

VILNIAUS UNIVERSITETAS
MATEMATIKOS IR INFORMATIKOS FAKULTETAS
PROGRAMŲ SISTEMŲ BAKALAURO STUDIJŲ PROGRAMA

**Papildytos realybės muziejaus aplikacijos kūrimas
„Android“ operacinei sistemai**

**Creation of augmented reality museum application for „Android“ operating
system**

Bakalauro baigiamasis darbas

Atliko:	Tomas Kazlauskas	(parašas)
Darbo vadovas:	Raimundas Savukynas, J. Asist.	(parašas)
Darbo recenzentas:	Kristina Lapin, Doc., Dr.	(parašas)

Vilnius – 2020

Santrauka lietuvių kalba

Šio bakalauro baigiamojo darbo tikslas – sukurti aplikacijos prototipą muziejinio eksponato – Leonardo da Vinčio paveikslo „Mona Liza“ – atvaizdavimui, pasitelkiant papildytosios realybės technologiją, ir pritaikytą veikimui „Android“ operacinėje sistemoje. Įgyvendinant šį tikslą buvo išsamiai išnagrinėta papildytosios realybės technologija ir jos panaudojamumas muziejuose: nacionaliniame gamtos istorijos Vašingtone bei keltų paveldo Austrijoje, įsiliginta į tris sėkmingai naudojamas tokio tipo aplikacijas: „Skin & bones“, „The speaking celt“ ir „4th wall“, apžvelgti penki populiarius papildytosios realybės įrangos kūrimo įrankiai: „Vuforia“, „Wikitude“, „ARToolKit“, „ARCore“ ir „ARKit“, bei atlikta jų palyginamoji analizė. Atsižvelgiant į įrankių palyginimo rezultatus, kaip geriausiai tinkantis šio darbo tikslui įgyvendinti buvo išrinktas „Vuforia“, kurio pagalba buvo realizuotas muziejinio eksponato – Leonardo da Vinčio paveikslo „Mona Liza“ – atvaizdavimas, pasitelkiant papildytosios realybės technologiją ir pateikiant aplikacijos pavidalą. Sukurtas aplikacijos prototipas taip pat buvo įvertintas atsižvelgiant į papildytosios realybės technologija grindžiamų aplikacijų, skirtų funkcionavimui kultūriniame sektoriuje, projektavimo rekomendacijas.

Darbo raktiniai žodžiai: bakalauro darbas, papildytoji realybė, muziejus, aplikacija, prototipas, „Android“.

Santrauka anglų kalba (*Summary*)

The aim of this bachelor's thesis is the creation of augmented reality application prototype for the representation of Leonardo da Vinci's painting „Mona Lisa“, working on „Android“ operating system. In pursuit of this goal, augmented reality as a technology and it's applicability to museums of Smithsonian's Natural History Museum in Washington and Museum of Celtic Heritage in Austria were examined in detail, three applications of this type existing on the market were investigated: „Skin & bones“, „The speaking celt“ and „4th wall“, five popular augmented reality software development tools were reviewed: „Vuuforia“, „Wikitude“, „ARToolKit“, „ARCore“, „ARKit“, and their comparative analysis performed. Based on the results of the comparison of tools, „Vuuforia“ was chosen as the most suitable for the purpose of this work. With the help of this tool an application prototype was created and adapted to use the technology of augmented reality to depict a single museum exhibit's object – Leonardo da Vinci's painting „Mona Lisa“. The developed application also was evaluated while taking into account the design recommendations for augmented reality technology based applications, functioning in the cultural sector.

Keywords: bachelor's thesis, augmented reality, museum, application, prototype, „Android“.

Turinys

Santrauka lietuvių kalba.....	2
Santrauka anglų kalba (<i>Summary</i>)	3
Įvadas	5
1. Papildytoji realybė	7
1.1. Istorija.....	7
1.2. Samprata.....	7
1.3. Panaudojamumas muziejuose	8
2. Aplikacijų pavyzdžiai	10
2.1. Aplikacija „Skin & bones“	10
2.2. Aplikacija „The speaking celt“	10
2.3. Aplikacija „4th wall“.....	11
3. Papildytos realybės kūrimo įrankių techninė apžvalga	11
3.1. Pagrindiniai veikimo principai	11
3.2. Vuforia SDK	13
3.3. Wikitude SDK.....	14
3.4. ARToolKit SDK.....	14
3.5. ARCore SDK.....	15
3.6. ARKit SDK	15
3.7. Papildytosios realybės kūrimo įrankių palyginamoji analizė.....	16
3.8. Lyginamosios įrankių analizės rezultatai	20
4. Papildytosios realybės aplikacijos prototipas	21
5. Aplikacijos prototipo atitikimas kokybės kriterijams.....	22
Rezultatai ir išvados.....	26
Literatūros sąrašas.....	27
Priedai	29
1. Priedai autoriaus sukurtos aplikacijos prototipui	29

Įvadas

Per pastaruosius keliasdešimt metų skaitmeninės technologijos nemažai patobulėjo. Prie šių technologinių laimėjimų prisideda nauja sąvoka – papildytoji realybė. Ši technologija, naudojant tinkamas kompiuterines sąsajas, leidžia kompiuteriu apdorotą skaitmeninę informaciją realiu laiku sujungti su informacija, gaunama iš realaus pasaulio [GA15]. Viena svarbiausių naujovių, kurią pristato ši technologija, yra nauji sąveikos su skaitmeninėmis technologijomis metodai – naudojant papildytosios realybės technologiją su skaitmeniniu turiniu galima sąveikauti fiziškai visu kūnu [MGB+17]. Tokiu būdu papildytoji realybė pakeičia vartotojo realaus pasaulio suvokimą bei sąveiką su juo pridėdama papildomą informacijos sluoksnį ant fiziškai matomo pasaulio aplink mus.

Viena platesnių papildytosios realybės panaudojamumo sričių yra istoriniai muziejų archyvai, talpinantys ne tik konkrečius eksponatus, bet ir žinias apie jų kūrėjus, susijusius artefaktus bei kuratorius. Šiame kontekste papildytoji realybė laikoma įdomiu įrankiu, naudojamu siekiant padėti lankytojams geriau suvokti ir įvertinti parodos turinį [GGC+17]. Atlikus informacijos paiešką buvo pastebėta problema, jog poreikis naudoti papildytosios realybės technologiją šioje dalykinėje srityje egzistuoja, tačiau jaučiamas informacijos apie konkrečius technologijos įgyvendinimo būdus stygius.

Šio darbo tyrimo objektas – papildytosios realybės technologijos pagrindu veikiančios ir muziejuose naudojamos aplikacijos bei tokio tipo aplikacijų kūrimo įrankiai.

Tikslas – sukurti muziejinio paveikslo atvaizdavimo aplikacijos prototipą, grindžiamą papildytosios realybės technologija ir pritaikytą veikimui „Android“ operacinėje sistemoje.

Šis darbas yra suskirstytas į penkis uždavinius:

1. Išanalizuoti papildytosios realybės technologiją ir jos panaudojamumą muziejuose.
2. Ištirti muziejuose naudojamas papildytosios realybės aplikacijas.
3. Išnagrinėti papildytosios realybės įrangos kūrimo įrankius ir atlikti jų palyginamąją analizę.

4. Sukurti papildytosios realybės aplikacijos prototipą, pritaikytą muziejinio paveikslų atvaizdavimui.
5. Įvertinti sukurto prototipo atitikimą papildytosios realybės muziejinių aplikacijų kūrimo rekomendacijoms.

