



**Kauno technologijos universitetas**

Informatikos fakultetas

## **Modulis „Tiriamasis projektas 1“**

### **Projektas: Papildytos realybės taikymų edukacijoje tyrimas**

Projektavimo metodologijos ir technologijų analizė

---

**IFM-0/2 gr. Gvidas Kraujalis**

Studentas

**Doc. Tomas Blažauskas**

Projekto vadovas

**Lekt. Virginija Limanauskienė**

Dėstytoja

## Turinys

Paveikslėlių sąrašas.....	2
1. Įvadas .....	3
2. Tikslas .....	4
3. Egzistuojantys sprendimai .....	4
3.1 Coterie.....	5
3.2 ARToolkit.....	5
3.3 Avango .....	5
3.4 Tinmith .....	5
4. Problematika .....	6
5. Įgyvendinimas .....	8
5.1 3D įvykių sistema .....	9
5.1.1 Išvestis.....	9
5.1.2 Įvestis .....	10
5.2 3D interaktyvi sąveikia realiu laiku .....	12
5.2.1 Įvestis .....	13
5.2.2 Išvestis.....	13
5.3 Kelių naudotojų papildytosios realybės aplikacija .....	14
5.4 Iš anksto paruoštas dinamiškas aplikacijos funkcionalumas .....	17
6. Terminų ir santrumpų žodynas .....	18
7. Analizės išvados .....	18
8. Literatūra.....	19

## Paveikslėlių sąrašas

pav. 1 Okliuzijos ekefektas atvaizdavimas .....	7
pav. 2 Ant galvos dėvimi išmanieji akiniai.....	9
pav. 3 Rankiniai išmanieji įrenginiai .....	10
pav. 4 Ant rankų dėvimas išmanusis įvesties įrenginys – pirštinės.....	11
pav. 5 2D Asmeninė sąveikos platforma ASP.....	12
pav. 6 Daugybinių aplikacijos santykis.....	14
pav. 7 (a) pradinis blokas, (b) operacijos nuorodos blokas, (c) vykdymo blokas, (d) sąlygos blokas, (e) išvesties blokas.....	17

## 1. Įvadas

Dokumentas yra Programų sistemų inžinerijos magistrantūros disciplinos „Tiriamasis projektas 1“ (projektas „Papildytos realybės taikymų edukacijoje tyrimas“) ataskaita. Dokumento paskirtis apibūdinti tyrimo tikslus, apibendrinti atliktą literatūros analizę, pasirengti projekto reikalavimų specifikavimui, projektavimui, susipažinti su užsakymo taikymo sritimi, pasauliniais pasiekimais taikomojoje srityje.

Darbo tikslas - programinės įrangos architektūra, skirta pasikartojantiems papildytosios realybės aplikacijų komponentams. Pastaroji orientuota ties dinaminiu išplečiamumu bei našumu, tuo pačiu užtikrinant aukšto lygio konfigūravimą. Siūlomas deklaratyvus programavimo stilius, su atskirais komponentais, leidžia tiriamąjį ir iteracinį vystymą bei supaprastina automatizuotų įrankių naudojimą konfigūracijoms kurti.

Pagrindinis darbo akcentas - sistemingai ištirti papildytosios realybės privalumus ir trūkumus, pateikti dabartinę technologijos plėtojimo ir panaudojimo edukacijoje situaciją. Be to, apžvelgti ateities tendencijas, viziją ir naujas galimybes tolimesniems papildytos realybės tyrimams ir panaudojimui švietime. Tam reikia įvertinti egzistuojančius technologijos sprendimus, ištirti naujausius 3D vaizdo registravimo ir sekimo algoritmus naudojant mobiliojo įrenginio kamerą. Papildytosios realybės edukacinės aplikacijos turi veikti pakankamai sparčiai, kad, pastarąsias vykdant mobiliajame įrenginyje, nebūtų peržengta prietaiso apdorojimo geba.

Raktiniai žodžiai: Augmented reality, AR, AR Core, AR Kit, Papildytoji realybė, Kompiuterio generuotas virtualus kontekstinis turinys.

## 2. Tikslas

Kuriamos mobiliosios papildytosios realybės aplikacijos paskirtis - pratęsti ekspozicijas, o ne jas pakeisti. Ši funkcija įgyvendinama naudojant papildomą informaciją apie ekspozicijas bei naudotojų sąveiką su jomis.

Aplikacijos programinės įrangos architektūra, skirta pasikartojantiems papildytosios realybės aplikacijų komponentams. Pastaroji orientuota ties dinaminio išplečiamumu bei našumu, tuo pačiu užtikrinant aukšto lygio konfigūravimą. Siūlomas deklaratyvus programavimo stilius, su atskirais komponentais, leidžia tiriamąjį ir iteracinį vystymą bei supaprastina automatizuotų įrankių naudojimą konfigūracijoms kurti.

PS tikslas – sukurti sistemą, palengvinančią programuotojo įgūdžių neturintiems asmenims savarankiškai kurti papildytosios realybės aplikacijas realizuojant interaktyvią sąveiką realiu laiku. Švietimo įstaigos darbuotojo kontekstinio edukacinio turinio tiekimo įgalinimas, t.y., konfigūracijų, kitu atveju išpildomų programinio kodo pagalba grafinio variklio aplinkoje, kūrimas, naudojant blokinę vizualinio programavimo sąsają (virtualios ekspozicijos konfigūracijų, interakcijų bei egzempliorių kūrimas).

