



Универзитет „Св. Климент
Охридски“ – Битола



Факултет за информатички и комуникациски технологии – Битола

Благој Неновски

**ПРИМЕНА НА ПРОШИРЕНАТА РЕАЛНОСТ ЗА
ВРЕМЕНСКО ИСТРАЖУВАЊЕ НА ПРОСТОРОТ**

- АВТОРЕЗИМЕ НА ДОКТОРСКИОТ ТРУД -

Битола, 2020

Членови на Комисијата за оценка и одбрана на докторската дисертација:

1. ред. проф. д-р Игор Неделковски, ментор
Универзитет „Св. Климент Охридски“,
Факултет за информатички и комуникациски технологии – Битола
2. ред. проф. д-р Александар Марковски, претседател
Универзитет „Св. Климент Охридски“,
Факултет за информатички и комуникациски технологии – Битола
3. вонр. проф. д-р Андријана Боцевска, член
Универзитет „Св. Климент Охридски“,
Факултет за информатички и комуникациски технологии – Битола
4. ред. проф. д-р Илија Јолевски, член
Универзитет „Св. Климент Охридски“,
Факултет за информатички и комуникациски технологии – Битола
5. ред. проф. д-р Ѓорѓи Манчески, член
Универзитет „Св. Климент Охридски“,
Економски факултет – Прилеп

Во последно време можеме да се согледа дека големото внимание што беше насочено кон виртуелната реалност се пренасочува кон проширената реалност. Тоа значи сè повеќе нови, но и веќе постојни компании што се фокусираат на хардверски или софтверски решенија во однос на проширената реалност.

Од досегашните решенија, најголем дел беа од научен карактер или ѝ се нудеа на бизнис-заедницата за производство или, пак, на воената индустрија и слично. Развојот на паметните телефони и на компонентите што ги содржат овозможи нови иновативни начини за примена на проширената реалност кај секојдневните корисници.

Постојат повеќе категории во кои може да се примени проширената реалност, како што се: прикажување на дополнителни информации, визуализација на производи, забава, маркетинг, воена примена, медицина, индустриски дизајн, туризам, образование.

Најголемата примена кај крајните корисници може да се најде во игри или во различни филтри и ефекти како дел од апликациите за социјалните мрежи.

Истражувањето во оваа теза ги опфаќа достапните хардверски и софтверски решенија со цел избор на соодветната комбинација за развој на платформа за временско истражување на просторот.

Достапни се неколку апликации од таков карактер што најчесто имаат ограничени податоци за еден или за неколку објекти. Целта е да се изработи платформа која е достапна на што поголем број уреди и нуди можност за додавање различни мултимедиумски искуства и за менаџирање со нив. Тоа подразбира приказ на: текст, слика, видео, звук или 3D-модел од објект, со што би се прикажало како објектот изгледал во различни периоди од минатото или како може да изгледа во иднина.

Платформата опфаќа апликација за мобилен телефон преку која се прикажуваат мултимедиумските содржини и сервер наменет за чување, менаџирање, филтрирање и доставување на содржините до апликацијата за мобилен телефон. Во целиот процес на изработка, фокусот беше поставен на што поголема автоматизација на процесите за да се добие систем што може да се користи без посебни технички предзнаења.

ОБЈАВЕНИ ТРУДОВИ ПОВРЗАНИ СО ИСТРАЖУВАЊЕТО

- [1] Nenovski, B., & Nedelkovski, I. (2018). Defining a feature-rich end-to-end augmented reality platform for spatial exploration. *PROCEEDINGS OF THE 8Th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED INTERNET AND INFORMATION TECHNOLOGIES*. doi: 10.20544/aiit2018.p22
- [2] Nenovski, B., & Nedelkovski, I. (2019). Recognizing and tracking outdoor objects by using APToolKit markers. *International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT) Vol 11, No 6, December 2019*. DOI: 10.5121/ijcsit.2019.11603
- [3] Nenovski, B. (2019). Augmented reality hardware in the form of smart glasses and HMD devices. *TEMEL-ij Vol.3.Iss.2*. pages 6–13. ISSN 2545 – 4390
- [4] Nenovski, B. (2019). The augmented reality pivot from Tango to ARKit and ARCore. *TEMEL-ij Vol.3.Iss.2*. pages 37–45. ISSN 2545 – 4390