Iškelti penki uždaviniai nusako darbų vykdymo eiliškumą. Dokumentas pradedamas nuo pagrindinių temos raktažodžių – papildytoji realybė – analizės, kurios metu yra ištiriama pati technologija ir jos panaudojamumo muziejuose būdai. Siekiant tiksliau išsiaiškinti esamą technologijos panaudojamumą, toliau darbe yra studijuojamos trys tokio tipo aplikacijos, naudojamos muziejuose – atsižvelgiama į jų veikimo principus ir galimybes. Išanalizavus realius ir konkrečius technologijos panaudojamumo atvejus, dokumente yra pereinama prie tokio tipo aplikacijų kūrimo įrankių apžvalgos - atliekama papildytosios realybės įrangos kūrimo įrankių palyginamoji analizė. Įrankiai lyginami pagal kriterijus, kuriuose atsižvelgiama į įrankių technines galimybes, infrastruktūrą, aplikacijos kūrimo procesą ir atvaizduojamų objektų kokybę, o įrankių palyginimui parinkti penki populiariausi įrankiai. Atlikus išsamią papildytos realybės programinės įrangos įrankių kūrimo analizę, vienas iš ištirtų įrankių yra pateikiamas kaip rekomendacija planuojamai muziejaus aplikacijai kurti. Toliau darbe pateikiami pagrįstai išrinkto įrankio pritaikymo praktikoje rezultatai – tai buvo atliekama sukuriant papildytosios realybės aplikacijos prototipą, pritaikytą pasirinkto muziejinio eksponato – Leonardo da Vinčio paveikslą „Mona Liza“ – atvaizdavimui, o sukurtos programinės įrangos suteikiamas funkcionalumas yra detalai aprašomas. Įgyvendinus aplikacijos prototipo kūrimo procesą, įvertinamas sukurtos aplikacijos atitikimas sėkmingų papildytos realybės muziejinių aplikacijų kūrimo rekomendacijoms.

Darbo rašymo metu buvo stengiamasi remtis ne senesniais nei penkerių metų senumo moksliniais literatūros šaltiniais. Nagrinėjant konkrečias aplikacijas ar programinės įrangos kūrimo įrankius taip pat buvo atsižvelgiama ir į oficialią programų ar įrankių dokumentaciją.

1. Papildytoji realybė

Šiame skyriuje kalbama apie papildytąją realybę, jos rūšis ir savybes. Ši informacija yra svarbi norint suprasti papildytosios realybės specifiką ir toliau kalbėti apie papildytosios realybės naudotojo sąsajas bei panaudojamumą.

1.1. Istorija

Papildytoji realybė pirmą kartą buvo paminėta 1950-ais metais, kai kinematografas M. Heilig sugalvojo, kad visi pojūčiai turėtų dalyvauti įtraukiant žiūrovą [AGG+15]. Pirmoji papildytos realybės sistema, įtraukianti tiek ant galvos dedamą įrenginį, tiek sudėtingus padėties sekimo įrankius, buvo sukurta 1968-taisiais metais [CFA+10]. Deja, iki 2007-ųjų metų rinkoje egzistavo tik specifiniai papildytosios realybės produktai, kurie buvo sunkiai pasiekiami paprastiems žmonėms [CFA+10]. Papildytosios realybės programos pradėjo sparčiai populiarėti būtent nuo 2007-ųjų, kai į rinką buvo pristatyti išmanieji telefonai ir kiti mobilieji įrenginiai su įvairiais integruotais jutikliais, aukštos kokybės kameromis bei didelio našumo procesoriais, kurie leido papildytąją realybę pradėti naudoti ir paprastiems naudotojams [CFA+10].

1.2. Samprata

Papildytoji realybė - tai gebėjimas padengti realaus pasaulio objektus kompiuteriniais grafiniais objektais. Šios technologijos suteikiamos sąsajos galimybės išplečia ir gerokai pagilina realaus pasaulio įspūdį [Lam09]. Papildytos realybės kūrimo įrankiai iš dalies naudoja technologijas, kuriomis yra pagrįsta ir virtualios realybės technologija, tačiau tarp šių sričių egzistuoja didžiulis skirtumas. Virtuali realybė visiškai pakeičia matomą realaus pasaulio vaizdą ir pilnai įtraukia vartotoją į virtualų pasaulį, o papildytoji realybė tiesiog suteikia matomai erdvei vaizdinių patobulinimų – realus vaizdas yra papildomas skaitmeniniais objektais, prijungiamais prie realių vietovių ar konkrečių fizinių esybių.

Papildytoji realybė įgyvendinama naudojant kompiuterio ekraną, kuris tiesiogiai veikia vartotojo pojūčius – suteikia papildomos vaizdinės informacijos. Dauguma mokslinių straipsnių yra fokusuojami ties teksto ar paveiksliukų įterpimu į vartotojo matymo lauką. Įterptoji vizuali informacija taip pat turi galimybę reaguoti ir į kitus vartotojo pojūčius, pavyzdžiui, garsą ar prisilietimą. Papildytosios realybės sistemos atsižvelgia į vartotojo žiūrėjimo į objektą orientaciją

– pajudinus kamerą, sistema automatiškai atlieka virtualaus objekto pakeitimus vartotojo matymo lauke [Lam09].

Šiuo metu yra išskiriamos trys pagrindinės papildytosios realybės realizacijos technikos [Lam09]:

1. Ant galvos tvirtiniami monitoriai (angl. *Head Mounted Displays*) – šiuo būdu vartotojo matymo lauke matomas realus pasaulis yra papildomas virtualiais grafiniais objektais.
2. Rankose laikomi įrenginiai (angl. *Handheld Displays*) – šiuo atveju yra naudojamas mažas kompiuterinis prietaisas, turintis kamerą ir ekraną, bei telpantis į vartotojo ranką.
3. Erdviniai ekranai (angl. *Spatial Displays*) – ši technika naudoja skaitmeninius projektorius virtualios grafinės informacijos pateikimui ant fizinių objektų. Veikimo principas pagrįstas hologramomis.

1.3. Panaudojamumas muziejuose

Vartotojų dėmesys dėl papildytosios realybės technologijos panaudojimo nuolat auga. Per paskutinį dešimtmetį buvo pristatyta nemažai projektų, kurie, pagrįste, ir yra priežastis, kodėl ši technologija yra laikoma ypač perspektyvia. Papildytoji realybė turi nemažai panaudojamumo galimybių, tačiau šiame poskyryje yra kalbama apie vieną konkrečią dalykinę sritį - pritaikymą muziejuose: nacionalinis gamtos istorijos Vašingtone bei keltų paveldo Austrijoje.

Priimant svarbius verslo strategijos sprendimus buvo pastebėta, jog informacinių technologijų integravimas į verslą pasižymi turimų objektų vertės didinimu bei ilgalaikio pelningumo užtikrinimu [DJ17]. Papildytosios realybės kontekste, tai yra ypač aktualu muziejų verslui – įrodyta, jog naujų technologijų atnešama nauda šiai sričiai prideda ekonominės vertės. Tai pasižymi padidėjusiu lankytojų skaičiumi, jų praleidžiamo laiko muziejaus parodose padidėjimu ir pagerinta lankytojams suteikiamos patirties kokybe [DJ17]. Žemiau pateikiamas efektyviausių papildytosios realybės technologijos panaudojamumo muziejuose būdų sąrašas [GGC+17]:

1. Vaizdinės sąsajos paradigma – dokumentavimas. Konkretus šio panaudojimo būdo pavyzdys – papildomos informacijos suteikimas apie specifinį muziejaus parodos eksponatą ir jos atvaizdavimas naudojamo išmaniojo prietaiso ekrane. Vartotojui

pateikiama papildoma informacija apima įvairias detales apie matomą parodos objektą, jo autorių ir patį kūrinį. Fiziškai sutalpinti didelį kiekį informacijos šalia muziejinio eksponato yra sudėtinga ir reikalauja nemažai vietos. Papildytosios realybės technologija šiuo atveju gali padėti reikiamą informaciją atvaizduoti vartotojų išmaniuosiuose įrenginiuose įvairiais pavidalais – tekstu, vaizdo įrašais, nuotraukomis – ir visa tai pateikti tvarkingai struktūrizuota ir vartotojui patogia forma.

