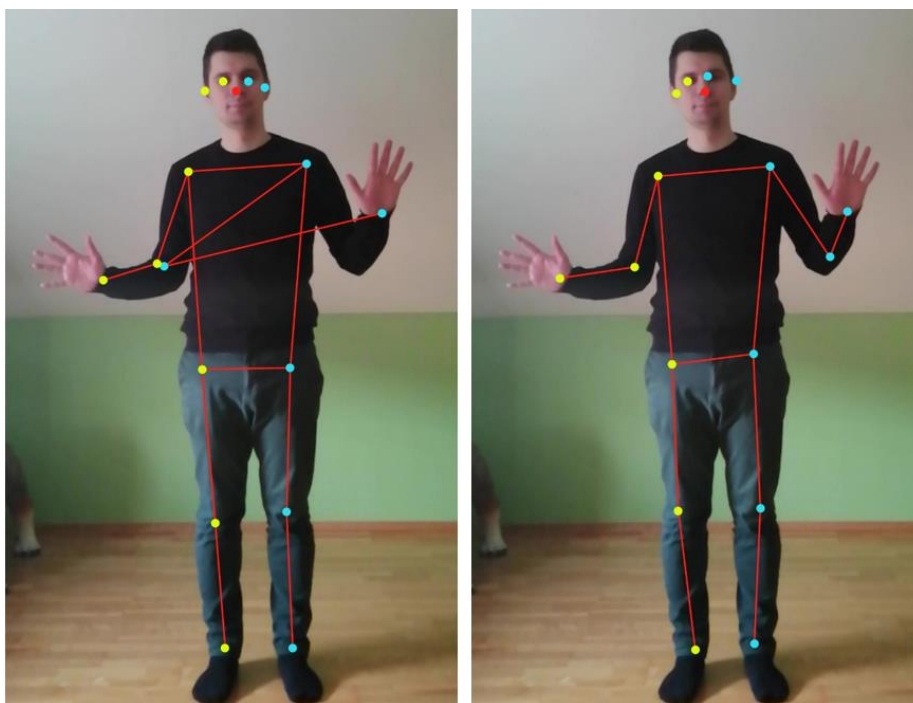
```

3.1 pav. „PoseNet“ išvesties rezultatų sutrumpintas pavyzdys

Projekto įgyvendinimo metu buvo naudojamos numatytosios reikšmės, išskyrus *flipHorizontal*, *detectionType* reikšmes, kurios atitinkamai buvo nustatytos į *true* ir *single*. Todėl tyrimo metu „PoseNet“ biblioteka yra bandoma ne tik su skirtingomis žmonių pozomis, bet ir su skirtingais bibliotekos parametrais. Taip pat tyrimams yra sukurta sistema, kuri ant vaizdinės medžiagos subraižo žmogaus kūno taškus ir juos sujungia, kadangi „PoseNet“ neatlieka šių veiksmų.

3.2.1. „PoseNet“ tyrimas naudojant nuotraukas

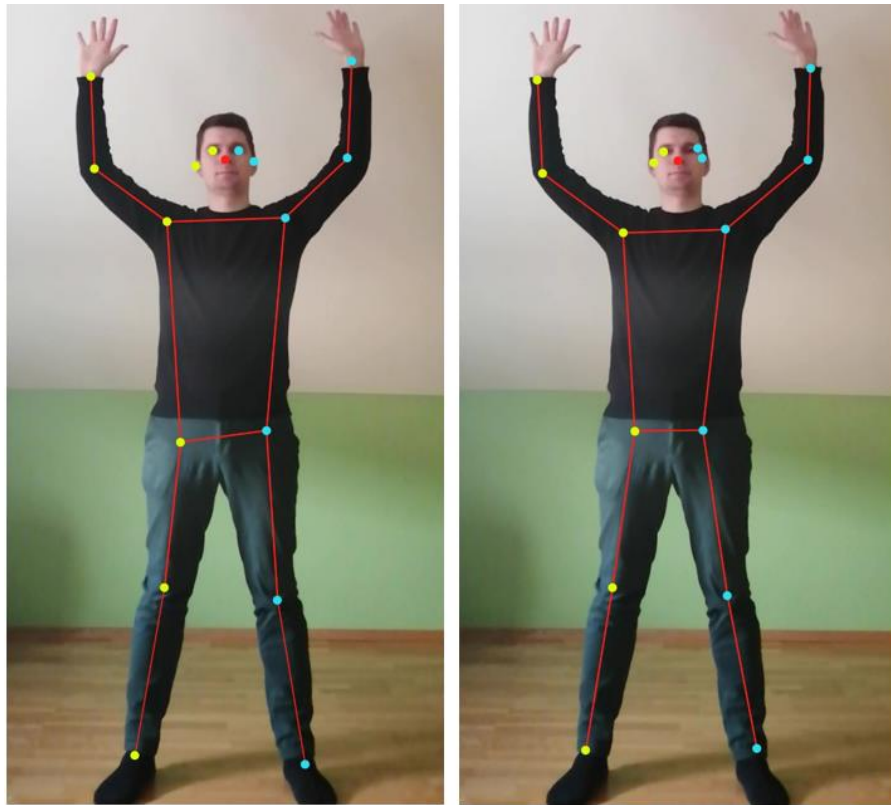
Tyrimo metu „PoseNet“ biblioteka išbandoma su vieno žmogaus pozos nustatymo algoritmu bei numatytais parametrais, bet keičiant architektūros tipą į *MobileNetV1* arba *ResNet50*. Šių bandymų rezultatai pateikti 3.2 – 3.18 paveikslėliuose, kai kiekvieno paveikslėlio kairėje pusėje atvaizduojami rezultatai gauti su *MobileNetV1*, o dešinėje – *ResNet50*. Taip pat paveikslėliuose yra sužymėti geltoni apskritimai, kurie simbolizuoja žmogaus dešinės pusės taškus, o mėlyni apskritimai – simbolizuoja žmogaus kairės pusės taškus, pvz.: kairioji akis, kairioji ausis. Raudonos linijos sujungia aptiktus kūno taškus ir sudaro skeletą, o raudonas apskritimas nurodo žmogaus nosį.



3.2 pav. Pirmos žmogaus pozos nustatymas su *MobileNetV1* ir *ResNet50* architektūromis

Išanalizavus pirmo bandymo rezultatus, kurie pateikti 3.2 pav., buvo nustatyta, kad naudojant *MobileNetV1* modelio architektūrą gauti netikslūs rezultatai, kadangi kairės rankos alkūnė buvo nurodyta prie dešinės rankos alkūnės. Tačiau naudojant *ResNet50* architektūrą gauti gana tikslūs rezultatai ir nepastebėta didelių nukrypimų.

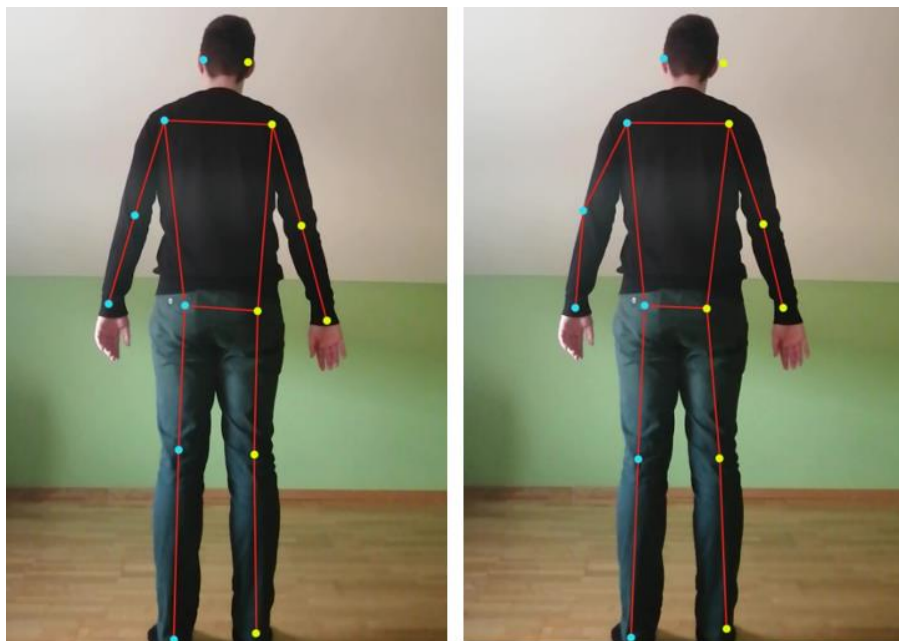
Antro bandymo metu buvo siekiama panaudoti nuotrauką, kurioje aiškiai matosi visi žmogaus kūno taškai, kuriuos gali atpažinti „PoseNet“. Ši nuotrauka, ant kurios sužymėti žmogaus kūno taškai, pateikta 3.3 pav.



3.3 pav. Antros žmogaus pozos nustatymas su *MobileNetV1* ir *ResNet50* architektūromis

Antro bandymo metu tikimasi, kad „PoseNet“ gana tiksliai nustatys žmogaus kūno taškus, o šie rezultatai pateikti 3.4 pav. Po rezultatų analizės buvo prieita prie išvados, kad gauti rezultatai yra tokie, kokių tikėtasi.

Trečio bandymo metu taip pat tiriama nuotrauka, kurioje aiškiai matosi žmogaus kūno taškai, tačiau šiuo atveju žmogus yra apsisukęs (žr. 3.4 pav.).



3.4 pav. Trečias žmogaus pozos nustatymas su *MobileNetV1* ir *ResNet50* architektūromis

Kaip ir buvo galima tikėtis, „PoseNet“ gana tiksliai atpažino žmogaus kūno taškus tiek su *MobileNetV1*, tiek su *ResNet50* architektūromis, kai žmogus apsisukęs ir žmogaus kūno taškai neuždengia vienas kito. Šie rezultatai pateikti 3.4 pav.

Ketvirtoje nuotraukoje yra pateikta sėdinčio žmogaus poza, kai kūno taškai neuždengia vienas kito (žr. 3.5 pav.).

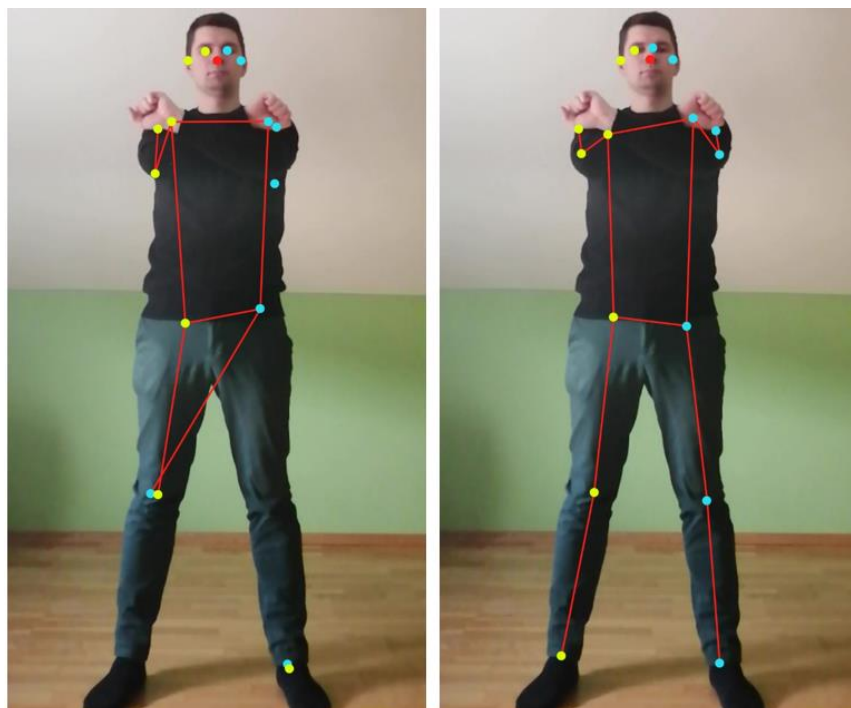


3.5 pav. Ketvirtas žmogaus pozos nustatymas su *MobileNetV1* ir *ResNet50* architektūromis

Išanalizavus ketvirto bandymo rezultatus, kurie pateikti 3.5 pav., galima teigti, kad žmogaus poza buvo atpažinta tik su minimaliais nukrypimais.

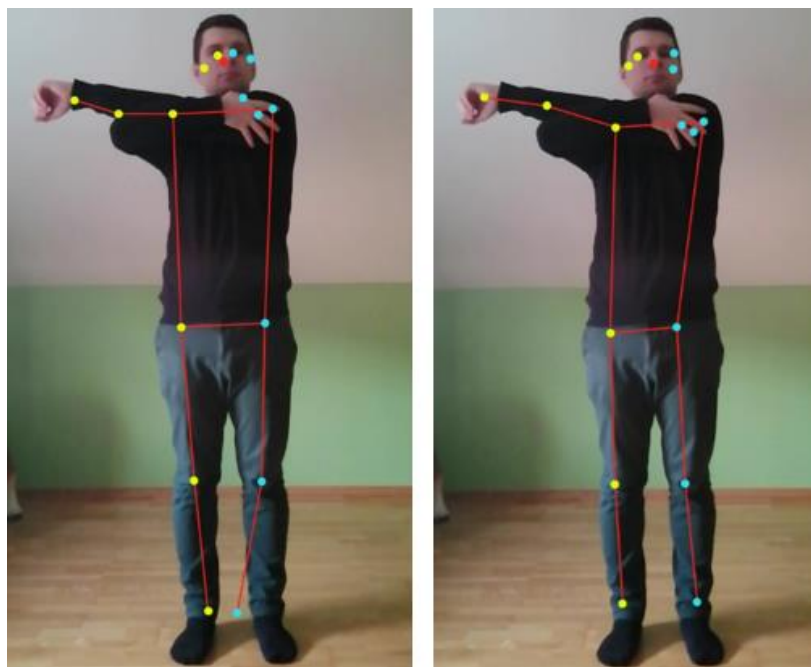
Per pirmus keturis bandymus (žr. 3.2 – 3.5 pav.) buvo išsiaiškinta, kad „PoseNet“ gana tiksliai nustato žmogaus kūno taškus, kai jie visi aiškiai matosi ir neuždengia vienas kito. Todėl tolimesnių bandymų metu siekiama ištirti „PoseNet“ tikslumą, kai analizuojamos nuotraukos, kuriose žmogaus kūno taškai uždengia vienas kitą arba jų nesimato nuotraukoje.