СТУДЕНТСКИ ПОСЕТИ

Во период од 07.05.2018 до 11.05.2018 година остварен е студентски престој во Барселона, Шпанија во Universitat Autònoma de Barcelona. За време на посетата е одржан состанок на кој се објаснети сите детали околу агендата за мобилност и е организирана ориентациона тура низ универзитетот. Остварени се состаноци со колегите докторанти со кои се споделени искуства и знаење. Во рамките на посетата се користеа ресурсите со кои располага библиотеката како и другите ресурси на Универзитетот. За време на посетата се работеше на прибирање на академски трудови потребни за докторскиот труд.

ПРЕДМЕТ И ЦЕЛ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

Со воведувањето на уред поставен на главата кој содржи тридимензионален екран што прикажува слика од различна перспектива, во зависност од движењето на корисникот, од Ivan Sutherland, во 1968 година започнува примената на проширената реалност. Проширената реалност има сестрана примена: прикажување на дополнителни информации, визуелизација на производи, забава, маркетинг, воена примена, медицина, индустриски дизајн, туризам, образование. Заради тоа, проширената реалност е постојано предмет на истражување, а примената на проширената реалност за временско истражување на просторот е предмет на истражување и на оваа докторска дисертација. Истражувањето во оваа докторска дисертација ги опфаќа: теоретските основи за проширената реалност, хардверот и софтверот неопходни за примена на проширената реалност, како и изработката на апликација за примена на проширената реалност за временско истражување на просторот.

Според општоприфатената дефиниција од Azuma, системот на проширена реалност ги комбинира реалното и виртуелното, овозможува интерактивност во реално време и овозможува движење во 3D.

Разликите помеѓу проширената реалност и виртуелната реалност, што се дел од мешаната реалност се дефинирани со што на едниот крај е реалната околина, а на другиот крај е виртуелната околина во која целата околина е синтетичка (компјутерски генерирана). Проширената реалност е нешто помеѓу: комбинација од реални и компјутерски генерирани објекти.

Главната разлика помеѓу виртуелната реалност и проширената реалност се состои во тоа што виртуелната реалност е синтетичка околина што е компјутерски генерирана симулација или повторно создавање на реалноста во која го вметнува корисникот. Ефектот го постигнува со стимулација на сетилата за вид и звук, со што корисникот добива чувство дека се наоѓа во симулираната реалност. Од друга страна, проширената реалност има за цел да ја препознае околината и во исто време да поставува нови слоеви од информации и графички објекти врз постојната реалност. Виртуелната и проширената реалност може заедно да функционираат, а тогаш станува збор за мешана реалност (mixed reality).

На почетокот, искуството со проширена реалност подразбираше корисник кој беше сместен на фиксна локација, со уред поставен врз неговата глава (HMD – Head Mounted Display). Со самиот хардверски напредок, следната фаза вклучуваше компјутери што корисниците ги носеа на грб, но повторно во комбинација со HMD- уред. Потребата од компјутер повторно се засноваше на малата моќ на процесирање на преносните уреди достапни во тој период. Потребата од HMD-уред се елиминираше со појавата на преносните компјутери во форма на таблет-компјутер и UMPC (Ultra Mobile Personal Computer).

Рапидниот напредок во развојот на мобилните телефони придонесе корисниците да имаат мобилен телефон што има повисока резолуција од нивниот телевизор, побрз 4G-интернет од нивниот кабелски или DSL-интернет, а поради напредокот во технологијата на камерите во мобилните телефони речиси и да се отфрлени од употреба Point & Shoot дигиталните камери. Затоа е сосема логична актуелната состојба во која проширената реалност најчесто подразбира мобилен телефон чиишто сензори (GPS, камера, акцелерометар, жirosкоп, магнетометар) се користат за препознавање на околината на корисникот. Податоците се испраќаат до сервер кој ги обработува и испраќа објект во форма на: текст, слика, видео, линк, звук или 3D-објект, кој, пак, се прикажува на екранот на мобилниот телефон.