2. Vaizdinės sąsajos paradigma – modeliavimas ir rekonstrukcija. Turint omenyje, jog ne visada pavyksta išsaugoti kokybiškas muziejinių eksponatų kopijas, papildytosios realybės technologija suteikia galimybę sėkmingai pateikti lankytojams tokio tipo parodos eksponatus kaip pilnaverčius objektus. Tai reiškia, jog neturint galimybės parodyti muziejinį eksponatą fiziškai arba jam esant prastos kokybės, ši technologija geba pateikti jį skaitmeniniu būdu parodos lankytojų išmaniųjų prietaisų ekranuose ir sudaryti tokį patį įspūdį, lyg lankytojai žiūrėtų į tikrą eksponato kopiją. Šiuo būdu atvaizduojami ir atkuriami (rekonstrukcija) parodos objektai gali būti pateikiami tiek kaip dviejų dimensijų, tiek kaip trijų dimensijų objektai, papildantys lankytojų išmaniųjų prietaisų kamerų matomą realaus pasaulio vaizdą. Be skaitmeninių objektų atvaizdavimo, ši technologija taip pat suteikia vartotojui galimybę sąveikauti su virtualiu eksponatu – išmaniojo prietaiso ekrane matomo parodos eksponato būseną dinamiškai kinta atsižvelgiant į vartotojo buvimą vietą, žiūrėjimo kryptį ir apšvietimą.
3. Gidų ir parodos orientyrų perkėlimas į skaitmeninę erdvę. Vienas iš muziejinių parodų iššūkių – eksponatų struktūros ir eiliškumo sistemos sukūrimas bei įgyvendinimas. Kuriant muziejaus aplikaciją, grindžiamą papildytosios realybės technologija, šį svarbų aspektą taip pat galima skaitmenizuoti. Konkretus šio funkcionalumo pavyzdys yra suplanuotos muziejinės parodos eiliškumo tvarkos perteikimas ir atvaizdavimas lankytojų išmaniuosiuose prietaisuose. Pasitelkiant papildytosios realybės technologiją parodos orientyrus galima perkelti į skaitmeninę erdvę atvaizduojant ženklais šalia eksponatų arba rodyklėmis, jungiančiomis parodos objektus, o gidus šiuo atveju galima pakeisti aplikacijoje pritaikant papildytosios realybės vaizdinės sąsajos paradigmas su galimybe jas papildyti informacija, kuri būtų perteikiama garsiniu pavidalu.

2. Aplikacijų pavyzdžiai

Šiuo metu rinkoje galima aptikti keletą sėkmingų specifinių papildytosios realybės technologijos pritaikymo muziejuose pavyzdžių. Tokio tipo programinę įrangą yra stengiamasi kurti užtikrinant naudojimo paprastumą, tad didžioji dauguma egzistuojančių aplikacijų yra pritaikytos veikimui vartotojų išmaniuosiuose įrenginiuose. Šiame skyriuje pateikiama keletas geriausiai žinomų papildytosios realybės technologijos pagrindu veikiančių aplikacijų, naudojamų muziejuose.

2.1. Aplikacija „Skin & bones“

„Skin & bones“ aplikacija buvo sukurta siekiant atgaivinti Vašingtono nacionalinio gamtos istorijos muziejaus (angl. „*Smithsonian's Natural History Museum in Washington*“) „kaulų“ salę ir išleista į rinką 2015-aisiais metais. Ši salė talpina eksponatų parodą, apimančią nemažą kiekį įvairių gyvūnų skeletų. Šios aplikacijos pagalba, lankytojų išmaniuosiuose prietaisuose esančios kameros atpažįsta konkrečių gyvūnų griaučius ir, pasitelkiant papildytosios realybės technologiją, atvaizduoja ant jų specifinio gyvūno mėsinius audinius bei odą [Ber18]. Aplikacija geba atpažinti ir atvaizduoti trylika skirtingų gyvūnų griaučių, suteikia dešimt papildomų sąveikos su atvaizduojamais gyvūnais galimybių, siūlo trisdešimt du vaizdo įrašus, skirtus efektyviai perteikti informaciją apie atvaizduojamus gyvūnus, ir įgalina keturių rūšių veiklas aplikacijos viduje. „Skin & bones“ yra skirta veikimui „iOS“ operacinėje sistemoje ir buvo sukurta pasitelkiant „Metaio SDK“ programinės įrangos kūrimo įrankį papildytosios realybės funkcionalumui įgyvendinti [Mar17].

2.2. Aplikacija „The speaking celt“

„The speaking celt“ yra aplikacija-pagalbininkas keltų paveldo muziejaus lankytojams Austrijoje (angl. „*Museum of Celtic Heritage in Hallein, Salzburg, Austria*“). Aplikacijos kūrėjų teigimu, tai yra pirmoji aplikacija pasaulyje, kuri naudoja virtualų gidą kaip muziejaus parodos vedlį. Aplikacijos vedlius realizuoja skaitmeninės grafikos pagalba sukurti keltų avatarai, atsirandantys konkrečiose muziejaus patalpų vietose ir matomi tik per lankytojų išmaniųjų prietaisų ekranus. Kelionės per muziejų metu šie gidai paaiškina parodoje esančių artefaktų prasmę bei pasakojimus papildo istorijomis apie keltų gyvenimą. Aplikacija yra skirta veikimui

„iOS“ ir „Android“ operacinėse sistemose, buvo išleista į rinką 2016-aisiais metais, o papildytosios realybės funkcionalumas buvo įgyvendintas naudojant „Wikitude SDK“ įrankį.

2.3. Aplikacija „4th wall“

„4th wall“ yra 2018-aisiais metais sukurta aplikacija, skirta tyrinėti meno kūrinius pasitelkiant papildytąją realybę. Aplikacija atvaizduoja skaitmeninius meno kūrinius, kuriuos galima stebėti ir analizuoti esant bet kurioje pasaulio vietoje. Suteikiamas turinys susideda ne tik iš autoriaus trijų dimensijų skaitmeninių meno kūrinių aibės, bet ir iš galimybės aplankyti virtualią jo darbų kūrimo studiją. Aplikacija pasižymi išskirtinumu – leidžia vartotojui pačiam parinkti meno kūrinio atvaizdavimo vietą ir aplinką [Ber18]. Aplikacija skirta veikimui „iOS“ ir „Android“ operacinėse sistemose, o papildytosios realybės funkcionalumas įgyvendintas pasitelkiant „ARCore SDK“ įrankį. Šios aplikacijos egzistavimas įrodo, jog norint sukurti papildytosios realybės meno kūrinių parodą – nėra būtinybės pirmiau tapti muziejaus savininku.

3. Papildytos realybės kūrimo įrankių techninė apžvalga

Ankstesniuose skyriuose buvo pateikta nemažai informacijos apie tai, kas yra papildytoji realybė bei kaip ji yra naudojama. Šiame skyriuje bus kalbama apie tokio tipo programinės įrangos kūrimą: pagrindinius principus, idėjas ir konkrečius įrankius, kurie yra parinkti analizei atsižvelgiant į jų populiarumą bei suteikiamo funkcionalumo kokybę [HGT17].

3.1. Pagrindiniai veikimo principai

Papildytos realybės sistema susideda iš trijų žingsnių: atpažinimas, sekimas ir įterpimas. Atpažinimo etapo metu, specifinis paveikslukas, objektas (pavyzdžiui, veidas, kūnas ar kita trimatė geometrinė forma) ar vieta yra atpažįstami – sistema suranda objektą, ant kurio bandys atvaizduoti virtualų objektą. Sekimo fazės metu, sistema realiu laiku apskaičiuoja objekto būseną erdvėje ir, pagal aprašytą logiką, tam tikras virtualus objektas yra įterpiamas ant realiaame pasaulyje esamo kūno [GA15].

Pagal objekto atpažinimo būdą, papildytosios realybės sistemos būna dviejų tipų [GA15]:

1. Su žymekliais (angl. „*Marker-based*“). Tokio tipo sistemos naudoja fizinio pasaulio simbolius kaip nuorodų taškus, ant kurių turėtų būti atvaizduojami skaitmeniniai objektai.

Virtualiojo objekto atvaizdavimo būdas bei orientacija yra apskaičiuojami pagal kamerai matomo žymeklio būseną. Konkretus pavyzdys – prieš objektų sekimo kamerą pastačius dviejų dimensijų atspausdintą specifinį žymeklį ir nurodžius jį sistemai kaip pagrindą virtualaus objekto atvaizdavimui, šis objektas bus įterptas atitinkamai ir matomas ekrane.

2. Be žymeklių (angl. „*Marker-less*“). Tokio tipo sistemos papildomai naudoja išmaniojo prietaiso jutiklių duomenis – akcelerometras (angl. „*Accelerometer*“), kompasas ir vietovės informacija (angl. „*global positioning system*“). Šių jutiklių teikiamų duomenų dėka, sistema tampa įgali atlikti tikslius skaičiavimus, reikiamus taisyklingam virtualių objektų atvaizdavimui realioje aplinkoje. Tai yra ypač svarbu atsižvelgiant į tai, kokių kampu yra žiūrima į objektą ir kuriomis ašimis prietaisas yra judinamas trimatėje erdvėje.