Penkto bandymo metu yra tiriama nuotrauka, kurioje yra sukryžiuotos žmogaus rankos ir tam tikri kūno taškai uždengia vienas kitą (žr. 3.6 pav.).



3.6 pav. Penktas žmogaus pozos nustatymas su *MobileNetV1* ir *ResNet50* architektūromis

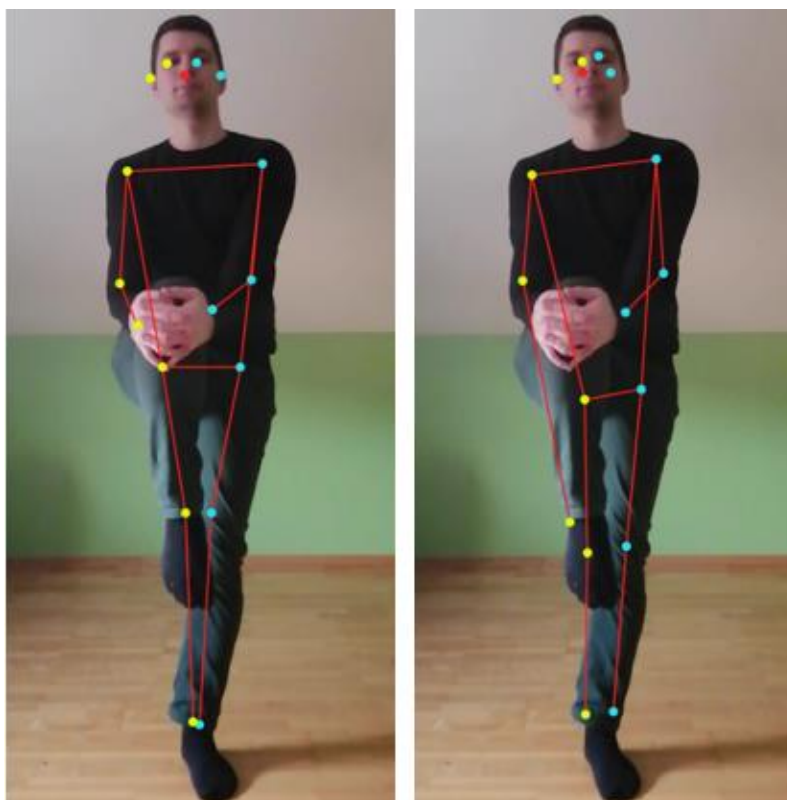
Ištyrus bandymo rezultatus, kurie pateikti 3.6 pav., buvo prieita prie išvados, jog šios žmogaus pozos nustatymo metu yra neteisingai atpažintos žmogaus riešo pozicijos, kai „PoseNet“ sukeičia kairį ir dešinį riešus vietomis. Taip pat šiame bandyme buvo klaidingai aptikti žmogaus kojų taškai, kai buvo pasirinkta *MobileNetV1* architektūra.



3.7 pav. Šeštasis žmogaus pozos nustatymas su *MobileNetV1* ir *ResNet50* architektūromis

Šeštasis nuotraukos tyrimas yra panašus į penktą ir gauti rezultatai yra panašūs į penkto bandymo rezultatus, kai netinkamai nustatomos riešų pozicijos (žr. 3.7 pav.).

Septintoje nuotraukoje pateikiama dar viena žmogaus poza, kai žmogaus kūno taškai uždengia vienas kitą (žr. 3.8 pav.).



3.8 pav. Septintas žmogaus pozos nustatymas su *MobileNetV1* ir *ResNet50* architektūromis

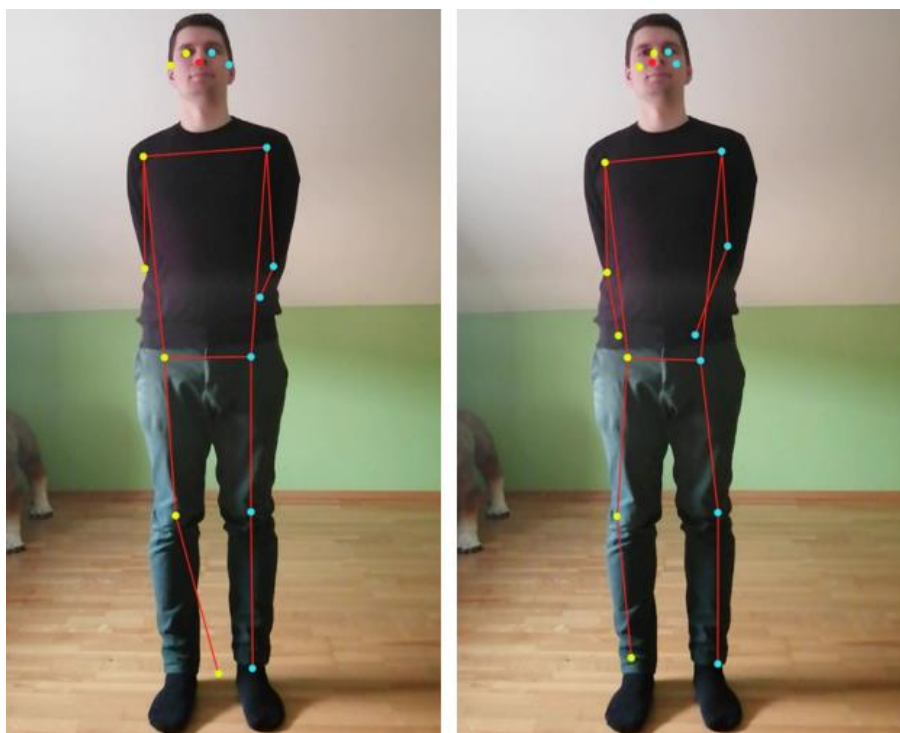
Išanalizavus septinto bandymo rezultatus (žr. 3.8 pav.), buvo patvirtinta idėja, kad „PoseNet“ biblioteka ne visada tiksliai nustato žmogaus kūno taškus, jeigu jie uždengia vienas kitą.

Aštuntame bandyme siekiama, kad žmogaus kojos būtų sukryžiuotos ir tokiu būdu susikirstų tam tikri žmogaus kūno taškai (žr. 3.9 pav.).



3.9 pav. Aštuntas žmogaus pozos nustatymas su *MobileNetV1* ir *ResNet50* architektūromis

Po aštunto bandymo, kurio rezultatai pateikti 3.9 pav., buvo nustatyta, jog „PoseNet“ tam tikrais atvejais teisingai nustato susikertančius tarpusavyje žmogaus kūno taškus. Tačiau šio bandymo metu buvo neteisingai nustatyta dešinė ranka, kai naudojama *MobileNetV1* architektūra, o su *ResNet50* architektūra netiksliai nustatyti veido taškai.



3.10 pav. Devintas žmogaus pozos nustatymas su *MobileNetV1* ir *ResNet50* architektūromis

Devinto bandymo nuotraukoje žmogus laiko rankas už nugaros ir šioje nuotraukoje nesimato riešai, tačiau „PoseNet“ sugebėjo prognozuoti galimas žmogaus riešų pozicijas, kai naudojama *ResNet50* architektūra. Gauti devinto bandymo rezultatai pateikti 3.10 pav.

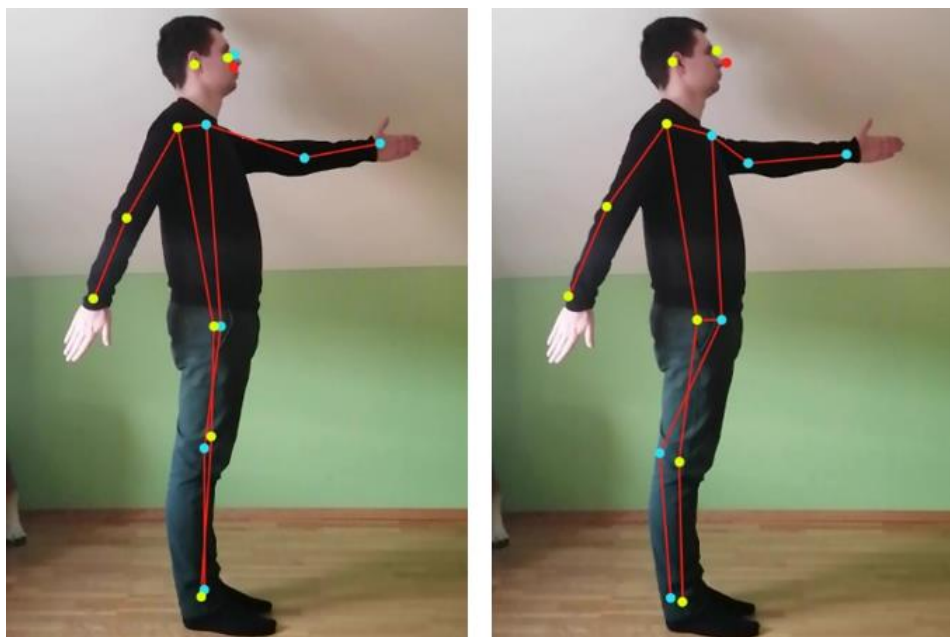
Išanalizavus nuotraukas, kurios pateiktos 3.6 – 3.8 pav., galima teigti, kad žmogaus poza ne visada tiksliai nustatoma, jeigu kūno taškai uždengia vienas kitą, tačiau tam tikrai atvejais (žr. 3.9 pav.) „PoseNet“ gana tiksliai nustato susikertančius taškus. Taip pat 3.10 pav. gauti rezultatai parodė, kad analizuojama „PoseNet“ biblioteka gali apytikriai pateikti žmogaus kūno taškų, kurie yra uždengti, koordinatas. Todėl 3.11 – 3.18 pav. analizuojamos nuotraukos, kuriose žmogus yra pasisukęs šonu arba jo kūno taškus uždengia kiti objektai.



3.11 pav. Dešimtas žmogaus pozos nustatymas su *MobileNetV1* ir *ResNet50* architektūromis

Išanalizavus dešimto bandymo rezultatus, kurie pateikti 3.11 pav., galima teigti, kad „PoseNet“ sugeba prognozuoti apytikres žmogaus kūno taškų koordinatas, kai žmogus yra pasisukęs ir vienos pusės taškai uždengia kitos pusės taškus. Šiuo atveju „PoseNet“ gana sėkmingai pavaizdavo dešinės žmogaus pusės taškus, nors daugelis iš jų yra uždengti.

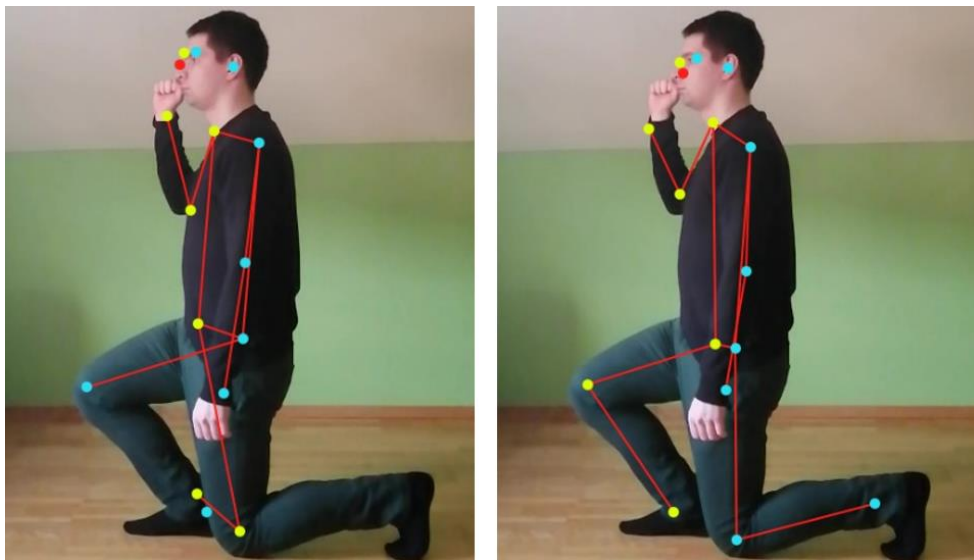
Vienuoliktame bandyme yra imama panaši situacija kaip ir dešimtame bandyme, tačiau šiuo atveju žmogus yra pasisukęs į kairę pusę ir geriau matosi dešinės pusės kūno taškai (žr. 3.12 pav.).



3.12 pav. Vienuoliktas žmogaus pozos nustatymas su *MobileNetV1* ir *ResNet50* architektūromis

Iš vienuolikto bandymo rezultatų (žr. 3.12 pav.) yra nustatyta, kad „PoseNet“ sėkmingai aptiko kairio peties, klubo, kelio ir čiurnos kūno taškus, nors jie yra atitinkamai uždengti dešinio peties, klubo, kelio ir čiurnos.

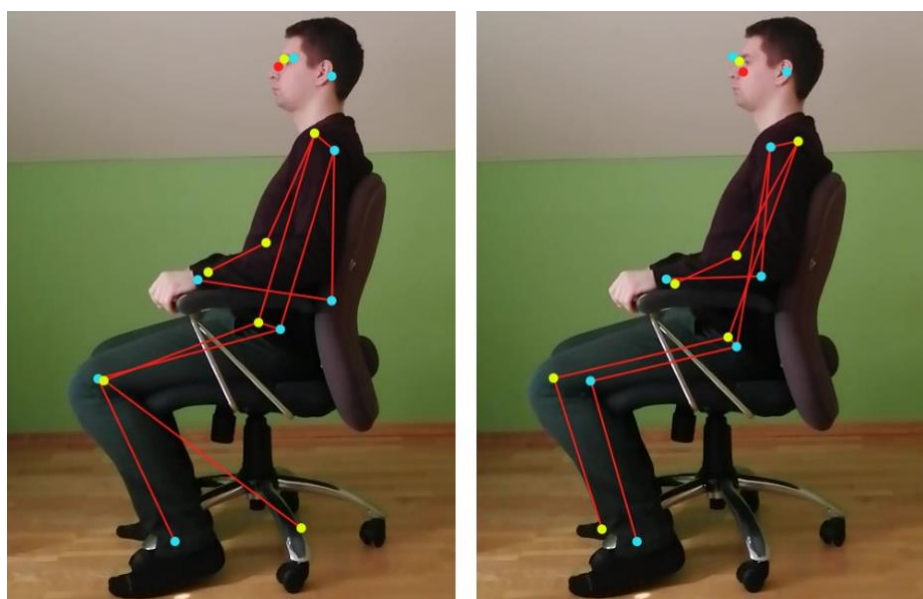
Dvyliktoje tyrimo nuotraukoje pateikiama dar viena žmogaus poza, kai žmogus yra pasisukęs šonu, tačiau šiuo atveju jis yra priklaupęs ant vienos kojos (žr. 3.13 pav.).