- Susipažinti su esamais papildytos realybės aplikacijų įgyvendinimo sprendimais.
- Išanalizuoti papildytosios realybės aplinkos kontekstinio turinio atvaizdavimo procesus.
- Pasirinkti tinkamiausius techninius sprendimus kuriamai sistemai.
- Sukurti sistemą, įgalinančią programavimo įgūdžių neturinį konkrečios švietimo įstaigos darbuotoją savarankiškai kurti papildytosios realybės kompiuterio generuojamo virtualus kontekstinio turinio aplikacijas ir realizuoti interaktyvią sąveiką realiu laiku.

## 3. Egzistuojantys sprendimai

Vis augantis edukacinių aplikacijų kiekis pastaraisiais metais gali būti pagrįstas mobiliųjų įrenginių „lankstumu“. Prieš keletą metų programa, galinti sujungti pramogas ir mokymąsi, atrodė tik kaip futuristinis konceptas. Tačiau, spartaus technologijų augimo dėka, tai patraukia vis

daugiau edukacinių institucijų dėmesį. Tiesioginis prieinamumas prie informacijos buvo vienas iš svarbiausių virtualios realybės pranašumų. Tuo tarpu, papildytoji realybė leidžia sulieti tikrovę ir kompiuterio sugeneruotą atvaizdą realiu laiku.

### 3.1 Coterie

„Coterie“ sistema grįsta „Modula3“ ir palaiko vizualinio programavimo sąsają ir sekimo prietaisų abstrakcijas. Tai sudarė pagrindą „Touring“ prietaisui MARS projekte. Vėlesnis plėtinys leido tinklo mazgams supaprastintai paskirstyti AR aplikacijos funkcionalumą. Tačiau, projekto eigoje buvo pareikalauta tam tikrų aplikacijos funkcijų atšaukimų. Nepaisant to, sudėtingas duomenų struktūras kaip Grafinė vieta “Scene Graph” buvo galima lengvai bendrinti panaudojimui kitur.

### 3.2 ARToolkit

„ARToolkit“ biblioteka yra minimalus AR sistemos pavyzdys. Pastaroji teikia žymekliais grįstos papildytosios realybės sekimo taškų registravimo sprendimą ir generuoto virtualaus turinio grafikos atvaizdavimą, naudojant „OpenGL“ platformą. Tipinį aplikacijos modelį sudaro tik pagrindinis ciklas, susidedantis iš sekimo taškų registravimo ir atvaizdavimo funkcijų. Nepaisant paprastumo, pastaroji biblioteka buvo plačiai pritaikyta daugelyje AR aplikacijų, remiantis „ARToolkit“.

### 3.3 Avango

„Avango“ virtualios ir papildytos realybės aplikacijos kūrimo sistema, grįsta „SGI Performer“. Išplečiant mechanizmą sujungiant sąsajas ir nukreipiant duomenų srautus tarp jų, kad būtų palaikoma nenutrūkstama tinklo veikla. Netiesioginiu būdu galima nurodyti paskirstytas programas dalytis duomenimis tarp skirtingų instancijų.

### 3.4 Tinmith

„Tinmith“ visapusiškai pritaikyta programinės įrangos architektūra papildytosios realybės aplikacijoms kurti. Kilusi iš senesnės architektūros, pastaroji tapo objektinio programavimo programinės įrangos sistemos pagrindu, palaikanti hierarchinį konkrečios scenos modeliavimą bei bendrus duomenų srautus tarp atskirų objektų. Įdiegta naudojant C++ programavimo kalbą, joje palaikoma vykdymo laiko sistema, serializavimas ir nuolatinis failo saugojimas. „Tinmith“ palaiko pažangias modeliavimo funkcijas, tokias kaip CGS operacijas, siekiant supaprastinti realaus pasaulio modeliu atvaizdavimą mobiliuoje AR aplinkoje.

## 4. Problematika

Papildytosios realybės aplikacijų kūrimas, vis dar, yra sudėtinga užduotis, net ir po daugelio metų tyrimų ir programos demonstracijų. Be ribojančių sekimo taškų registravimo bei atvaizdavimo technologijų, programinės įrangos kompleksiskumas kuriant įtinkamas aplikacijas – gausus. Sudėtingumas kyla dėl pagrindinių papildytosios realybės savybių:

- Realus ir virtualaus pasaulių sąjunga.
- Interaktyvi sąveikia realiu laiku.
- Realus ir virtualaus pasaulių registracija 3D erdvėje.

Pirmoji ypatybė turi tam tikrą įtaką technologijos pasirinkimui, atkuriant tikrąjį pasaulį virtualioje erdvėje. Jutikliai yra naudojami matuoti individualias realaus pasaulio savybes, kad sukurti virtualų modelį. Kadangi reikalinga vis daugiau tikslumo ir kompleksiško jutiklių, reikalavimai apdorojamam duomenų kiekiui auga. Aplikacijai reikalinga aukšto lygio komandų ir interaktyvios sąveikos sintezė iš neapdorotų sekimo taškų registravimo stebėjimo duomenų, gaunamų atliekant kelis duomenų apdorojimo žingsnius. Jutikliniai įrenginiai taip pat suteikia dar vieną sudėtingumo lygį visai sistemai. Techninės įrangos prietaisai, kuriems reikalinga nuolatinė konfigūracija ir veikimas, taip pat, kelia papildomus apribojimus, tokius kaip techninės įrangos sąsaja, įrenginių tvarkyklė operacinėms sistemoms arba sekimo taškų registravimo duomenų paskirstymas keliems įrenginiams.

Papildytosios realybės kompiuteriu generuotas virtualus turinys išmaniojo įrenginio kamera perdengiamas su realaus pasaulio objektais. Siekiant teisingai atvaizduoti erdvinius lygiagretumą tarp realių ir virtualių objektų, šie vaizdai turi būti generuojami naudojant transformacijas, kurios teisingai atvaizduotų 3D duomenis virtualioje erdvėje, atsižvelgiant į tikrą pasaulį.