Pagal objekto sekimo būdą, papildytosios realybės sistemos skiriamos į keturis tipus [GA15]:

1. Tiesiogiai matomų žymeklių sekimas (angl. „*Fiducial Marker Based Tracking*“)—populiariausia ir dažniausiai naudojama technika papildytos realybės aplikacijose. Norint matyti virtualius objektus, išmaniojo įrenginio kamera turi visuomet matyti žymeklio buvimo vietą. Jeigu žymeklis patenka už kameros matymo ribų, virtualus vaizdas dingsta.
2. Hibridinis sekimas (angl. „*Hybrid Based Tracking*“) – kai objekto sekimui yra naudojamos dviejų ar daugiau skirtingų duomenų šaltinių rodmenys, pavyzdžiui, vietovės informacija (angl. „*global positioning system*“), kompasas ar akcelerometras. Šios informacijos sistemai pakanka norint surasti objektus realioje aplinkoje ir juos taisyklingai atvaizduoti.
3. Modelių sekimas (angl. „*Modeled Based Tracking*“) – sistemoje išsaugotas skaitmeninis modelis atitinka objektą realiame pasaulyje. Modelių konstravimui naudojama kampų atpažinimo technologija – judinant realaus objekto modelį, sistema manipuliuoja virtualiu modeliu ir tokiu būdu skaitmeninis objektas yra dinamiškai įterpiamas į matomą vaizdą.
4. Natūralių objektų sekimas (angl. „*Natural Feature Tracking*“) – leidžia naudoti realius objektus ir jų natūralius bruožus kaip žymeklius, o išmaniojo prietaiso kamera ieško panašias charakteristikas atitinkančių objektų matomoje aplinkoje. Tokiu būdu galime atpažinti tą patį objektą iš skirtingų atstumų, kampų bei apšvietimo lygmenų.

3.2. Vuforia SDK

Vuforia yra papildytos realybės programinės įrangos kūrimo įrankių rinkinys (angl. „*SDK – Software development kit*“), skirtas kurti sistemas tiek „Android“, tiek „iOS“ programinėms įrangoms su galimybe pratęsti funkcionalumą iki ant galvos tvirtinamų monitorių palaikymo (angl. „*digital eyewear*“). Vuforia suteikia puikias atpažinimo galimybes – lengvai atpažįsta objektus, paveiksliukus, tekstą, dėžes, cilindrinės formas bei kadru žymeklius. Programinės įrangos kūrėjui taip pat yra suteikiama galimybė į realaus pasaulio vaizdą įterpti foninius efektus, vaizdo įrašus, virtualius mygtukus ir objektų gylį pojūtį (arčiau esantys objektai blokuoja toliau esančius) [BCL+16].

Vuforia platforma naudoja galingą, stabilią ir efektyvią vaizdo atpažinimo techniką, o siūloma papildytos realybės programų kūrimo platforma susideda iš skirtingų komponentų: vuforia programų variklio, žymeklių valdymo sistemos ir „debesyse“ esančios žymeklių duomenų bazės, kuri gali būti pasiekama per nuorodą arba naudojama lokaliai [GA15]. Šis programinės įrangos kūrimo įrankis taip pat yra pasiekiamas kaip įskiepis „Unity3D“ žaidimų varikliui, tai reiškia, kad kuriama aplikacija bus palaikoma beveik visų operacinių sistemų (angl. „*cross-platform*“). Norint, kad aplikacija atpažintų tam tikrą objektą, pirmiausiai į žaidimo sceną reikia pridėti žymeklį, kurį sistema naudos kaip pagrindą virtualiam objektui. Tuomet į sistemą yra pridamas norimas skaitmeninis elementas, kurį sistema atvaizduos aptikusi užregistruotą žymeklį. Norint suteikti kuo geresnę naudojimo patirtį vartotojui, atvaizduojamais objektais gali tapti sudėtingų struktūrų modeliai, papildomai aprodoti su tam skirta profesionalia programine įranga, ir įkelti į „Unity“ sistemą naudojimui kuriamoje aplikacijoje. Kamerai aptikus parinktą žymeklį, virtualus objektas yra atvaizduojamas žymeklio buvimo vietoje. Vuforia taip pat automatiškai pasirūpina šviesos efektu – suteikiama galimybė manipuluoti šešėliais bei apšvietimu [BCL+16].

Pateikiama keletas Vuforia SDK funkcijų [GA15]:

1. Suteikiamas ypač greitas žymeklių aptikimas ir sekimas – iki penkių virtualių objektų vienu metu.
2. Efektyvus sekimas prastomis apšvietos sąlygomis ar net kai dalis žymeklio yra uždengta.
3. Suteikiama galimybė praplėsti ir pagerinti objekto sekimo efektyvumą – rezultatas leistų išlaikyti objektą sekamą net kai žymeklis dingsta iš kameros matymo lauko.
4. „Debesyse“ esanti duomenų bazė leidžia talpinti tūkstančius žymeklių objektų įterpimui.

3.3. Wikitude SDK

Wikitude palaiko paveiksliukų atpažinimą, sekimą, trijų dimensijų modelių atvaizdavimą ir suteikia papildytos realybės funkcionalumą, gebantį atsižvelgti į vartotojo buvimo vietą. Wikitude veikia tiek geografiniu pagrindu (vietovės nustatymas), tiek vaizdų atpažinimo funkcija (žymekliai) ir gali pasiūlyti hibridinę sekimo technologiją. Šio įrankio kūrėjai daug dėmesio skyrė internetinėms technologijoms, ko rezultate Wikitude papildytosios realybės funkcionalumas gali būti integruojamas į aplikacijas pridedant šiai platformai specifinį matymo komponentą į vartotojo sąsają. Wikitude SDK yra komerciniams tikslams skirtas produktas, tačiau turi ir nemokamo išbandymo galimybę su papildomais apribojimais. Šis programinės įrangos kūrimo įrankis taip pat suteikia ir „Wikitude Studio“ darbinės aplinkos sąsają – programinės įrangos kūrimui palengvinti [GA15].

Pateikiama keletas Wikitude SDK funkcijų [GA15]:

1. Palaikomi trijų dimensijų modeliai įvairiais formatais.
2. Palaikomos tiek dviejų, tiek trijų dimensijų transformacijos.
3. Galimybė kurti animacijas su JavaScript API pagalba.
4. Animacijų valdymo sistema bei patogus grupavimas.
5. Efektyvus krypties rodiklis bei vietovės sekimas aplikacijos viduje.

3.4. ARToolKit SDK

ARToolKit yra atvirojo kodo, žymeklių atpažinimo pagrindu veikianti papildytos realybės funkcionalumą suteiki biblioteka, gebanti perdengti kameros matomą žymeklį su virtualiu trijų dimensijų objektu. Atvaizduojamo virtualaus objekto padėtis ir orientacija yra apskaičiuojami pagal matomo žymeklio būseną pasinaudojant kompiuterinės regos algoritmais. ARToolKit SDK palaiko keletą platformų, o pati biblioteka susideda iš papildytosios realybės modulio, kuriame yra aprašytos žymeklių sekimo taisyklės, kalibravimo, informacijos iš jutiklių surinkimo modulio ir vaizdo apdorojimo modulio [GA15].

Pateikiama keletas ARToolKit SDK funkcijų [GA15]:

1. Galima naudoti bet kokius kvadrato formos žymeklius.
2. Lengvai suprantamas kameros kalibravimo kodas.

3. Sekimas yra pakankamai greitas, jog biblioteką būtų galima naudoti realaus laiko aplikacijose.
4. Suteikia keleto kamerų veikimą vienu metu objektų sekimui.

Sistema buvo sukurta kompiuteriams, o ne išmaniesiems telefonams, todėl ARToolKit papildytos realybės biblioteka turi keletą išplėtimų bei karkasų: „FLARManager“, „FLARToolKit“, „SLARToolKit“, „AndAR“, „NyARToolKit“.

3.5. ARCore SDK

ARCore yra platforma, skirta kurti papildytosios realybės aplikacijas „Android“ operacinei sistemai. Šis įrankis susideda iš trijų pagrindinių komponentų: judesio sekimo, aplinkos suvokimo ir šviesos įvertinimo mechanizmų. Papildytosios realybės aplikacijos, sukurtos naudojant ARCore, geba identifikuoti įvairius taškus, kuriuos, sujungus su iš išmaniojo prietaiso jutiklių gaunamais duomenimis, sistema paverčia savotišku suvokimu apie realų pasaulį. Aplikacijai sėkmingai surinkus šiuos duomenis, ji tampa įgali nustatyti tiek tikslią išmaniojo įrenginio buvimo vietą esamoje aplinkoje, tiek orientaciją trimatėje erdvėje – tai leidžia užtikrinti aukštos kokybės papildytosios realybės patirtį. ARCore SDK yra palaikomas visuose „Android“ operacinės sistemos išmaniuosiuose įrenginiuose ir yra įtrauktas į vieną iš pagrindinių šios operacinės sistemos funkcijų (angl. „built-in“) [Glo18].