Напредокот на мобилните уреди што поддржуваат проширена реалност овозможи нивно користење за истражување на просторот на местото на настанот. Тоа подразбира добивање текстуални и визуелни (2D и 3D) информации за локацијата на која се наоѓаме или за одреден објект што е предмет на нашето истражување. Тие информации може да бидат за минатото на објектот/локацијата (како изгледал, за што се користел, историски податоци итн.), за сегашноста (што е овој објект, за што се користи, што има внатре итн.) и за иднината (што е предвидено да се гради на локацијата, како ќе изгледа објектот и сл.).

Досега се објавени повеќе истражувања и апликации кои се занимаваат со користење на проширената реалност за прикажување на минатото на одредена локација. Тие овозможуваат прикажување на историски настани и археолошки информации и презентација на културно-историското наследство, што се поврзани со одредена локација. Но мал дел од нив се фокусираат на временскиот аспект.

Во рамките на оваа докторска дисертација, покрај теоретските основи за проширената реалност, се истражува и развива систем кој содржи повеќе временски точки со информации за одреден објект, со што корисникот би можел да го разгледува истиот објект во различни периоди. Ваквата функционалност на системот, покрај можноста за истражување на минатото на објектите, би ни овозможила и преглед на идни решенија за изгледот на објектот, со што системот би бил особено погоден во ситуации кога имаме реконструкција на одредени објекти. Во таков случај, корисниците би можеле да ги истражат минатите форми на објектот, како и идниот изглед пред завршувањето на изградбата.

Главна цел на истражувањето

Главната цел на истражувањето во оваа докторска дисертација е проучување на можностите кои ги нуди денешната достапна комбинација од хардвер и софтвер за широка примена, од аспект на решение за проширена реалност со кое ќе може да се изврши временско истражување на просторот.

Да биде дизајниран и развиен систем со кој може реалната околина да се проширува со додавање: текст, линкови, фотографии, цртежи, видеа, 3D-модели и сл. Системот да ја препознава локацијата на која се наоѓаме или објектот што го гледаме со помош на камерата од мобилен телефон или од друг паметен уред и моменталниот изглед на локацијата или на објектот го прошири со дополнителни текстуални и визуелни податоци поврзани со локацијата/објектот. На пример, историски текстуални и мултимедиумски податоци за различни временски периоди, но и податоци за предвидената иднина – како е предвидено да изгледа локацијата/објектот во иднина (3D-модели или рендери од архитектонски проекти). Вметнувањето на проширените податоци да биде без користење маркери, како што е тековно вообичаено кај ваков тип апликации. За постигнување на оваа цел, развој на апликација за проширена реалност без користење маркери, се истражи лоцирањето со помош на ГПС на паметен телефон во комбинација со неговите сензори. Момент со голема важност е препознавањето на средината кон која е насочена камерата од паметниот телефон, како и правилното позиционирање на објектите од проширената реалност во видното поле на корисникот.

Специфични цели на истражувањето

Специфичните цели на истражувањето на оваа дисертацијата се:

1. Дизајн на систем за проширена реалност.
2. Проучување техники за лоцирање и филтрирање на содржината врз основа на локацијата.
3. Проучување техники и развој на методологија за препознавање на околината без користење маркери.
4. Развој на методологија за визуелизација на виртуелни објекти во видното поле без користење маркери.
5. Развој на техника за интеракција во проширената реалност со менување на димензијата време.

Краен резултат од истражувањето во дисертацијата е развој на целосно функционална мобилна апликација заснована врз принципите наведени во специфичните цели. Апликацијата е од отворен тип и може да се надградува со содржини од нејзините корисници.

За остварување на главната и специфичните цели на истражувањето, најпрво се разгледаа различните начини на примена на проширената реалност, досегашните истражувања, достапните апликации, како и достапните хардверски и софтверски решенија. Со анализата на достапните апликации се заклучува дека се ограничени од аспект на објектите што може да се истражат или од самиот тип содржина што може да се прикаже.

Анализата на достапните хардверски решенија, како што се: Glass, Tango, HoloLens, Meta, ODG и на решенијата достапни во иднина, како: Avegant и MagicLeap, покажува дека секое од овие решенија има свои јаки и слаби страни и технички се разликува едно од друго, од аспект на: самостојноста, потребата од поврзување со компјутер, видното поле, опсегот и слично. Со анализата е заклучено дека ако е решението наменето за што поголем број корисници, најпогодно е да се користи паметен телефон чија достапност ги засенува сите наменски уреди.