3.13 pav. Dvyliktas žmogaus pozos nustatymas su *MobileNetV1* ir *ResNet50* architektūromis

Ištyrus bandymo rezultatus, kurie pateikti 3.13 pav., buvo nustatyta, jog šio bandymo metu žmogus buvo geriau atpažintas su *ResNet50* architektūra negu *MobileNetV1*. Su *MobileNetV1* architektūra buvo netiksliai nustatytos kojų pozicijos, o su *ResNet50* didelių netikslumų nepastebėta.

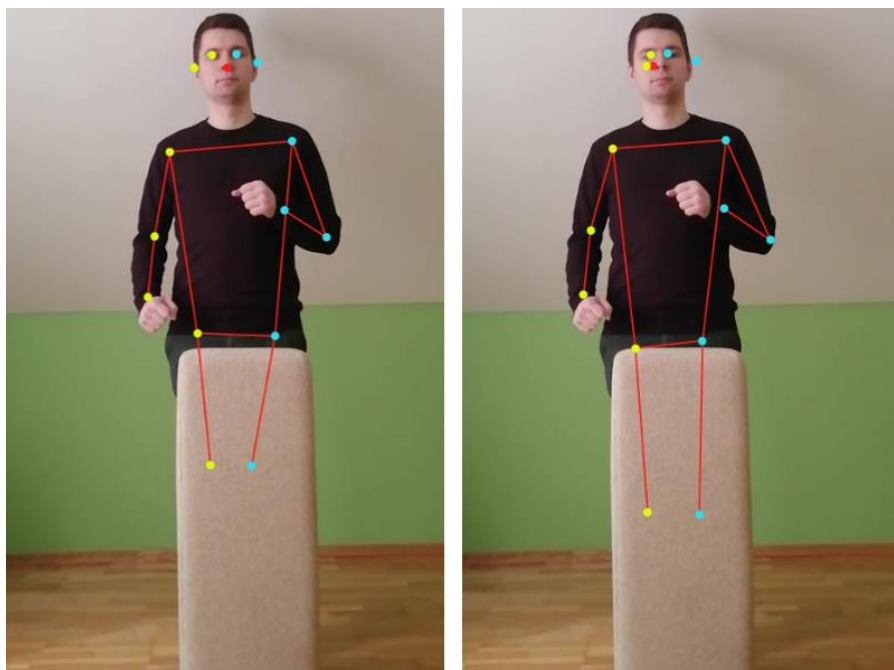
Trylikto bandymo metu (žr. 3.14) siekiama įsitikinti, ar „PoseNet“ sugeba prognozuoti apytikres žmogaus kūno taškų koordinatas, kai žmogus yra pasisukęs ir vienos žmogaus pusės kūno taškai nėra tiksliai matomi.



3.14 pav. Tryliktas žmogaus pozos nustatymas su *MobileNetV1* ir *ResNet50* architektūromis

Po trylikto bandymo, kurio rezultatai pateikti 3.14 pav., buvo įsitinka, jog „PoseNet“ gali nuspėti pasisukusio žmogaus kūno taškų, kurie nėra aiškiai matomi, koordinatas.

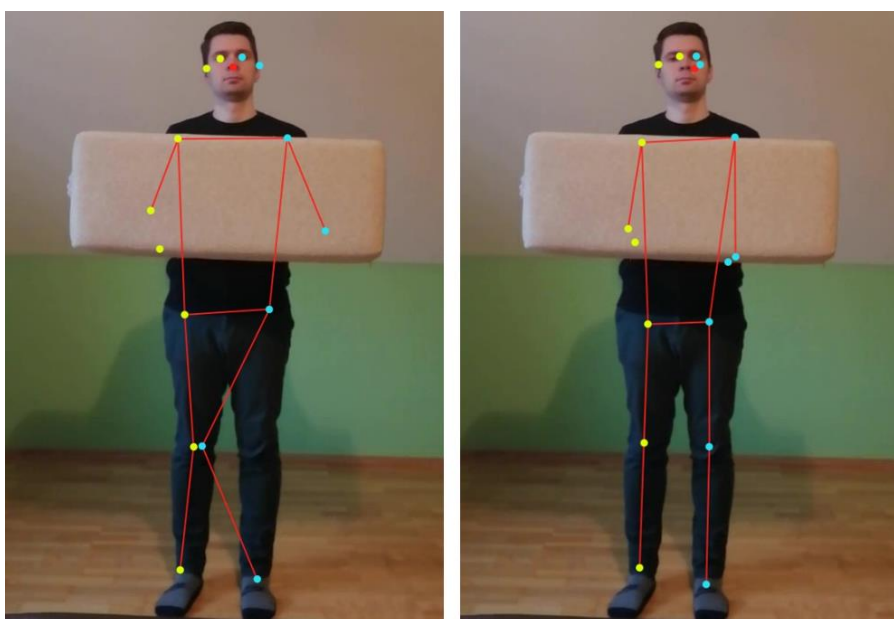
Keturioliktoje tyrimo nuotraukoje (žr. 3.15 pav.) pateikiamas žmogus, kurio kojos yra uždengtos pašalinio objekto. Šioje nuotraukoje nesimato žmogaus nei kelio, nei čiurnos kūno taškų.



3.15 pav. Keturioliktas žmogaus pozos nustatymas su *MobileNetV1* ir *ResNet50* architektūromis

Išanalizavus keturiolikto bandymo rezultatus, kurie pateikti 3.15 pav., buvo nustatyta, jog „PoseNet“ tiek su *MobileNetV1*, tiek su *ResNet50* architektūromis pateikė galimas žmogaus kelių pozicijas, nors šie kūno taškai yra uždengti. Tačiau abiem atvejais nepavyko nustatyti čiurnos taškų.

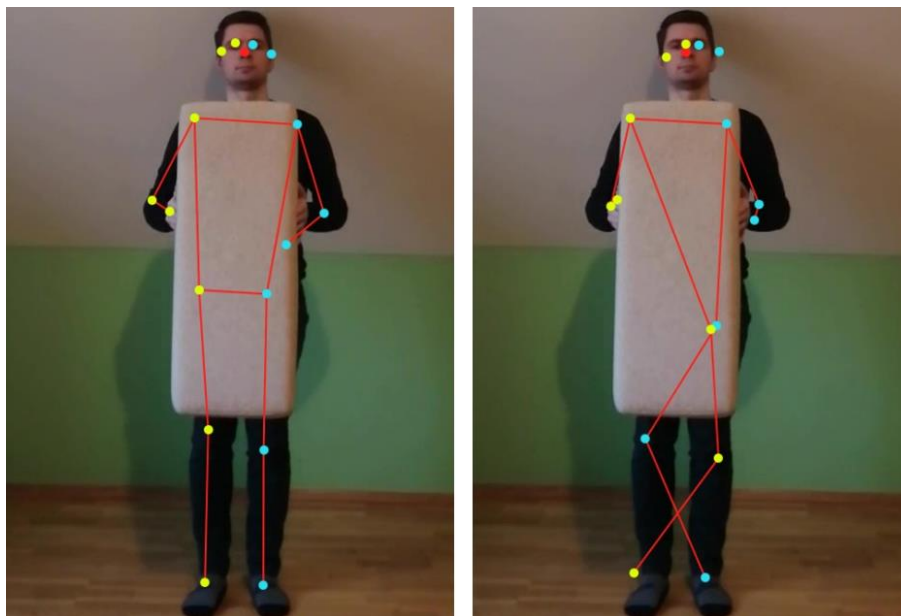
Penkioliktame bandyme pateikiama nuotrauka, kurioje uždengtos žmogaus rankos (žr. 3.16).



3.16 pav. Penkioliktas žmogaus pozos nustatymas su *MobileNetV1* ir *ResNet50* architektūromis

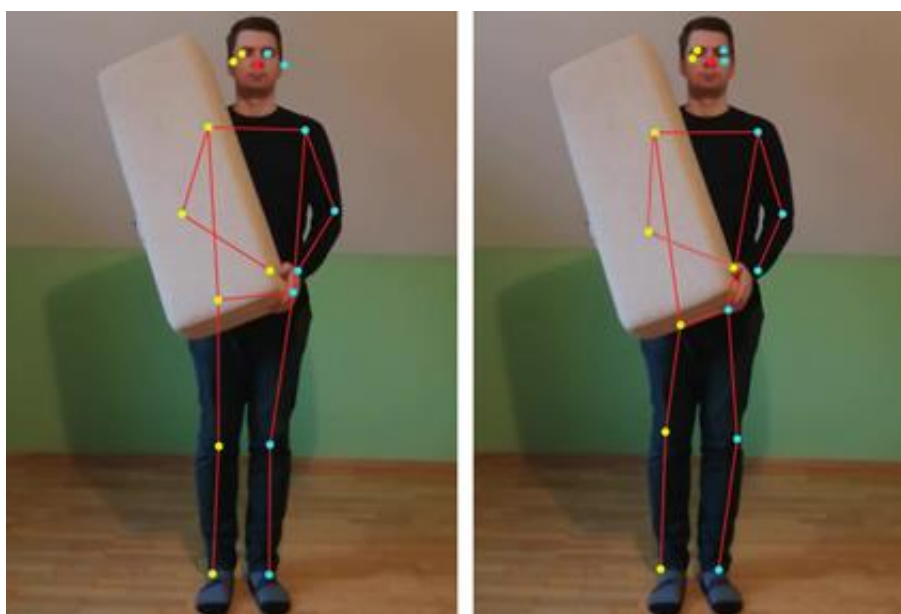
Penkiolikto bandymo metu siekiama išsiaiškinti, ar „PoseNet“ sugebės nustatyti apytiksles rankų koordinatas, kai rankas uždengia pašalinis objektas. Atlikus šį bandymą (žr. 3.16 pav.) paaiškėjo, kad „PoseNet“ gali prognozuoti apytikres alkūnės, riešo pozicijas, net jei jos yra uždengtos kito objekto. Tačiau šiuo atveju prognozė buvo klaidinga, kadangi rankų pozicijos buvo kitokios negu pateikė „PoseNet“.

Šešiolikto bandymo metu pateikiama dar viena žmogaus nuotrauka su pašaliniu objektu, tačiau šį kartą šis objektas uždengia kairio ir dešinio peties, klubo kūno taškus.



3.17 pav. Šešioliktas žmogaus pozos nustatymas su *MobileNetV1* ir *ResNet50* architektūromis

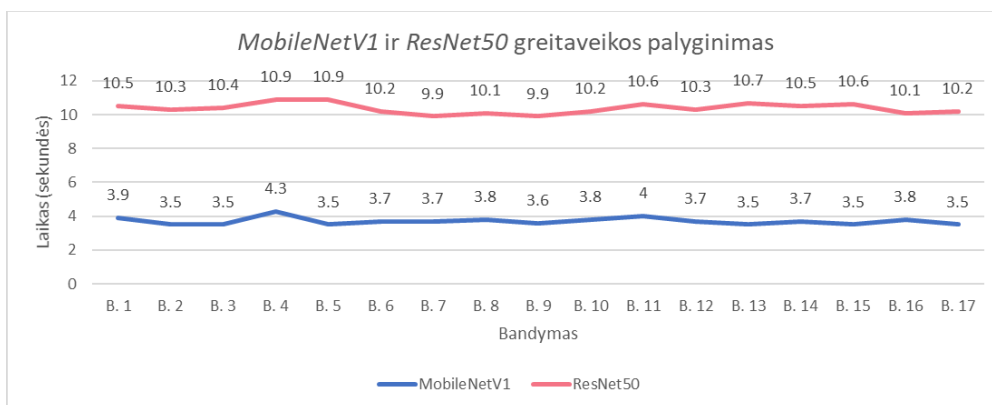
Po atliktos šešiolikto bandymo analizės, kurios rezultatai pateikti 3.17 pav., buvo prieita prie išvados, kad „PoseNet“ taip pat gali prognozuoti apytikres žmogaus peties, klubo koordinatas. Su *MobileNetV1* architektūra pavyko gana sėkmingai nustatyti žmogaus pozą, tačiau su *ResNet50* iškilo daugiau sunkumų, kai neteisingai buvo atpažinti kairys ir dešinys keliai bei dešinys klubas.



3.18 pav. Septynioliktas žmogaus pozos nustatymas su *MobileNetV1* ir *ResNet50* architektūromis

Ištirus septyniolikto bandymo rezultatus, kai pašalinis objektas uždengia dešinio peties, alkūnės, riešo bei klubo kūno taškus (žr. 3.18 pav.), buvo patvirtinta idėja, kad „PoseNet“ sugeba prognozuoti uždengtų žmogaus kūno taškų koordinatas. Vis dėlto uždengtų kūno taškų apskaičiavimas yra tik apytikslis, todėl susiduriama su įvairiais netikslumais, pvz., septynioliktame bandyme klaidingai nustatytas dešinės rankos riešas.

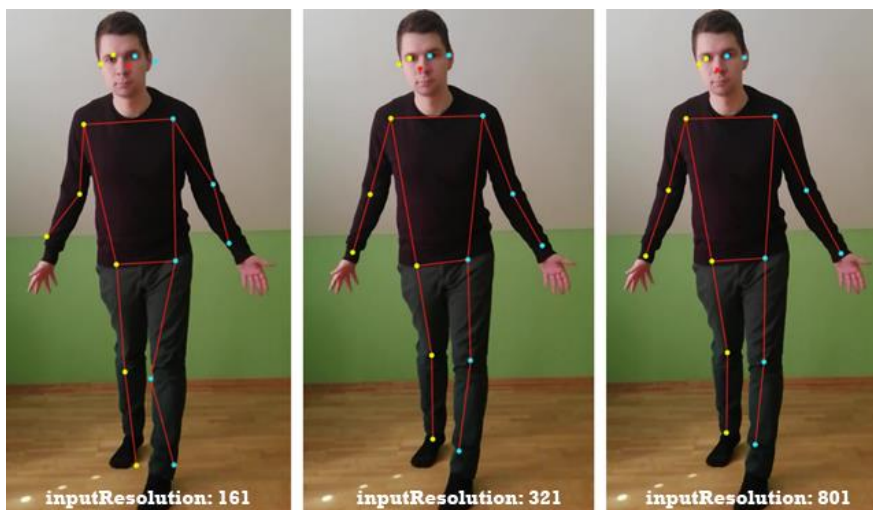
Atliekant *MobileNetV1* ir *ResNet50* architektūrų palyginimus, kurių rezultatai pavaizduoti 3.2 – 3.18 pav., taip pat buvo analizuojama greitaveika. Šios greitaveikos palyginimo rezultatai pateikti 3.19 pav., kai horizontalioje ašyje nurodomas bandymo numeris, kuris atitinka 3.2 – 3.18 pav. pateiktus bandymus, o vertikalioje ašyje nurodomas laikas, kuris nusako, per kiek sekundžių buvo atpažinta žmogaus poza.