3.6. ARKit SDK

ARKit yra karkasas, skirtas kurti mobilias aplikacijas, grindžiamas papildytosios realybės technologija. Šis įrankis apjungia išmaniojo prietaiso judesio sekimą, pažangų kameros vaizdų apdorojimą ir patogų atvaizdavimą siekiant kaip įmanoma labiau supaprastinti papildytosios realybės aplikacijų kūrimą. Šis įrankis 2015-aisiais metais buvo įsigytas įmonės „Apple“ (pirminis įrankio pavadinimas - „Metaio SDK“), todėl ARKit yra skirtas kurti papildytosios realybės aplikacijas išimtinai šios įmonės infrastruktūroje – operacinės sistemos „iOS“ pagrindu veikiančioms įrenginiams „iPhone“ ir „iPad“. Kūrėjo teigimu, ARKit pasižymi pažangiu išmaniojo prietaiso aplinkos suvokimu, regimosios inercinės odometrijos proceso taikymu, gebėjimu įvertinti aplinkos apšvietą ir aukštu vaizdinės informacijos perteikimo optimizacijos lygiu. Nors įrankis sėkmingai funkcionuoja daugelyje išmaniųjų prietaisų, veikiančių „iOS“ operacinės sistemos pagrindu, norint panaudoti visas ARKit siūlomas galimybes – šiam tikslui įgyvendinti rekomenduojama turėti vieną naujausių ir pažangiausių šio tipo įrenginių [Glo18].

3.7. Papildytosios realybės kūrimo įrankių palyginamoji analizė

Rinkoje egzistuoja nemaža papildytos realybės aplikacijų kūrimo įrankių pasiūla, tačiau įrankis prototipo kūrimui privalo atitikti šiuos kriterijus: „Android“ operacinės sistemos palaikymas, efektyvus žymeklių sekimas ir jų tipų gausa, patogi žymeklių valdymo sistema ir gebėjimas užtikrinti kokybišką veikimą net ir esant sudėtingoms sąlygoms. Šiame skyriuje pateikiama aukščiau pristatytų įrankių palyginamoji analizė, atliekama atsižvelgiant į šiuos svarbius aspektus – išskirtas kategorijas – svarbias būsimos muziejinės aplikacijos prototipo kūrimui [GA15] [MDG+18].

Programinės įrangos įrankių palyginimas pagal platformų palaikymą. Iš turimų duomenų galime pastebėti, jog dauguma įrankių palaiko visas pagrindines operacines sistemas („Android“, „Windows“ ir „iOS“), išskyrus „ARCore“ ir „ARKit“, kurie yra pritaikyti darbui tik su mobiliaisiais išmaniaisiais įrenginiais. „ARKit“ taip pat papildomai šiuo aspektu yra apribotas veikti tik „iOS“ operacinės sistemos pagrindu veikiančiuose išmaniuosiuose įrenginiuose (žr. lentelę nr. 1).

1 lentelė. AR kūrimo įrankių palyginimas platformų palaikymo atžvilgiu (2020 m.)

Programinės įrangos kūrimo įrankis		Vuforia	Wikitude	ARToolKit	ARCore	ARKit
Palaikoma platforma	iOS	+	+	+	+	+
	Android	+	+	+	+	—
	Windows	+	+	+	—	—

Programinės įrangos įrankių palyginimas pagal suteikiamus naudojimą žymeklių tipus, objektų sekimą virtualioje erdvėje ir palaikomų technologijų atžvilgiu. Iš turimų duomenų galime lengvai atskirti, kurie įrankiai palaiko objektų sekimą pagal žymeklius (angl. „*marker-based*“), o kurie geba tai atlikti ir be žymeklių (angl. „*marker-less*“). Lentelėje (nr. 2) galima matyti, kuriuos jutiklius, integruotus į išmaniuosius prietaisus, palaiko papildytosios realybės programinės įrangos kūrimo įrankiai be papildomų pastangų (angl. „*built-in*“) (žr. lentelę nr. 2).

2 lentelė. AR kūrimo įrankių palyginimas palaikomų technologijų ir žymeklių tipų atžvilgiu

Programinės įrangos kūrimo įrankis		Vuforia	Wikitude	ARToolKit	ARCore	ARKit
Žymeklių sekimui erdvėje naudojamos technologijos	Žymeklių tipas	Paveikslėliai, tekstiniai taikiniai, fizinės trijų dimensijų geometrinės formos	Paveikslėliai, užšifruoti paveikslėliai (angl. „barcode“)	Kvadratiniai žymekliai, kelių žymeklių sekimas vienu metu	Dviejų dimensijų žymekliai (pvz., paveikslukai)	Dviejų dimensijų žymekliai (pvz., paveikslukai)
	Globali padėties nustatymo sistema (angl. „GPS“)	-	+	-	+	+
	Veido atpažinimas	-	-	-	+	+
	trijų dimensijų objektų atvaizdavimas	+	-	-	-	-
	Inercijos matavimo sistema (angl. „IMU“)	+	+	-	+	+
	Papildoma informacija	Moderni ir gerai išvystyta žymeklių sekimo sistema	Hibridinis žymeklių sekimas	Žymeklių sekimas realiu laiku	-	-

Programinės įrangos įrankių palyginimas pagal žymeklių valdymo galimybes. Iš turimų duomenų galime teigti, jog visi įrankiai palaiko žymeklių atpažinimo technologiją, tačiau galima įžvelgti keletą skirtumų. Pavyzdžiui, „Vuforia“ ir „Wikitude“ turi pilnai išvystytą žymeklių valdymo sistemą, pasiekiamą viešojoje erdvėje, „ARToolKit“ turi internetinį įrankį žymeklių kūrimui, tačiau visą konfigūravimo darbą reikia atlikti patiems. Kiti žemiau pateiktoje lentelėje (nr. 3) apibrėžti įrankiai turi mažiau išvystytas žymeklių valdymo sistemas, reikalaujančias daugiau papildomo dėmesio ir pastangų.

3 lentelė. AR kūrimo įrankių palyginimas pagal žymeklių valdymo galimybes

Programinės įrangos kūrimo įrankis	Vuforia	Wikitude	ARToolKit	ARCore	ARKit
Žymeklių valdymo sprendimai	Interaktyvus debesyse (angl. „cloud“) esanti žymeklių valdymo sistema, žymeklių atpažinimo ir sekimo optimizacija.	Interaktyvus debesyse (angl. „cloud“) esantis žymeklių valdymo įrankis, automatinis žymeklių generavimas.	Interaktyvus debesyse (angl. „cloud“) esantis žymeklių kūrimo įrankis, jau egzistuojanti žymeklių kolekcija, prieinama visiems.	Interaktyvaus žymeklių valdymo įrankio nėra - dviejų dimensijų žymeklius reikia valdyti patiems	Interaktyvaus žymeklių valdymo įrankio nėra - žymeklius reikia valdyti patiems

Programinės įrangos įrankių palyginimas pagal trimačių žymeklių kūrimą ir palaikymą. Šis aspektas yra ypač aktualus muziejų parodoms, nes, atsižvelgiant į faktą, jog ne visada pavyksta išsaugoti kokybiškas muziejinių eksponatų kopijas, svarbu pasirinkti technologiją, įgalinančią skaitmeninę eksponatų rekonstrukciją. Atlikus įrankių analizę šiuo aspektu, pagal turimus duomenis (lentelė nr. 4) galime teigti, jog iš apžvelgtų įrankių į šį aspektą ypatingą dėmesį kreipia „Vuforia“ ir „ARKit“ įrankiai, nes abu turi lengvai prieinamas ir pilnai dokumentuotas aplikacijas, skirtas trijų dimensijų žymeklių kūrimui. „Wikitude“ ir „ARCore“ taip pat suteikia tokio tipo aplikacijas, tačiau jos yra ankstyvose stadijose – jaučiamas sėkmingų jų panaudojamumo rezultatų pavyzdžių trūkumas. Paskutinis įrankis – „ARToolKit“ šiuo aspektu nėra konkurentas, nes nepalaiko trijų dimensijų žymeklių atpažinimo. Žemiau pateikiama palyginimo lentelė (žr. lentelę nr. 4).