На донесената одлука за паметен телефон, направена е анализа на различните софтверски решенија: Vuforia, Kudan, Wikitude, ARToolKit, EasyAR, MAXST, XZIMG, како едни од најпопуларните и најнапредните SDK. Анализата за изборот е направена во зависност од: типот на лиценцатата, поддржаните платформи, поддршката за паметни очила, препознавањето од облакот или од самиот уред, 3D препознавањето, SLAM и поддршката за UNITY. Како најсоодветен за имплементација на платформата се избра ARToolKit.

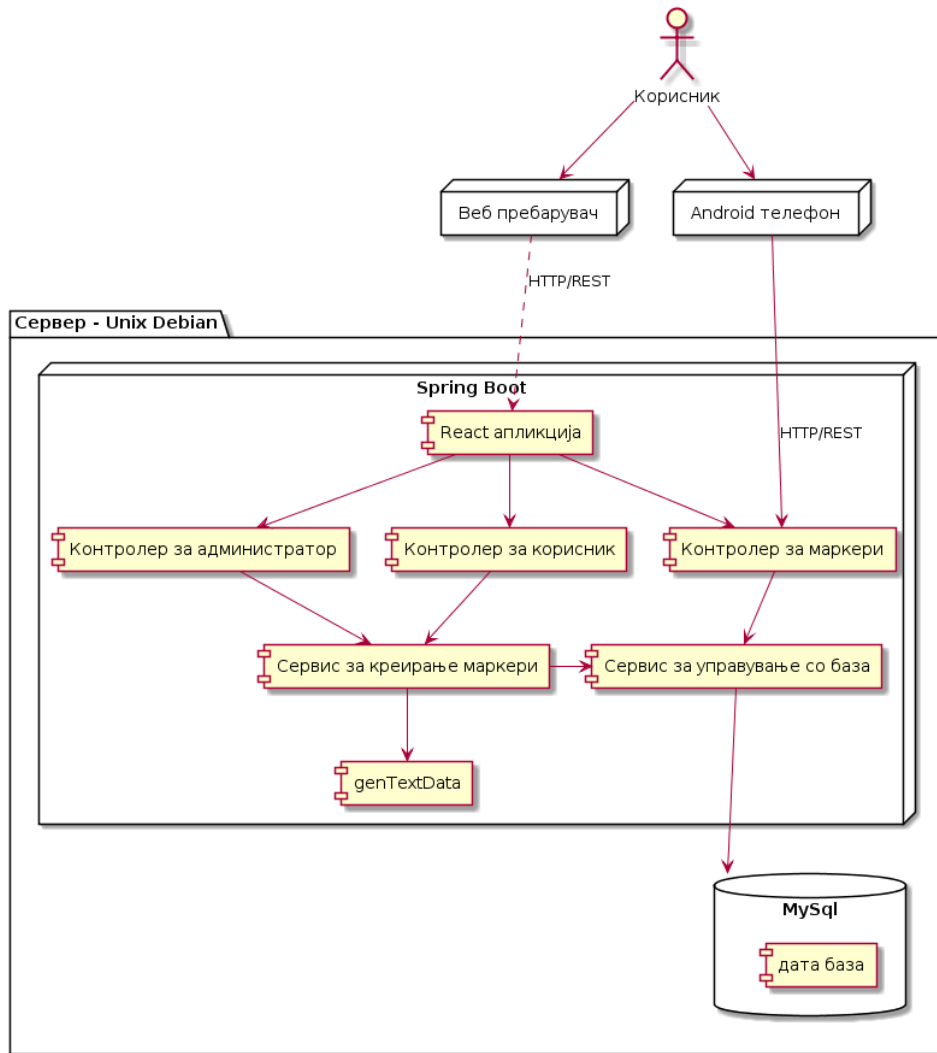
ПЛАТФОРМА ЗА ПРОШИРЕНАТА РЕАЛНОСТ ЗА ВРЕМЕНСКО ИСТРАЖУВАЊЕ НА ПРОСТОРОТ

Со цел потврдување или отфрлање на поставените хипотези, развиена е платформа за проширена реалност наменета за истражување на просторот. Платформата се состои од веб-сервер на кој се креираат, чуваат и доставуваат маркерите и мултимедиумските содржини до Android апликацијата со која временски се истражува просторот.