VA teikia kompiuteriu generuotą turinį taip kaip būtų suvokiama tikroji aplinka – kiekvienai tiesioginio naudotojo akiai pateikiamas vaizdas priklausomai nuo pastarojo padėties erdvėje ir vaizdo projekcijos krypties - padėtis nustatoma išmaniojo įrenginio jutikliais (naudojant mišrios realybės išmaniuosius akinius Microsoft „HoloLens“).

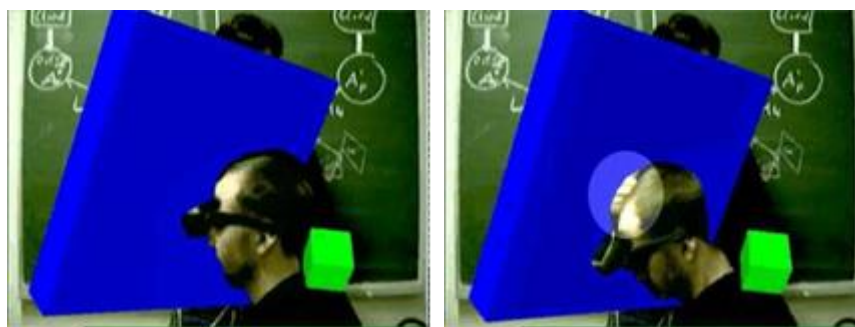
Trečioji ypatybė reikalauja ne tik sekimo 3D erdvėje, bet ir, dažnai, 3D išvesties, paprastai, 3D erdvinės grafikos. Nepaisant vis tobulėjančios grafikos apdorojimo gebos, aukštos kokybės atkūrimas ir realistiški efektai – vis dar aktyvi mokslinių tyrimu ir plėtros sritis, galinti gausiai apkrauti net ir našiausius įrenginius.

Tiesioginio naudotojo įvesties įrenginių bei išmaniojo įrenginio, atvaizduojančio kompiuteriu generuotą virtualų kontekstinį turinį sekimo taškų registravimas – svarbiausias faktorius, darantis įtaką virtualaus turinio atvaizdavimo kokybei. Virtualios realybės aplinkoje nėra svarbus kompiuteriu generuoto virtualaus kontekstinio turinio ir realybės neatitikimas, tačiau, papildytoje realybėje to ignoruoti neįmanoma. Kadangi virtualioje realybėje tiesioginis naudotojas naudoja tik kompiuterio generuotą virtualų kontekstinį turinį akių ir rankų koordinacijai, neatitikimas tarp rankų virtualioje aplinkoje ir tikrovėje, įprastai, nesukelia problemų.

Tačiau, papildytosios realybės aplinkoje, atvaizduojamų realaus pasaulio objektų ir kompiuteriu generuoto kontekstinio turinio objektų neatitikimas gali sukelti nepatogumą tiesioginiam naudotojui naudojantis aplikacija. Be to, atvaizduojamas kontekstinis turinys tarp realybės ir virtualybės – daug lengviau pastebimas, mat, kompiuterio generuoto kontekstinio turinio objektai tiesioginio naudotojo palyginami realios aplinkos atžvilgiu realiu laiku:

Sekimo taškų registravimo forma scenos gylio žemėlapiui generuoti:

Vaizdo registravimas ir kompiuterio generuoto virtualaus kontekstinio turinio atvaizdavimas naudojant išmaniojo įrenginio generuotus stereoskopinius atvaizdavimo duomenis. Pastarieji gali būti naudojami stebint tiesioginio naudotojo padėtį erdvėje ir orientaciją, taip pat, generuojant esamos scenos gylio žemėlapi (jei tiesioginio naudotojo naudojamas išmanusis įrenginys neturi integruotos gylio jutiklio kameros), kompiuterio generuojamo virtualaus kontekstinio turinio objektų okliuzijos efektui mažinti.



*pav. 1 Okliuzijos efekto atvaizdavimas*

Sekimo taškų registravimo forma naudojant padėties duomenis:

Šiuo metu didžioji dalis virtualios ir papildytosios realybės aplikacijų naudoja sekimo taškų registravimo formas teikiančias tik tiesioginio naudotojo išmaniojo įrenginio padėties erdvėje ir orientacijos duomenis. Tokia sekimo taškų registravimo forma teikia labai tikslius sekimo duomenis, tačiau, jokių papildomų duomenų kompiuterio generuojamo virtualaus kontekstinio turinio objektų okliuzijos efektui mažinti.

Galiausiai, visą kompleksiskumą dar daugiau apsunkina antroji, pirmąją ir trečiąją apjungianti ypatybė – interaktyvi sąveika realiu laiku. Pastarajai reikalingi sprendimai apdorojami mažuose laiko intervaluose, užtikrinant būtiną minimalų kadrų generavimo dažnį. Net ir paketinis įvesties duomenų apdorojimas, dažnai, nėra laikomas tinkamu pasirinkimu, mat, per tą laiką, kuris reikalingas duomenims įvertinti, tiesioginis vartotojas iš sistemos gali reikalauti naujos operacijos.

Be to, papildytosios realybės naudojimas mobiliuosiuose išmaniuosiuose įrenginiuose reikalauja, kad programinės įrangos projektinis modelis būtų tinkamai įvertintas, atsižvelgiant į duomenų kiekį, kurį reikia apdoroti ir atvaizduoti.