4 lentelė. AR kūrimo įrankių palyginimas trijų dimensijų žymeklių palaikymo atžvilgiu

Programinės įrangos kūrimo įrankis	Vuforia	Wikitude	ARToolKit	ARCore	ARKit
Trijų dimensijų žymeklių kūrimas ir palaikymas	Egzistuoja „Vuforia Object Scanner“ aplikacija, skirta kurti pasirinktos formos trijų dimensijų žymeklius su galimybe juos iškart naudoti kuriamoje aplikacijoje	Egzistuoja aplikacija, skirta kurti trijų dimensijų žymeklius, tačiau trūksta naudojimo pavyzdžių	Nėra palaikomi trijų dimensijų žymekliai	Palaikomi trijų dimensijų žymekliai, tačiau jų kūrimas - sudėtingas, nes egzistuojantys įrankiai dar tik ankstyvose stadijose	Palaikomi trijų dimensijų žymekliai, o jų kūrimui yra sukurta speciali lengvai naudojama aplikacija

Programinės įrangos įrankių palyginimas pagal veikimą sudėtingomis sąlygomis. Kiekvieno įrankio dokumentacijoje yra rekomenduojama išlaikyti vienodą šviesos lygį aplinkoje, kurioje yra naudojama papildytosios realybės pagrindu veikianti aplikacija, tačiau keletas iš apžvelgtų įrankių teigia gebantys susidoroti ir su sudėtingomis sąlygomis, pavyzdžiui, žemu apšvietimo lygiu, reguliariai kintančiu šviesos ryškumu ir realistišku šešėlių atvaizdavimu. Geriausiai su šiais iššūkiais susidoroja įrankiai „Wikitude“ ir „Vuforia“, o naudojant kitus tris įrankius – reikia skirti papildomą dėmesį sistemos kūrimo metu atsižvelgiant į galimas sudėtingas aplikacijos veikimo sąlygas ir jų sprendimo būdus. Žemiau pateikiama palyginamoji lentelė (žr. lentelę nr. 5).

5 lentelė. AR kūrimo įrankių palyginimas apšvietimo kokybės atžvilgiu

Programinės įrangos kūrimo įrankis	Vuforia	Wikitude	ARToolKit	ARCore	ARKit
Veikimo prasto apšvietimo sąlygomis ypatumai	Efektyvus objektų sekimas prastomis šviesos sąlygomis ar net kai dalis žymeklio yra uždenyta. Vuforia pasirūpina šviesos efekto valdymu - suteikiama galimybė manipuluoti šešėliais	Pasižymi efektyviu objektų sekimu bei kokybišku šešėlių atvaizdavimu net ir prastomis sąlygomis, įskaitant veikimą žemame šviesos lygyje, gebėjimą izoliuoti triukšmingus fonus ir spindžius paviršius.	Suteikiama galimybė realistiškai atvaizduoti šviesos efektus ir šešėlius, tačiau tai reikalauja papildomų pastangų ir pasiruošimo	Pažangus aplinkos šviesos lygio nustatymo mechanizmas	Pažangus aplinkos šviesos lygio nustatymo mechanizmas

3.8. Lyginamosios įrankių analizės rezultatai

Atlikus išsamią papildytos realybės programinės įrangos įrankių kūrimo analizę, kaip geriausias įrankis aplikacijos prototipui kurti buvo pasirinktas – Vuforia SDK. Žemiau pateikiamos priežastys, kodėl buvo atliktas būtent toks pasirinkimas:

1. Plačios išbandymo galimybės (nemokama licencija) – norint pradėti kurti papildytosios realybės aplikacijas su Vuforia, siūloma nemokama licencija – vartotojui yra suteikiamas ypač didelis funkcijų paketas, leidžiantis pilnai išmėginti įrankio galimybes.
2. Kelių platformų palaikymas, lengvas konfigūracijos pakeitimas – kadangi Vuforia SDK gali būti pilnai integruota į „Unity“ žaidimų variklį, turintiems patirties su šiuo žaidimų varikliu ir norintiems išbandyti papildytosios realybės technologiją – tai tampa dar lengviau įgyvendinama. Šiuo konkrečiu atveju pagrindinis kriterijus yra „Android“ operacinės sistemos palaikymas.
3. Patogiausias naudojimui paketas (angl. „out-of-the-box“) – Vuforia SDK yra puikiai integruota su „Unity“ žaidimų kūrimo varikliu ir vartotojams pasiūlo geriausią paketą tiek funkcionalumo, tiek paprastumo atžvilgiu.
4. Dokumentacijos išsamumas ir informacijos kiekis viešojoje erdvėje – Vuforia SDK yra vienas populiariausių papildytosios realybės programinės įrangos kūrimo įrankių, o tai reiškia, jog informacijos kiekis viešojoje erdvėje yra gan gausus, todėl pradėti kurti – nėra sudėtinga.
5. Vuforia suteikia modernią, gerai išvystytą ir laiko patikrintą žymeklių sekimo sistemą, gebančią sekti tiek dvimačius, tiek trimačius objektus. Šį punktą papildė gerai išvystyta trimačių žymeklių kūrimo ir naudojimo infrastruktūra – suteikiamos visos reikiamos priemonės parodos eksponatų skaitmeninės rekonstrukcijos įgyvendinimui.
6. Vuforia taip pat pasirūpina atvaizduojamų objektų kokybės užtikrinimu – grindžiant naudojamomis įmantriomis technologijomis yra teigiama, jog objektų sekimas ir atvaizdavimas išliks efektyvus net ir prastomis sąlygomis, pavyzdžiui, esant prastam apšvietimui ar net kai dalis sekamo objekto yra uždengta – Vuforia pasirūpina šviesos efekto valdymu bei suteikia galimybę manipuluoti šešėliais, kas yra svarbus aspektas siekiant užtikrinti muziejinės parodos eksponatų atvaizdavimo kokybę.

4. Papildytosios realybės aplikacijos prototipas

Šis skyrius yra skirtas šio darbo vykdymo metu kuriamo aplikacijos prototipo, grindžiamo papildytosios realybės technologija ir pritaikyto Leonardo da Vinčio paveikslui „Mona Liza“ atvaizduoti, funkcionalumo aprašymui.

Sukurta programinė įranga turi nesudėtingą vartotojo sąsają, susidedančią iš keturių sisteminių langų:

1. Pagrindinis meniu.
2. Pagrindinis langas papildytosios realybės funkcionalumui įgyvendinti, pasiekiamas pagrindiniame meniu pasirinkus „Pradėti naudoti“ navigacijos mygtuką.
3. Naudojimo instrukcijos langas, talpinantis informaciją apie šios aplikacijos prototipo pagrindinio lango naudojimą ir pasiekiamas pagrindiniame meniu pasirinkus „Naudojimo instrukcija“ navigacijos mygtuką.
4. Informacijos apie aplikacijos prototipą langas, talpinantis informaciją apie aplikacijos prototipą ir jo autorių bei pasiekiamas pagrindiniame meniu pasirinkus „Prototipo informacija“ navigacijos mygtuką.

Vartotojui suteikiama galimybė sklandžiai naviguoti aplikacijos prototipu užtikrinant gebėjimą grįžti į pagrindinį meniu iš bet kurios sistemos vietos. Pagrindinis langas, skirtas papildytosios realybės funkcionalumui įgyvendinti, geba atlikti šias funkcijas:

1. Atpažįsta specifinį dviejų dimensijų žymeklį (paveiksliuką) ir taisyklingai atvaizduoja ant jo muziejinį eksponatą – Leonardo da Vinčio paveikslą „Mona Liza“.
2. Papildytosios realybės technologijos pagalba aplikacija geba atvaizduoti interaktyvų mygtuką, esantį šalia paveikslo, o jo funkcija – taip pat papildytosios realybės technologijos pagrindu parodyti papildomą informaciją apie ekrane matomą meno kūrinį.
3. Siekiant sugrįžti į pagrindinį aplikacijos meniu, tai yra leidžiama atlikti spustelėjus viršutiniame dešiniajame lango kampe esantį mygtuką „Grįžti į pagrindinį meniu“.

Aplikacijos prototipas, grindžiamas papildytosios realybės technologija ir pritaikytas Leonardo da Vinčio paveikslui „Mona Liza“ atvaizduoti, buvo sukurtas naudojant įrankį „Unity“. Pagrindinis prototipo funkcionalumas, kuris yra grindžiamas papildytosios realybės

technologija, buvo įgyvendintas naudojant įrankį „Vuforia SDK“, o pati aplikacija yra skirta naudojimui „Android“ operacinėje sistemoje. Sukurta programinė įranga susideda iš keturių sklandžiai tarpusavyje veikiančių sisteminių langų, o papildytosios realybės turinys – vienas muziejinis eksponatas paveikslas pavidalu.