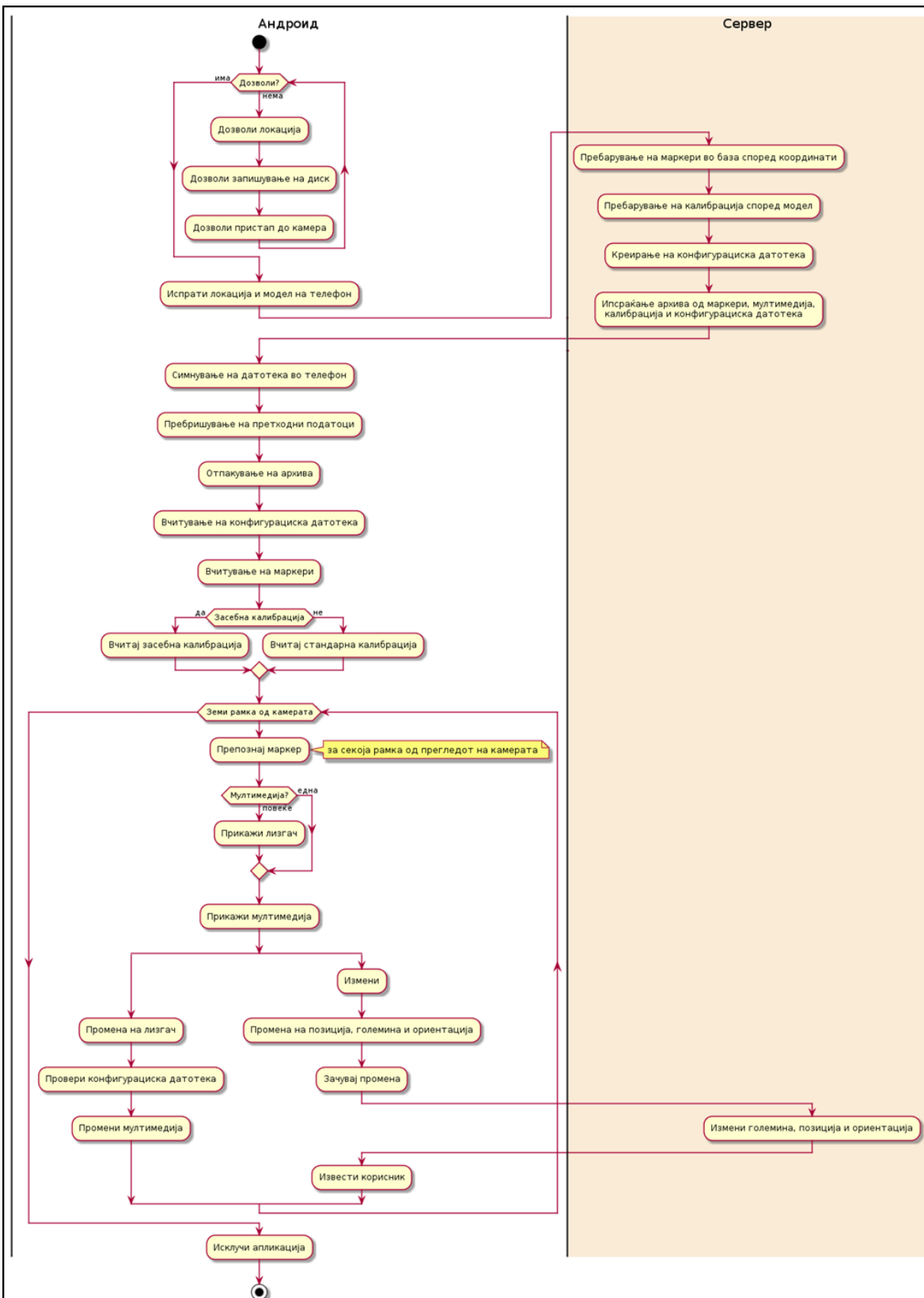
На веб-страницата во зависност од улогата, корисниците можат да додаваат нови маркери, да ги прегледаат сопствените маркери и да ги ажурираат.

Ажурирањето подразбира промена на мултимедиумската содржина, додавање нови мултимедиумски содржини, како и промена на позицијата и ориентацијата соодветни со маркерот што се препознава.