## 5. Įgyvendinimas

Programinės įrangos architektūra, skirta pasikartojantiems papildytosios realybės aplikacijų komponentams. Pastaroji orientuota ties dinaminio išplečiamumu bei našumu, tuo pačiu užtikrinant aukšto lygio konfigūravimą. Siūlomas deklaratyvus programavimo stilius, su atskirais komponentais, leidžia tiriamąjį ir iteracinį vystymą bei supaprastina automatizuotų įrankių naudojimą konfigūracijoms kurti.

Be to, nagrinėjamas sudėtingas AR aplikacijos kūrimo procesas ir pateiktos projektavimo gairės gali būti naudojamos kaip efektyvus atskirų daugkartinio naudojimo komponentų derinių įgyvendinimo pasiūlymas.

Daugiausiai dėmesio skiriama šiems papildytosios realybės aplikacijų aspektams:

- 3D įvykių sistema.
- 3D interaktyvi sąveikia realiu laiku.
- Kelių naudotojų papildytosios realybės aplikacija.



- Iš anksto paruoštas dinamiškas aplikacijos funkcionalumas.

## 5.1 3D įvykių sistema

Registruojami tik tie vartotojo sąsajos įvykiai, kurie generuojami tiesioginio naudotojo išmaniojo įrenginio interaktyvios sąveikos įvesties duomenimis. Tokio tipo registruoti įvykiai perduodami scenai „HandleEventAction“ ir yra naudojami skirtingų tipų mazgams apdoroti ir formuoti. Numatytas ASP valdiklių rinkinys, kuris įgyvendina standartines 3D sąveikas, pvz., objekto pozicijos, mastelio ir orientacijos keitimas, naudojant ASP valdiklius.

### 5.1.1 Išvestis

Virtuali ir papildytoji realybė naudoja tokias pačias aparatinės įrangos technologijas, taip pat, dalijasi daugybe veiksmų, tokių kaip kompiuterio generuojamo kontekstinio turinio atvaizdavimas ar interaktyvi sąveika realiu laiku. Pagrindinis skirtumas – virtualios realybės aplinka pakeičia tikrąjį pasaulį, tuo tarpu papildytoji – praplečia. Pagal tai renkama aparatinė įranga, geriausiai galinti atvaizduoti virtualią aplinką:

#### 5.1.1.1 Ant galvos dėvimi išmanieji akiniai

Ant galvos dėvimas įrenginys, kuris veikia kaip 3D kompiuterio generuoto virtualaus kontekstinio turinio atvaizdavimo langas ir duomenų apdorojimo įrenginys, turintis ekrano optiką kiekvienai individualiai akiai. Optinė perregima sistema sujungia kompiuterio generuotą virtualų kontekstinį turinį ir realaus pasaulio objektus.



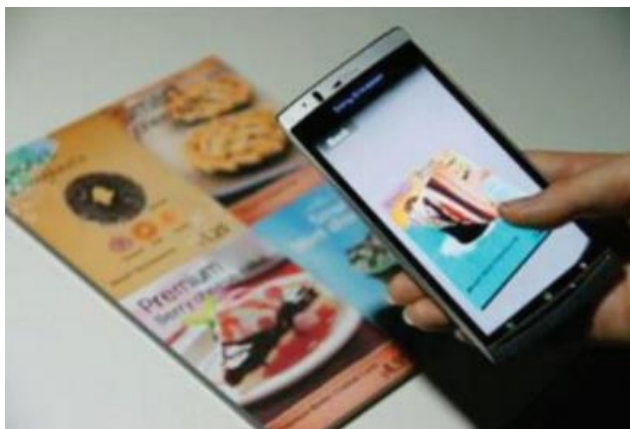
pav. 2 Ant galvos dėvimi išmanieji akiniai

#### *5.1.1.2 Rankiniai išmanieji įrenginiai*

Nedidelių gabaritų kontekstinio turinio atvaizdavimo ir duomenų apdorojimo įrenginiai tiesioginio naudotojo laikomi rankoje naudojami sujungti kompiuterio generuotą virtualų kontekstinį turinį ir realaus pasaulio objektus naudojant aparatinėje įrangoje integruotą kamerų sistemą.

Išvesties turinys įgyvendinamas kaip 3D virtualaus kontekstinio turinio atvaizdavimo langai. 3D virtualaus kontekstinio turinio atvaizdavimo langų klasė yra talpykla, susieta su vartotojo nurodyta grafine vieta “Scene Graph”.

Išvesties turinio daugybė yra visiems vienoda, visi vartotojai gali matyti visus 3D virtualaus kontekstinio turinio atvaizdavimo langus. Programa, siekianti atvaizduoti kelis išvesties turinius, paprasčiausiai sukuria kelis langus ir susieja su juo norimą virtualų kontekstinį turinį. Norint išlaikyti vienodą išvesties virtualų kontekstinį turinį, reikia, kad atvaizdavimo langų turinį valdantys taikymo metodai būtų parametruoti pagal savo paties parametrus. Norint supaprastinti DVP kūrimą, programuotojai gali subklasifikuoti pradinę klasę, kuri jau apima tokį elgesį.



*pav. 3 Rankiniai išmanieji įrenginiai*

#### *5.1.2 Įvestis*

##### *5.1.2.1 Ant rankų dėvimas išmanusis įvesties įrenginys – pirštinės*

Pastaroji technologija įgalina kintamo interaktyvios sąveikos įvesties tikslumą bei kitų įvesties funkcijų kombinatorines galimybes. Išmaniojo įvesties įrenginio – pirštinės pozicijos erdvėje ir orientacijos duomenys sekami naudojant kito išmaniojo prietaiso aparatinėje įrangoje integruotą:

- Kamelių sistemą – realaus objektinio atvaizdo įvestis.
- Gylio jutiklį - gylio ir nuotolio nuo kitų objektų matavimas.
- Nuotolio jutiklį - nuotolio nuo kitų objektų matavimas.
- Giroskopą - įrenginio padėties ir kampo lyginant su naudotojo atskaitos taškų matavimas.
- Akselerometrą - greičio, judėjimo ir sukimosi pokyčių matavimas.
- Šviesos jutiklį - šviesos intensyvumo ir ryškumo matavimas.