5. Aplikacijos prototipo atitikimas kokybės kriterijams

Šiame skyriuje yra kalbama apie sukurto papildytosios realybės aplikacijos prototipo atitikimą papildytos realybės muziejinių aplikacijų rekomendacijoms ir gerosioms praktikoms. Žemiau pateikiama sukurto aplikacijos prototipo pagrindinio meniu ekrano nuotrauka bei papildytosios realybės technologijos pagalba atvaizduojamas eksponatas – Leonardo da Vinčio paveikslas „Mona Liza“ (žr. pav. nr. 1).



1 pav. Sukurtos aplikacijos ekrano nuotraukos (daugiau – žr. priedą nr. 1)

Visos ankstesniame skyriuje aprašytos programinės įrangos funkcijos buvo sėkmingai įgyvendintos ir atitinka sukurto aplikacijos prototipo būseną bei tiksliai nusako suteikiamą funkcionalumą. Siekiant sukurti kokybišką mobilią papildytosios realybės aplikaciją, ji turi ne tik gebėti teikti funkcionalumą, bet jos kūrimo metu taip pat turi būti vadovaujama teisingomis gairėmis bei gerosiomis praktikomis. Remiantis 2017-aisiais metais atliktu tyrimu [SAA17], kurio metu buvo išnagrinėti šeši tokio tipo aplikacijų prototipavimo būdai, buvo nuspręsta šio tyrimo rezultatus – pagrįstai siūlomus papildytosios realybės technologija grindžiamos aplikacijos projektavimo principus ir rekomendacijas – pritaikyti šio darbo vykdymo metu sukurtam prototipui įvertinti. Žemiau pateikiama vienuolika pasiūlytų papildytosios realybės

aplikacijų kūrimo gairių, į kurias reikėtų atsižvelgti kuriant kokybišką šios technologijos pagrindu grindžiamą sistemą, orientuotą į kultūros paveldą (žr. lentelę nr. 6) [SAA17].

6 lentelė. Papildytos realybės aplikacijos kūrimo rekomendacijos [SAA17]

Sritis	Siūlomos gairės
Konteksto naudojimas siekiant perteikti objekto turinį	1. Skatinti vartotojus informacijos apie objektą ieškoti pačius - valdant išmaniojo įrenginio kamerą. 2. Vartotojo sąsaja ir šriftas privalo būti lengvai skaitomi ir perprantami.
Pateikiamos informacijos struktūrizavimas ir tvarkos įvedimas	3. Vaizdiniai skaitmeniniai objektai turi būti lengvai atskiriami nuo šalimais pateikiamo teksto ir fono. 4. Virtuali informacija turi būti pateikiama tvarkingai ir struktūrizuotai. 5. Vaizdiniai skaitmeniniai objektai, talpinantys svarbią informaciją, turi būti lengvai pastebimi 6. Užtikrinti, jog tyrinėjimo erdvė nėra sausakimša ir matoma tik aktuali informacija.
Lengvo mokymosi galimybės suteikimas sistemos naudotojui	7. Pirmojo aplikacijos paleidimo metu parodyti naudojimo instrukciją. 8. Aplikacijoje turi būti pagalbos meniu, kuris būtų pateikiamas struktūrizuota ir lengvai įsimenama forma.
Sąveika su trimačiais objektais	9. Privaloma įsitikinti, jog atvaizduojami virtualūs modeliai sutampa su jų realaus pasaulio atitikmenimis. 10. Mobilią aplikaciją kurti atsižvelgiant į natūralią sąveiką su ja. 11. Aplikaciją kurti atsižvelgiant į technikas, skirtas erdvinei (angl. „3D“) sąveikai su ja.

Žemiau pateikiamas sukurto papildytosios realybės muziejaus aplikacijos prototipo vertinimas atsižvelgiant į tokio tipo aplikacijų kūrimo rekomendacijas, aprašytas lentelėje nr. 6 ir suskirstytas į atskiras dalis pagal konkrečias keturias sritis (iš lentelės nr. 6):

1. Konteksto naudojimu siekiant perteikti objekto turinį atžvilgiu, sukurta aplikacija yra tinkama, nes pateikiamas eksponatas sukurtas atsižvelgiant į vartotojus. Tai reiškia, jog atvaizduojant paveikslą yra atsižvelgiama į jo dydį ir suteikiamos informacijos šriftą – paveikslas pakankamai didelis ir kokybiškai atkuriamas, jog sistemos vartotojas pastebėtų skaitmeninio modelio kokybę, o virtualiai pateikiamas tekstas – papildoma informacija apie meno kūrinių: paveikslo autorius, pavadinamas ir sukūrimo metai – aiškus ir lengvai skaitomas bei pastebimas. Didelis ir kokybiškas paveikslas bei gebėjimas sąveikauti su virtualiu mygtuku (norint pamatyti papildomą informaciją apie kūrinių) taip pat skatina vartotojus objektą tyrinėti nuodugniau valdant išmaniojo įrenginio kamerą.

2. Šiuo metu aplikacijos papildytosios realybės turinį sudaro vienas paveikslas. Turint omenyje, jog sukurtos aplikacijos reikalavimuose aprašyta papildytosios realybės technologijos pagalba atvaizduojamo turinio kiekis nėra ypač didelis, o dabartinė aplikacijoje pateikiama informacija yra perteikiama tvarkingai ir struktūrizuotai – galima teigti, jog šis punktas įgyvendintas sėkmingai. Šios gairės sudėtingumo lygis – tiesiogiai proporcingas aplikacijos turinio kiekiui.
3. Lengvo mokymosi galimybės suteikimas sistemos naudotojui – įgyvendinta dalinai. Aplikacijos pagrindiniame meniu lange yra pateikiama nuoroda (mygtuko „naudojimo instrukcija“ pavidalu), vedanti vartotoją į atskirą sistemos langą, talpinantį tvarkingai pateiktą informaciją, skirtą sėkmingam aplikacijos naudojimui. Šiame sisteminiame lange nuosekliai pateikiami naudojimosi sistema žingsniai, papildyti iliustracijomis. Šios gairės pilnam įgyvendinimui pritrūko aplikacijos funkcionalumo – pirmojo paleidimo metu parodyti naudojimo instrukciją. Sistemos kūrimo metu buvo padaryta prielaida, jog atskiro ir lengvai pasiekiamo lango, skirto aplikacijos naudojimo instrukcijoms talpinti, turėtų pakakti.
4. Sąveikos su trimačiais objektais užtikrinimas – ši rekomendacija aplikacijoje sėkmingai įgyvendinta. Sukurtas prototipas ne tik atvaizduoja muziejinį eksponatą – paveikslą „Mona Liza“, tačiau taip pat šalia šio paveikslo sukuria ir interaktyvų mygtuką, kurio paspaudimas vartotojo išmaniajame įrenginyje nurodo aplikacijai pateikti arba paslėpti papildomos informacijos lentelę apie matomą objektą. Aukštos kokybės paveikslo atvaizdavimas ant pateikto žymeklio užtikrina sėkmingą virtualaus modelio sutapimą su realaus pasaulio atitikmenimi (šiuo atveju, dviejų dimensijų žymeklis), todėl rezultate skaitmeninis paveikslas yra matomas net ir uždengus didžiąją dalį žymeklio ar nutolus nuo jo. Aplikacijos kūrimo metu taip pat buvo atsižvelgiama į technikas, kuriomis vartotojai galės sąveikauti su virtualiais objektais.

Atlikus prototipo kokybės vertinimą, buvo pastebėta, jog sukurta aplikacija didžiąja dalimi visus siūlomus principus ir rekomendacijas – įgyvendina sėkmingai. Gairės nėra įgyvendintos visiškai pilnai, o atliekant šį įvertinimą taip pat buvo rasta keletas vietų, kurias būtų galima patobulinti, pavyzdžiui, pridėti funkcionalumą – pirmojo aplikacijos paleidimo metu parodyti naudojimo instrukciją, arba praplėsti sąveikos su trimačiais objektais galimybes siekiant dar labiau įtraukti vartotoją į papildytosios realybės pagalbą kuriamą funkcionalumą. Šio darbo

vykdymo metu sukurtos papildytosios realybės muziejaus aplikacijos prototipo paskirtis yra labiau demonstracinė, negu pilnai funkcionuojančios muziejinės aplikacijos įgyvendinimas ir išleidimas viešam naudojimui, todėl, vertinant sukurtos programinės įrangos rezultatus, buvo lengvai jaučiamas papildytosios realybės turinio trūkumas. Autoriaus buvo pastebėta, jog, nors sukurtas aplikacijos prototipas atitinka vertinimo gairėse pateikiamas kokybės rekomendacijas, kuriant tokio paties tipo aplikaciją, tačiau turint geresnius išteklius bei didesnę atvaizduojamo turinio kiekį, šis vertinimas būtų gerokai sudėtingesnis – reikėtų atsižvelgti į daugiau specifinių niuansų ir susidurti su daugiau iššūkių, kurių priimti sprendimo būdai išryškėtų atliekant sukurtos aplikacijos kokybės vertinimą.