3.19 pav. *MobileNetV1* ir *ResNet50* architektūrų greitaveikos palyginimas

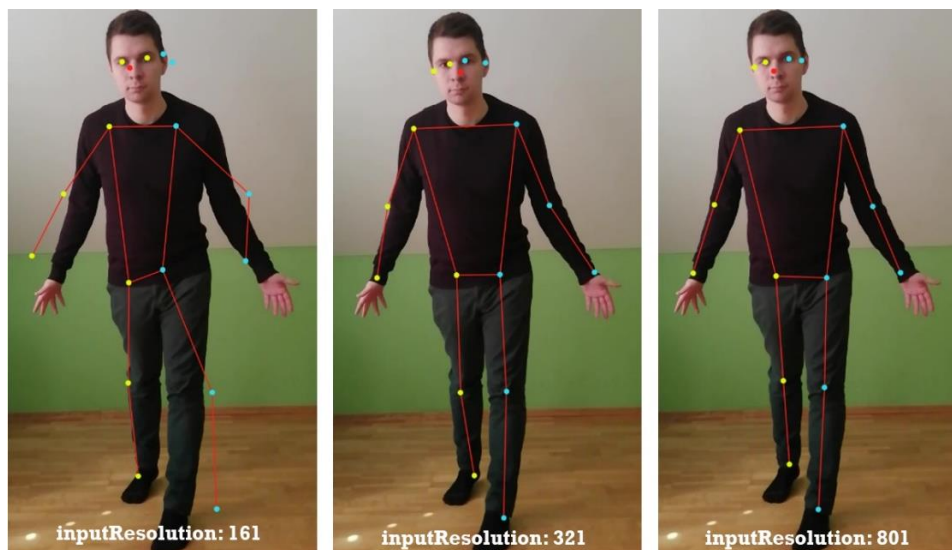
Išanalizavus greitaveikos rezultatus, kurie pateikti 3.19 pav., galima teigti, jog „PoseNet“ veikia greičiau su *MobileNetV1* architektūra. Taip pat iš atliktų tyrimų (žr. 3.2 – 3.18 pav.) galima daryti išvadas, kad „PoseNet“ tiksliau nustato žmogaus pozą su *ResNet50* architektūra negu su *MobileNetV1*, tačiau tam tikrais atvejais, ypač analizuojant veido taškus, *MobileNetV1* veikia tiksliau už *ResNet50*.

Pateiktuose 3.20 ir 3.21 pav. yra tiriama žmogaus pozos atpažinimo kokybė, kai keičiama *inputResolution* reikšmė. Šie paveikslėliai susideda iš trijų dalių, kai kairiausioje dalyje *inputResolution* reikšmė nustatyta į 161, vidurinėje dalyje nustatyta į 321, o dešiniausioje – 801.



3.20 pav. Pirmas *MobileNetV1* architektūros tyrimas su skirtingomis *inputResolution* reikšmėmis

Ištirus rezultatus, kurie pateikti 3.20 pav., galima teigti, kad žmogaus poza buvo geriau atpažinta nustatčius *inputResolution* į 321 ar 801, o su 161 reikšme pastebėta daugiau netikslumų. Šio bandymo metu buvo naudojamos numatytosios reikšmės, išskyrus *inputResolution*.



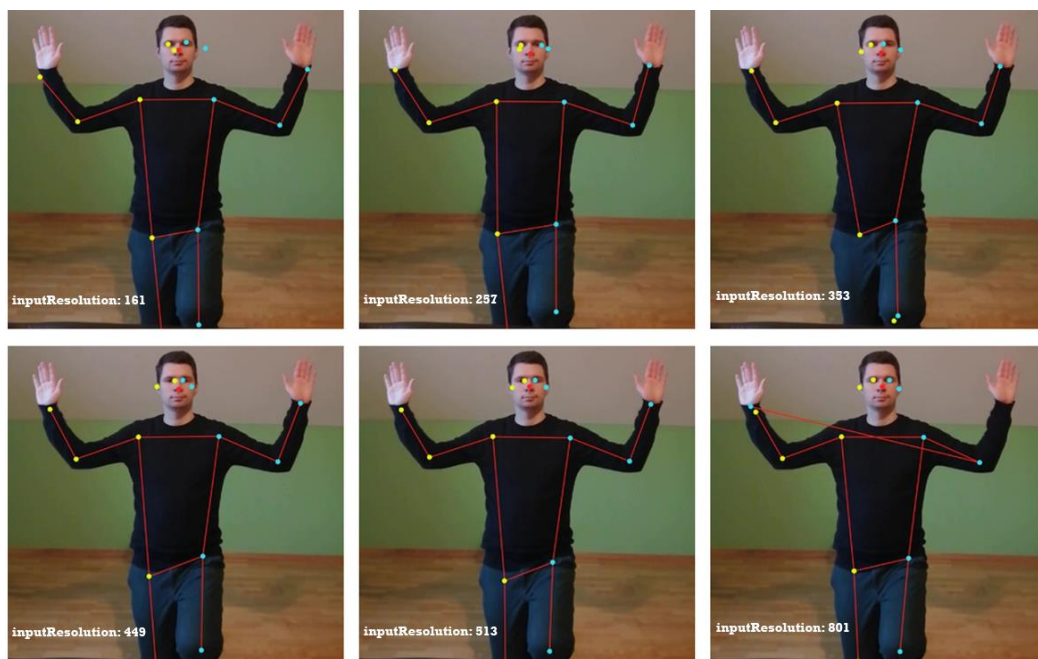
3.21 pav. Pirmas *ResNet50* architektūros tyrimas su skirtingomis *inputResolution* reikšmėmis

Atlikus bandymus su *ResNet50* architektūra, kurie pateikti 3.21 pav., buvo taip pat pastebėta, jog žmogaus pozos nustatymo kokybė gerėja, kai *inputResolution* didėja. Šio bandymo metu buvo naudojamos numatytosios reikšmės, išskyrus *inputResolution* bei *architecture*, kuri buvo nustatyta į *ResNet50*.

Norint įsitikinti idėja, kad pozos nustatymas darosi tikslesnis, kai *inputResolution* reikšmė didėja, reikia atlikti daugiau bandymų. Šie bandymai pateikti 3.22 ir 3.23 paveikslėliuose, kurie yra sudaryti iš šešių dalių, kai kiekvienoje dalyje analizuojama ta pati žmogaus poza, bet su skirtingomis *inputResolution* reikšmėmis. Taip pat 3.22 pav. naudojama *MobileNetV1* architektūra, o 3.23 pav. – *ResNet50*.



3.22 pav. Antras *MobileNetV1* architektūros tyrimas su skirtingomis *inputResolution* reikšmėmis

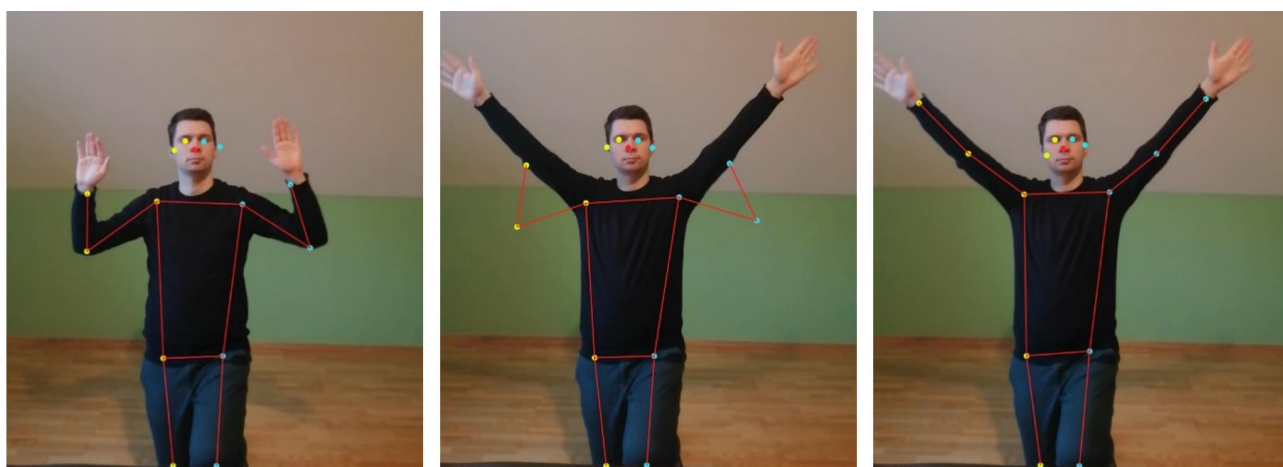


3.23 pav. Antras *ResNet50* architektūros tyrimas su skirtingomis *inputResolution* reikšmėmis

Atlikus daugiau bandymų, kurie pateikti 3.22 ir 3.23 pav., paaiškėjo, kad ne visada žmogaus poza nustatoma tiksliau, jeigu yra didinama *inputResolution* reikšmė. Pavyzdžiui, pirmame bandyme su *ResNet50*, kurio rezultatai pateikti 3.21 pav., tiksliausiai žmogaus poza nustatyta, kai *inputResolution* reikšmė yra 801. Tačiau antrame bandyme su *ResNet50*, kurio rezultatai pateikti 3.23 pav., žmogaus poza tiksliau nustatyta su 513 *inputResolution* reikšme, o ne su 801.

3.2.2. „PoseNet“ tyrimas su vaizdo įrašais ir tiesioginiu srautu iš kameros

Atlikus bandymus su vaizdo įrašais ir vaizdine medžiaga, kuri fiksuojama per internetinę kamerą, paaiškėjo, jog žmogaus pozos nustatymas atsilieka nuo kintančios vaizdinės medžiagos (žr. 3.24 pav.). Todėl tyrimo metu siekiama surasti optimaliausius parametrus, su kuriais ne tik žmogaus pozos nustatymo vėlinimo laikas būtų kuo mažesnis, bet ir pozos nustatymas turi būti gana tikslus.



3.24 pav. Pozos nustatymo atsilikimas, kai naudojamos numatytosios reikšmės

Geriausias našumo ir tikslumo balansas gaunamas, kai naudojami šie parametrai:
architecture – MobileNetV1.
quantBytes – 4.

outputStride – 16.

inputResolution – 321.

multiplier – 0.75.

Su šiais parametrais nepastebėta didelių pozos atpažinimo netikslumų, o žmogaus pozos nustatymo vėlinimas maksimaliai trunka iki 0.5 sek. Šiuos parametrus patartina naudoti, kai vaizdinė medžiaga yra tiesiogiai transliuojama per kamerą arba analizuojami vaizdo įrašai.

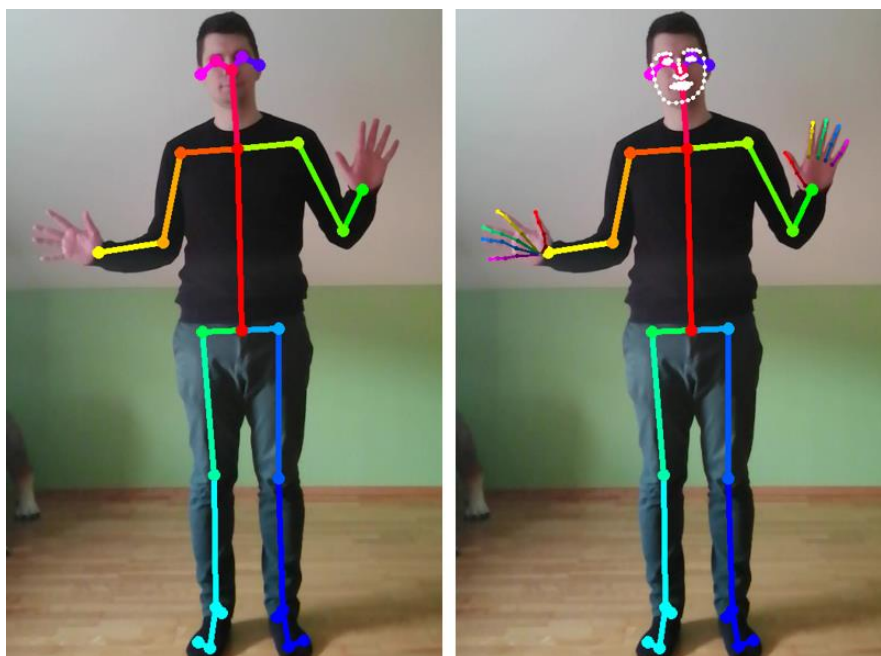
3.3. „OpenPose“ tyrimas

Analitinėje dalyje buvo išsiaiškinta, jog „OpenPose“ sugeba atpažinti net 135 žmogaus kūno taškus. Tačiau nebuvo apibrėžta, kad galima išjungti plaštakų bei veido taškų atpažinimą. Išjungus šių taškų atpažinimą yra nustatomi tik pagrindiniai 25 žmogaus kūno taškai. Taip pat svarbu paminėti, kad plaštakų ir veido atpažinimas negali veikti be pagrindinių žmogaus kūno taškų atpažinimo.

3.3.1. „OpenPose“ tyrimas naudojant nuotraukas

Tyrimo metu yra atliekami bandymai, kurių metu yra analizuojamas „OpenPose“ žmogaus pozos nustatymo tikslumas bei greitaveika. Tikslumo nustatymo bandymai pateikti 3.25 – 3.41 pav., kai kiekvienas paveikslėlis yra padalintas į dvi dalis. Kairėje paveikslėlio dalyje yra atvaizduojami gauti rezultatai, kai nustatomi tik pagrindiniai žmogaus kūno taškai, o dešinėje – kai nustatomas maksimalus žmogaus kūno taškų kiekis.