*pav. 4 Ant rankų dėvimas išmanusis įvesties įrenginys – pirštinės*

ASP kaip įvesties kontekstas atlieka ir svarbią funkciją kaip sąveikos priemonę, ir vizualų vaizdą. Todėl ASP realizuojami kaip scenos grafai, daugiausiai sudaryti iš sąveikos valdiklių. Tačiau scenos grafike taip pat gali būti pasyvioji geometrija, kuri yra naudinga perteikiant vartotojo sąsajos būseną.

Apskritai, vidinė valdiklių padėtis priklauso nuo turinio – jį parametruoja tiesioginis naudotojas ir 3D išvesties langas.

Praplečia aplikacijos API biblioteką, kad palaikytų bendresnius tiesioginio naudotojo įvesties įrenginius, paprastai skirtus sekimo taškų registravimo formoms išpildyti, pastaroji implementuoja individualių įvykių sąrašą, kurie teikia grafinei vietai “Scene Graph” sekimo taškų registravimo duomenų srautus. Pastarieji susideda iš kanalo ID, 3D kontekstinio turinio objekto pozicijos erdvėje, ASP mygtukų konfigūracijos, laiko žymos bei skirtingų įvykių tipų, gebančių diferencijuoti objekto judesio ar būsenos pakitimus.

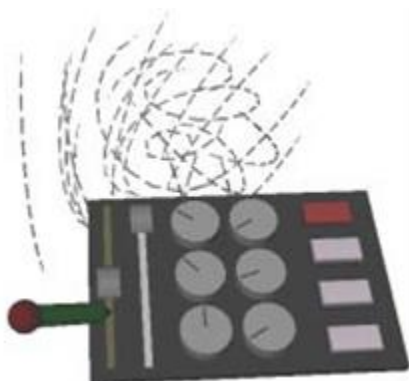
Individualūs mazgai yra siejami su skirtingais išmaniaisiais įrenginiais, kuriais interaktyviai sąveikauja tiesioginis naudotojas ar kelių tiesioginių naudotojų vienu metu grupė, sklandžiam aplikacijos darbui palaikyti.

## 5.2 3D interaktyvi sąveikia realiu laiku

Speciali mazgų grupė, sąveikaujanti su 3D įvykių sistema atsakinga už standartinių valdiklių rinkinius. Pastarieji valdikliai – grafiniai objektai, reaguojantys į gaunamus tiesioginio naudotojo 3D išvesties duomenis ir keičiantys savo būseną, atsižvelgiant į įvykių sekas. Grafiniai objektai implementuoja aukštesniojo lygio abstrakcinius įvykius iš neapdorotų 3D išvesties įvykių duomenų srautų, jų būseną atvaizduojama grafiškai bei keičiasi priklausomai nuo tiesioginių išvesties duomenų pakitimų.

2D valdikliai yra tipiškas tokių objektų rinkinio pavyzdys. Implementuojamas standartinis rinkinys, kurį sudaro perjungimo mygtukai ir slankikliai – jie atvaizduojami 3D geometrijos, kuri yra manipuluojama tiesioginio naudotojo.

Tradicinė 2D grafinė vartotojo sąsaja pateikiama kaip virtualūs ekspozicijos mygtukai ASP Fizinis virtualus valdiklių atvaizdavimas įgalina natūralų būdą interaktyviai sąveikauti su virtualiais valdikliais. ASP palaiko perjungimą tarp skirtingų rinkinių realiu laiku ir yra priskiriama kiekvienam individualiam tiesioginiam naudotojui.



*pav. 5 2D Asmeninė sąveikos platforma ASP*

Kuriant naudotojo sąsają daugiafunkcinėms užduotims atlikti, kyla sunkumų dėl darbo srities programų semantikos skirtumų. Svaroka, kai keli tiesioginiai naudotojai dalijasi tuo pačiu darbo kiekiu ir tuo pačiu programų rinkiniu, žymiai padidina kombinatorines sąveikos galimybes.

Ši situacija priešinga darbalaukio pasauliui, kur kiekvienas kelių tiesioginių naudotojų vienu metu sistemos vartotojas turi atskirą „darbalaukį“.

Kai kurios kelių naudotojų darbo srities programos yra labiau orientuotos į vieną tiesioginį naudotoją ar izoliuotą tiesioginių naudotojų grupę, o kitos – sąsają turi su keliais esamais vartotojais. Kai kuriais atvejais vartotojų vaidmenys yra vienodi, kitais – radikaliai skirtingi.

#### 5.2.1 Įvestis

Išskiriami 2 pagrindiniai įvesties būdai:

- Programa pateikia keletą individualių tiesioginio naudotojo sąsajos valdiklių, pvz., mygtukų ar slankiklių. Šiuo atveju įvesties kontekstas yra atkartojamas ASP egzemplioriaus būsenos.
- Programa priima 3D įvestį, pvz., virtualaus generuojamo turinio spustelėjimas ar tempimas. 3D įvesties tipo laukas įgalina tiesioginį manipuliavimą duomenimis.