Rezultatai ir išvados

Vykdamas šio dokumento įvade apibrėžtus temos nagrinėjimo uždavinius buvo atlikta papildytosios realybės informacijos paieška, išanalizuota jos atsiradimo istorija, samprata bei panaudojamumo muziejuose galimybės. Kaip papildytosios realybės muziejinių aplikacijų pavyzdžiai buvo pasirinktos trys aplikacijos: „Skin & bones“, „The speaking celt“ ir „4th wall“. Nagrinėjant papildytosios realybės kūrimo procesą buvo apžvelgti penki papildytosios realybės programinės įrangos kūrimo įrankiai: „Wikitude“, „Vuforia“, „ARToolKit“, „ARCore“ ir „ARKit“. Atlikus šių įrankių palyginamąją analizę kaip labiausiai tinkantis įrankis papildytosios realybės aplikacijai kurti buvo išrinktas „Vuforia“. Įgijus pakankamai informacijos apie nagrinėjamą technologiją ir pasirinkus konkretų jos įgyvendinimo įrankį, buvo sukurtas papildytosios realybės aplikacijos prototipas, pritaikytas muziejinio eksponato – Leonardo da Vinčio paveikslo „Mona Liza“ – atvaizdavimui. Sukurta programinė įranga taip pat buvo įvertinta atsižvelgiant į tokio tipo aplikacijų kūrimo rekomendacijas.

1. Papildytosios realybės technologija yra gan nauja, o jos naudojimas muziejuose rodo didelį potencialą ir gebėjimą didinti suteikiamos kultūrinės vertės kokybę.
2. Šiai dienai papildytosios realybės muziejinių aplikacijų pavyzdžių turime labai nedaug, tačiau kuriant tokio tipo aplikaciją ir turint reikiamus išteklius, ji turi nemažą šansą išgarsinti muziejaus vardą visame pasaulyje tapdama viena žinomiausių aplikacijų, skirtų pagerinti lankytojų patirtį įsisavinant muziejaus teikiamą kultūros paveldą.
3. Egzistuoja didelis papildytosios realybės programinės įrangos kūrimo įrankių pasirinkimas, iš kurių kiekvienas turi savų plusų ir minusų, tačiau kaip geriausias įrankis papildytos realybės aplikacijai kurti buvo pripažintas „Vuforia SDK“, nes palyginamosios analizės metu surinko daugiausiai taškų.
4. Sukūrus aplikacijos prototipą, kuriame papildytosios realybės funkcionalumas yra įgyvendintas pasinaudojant pagrįstai pasirinktais darbo įrankiais, buvo pastebėta, jog pradėti taikyti papildytosios realybės technologiją yra gan paprasta, tačiau gebėjimas ją naudoti profesionaliai reikalauja didelio įdirbio ir gilaus suvokimo.
5. Autoriaus sukurtas aplikacijos prototipas atitinka pasirinktose vertinimo gairėse pateikiamas kokybės rekomendacijas, tačiau buvo pastebėta, jog turint geresnius išteklius bei didesnę atvaizduojamo turinio kiekį, šis vertinimas būtų gerokai sudėtingesnis.

Literatūros sąrašas

- [AGG+15] Clemens Arth, Lukas Gruber, Raphael Grasset, Tobias Langlotz, Alessandro Mulloni, Dieter Schmalstieg, Daniel Wagner. *The History of Mobile Augmented Reality. Developments in Mobile AR over the last almost 50 years*. Technical Report ICG–TR–2015-001 Graz, November 11, 2015, 43psl.
- [BCL16] Silvia Blanco-Pons, Berta Carrión-Ruiz, José Luis Lerma. *REVIEW OF AUGMENTED REALITY AND VIRTUAL REALITY TECHNIQUES IN ROCK ART*. Proceedings of the 8th International Congress on Archaeology, Computer Graphics, Cultural Heritage and Innovation ‘ARQUEOLÓGICA 2.0’ in Valencia (Spain), Sept. 5 – 7, 2016, 8psl.
- [Ber18] Emil Berzén. *Use of augmented reality to increase learning in museums*. Malmö University 2018.
- [Bre16] Philipp Breuss-Schneeweis. “*The Speaking Celt*” – *Augmented Reality Avatars Guide Through a Museum – Case Study*. UBICOMP/ISWC ’16 ADJUNCT, SEPTEMBER 12-16, 2016, HEIDELBERG, GERMANY, 8psl.
- [CFA+10] Julie Carmigniani, Borko Furht, Marco Anisetti, Paolo Ceravolo, Ernesto Damiani, Misa Ivkovic. *Augmented reality technologies, systems and applications*. Springer Science+Business Media, LLC 2010, 37psl.
- [DJ17] M. Claudia tom Dieck, Timothy Hyungsoo Jung. *Value of augmented reality at cultural heritage sites: A stakeholder approach*. Faculty of Business and Law, Manchester Metropolitan University, Righton Building, Cavendish Street, Manchester M15 6BG, England, United Kingdom. Journal of Destination Marketing & Management 6 (2017) 110-117 psl.
- [GA15] Sharvari Govilkar, Dhiraj Amin . *Comparative Study of Augmented Reality Sdk's*. Department of Computer Engineering, University of Mumbai, PIIT, New Panvel, India. International Journal on Computational Sciences & Applications (IJCSA) Vol.5, No.1, February 2015, 17psl.
- [GGC+17] Nehla Ghouaiel, Samir Garbaya, Jean-Marc Cieutat and Jean-Pierre Jessel. Mobile Augmented Reality in Museums: Towards Enhancing Visitor’s Learning Experience. *The International Journal of Virtual Reality*, 2016, 17(01): pp21-pp31.
- [Glo18] Glover, Jesse. (2018). *Unity 2018 augmented reality projects: build four immersive and fun AR applications using ARKit, ARCore, and Vuforia*. Packt Publishing Ltd., 358psl.

- [HGT17] Fabrício Herpich, Renan Luigi Martins Guarese, Liane Margarida Rockenbach Tarouco (2017) *A Comparative Analysis of Augmented Reality Frameworks Aimed at the Development of Educational Applications*. Creative Education, vol. 8, 1433-1451, 20psl.
- [Lam09] Vincentas Lamanauskas. *Augmented Reality and Augmented Virtuality in Early Science (Chemistry) Education*. Volume 5. Gaudeamus Publishing House, University of Hradec Králové, 2009. Pages 78-93. Book size – 146psl.
- [Mar17] Marques, Diana Cristina Valente. "The Visitor Experience Using Augmented Reality on Mobile Devices in Museum Exhibitions." (2017). Doctoral program in digital media, 210psl.
- [MDG+18] Boyan Mladenov, Lorenzo Damiani, Pietro Giribone and Roberto Revetria. *A Short Review of the SDKs and Wearable Devices to be Used for AR Application for Industrial Working Environment*. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2018 Vol. 1. WCECS 2018, Oct 23-25, San Francisco, USA, 6psl.
- [MGB+17] Rytis Maskeliūnas, Daina Gudonienė, Tomas Blažauskas, Andrius Paulauskas. *Smart Education – Advanced Learning Technologies*. ALTA'17, Kaunas University of Technology, 183psl.
- [SAA17] Shukri, Saidatul A'isyah Ahmad, Haslina Arshad, and Rimaniza Zainal Abidin. "The design guidelines of mobile augmented reality for tourism in Malaysia." AIP Conference Proceedings. Vol. 1891. No. 1. AIP Publishing LLC, 2017, 7 psl.

Priedai

1. Priedai autoriaus sukurtos aplikacijos prototipui



1 priedas. Aplikacijos ekrano nuotraukų rinkinys, parodantis sukurto prototipo veikimą