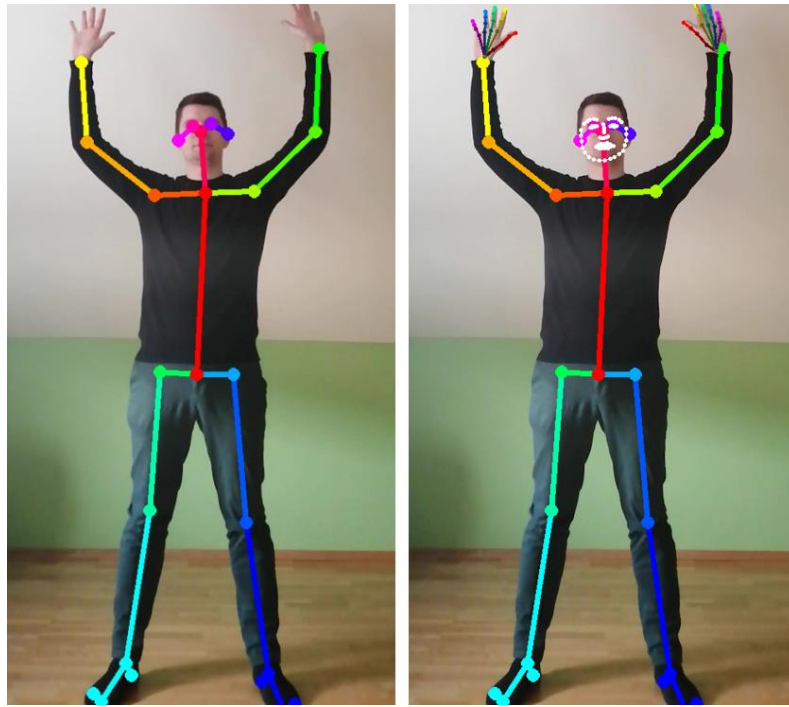
Per pirmus keturis bandymus (žr. 3.25 – 3.28 pav.) yra siekiama išsiaiškinti, ar „OpenPose“ sugeba tiksliai nustatyti žmogaus pozą, kai pagrindiniai žmogaus kūno taškai neuždengia vienas kito. Pirmas bandymas pateiktas 3.25 pav.



3.25 pav. Pirmas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“

Išanalizavus pirmo bandymo rezultatus, kurie pateikti 3.25 pav., galima teigti, kad „OpenPose“ tiksliai nustatė žmogaus pozą.

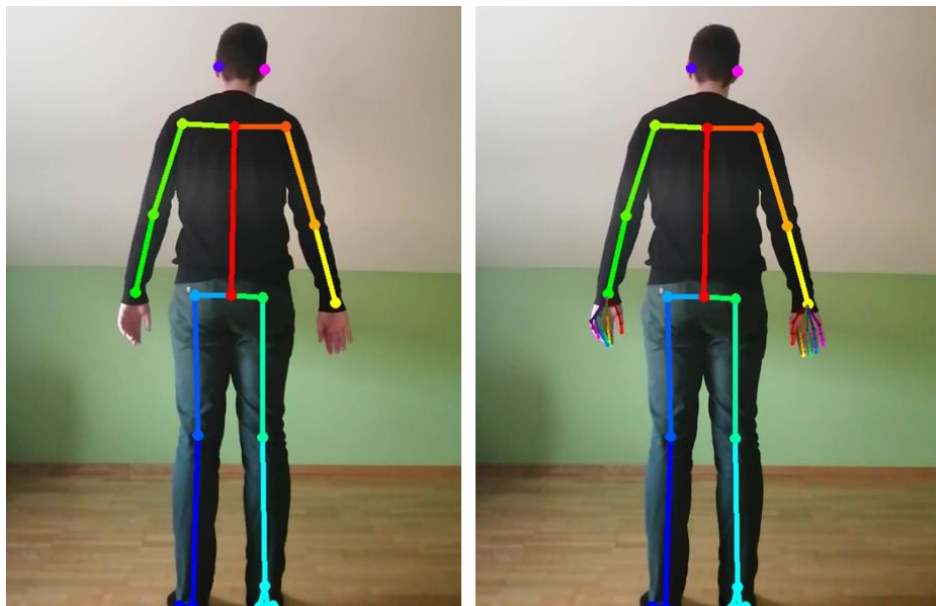
Antro bandymo metu tiriama nuotrauka, kai žmogus yra iškėlęs rankas į viršų (žr. 3.26 pav.).



3.26 pav. Antras žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“

Antro bandymo metu tikimasi, kad „OpenPose“ nesusidurs su sunkumais ir tiksliai nustatys žmogaus pozą. Po rezultatų (žr. 3.26 pav.) analizės buvo prieita prie išvados, kad gauti rezultatai yra tokie, kokių tikėtasi.

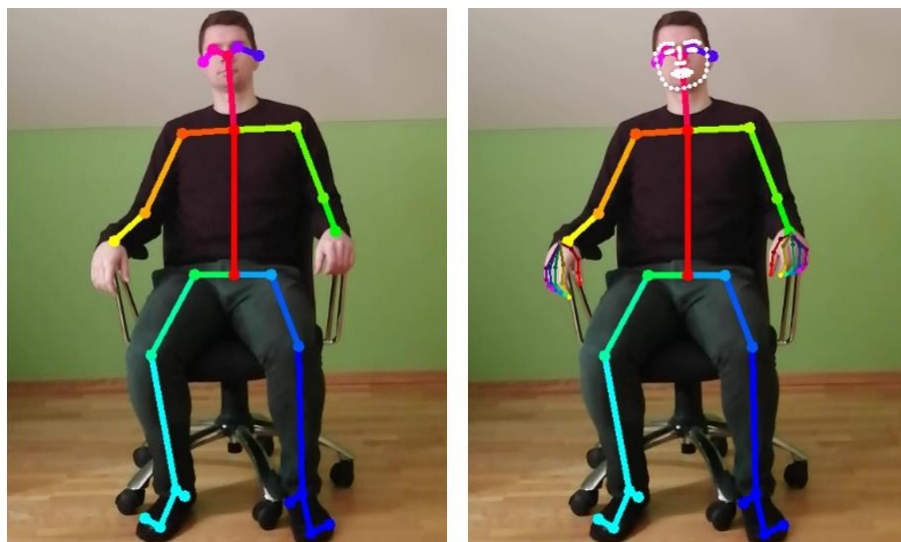
Trečio bandymo metu tiriama nuotrauka, kurioje žmogus yra apsisukęs, o kūno taškai yra aiškiai matomi. Šio bandymo rezultatai pateikti 3.27 pav.



3.27 pav. Trečias žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“

„OpenPose“ sėkmingai nustatė žmogaus pozą, kai jis yra apsisukęs (žr. 3.27.).

Ketvirtoje bandymo nuotraukoje pateikiama sėdinčio žmogaus poza, kai kūno taškai nesusikerta ir neuždengia vienas kito (žr. 3.28 pav.).

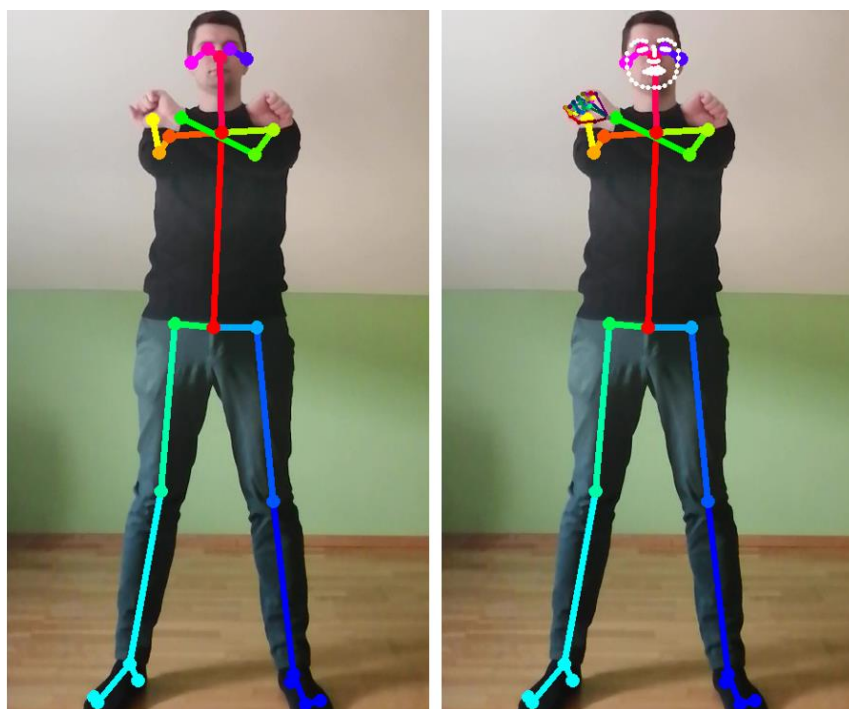


3.28 pav. Ketvirtas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“

Ištyrus ketvirto bandymo rezultatus, kurie pateikti 3.28 pav., galima teigti, kad „OpenPose“ tiksliai nustatė sėdinčio žmogaus kūno pozą.

Per pirmus keturis bandymus, kurių rezultatai pateikti 3.25 – 3.28 pav., buvo prieita prie išvados, kad „OpenPose“ tiksliai nustato žmogaus kūno taškus, kai jie aiškiai matosi ir neuždengia vienas kito. Todėl tolimesniuose bandymuose (žr. 3.29 – 3.33) siekiama ištirti „OpenPose“ tikslumą, kai analizuojamose nuotraukose žmogaus kūno taškai uždengia vienas kitą arba jie nėra aiškiai matomi.

Penktame bandyme yra tiriama nuotrauka, kai žmogus yra sukryžiuavęs rankas, o tam tikri žmogaus kūno taškai uždengia vienas kitą. Šio bandymo rezultatai pateikti 3.29 pav.

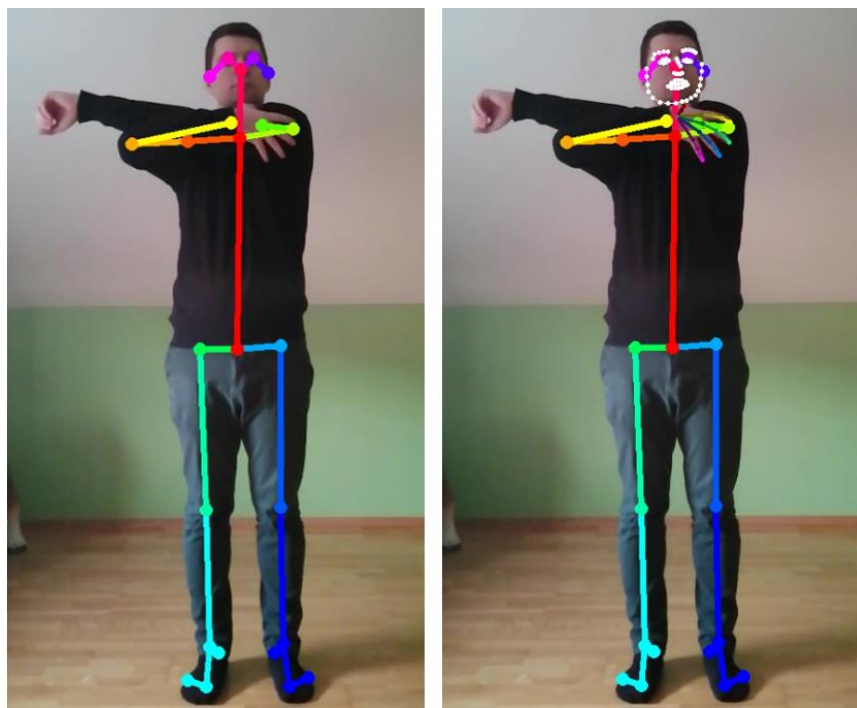


3.29 pav. Penktas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“

Išanalizavus penkto bandymo rezultatus, kurie pateikti 3.29 pav., buvo išsiaiškinta, kad „OpenPose“, kaip ir „PoseNet“, susiduria su nesklaidumais, kai žmogaus kūno taškai uždengia vienas kitą. Šiame

bandyme „OpenPose“ klaidingai nustatė dešinės plaštakos poziciją. Tačiau sėkmingai nustatė kairės rankos poziciją, o „PoseNet“ klaidingai nustatė abiejų rankų pozicijas (žr. 3.6).

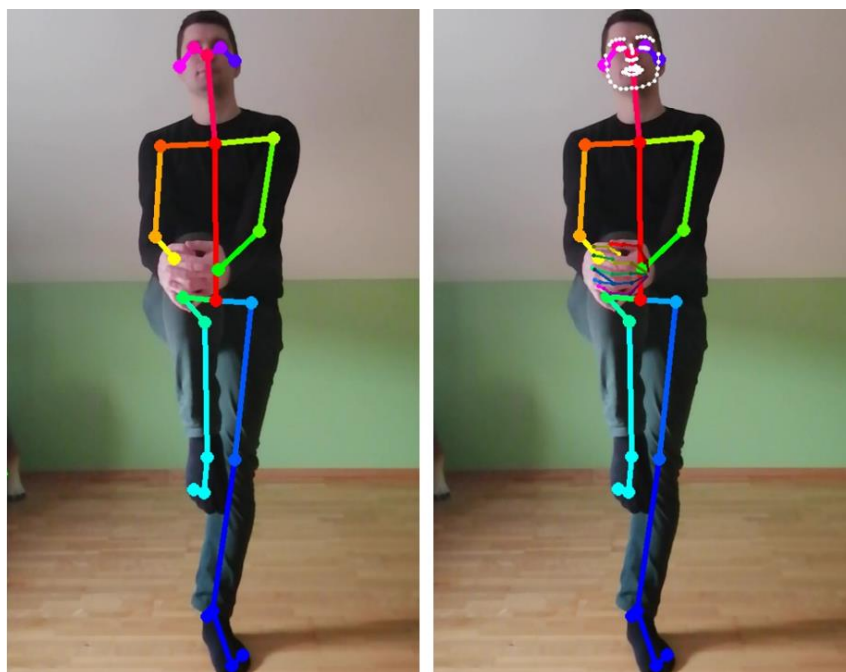
Šeštame bandyme pateikiama dar viena nuotrauka, kurioje žmogaus rankos uždengia viena kitą (žr. 3.30 pav.).