#### 5.2.2 Išvestis

Išvesties turinys pasireiškia kaip virtualus 3D kompiuterio generuojamo kontekstinio turinio duomenų atvaizdavimas. Programa gali atvaizduoti duomenis viename arba keliuose languose skirtingiems tiesioginiams naudotojams. Išvesties turinys gali būti vienodas arba skirtingas:

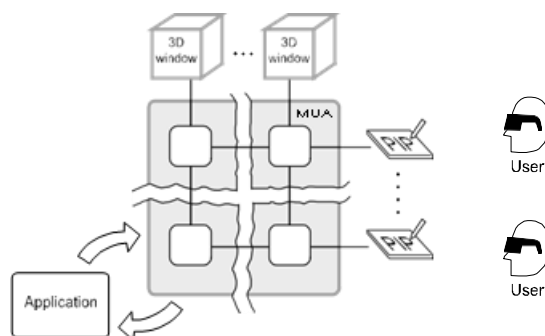
- Vienodas – tos pačios rūšies informacija rodoma vienodai. Skirtumas tarp dviejų vienarūšių vienos programos kontekstų yra tik faktiniame duomenų sraute. Darbalaukio pasaulyje šis būdas yra žinomas kaip kelių dokumentų sąsaja - vienu metu galima atidaryti kelis duomenų kontekstus, o kiekvienam duomenų kontekstui yra tos pačios sąveikos galimybės.
- Skirtingas – išvesties kontekstai rodo struktūriškai skirtingą informaciją. Pvz., 3D duomenų konteksto vaizdas gali būti rodomas viename lange, o scheminis kitame.

Valdikliai įgalina paprastesnę, tačiau, mažiau apribotą interaktyvią sąveiką realiu laiku – apima geometrijos manipuliaciją, kuri gali būti veikiamas tiesioginio naudotojo. Pastarieji veikia kaip manipulatoriai virtualios ekspozicijos generuotam turiniui judinti, sukti ar masteliui keisti.

### 5.3 Kelių naudotojų papildytosios realybės aplikacija

Kiekvienas tiesioginis naudotojas gali interaktyviai sąveikauti su kiekviena virtualaus kontekstinio turinio aplikacija, kuri sukuria kelių matricų sąveikas. Kiekvienam tokiame sąveikos keliui reikalingas įvesties ir išvesties turinys, kuris nukreipia informaciją tarp tiesioginio naudotojo ir PS. Įgalinant kelis to paties turinio atvejus, galima užtikrinti interaktyvią sąveiką ir nepriklausomumą nuo kitų tiesioginių naudotojų.

Svarbu pabrėžti dėmesį, kad tai nėra tolygu kelių tos pačios virtualaus kontekstinio turinio aplikacijos vykdymo atvejui tuo pačiu metu. Bet kuris tiesioginis naudotojas gali bet kada interaktyviai sąveikauti su bet kurios virtualaus kontekstinio turinio aplikacijos duomenimis, o kitų tiesioginių naudotojų veiksmai gali turėti įtakos kitiems.



pav. 6 Daugybinių aplikacijos santykis

Nors paprastos vieno tiesioginio naudotojo programos gali veikti be jokių žinių apie kelių tiesioginių naudotojų sąranką, kelių tiesioginių naudotojų vienu metu programa turi atpažinti ir palaikyti visus arba vieną iš šių metodų:

Skirtingos kiekvieno tiesioginio naudotojo vidinės būsenos:

- Atsižvelgiant į programų reikalavimus, kiekvienam tiesioginiam naudotojui turi būti saugoma išsami virtualaus kontekstinio turinio informacija. Daugelis standartinių operacijų leidžia skirtingą semantiką, kai pastaroji taikoma keliems tiesioginiams naudotojams:

- Ar iškirpimo ir įklijavimo seka turi prieigą prie bendros iškarpinės, ar kiekvienam vartotojui turėtų būti skirta individuali iškarpinė.
- Ar yra viena bendra, ar yra daug atskirų komandų operacijų vykdymo istorijų.

Kelių tiesioginių naudotojų įvestis vienu metu tame pačiame 3D kontekstinio turinio atvaizdavimo lange:

Tas pats 3D kontekstinio turinio atvaizdavimo langas tuo pat metu gauna įvestį iš daugiau nei vieno tiesioginio naudotojo. Nors galimos idempotencinės operacijos (operacijos savybė, kai pastarąją galima taikyti kelis kartus, nekeičiant pradinio rezultato), daugeliu atvejų skirtingų tiesioginių naudotojų įvestys reikalauja naujo duomenų apdorojimo.

Kelių tiesioginių naudotojų vienu metu įvestis toje pačioje ASP:

Kadangi ASP kaip pagrindinis įvesties įrenginys taip pat turi būti naudojami DVP duomenys, būtina atsižvelgti į jo būseną. Paprastai, kiekviena programa visus savo 2D sąsajos elementus pateikia individualiam tiesioginiam naudotojui. Kadangi tiesioginis naudotojas gali įgyti papildomą DVP duomenų apdorojimą, kai kitas vartotojas jau dirba su pastaraisiais, ta pati ASP bus atvaizduojama vienodai abiem tiesioginiams naudotojams.

Tiesioginių naudotojų virtualaus kontekstinio turinio manipuliacija 3D turinio atvaizdavimo lange:

Keli tiesioginiai naudotojai vienu metu gali manipuluoti bendrais atvaizduojamais virtualaus kontekstinio turinio duomenimis 3D turinio atvaizdavimo lange. Programa gauna tiesioginių naudotojų 3D įvesties srauto duomenis ir, priklausomai, nuo operacijos, toks veiksmų srautų lygiagretumas, gali būti prasmingas arba ne. Kadangi programa priima įvykius nuoseklia duomenų srauto tvarka - daug lengviau kontroliuoti srautų lygiagretumą ir nukreipti jį reikiama linkme.