3.30 pav. Šeštas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“

Ištyrus šešto bandymo rezultatus, kurie pateikti 3.30 pav., išsiaiškinta, jog šio bandymo metu buvo neteisingai nustatyta kairės plaštakos pozicija.

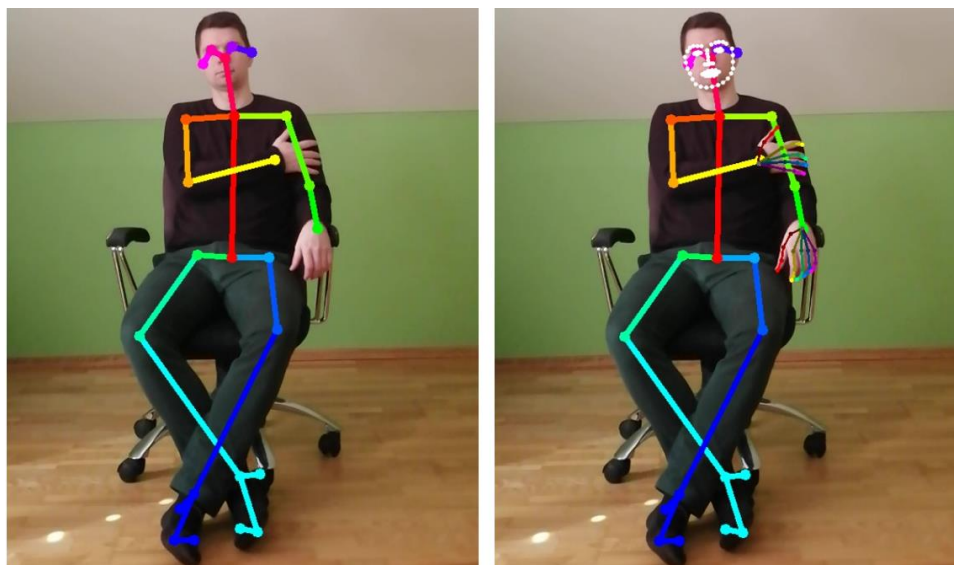
Septintoje nuotraukoje pateikiama žmogaus poza, kai dešinys kelis nėra aiškiai matomas (žr. 3.31).



3.31 pav. Septintas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“

Išanalizavus septinto bandymo rezultatus, kurie pateikti 3.31 pav., nustatyta, kad dešinio kelio aptikta pozicija nėra tiksli.

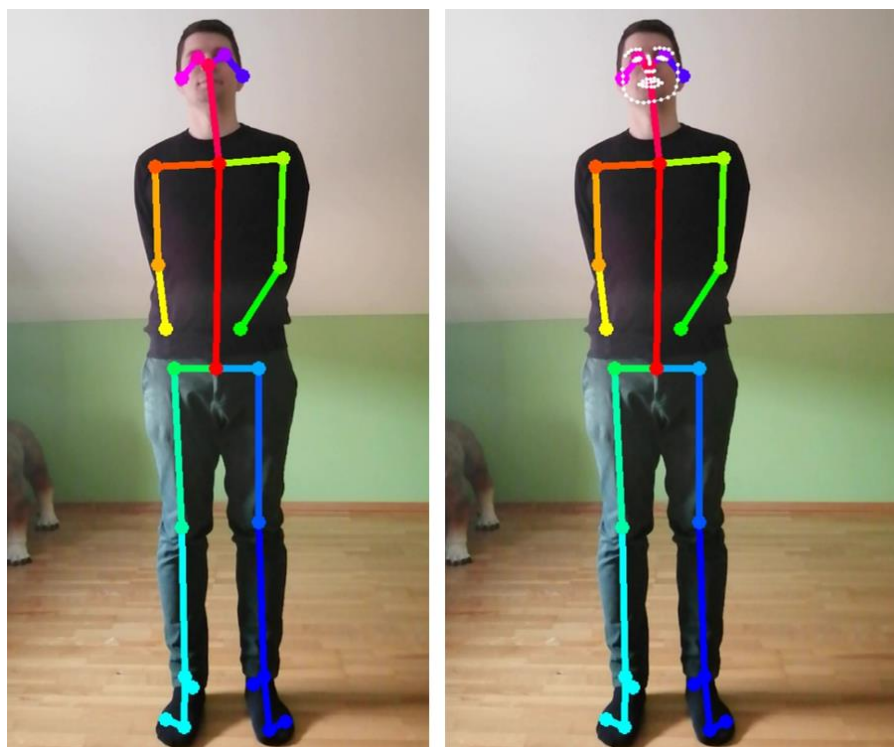
Aštuntame bandyme siekiama pateikti žmogaus pozą, kad žmogaus kojos susikirstų tarpusavyje. Bandymo rezultatai pateikti 3.32 pav.



3.32 pav. Aštuntas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“

Po aštunto bandymo, kurio rezultatai pateikti 3.32 pav., išsiaiškinta, kad „OpenPose“ ne visada klaidingai nustato žmogaus kūno taškus, kai šie susikerta tarpusavyje.

Devintajame bandyme žmogus laiko rankas už nugaros (žr. 3.33 pav.).

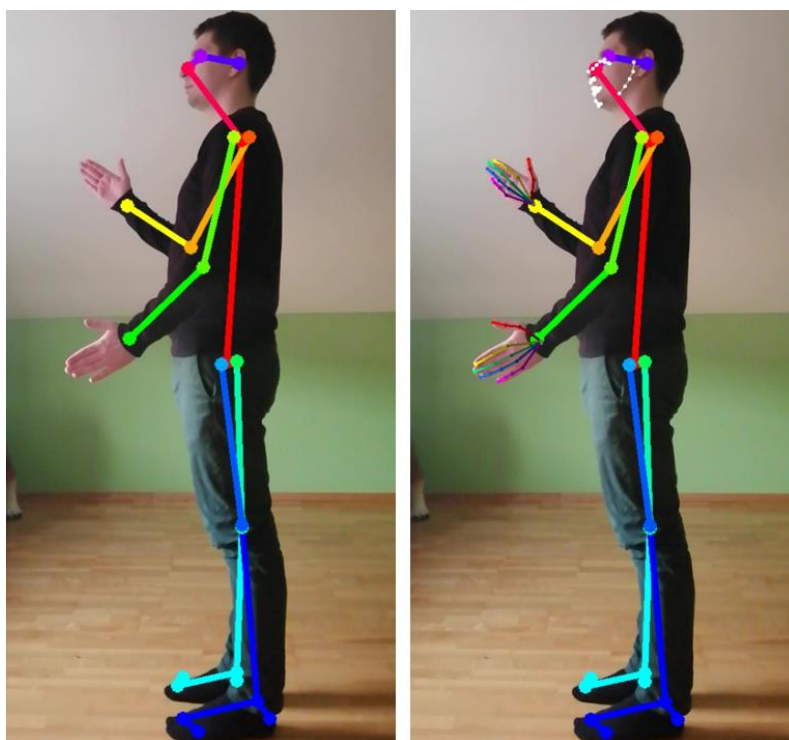


3.33 pav. Devintas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“

Ištirus devinto bandymo rezultatus, kurie pateikti 3.33 pav., išsiaiškinta, jog „OpenPose“ sugebėjo prognozuoti galimas žmogaus riešų pozicijas, tačiau galimų rankos pirštų pozicijų nepateikė.

Išanalizavus rezultatus, kurie pateikti 3.29 – 3.32 pav., galima teigi, kad „OpenPose“, kaip ir „PoseNet“, ne visada tiksliai nustato žmogaus pozą, kai kūno taškai uždengia vienas kitą. Tačiau su „OpenPose“ pastebėta mažiau netikslumų. Taip pat peržiūrėjus devinto bandymo rezultatus, kurie pateikti 3.33 pav., galima daryti prielaidą, kad „OpenPose“ gali prognozuoti apytikres žmogaus kūno taškų, kurie yra uždengti, koordinatas. Todėl 3.34 – 3.41 pav. analizuojamos nuotraukos, kuriose žmogus yra pasisukęs šonu arba jo kūno taškus uždengia kiti objektai.

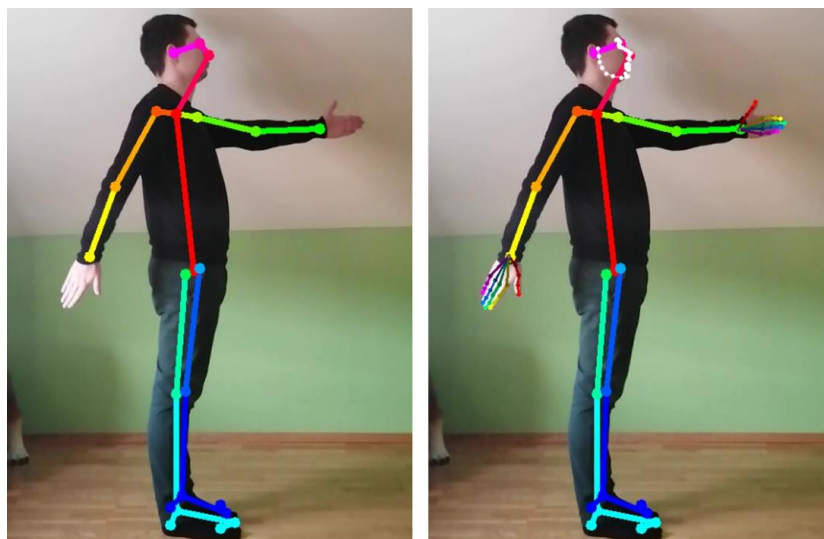
Dešimtame bandyme pateikiama nuotrauka, kai žmogus yra pasisukęs ir vienos pusės taškai uždengia kitos pusės taškus. Šio bandymo rezultatai pateikti 3.34 pav.



3.34 pav. Dešimtas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“

Išanalizavus dešimto bandymo rezultatus, kurie pateikti 3.34 pav., galima teigti, kad „OpenPose“ sėkmingai pavaizdavo dešinės žmogaus pusės taškus, nors daugelis iš jų yra uždengti.

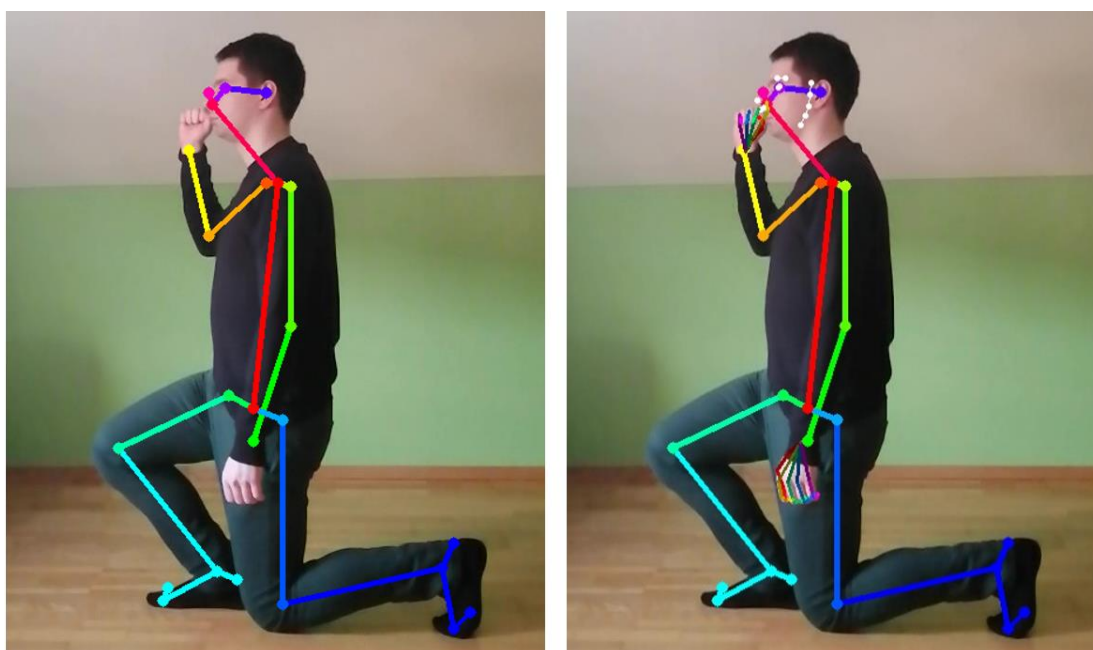
Vienuoliktame bandyme, kaip ir dešimtame, imama nuotrauka, kai žmogus yra pasisukęs, tačiau šiuo atveju aiškiau matosi abiejų rankų taškai bei žmogus yra pasisukęs į kairę pusę, o ne į dešinę.



3.35 pav. Vienuoliktas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“

Apžvelgus rezultatus, kurie pateikti 3.35 pav., išsiaiškinta, kad „OpenPose“ sėkmingai atliko kairio peties, klubo, kelio ir čiurnos kūno taškų prognozę.

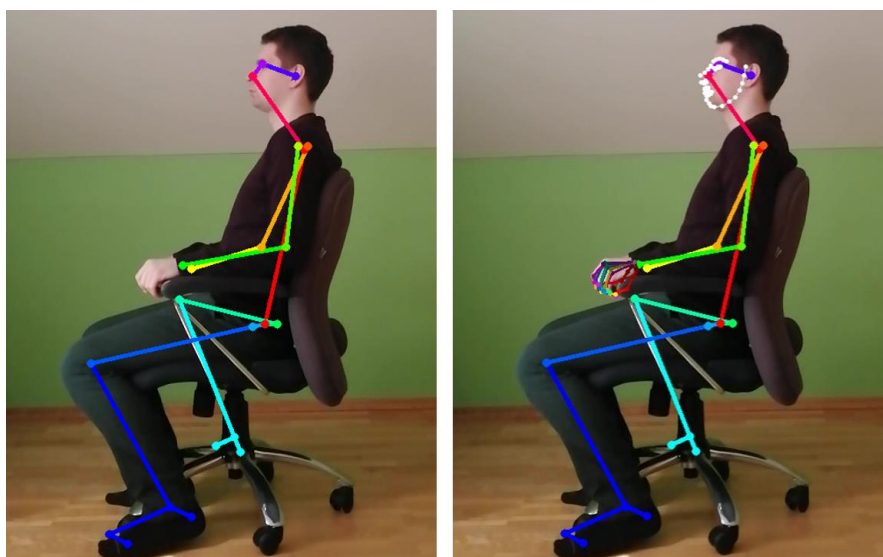
Dvylikto bandymo metu analizuojama dar viena pasisukusio šonu žmogaus poza, tačiau šiuo atveju žmogus taip pat yra priklaupęs ant vienos kojos (žr. 3.36 pav.).



3.36 pav. Dvyliktas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“

Ištyrus dvylikto bandymo rezultatus, kurie pateikti 3.36 pav., paaiškėjo, kad „OpenPose“ nesusidūrė su sunkumais, kai nuotraukoje yra pateikiamas žmogus, kuris yra pasisukęs šonu ir priklaupęs.

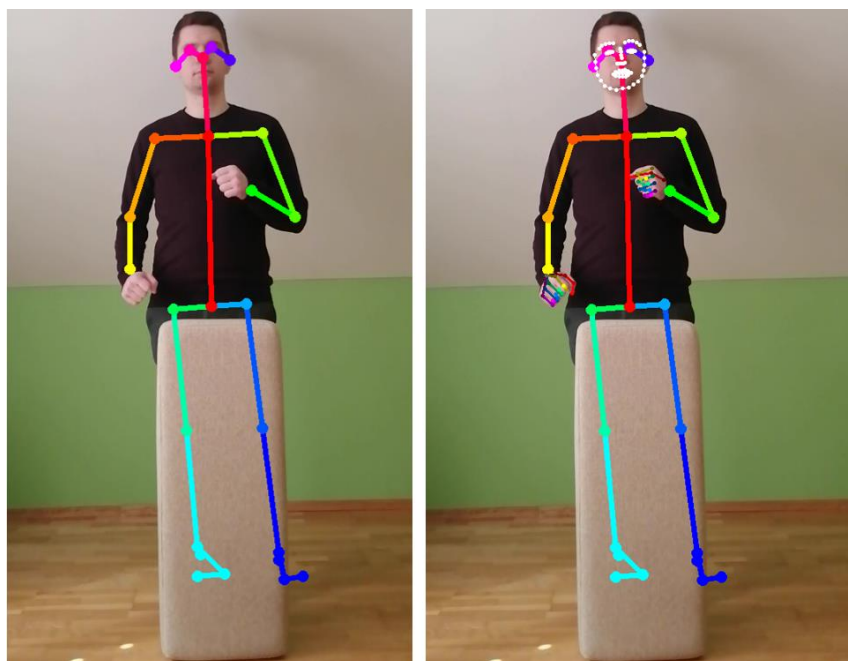
Trylikto bandymo metu (žr. 3.14) siekiama įsitikinti, ar „OpenPose“ sugeba sėkmingai prognozuoti pasisukusio žmogaus kūno koordinates, kurios nėra aiškiai matomos.



3.37 pav. Tryliktas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“

Išanalizavus tryliką bandymą, kurio rezultatai pateikti 3.37 pav., nustatyta, jog „OpenPose“ klaidingai aptiko dešinio kelio ir čiurnos taškus. Šiame bandyme kėdės konstrukcija buvo priskirta prie žmogaus kūno.

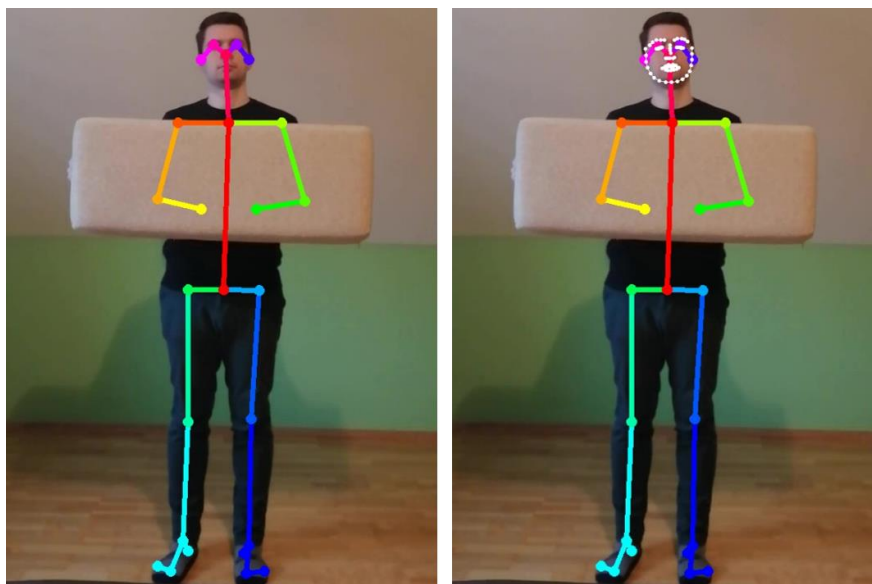
Keturioliktoje tyrimo nuotraukoje yra naudojamas pašalinis objektas, kuris uždengia žmogaus kelius ir čiurnas. Bandymo rezultatai pateikti 3.38 pav.



3.38 pav. Keturioliktas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“

Išanalizavus keturiolikto bandymo rezultatus, kurie pateikti 3.38 pav., išsiaiškinta, kad „OpenPose“ sugebėjo prognozuoti galimas žmogaus kelių, čiurnų, pėdų taškus.

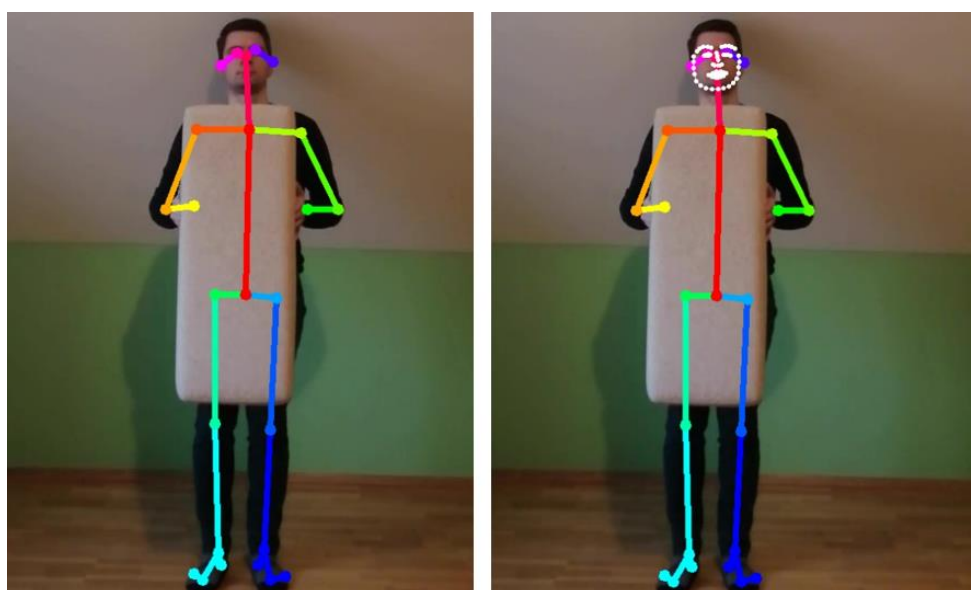
Penkioliktame bandyme yra analizuojama nuotrauka, kurioje žmogaus rankos yra uždengtos pašalinio objekto (žr. 3.39. pav.).



3.39 pav. Penkioliktas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“

Atlikus penkioliktą bandymą, kurio rezultatai pateikti 3.39 pav., paaiškėjo, kad „OpenPose“ gali prognozuoti apytikres alkūnės, riešo koordinatas, kai rankos yra uždengtos pašalinio objekto. Tačiau prognozei trūksta tikslumo bei nebuvo pateiktos galimos pirštų koordinatės.

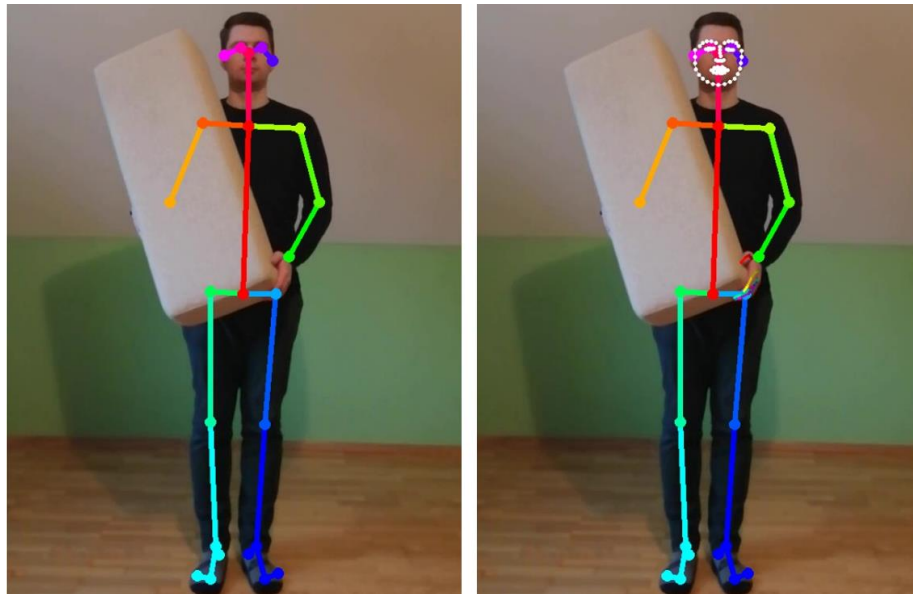
Šešioliktame bandyme analizuojama nuotrauka, kurioje yra uždengti žmogaus pečių, klubų kūno taškai. Šio bandymo rezultatai pateikti 3.40 pav.



3.40 pav. Šešioliiktas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“

Išanalizavus šešioliktą bandymą, kurio rezultatai pateikti 3.40 pav., galima teigti, jog „OpenPose“ sėkmingai nustatė klubų bei pečių kūno taškus, nors jie yra uždengti pašalinio objekto. Tačiau tikslumo pritrūko nustatant dešinės alkūnės ir riešo taškus. Taip pat nepavyko atpažinti pirštų koordinatėjų.

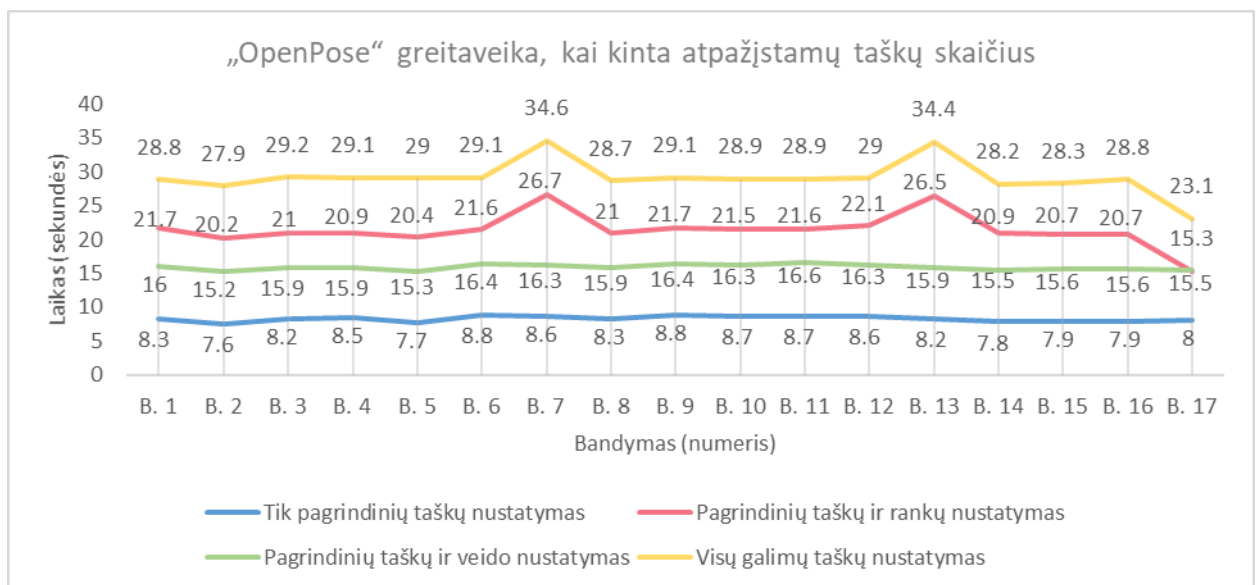
Septynioliktame bandyme analizuojama nuotrauka, kurioje pašalinis objektas uždengia žmogaus dešinio peties, alkūnės, riešo ir klubo kūno taškus (žr. 3.41 pav.).



3.41 pav. Septynioliktas žmogaus pozos nustatymas su „OpenPose“

Išanalizavus septyniolikto bandymo rezultatus, kurie pateikti 3.41 pav., galima patvirtinti idėją, kad „OpenPose“ sugeba prognozuoti galimas žmogaus kūno taškų, kurie yra uždengti, koordinatas. Visgi uždengtų žmogaus kūno taškų nustatymas yra tik apytikslis, todėl jų nustatymas ne visada yra tikslus, ypač kai žmogaus kūną uždengia pašalinis objektas. Tačiau „OpenPose“ gana sėkmingai nustato žmogaus pozą, kai šis yra pasisukęs, nors tam tikri kūno taškai nėra aiškiai matomi.

Tiriant „OpenPose“ tikslumą (žr. 3.25 – 3.41 pav.) taip pat buvo analizuojama žmogaus pozos nustatymo greitimeika. Šios greitimeikos rezultatai pateikti 3.42 pav., kai vertikaloje ašyje nurodomas laikas, kuris nusako, per kiek sekundžių „OpenPose“ išanalizavo nuotrauką, o horizontalioje ašyje nurodomas bandymo numeris, kuris atitinka 3.25 – 3.41 pav. pateiktus tyrimo rezultatus.



3.42 pav. „OpenPose“ atliktų bandymų greitimeika

Išanalizavus greitimeikos rezultatus, kurie pateikti 3.42 pav., galima teigti, jog rankų nustatymas labiausiai lėtina „OpenPose“ veikimą. Taip pat „PoseNet“ su *MobileNetV1* architektūra (žr. 3.19 pav.) yra greitesnė už „OpenPose“, kai nustatomi tik pagrindiniai taškai.

3.3.2. „OpenPose“ tyrimas su vaizdo įrašais ir tiesioginiu srautu iš kameros

Analizuojant vaizdo įrašus ar tiesioginį srautą, kuris fiksuojamas iš internetinės kameros, nebuvo pastebėta didelių žmogaus pozos nustatymo netikslumų. Tačiau tiriant vaizdinę medžiagą buvo maksimaliai gautas tik 1 kadras per sekundę. Taigi galima daryti išvadą, kad su „OpenPose“ sudėtinga sukurti realaus laiko sistemą, kuri turėtų greitai reaguoti į žmogaus atliekamus gestus.