Ne tiesioginis tiesioginio naudotojo virtualaus kontekstinio turinio manipuliavimas ASP

Vienodiems virtualaus generuojamo turinio atvaizdavimo langams, ASP struktūra yra vienoda kiekviename lange, tačiau sąsajos būseną, pvz., slankiklio valdiklio padėtis, dažniausiai, priklauso nuo individualaus virtualaus generuojamo turinio atvaizdavimo lango ir konkretaus tiesioginio naudotojo. Valdikliu dalijimosi laipsnį galima nustatyti kiekvienam valdikliui:

- Kiekvienam langui ir kiekviena tiesioginiam naudotojui skirtinga sąsajos būseną.
- Kiekvienam tiesioginiam naudotojui skirtinga sąsajos būseną, tačiau tam tikram tiesioginiam naudotojui sąsajos būseną yra vienoda visiems turinio atvaizdavimo langams.
- Kiekvienam lange skirtinga sąsajos būseną, tačiau duotame lange sąsajos būseną yra vienoda visiems vartotojams.
- Tik viena sąsajos būseną visiems langams ir vartotojams.

Kelių naudotojų vienu metu naudojimo scenarijai yra palaikomi suteikiant būtiną funkcionalumą techninei įrangai, kuri yra reikalinga daugiau nei vieno tiesioginio naudotojo tuo pačiu metu įgalinimui, taip pat, naudojamas aplikacijos API išteklių paskirstymui naudotojams. Pastaroji aplikacija palaiko daugiau nei vieną nepriklausomą išvesties lauką, įgalinti sistemas palaikančias daugiau nei vieną tiesioginį naudotoją, kurios suteikia daugkartinės išvesties galimybę. To pasėkoje, keli išvesties atvaizdavimo laukai gali būti ir siejami tarpusavyje, ir suteikiantys kiekvienam tiesioginiam naudotojui individualią išvestį.

Kiekvienas išvesties laukas nepriklausomai personalizuojamas pagal virtualaus generuojamo turinio dydį, poziciją ir atvaizdavimo metodą 3D virtualioje erdvėje. Be to, įvesties prietaisų kiekis nėra ribojamas – tiesioginis naudotojas gali naudoti tiek sekimo taškų registravimo įrenginių, kiek reikalauja sėkmingas kelių naudotojų vienu metu sąrankos įgyvendinimas

Tipinė kelių naudotojų vienu metu naudojimo sąranka susideda iš 2 tiesioginio naudotojo išmaniųjų įrenginių, kurie naudojami kaip interaktyvios sąveikos įvesties įrenginiai, kompiuterio generuoto virtualaus kontekstinio turinio atvaizdavimo langai ir virtualios ASP valdiklis.

Išteklių rinkinys susidedantis iš vaizdo išvesties lango ir įvykių registravimo kanalų išmaniojo įrenginio sekimui ir interaktyvios sąveikos įvesties yra registruojami kaip naudotojas identifikuojamas pagal unikalų ID PĮ sistemoje. Prieš aplikacijos paleistį, nustatomas tiesioginių naudotojų skaičius ir jų konfigūracijos. 3D įvykių mazgai susiejami su individualiu tiesioginiu naudotoju, todėl aplikacija gali atskirti skirtingus naudotojus bei atitinkamai registruoti jų veiksmus, ko pasėkoje, kiekvieno individualaus tiesioginio naudotojo vaizdo išvesties langai taip pat gali būti konfigūruojami taip kaip iš anksto pasirinktas ir apibrėžtas vaidas rodomas tik kai kuriems tiesioginiams naudotojams.



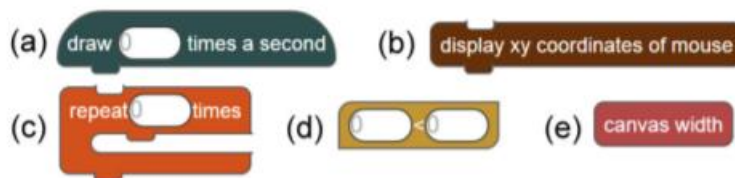
## 5.4 Iš anksto paruoštas dinamiškas aplikacijos funkcionalumas

Virtualios aplikacijos yra įgyvendinamos kaip grafinė vieta “Scene Graph”. Pastarosios apibrėžiamos įgyvendinant naują programos mazgų klasę, kuri suteikia konkrečios virtualios aplikacijos funkcionalumą. Programa gali naudoti bet kurį grafinės vietos “Scene Graph” mazgą, kad būtų sukurta reikalinga grafika, vartotojo sąsajos elementai ir interaktyvios sąveikos metodai. Taip pat, aplikacija gali apibrėžti specializuotą mazgų tipą, dedikuotoms duomenų struktūroms saugoti. Taip pat, toks įgyvendinimas įgalina visų operacijų naudojimą virtualios ekspozicijos aplikacijoje. Kadangi palaikomas bet kurios grafinės vietos “Scene Graph” serializavimą nuskaitant ir perrašant failą, aplikacija gali būti paruošta naudojimui ir išsaugota vykdymo metu. Kuomet virtualios ekspozicijos aplikacija talpina visas reikiamas duomenų struktūras grafinės vietos “Scene Graph” mazguose, aplikacijos grafinė vieta “Scene Graph” iškart atvaizduoja aplikacijos būseną.

Programavimo kalba vadovaujasi trimis konvencijomis:

- Sintaksė.
- Semantika.
- Pragmatika.

Išvesties blokai paverčiami kintamaisiais, konstantomis ir aritmetinėmis/matematinėmis funkcijomis, o kiti blokai – funkcijomis ar operacijomis. Iš anksto paruošti kodo „paruoštukai“ – blokai, kurie išversti į fragmentus, tokius kaip sudėtingus algoritmus ir transformacijų funkcijas. Kai kurie iš jų yra paverčiami viena ar keliomis operacijomis su konkrečiais argumentais, o jų elgesys būna konkretesnis.



pav. 7 (a) pradinis blokas, (b) operacijos nuorodos blokas, (c) vykdymo blokas, (d) sąlygos blokas, (e) išvesties blokas

## 6. Terminų ir santrumpų žodynas

MARS (angl. Multi-user Augmented Reality System) - Kelių naudotojų papildytosios realybės aplikacija.

OpenGL (angl. Open Graphics Library) - Daugiakalbė, daugiaplatformė aplikacijos programavimo sąsaja.

CGS (angl. Computer Generated Solutions) - Kompiuteriu generuoti sprendimai.

AR (angl. Augmented reality) - Papildytoji realybė.

3D (angl. Three-dimensional) - Trimatė erdvė (X,Y,Z).

VA (angl. Virtual Environment) - Virtuali aplinka.

ASP (angl. Personal Interface Panel) - Asmeninė sąveikos platforma.

API (angl. Application Programming Interface) - Taikomųjų programų programavimo sąsaja.

ID (angl. Identification) - Identifikacija.

DVP (angl. Multi-User Aware Application) - Daugelio vartotojų programa.

PĮ (angl. Software) - Programinė įranga.

PS (angl. Program System) - Programos sistema.

## 7. Analizės išvados

1. Išanalizavus esamus programinius kompiuteriu generuojamo virtualus kontekstinio turinio papildytosios realybės aplinkoje sprendimus bei mokslinius darbus, buvo išryškintos ir aptartos labiausiai limituojantys faktoriai, pasireiškiantys kuriant papildytosios realybės aplikacijas.
2. Visa PS susideda iš kelių įvairaus sudėtingumo uždavinių ir sprendimų: 3D įvykių sistema, 3D interaktyvi sąveikia realiu laiku, kelių naudotojų papildytosios realybės aplikacija, iš anksto paruoštas dinamiškas aplikacijos funkcionalumas.
3. Papildytosios realybės aplinkos sritis yra pakankamai pažįstama ir gausiai naudojama, tačiau, šiuo metu Lietuvoje nėra sistemų, leidžiančių švietimo įstaigos darbuotojams patiems generuoti aktualų kontekstinį virtualų turinį be IT srities specialisto bei taip pateiktį naują mokomąją medžiagą, taip siekiant įgalinti panašaus turinio aplikacijų naudojimą tarptautinėje rinkoje, nėra. Todėl, minėtus labiausiai ribojančius aplikacijos kūrimo faktorius reikia skaidyti ir ieškoti sprendimų.

## 8. Literatūra

- [1] Building Virtual and Augmented Reality museum exhibitions, [Žiūrėta 2020 11 05], prieiga internete: [https://www.researchgate.net/publication/221010858\\_Building\\_Virtual\\_and\\_Augmented\\_Reality\\_museum\\_exhibitions](https://www.researchgate.net/publication/221010858_Building_Virtual_and_Augmented_Reality_museum_exhibitions)
- [2] Objektinis programavimas: teorija, Java, Android, [Žiūrėta 2020 12 10], prieiga internete: <https://books.google.lt/books?id=pQUDDAAAQBAJ&pg=PA256&lpg=PA256&dq=scene+graph+struktura&source=bl&ots=a8o-QNrY9C&sig=ACfU3U01gEcjkrQ7g-V84QEIDaOaLb92ng&hl=en&sa=X&ved=2ahUKewipk8SAtbXtAhXj-yoKHbdGBTAQ6AEwD3oECBAQAg#v=onepage&q&f=false>
- [3] Augmented Reality in Education: Current Technologies and the Potential for Education, [Žiūrėta 2020 12 13], prieiga internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812023907>
- [4] The Studierstube Augmented Reality Project, [Žiūrėta 2020 11 25], prieiga internete: <https://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/105474602317343640>
- [5] A Survey of Augmented Reality, [Žiūrėta 2020 11 05], prieiga internete: <https://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>
- [6] A Programming Environment for Visual Block-Based Domain-Specific Languages, [Žiūrėta 2020 12 12], prieiga internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915025879>
- [7] Mobile Augmented Reality, [Žiūrėta 2020 11 01], prieiga internete: [http://web.cs.wpi.edu/~gogo/courses/imgd5100\\_2012f/papers/Hollerer\\_AR\\_2004.pdf](http://web.cs.wpi.edu/~gogo/courses/imgd5100_2012f/papers/Hollerer_AR_2004.pdf)
- [8] Handbook of Augmented Reality, [Žiūrėta 2020 12 01], prieiga internete: [https://books.google.lt/books?hl=en&lr=&id=fG8JUdrScsYC&oi=fnd&pg=PR3&dq=augmented+reality&ots=ifxdQAMc1x&sig=M5nCTiPtW3raDOmH9GN6yRwesZk&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.lt/books?hl=en&lr=&id=fG8JUdrScsYC&oi=fnd&pg=PR3&dq=augmented+reality&ots=ifxdQAMc1x&sig=M5nCTiPtW3raDOmH9GN6yRwesZk&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- [9] Shared space: An augmented reality approach for computer supported collaborative work, [Žiūrėta 2020 11 20], prieiga tinkla: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01409795>
- [10] Resolving multiple occluded layers in augmented reality, [Žiūrėta 2020 12 01], prieiga internete: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1240688>