3.4. „PoseNet“ ir „OpenPose“ tikslumo tyrimas, kai naudojamas MPIO duomenų rinkinys

Atlikus „PoseNet“ ir „OpenPose“ tyrimo bandymus, kurie aprašyti 3.2 ir 3.3 poskyriuose, paaiškėjo, kad „OpenPose“ tiksliau nustato žmogaus pozą negu „PoseNet“. Tačiau norint įsitikinti, kad „OpenPose“ yra tikslesnė, reikia atlikti daugiau bandymų. Šio poskyrio tyrime yra naudojamas MPIO [32] duomenų rinkinys, kuriame yra pateikiamos žmogaus kūno taškų anotacijos, kurios nusako tam tikrų žmogaus kūno taškų koordinatas. Tyrimo metu iš MPIO duomenų rinkinio atsitiktinai parenkami 5000 nuotraukų, kuriuose yra pavaizduotas žmogus. Išrinktos nuotraukos yra analizuojamos su „PoseNet“ ir „OpenPose“, o gauti šių bibliotekų rezultatai yra palyginami su anotuotais duomenimis bei nustatoma procentinė išraiška, kuri nusako kiek kartų buvo teisingai atpažintas tam tikras žmogaus kūno taškas. Šio tyrimo metu procentinė tikslumo išraiška skaičiuojama tik tiems žmogaus kūno taškams, kurie nėra uždengti kitų objektų. Gauti rezultatai pateikti 3.2 lent.

3.2 lentelė. „PoseNet“ ir „OpenPose“ tikslumo tyrimo rezultatai

	„PoseNet“, kai naudoja <i>MobileNetV1</i> architektūra	„PoseNet“, kai naudoja <i>ResNet50</i> architektūra	„OpenPose“
Dešinysis riešas	80,02%	87,55%	92,04%
Kairysis riešas	79,61%	87,21%	91,54%
Dešinioji alkūnė	85,59%	90,73%	94,91%
Kairioji alkūnė	85,32%	91,95%	94,31%
Dešinysis petys	91,67%	95,22%	97,05%
Kairysis petys	92,06%	94,11%	96,80%
Dešinysis klubas	81,97%	87,21%	91,14%
Kairysis klubas	82,96%	86,36%	91,81%
Dešinysis kelis	69,86%	80,35%	87,50%
Kairysis kelis	70,45%	81,33%	87,24%
Dešinioji čiurna	61,88%	78,14%	86,27%
Kairioji čiurna	64,78%	80,58%	87,09%
Vidurkis	80,37%	87,57%	92,04%

Išanalizavus rezultatus, kurie pateikti 3.2 lent., buvo patvirtinta idėja, kad „OpenPose“ tiksliau nustato žmogaus pozą negu „PoseNet“. Taip pat išsiaiškinta, kad „PoseNet“ ir „OpenPose“ prasčiausiai nustato čiurnos ir kelio taškus, o geriausiai atpažįstamas yra žmogaus petys.

3.5. Tyrimo išvados

1. „PoseNet“ ir „OpenPose“ gana tiksliai nustato žmogaus kūno taškus, kai jie visi aiškiai matosi ir neuždengia vienas kito.
2. „PoseNet“ ir „OpenPose“ ne visada tiksliai nustato žmogaus pozą, jeigu kūno taškai uždengia vienas kitą. Tačiau „OpenPose“ yra tikslesnė už „PoseNet“.
3. „PoseNet“ ir „OpenPose“ sugeba prognozuoti žmogaus kūno taškų koordinates, kai tam tikri kūno taškai yra uždengti pašalinių objektų. Tačiau uždengtų kūno taškų apskaičiavimas yra tik apytikslis.
4. Nuotraukų analizei geriau naudoti „OpenPose“, o ne „PoseNet“.
5. „PoseNet“ yra našesnė už „OpenPose“.
6. Realaus laiko sistemų kūrimui geriausia naudoti „PoseNet“ su *MobileNetV1* architektūra, kadangi ji yra našiausia.
7. Įgyvendinant sistemą, kuri valdoma gestais, reikia vengti tokių atvejų, kai dešinės ir kairės rankos riešai uždengia vienas kitą, kadangi analizuojamos bibliotekos ne visada teisingai nustato žmogaus kūno taškus, jeigu jie yra uždengti.

Išvados

1. Išsiaiškinta, kad žmogaus pozos nustatymas, jo atliekamų gestų atpažinimas gali būti panaudojamas įvairiuose srityse, kuriose dalyvauja žmogus. Pvz., žmogaus ir kompiuterio natūraliame sąveikavime.
2. Nustatyta, jog pastaraisiais metais sparčiai progresavo bibliotekos, kurios iš nuotraukų ar vaizdo įrašų nustato žmogaus pozą.
3. Išsiaiškinta, kad „PoseNet“ galima pritaikyti kompiuterinių žaidimų, kurie valdomi natūraliais gestais, kūrime, kai tiesioginis vaizdas yra perduodamas per internetinę kamerą.
4. Nustatyta, jog „PoseNet“ galima suderinti ne tik su kompiuteriais, bet ir su išmaniaisiais telefonais ar planšetėmis.
5. Išanalizuota, kad „PoseNet“ ir „OpenPose“ tiksliausiai nustato žmogaus petį, o prasčiausiai – čiurną.
6. Nustatyta, jog analizuotame 5000 nuotraukų rinkinyje dažniausiai yra pavaizduotas žmogaus petys, kuris pateiktas 7524 kartus, o rečiausiai – čiurna, kuri pateikta 4453 kartus.
7. Ištirta, jog „PoseNet“ ir „OpenPose“ ne visada tiksliai nustato žmogaus pozą, jei žmogaus kūno taškai uždengia vienas kitą. Todėl sukurtame žaidime reikia užprogramuoti gestus, kuriuos atliekant būtų gaunama kuo mažiau situacijų, kai žmogaus kūno taškai uždengia vienas kitą.
8. Išsiaiškinta, kad „PoseNet“ su *MobileNetV1* architektūra yra našiausia.
9. Nustatytos vidutinės tikimybės, jog žmogaus kūno taškas bus teisingai aptiktas, jeigu jis nėra uždengtas:
 - 80,37%, kai naudojama „PoseNet“ su *MobileNetV1* architektūra.
 - 87,57%, kai naudojama „PoseNet“ su *ResNet50* architektūra.
 - 92,04%, kai naudojama „OpenPose“.
10. Pagrindiniai sukurto žaidimo privalumai:
 - Nereikalauja specialų jutiklių, kurie nustatytų žmogaus kūno padėtį.
 - Vaizdo fiksavimui užtenka internetinės kameros.
 - Geba reaguoti į žmogaus atliekamus gestus.
11. Pagrindiniai sukurto žaidimo trūkumai:
 - Sunku nustatyti žmogaus atstumą iki kameros.
 - Žmogaus pozos nustatymo netikslumai.
 - Juntamas vėlinimas, kuris vidutiniškai trunka iki 0.5 sek.

Literatūros sąrašas

1. MCCARTHY, J. *What is Artificial Intelligence?*. Stanford: Stanford University, 2007.
2. SAPP, C. *Preparing and Architecting for Machine Learning*. Gartner, 2017.
3. KALE, G.V. ir V.H. PATIL. A Study of Vision based Human Motion Recognition and Analysis. *International Journal of Ambient Computing and Intelligence (IJACI)* [interaktyvus]. 2016. t. 7, nr. 2, pp. 75–92 [žiūrėta 2018-10-01]. Prieiga per: <http://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/IJACI.2016070104>.
4. WANG, P., et al. RGB-D-based human motion recognition with deep learning: A survey. *Computer Vision and Image Understanding* [interaktyvus]. 2018. t. 171, pp. 118–139 [žiūrėta 2018-10-01]. Prieiga per: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cviu.2018.04.007>.
5. OSHIN, O., A. GILBERT ir R. BOWDEN. Capturing relative motion and finding modes for action recognition in the wild. *Computer Vision and Image Understanding* [interaktyvus]. 2014. t. 125, pp. 155–171 [žiūrėta 2018-10-01]. Prieiga per: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cviu.2014.04.005>.
6. IQBAL, U., A. MILAN, J. GALL. PoseTrack: Joint Multi-person Pose Estimation and Tracking. *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* [interaktyvus]. Honolulu: IEEE, 2017. pp. 4654–4663. [žiūrėta 2018-10-03]. Prieiga per: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8099978>.
7. LEAP MOTION. Leap Motion [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2018-10-06]. Prieiga per: <https://www.leapmotion.com/>.
8. LEAP MOTION. Leap Gestures [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2018-10-06]. Prieiga per: https://developer-archive.leapmotion.com/documentation/csharp/devguide/Leap_Gestures.html.
9. LEAP MOTION. Leap Overview [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2018-10-06]. Prieiga per: https://developer-archive.leapmotion.com/documentation/javascript/devguide/Leap_Overview.html.
10. CHARLES, D., et al. Close Range Depth Sensing Cameras for Virtual Reality based Hand Rehabilitation. *Journal of Assistive Technologies* [interaktyvus]. 2014. t. 8, nr. 3, pp. 138–149. [žiūrėta 2018-10-06]. Prieiga per: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JAT-02-2014-0007/full/html>.
11. BASSILY, D., et al. Intuitive and Adaptive Robotic Arm Manipulation using the Leap Motion Controller. *ISR/Robotik 2014; 41st International Symposium on Robotics* [interaktyvus]. Munich: VDE, 2014. [žiūrėta 2018-10-06]. Prieiga per: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6840112>.
12. PAMBUDI, R.A., N. RAMADIJANTI, A. BASUKI. Psychomotor game learning using skeletal tracking method with leap motion technology. *2016 International Electronics Symposium (IES)* [interaktyvus]. Denpasar: IEEE, 2016. pp. 142–147. [žiūrėta 2018-10-06]. Prieiga per: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7860991>.
13. LEAP MOTION. How Does the Leap Motion Controller Work? [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2018-10-07]. Prieiga per: <http://blog.leapmotion.com/hardware-to-software-how-does-the-leap-motion-controller-work/>.
14. 3DIVI. VicoVR FAQ [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2018-10-10]. Prieiga per: <https://vicovr.com/faq>.
15. 3DIVI. VicoVR DevHome [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2018-10-10]. Prieiga per: <https://vicovr.com/developers/devhome>.

16. 3DIVI. VicoVR Test [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2018-10-10]. Prieiga per: <https://vicovr.com/test>.
17. 3DIVI. VicoVR Privacy policy [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2018-10-10]. Prieiga per: <https://vicovr.com/user-guide/privacy-policy>.
18. LUN, R. ir W. ZHAO. A Survey of Applications and Human Motion Recognition with Microsoft Kinect. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence* [interaktyvus]. 2015. t. 29, nr. 5. [žiūrėta 2018-10-12]. Prieiga per: <http://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0218001415550083>.
19. MICROSOFT CORPORATION. Human Interface Guidelines v2.0 [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2018-10-13]. Prieiga per: <http://download.microsoft.com/download/6/7/6/676611B4-1982-47A4-A42E-4CF84E1095A8/KinectHIG.2.0.pdf>.
20. MICROSOFT CORPORATION. JointType Enumeration [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2018-10-13]. Prieiga per: [https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/kinect/dn758662\(v%3dieb.10\)](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/kinect/dn758662(v%3dieb.10)).
21. MICROSOFT CORPORATION. Kinect for Windows SDK [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2018-10-13]. Prieiga per: [https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/kinect/dn799271\(v%3dieb.10\)](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/kinect/dn799271(v%3dieb.10)).
22. CMU-PERCEPTUAL-COMPUTING-LAB. OpenPose [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2018-10-17]. Prieiga per: <https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose>.
23. CAO, Z., et al. Realtime Multi-person 2D Pose Estimation Using Part Affinity Fields. *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* [interaktyvus]. Honolulu: IEEE, 2017. pp. 1302–1310. [žiūrėta 2018-10-17]. Prieiga per: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8099626>.
24. ROLLEY-PARNELL, E.-J., et al. Bi-Manual Articulated Robot Teleoperation using an External RGB-D Range Sensor. *2018 15th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV)* [interaktyvus]. Singapore: IEEE, 2018. p. 298–304. [žiūrėta 2018-10-18]. Prieiga per: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8581174>.
25. ŠVARNÝ, P., Z. STRAKA, M. HOFFMANN. Toward safe separation distance monitoring from RGB-D sensors in human-robot interaction. In *International PhD Conference in Safe and Social Robotics 2018* [interaktyvus]. Madrid, 2018. p. 11–14. [žiūrėta 2018-10-19]. Prieiga per: http://www.socrates-project.eu/internal-documents/SSR_2018/Proceedings.pdf.
26. GOOGLE. TensorFlow.js [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2018-10-20]. Prieiga per: <https://js.tensorflow.org/>.
27. GOOGLE. PoseNet [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2018-10-20]. Prieiga per: <https://github.com/tensorflow/tfjs-models/tree/master/posenet>.
28. OVED, D. Real-time Human Pose Estimation in the Browser with TensorFlow.js [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-10-20]. Prieiga per: <https://medium.com/tensorflow/real-time-human-pose-estimation-in-the-browser-with-tensorflow-js-7dd0bc881cd5>.
29. PAPANDREOU, G., et al. PersonLab: Person Pose Estimation and Instance Segmentation with a Bottom-Up, Part-Based, Geometric Embedding Model. In FERRARI, V., et al. *Computer Vision – ECCV 2018*. Cham (ZG): Springer, 2018, pp. 282-299. ISBN 978-3-030-01263-2.
30. GÜLER, R.A., N. NEVEROVA ir I. KOKKINOS. DensePose: Dense Human Pose Estimation in the Wild. *2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*

- [interaktyvus]. Salt Lake City: IEEE, 2018. pp. 7297–7306. [žiūrėta 2018-11-12]. Prieiga per: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8578860>.
31. FACEBOOK RESEARCH. DensePose Github [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2018-11-15]. Prieiga per: <https://github.com/facebookresearch/DensePose>.
32. ANDRILUKA, M., et al. 2D Human Pose Estimation: New Benchmark and State of the Art Analysis. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* [interaktyvus]. Columbus: IEEE, 2014. p. 3686–3693. [žiūrėta 2020-02-05]. Prieiga per: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6909866>.