Администраторот има можност за преглед на сите маркери, нивно одобрување, ажурирање и бришење.



Дијаграм на платформата за проширена реалност



Дијаграм на активностите на платформата

ГЛАВНИ ПРИДОБИВКИ

Со спроведеното истражување на теоретските основи на проширената реалност и на хардверските можности и софтверските решенија за проширената реалност, со развојот на систем за примена на проширената реалност за временско истражување на просторот и со изработената апликација се потврди генералната хипотеза:

- Со технологијата на проширената реалност на мобилен телефон на местото на настанот може да се врши временско истражување на просторот и објектите (прикажување на проширени текстуални и визуелни податоци за минатото и иднината).

Се потврдија и специфичните хипотези:

- Врз база на низа параметри можно е прецизно идентификување на локацијата и објектите што се наоѓаат на таа локација со едноставно насочување на камерата на паметните мобилни уреди.
- Во видното поле на локацијата може да се вметнуваат георефернцирани визуелни проширени податоци (слика, видео и 3D-модел) без користење на референтни маркери.
- Може да се дизајнира база со проширени текстуални и визуелни податоци што може да се надградува од корисниците.

Со проучувањето на можностите што ги нуди денешната достапната комбинација од хардвер и софтвер за широка примена, од аспект на решение за проширената реалност со кое ќе може да се изврши временско истражување на просторот, е дизајниран и развиен систем за примена на проширената реалност за временско истражување на просторот и е изработена апликација, а со тоа се остварени главната и специфичните цели на истражувањето, односно се разви целосно функционална мобилна апликација од отворен тип што ќе може да се надградува со содржини од нејзините корисници.

Развиената апликација за проширена реалност може да најде голема примена во многу области, како:

- Туризам, како водич преку кој туристите на своите паметни мобилни уреди ќе можат да добиваат текстуални и мултимедиумски податоци за различни објекти и локации што се предмет на нивниот интерес.
- Образование, со користење на паметни мобилни уреди на местото на настанот, учениците ќе можат да видат податоци за значењето на локацијата или објектот.
- Археологија, со помош на паметни мобилни уреди се врши реконструкција на на археолошки локалитети на местото на настанот.
- Урбанизам и архитектура, прикажување на паметните мобилни уреди на местото на настанот, визуелни податоци за тоа како е планирано да изгледа во иднина одреден простор или објект и др.



Приказ на слика со проширена реалност



Приказ на 3Д објект со проширена реалност

Со извршена валидација се добиени детални насоки за начинот на креирање на маркери и приказ на мултимедиумска содржина, како што следува:

- за креирање на маркерот, потребно е да се извлече фасадата на објектот за негово препознавање и добро следење
- намалувањето на фотографијата од фасадата овозможува подобро препознавање и следење на објектот
- со користење на засебната калибрација за камерата на телефонот, се добиваат значително подобри резултати во однос на употребата на стандардната калибрација
- користењето на дигитален апарат во случај на претходно исполнетиот услов, нема да доведе до побрзо препознавање или подобро следење
- ако околината овозможува целосен преглед на објектот, најдобро е да се користи опсег од фотографија што опфаќа што поголем дел од објектот. Користењето на делови од фасадата придонесува кон по нестабилно следење на маркерот
- без разлика на изборот на својствата за иницијализација, бројот на својства е секогаш ист во верзијана на ARToolKit со која се работеше
- изборот на нивото на својствата за следење нема значајна улога кај претходно намалената фотографија од објектот и користењето на засебната калибрација

- нагонувањето на резолуцијата на камерата е еден од најважните фактори во апликација од ваков тип. Вредностите на резолуцијата со сооднос 4 : 3 се стандардно достапни кај секој од телефоните и овозможуваат најдобри резултати при препознавање и следење на маркерите
- иако најбрзо препознавање се добива со резолуција од 320 x 240 пискели, самиот преглед од камерата не овозможува доволен број детали за квалитетно корисничко искуство
- вкупниот број маркери има големо влијание на брзината на препознавањето, а нема влијание врз следењето
- намалувањето на мултимедиумските содржини овозможува побрз приказ кај намалените фотографии, но не и кај репродукцијата на звукот и видеото
- времето потребно за градење на 3D-објектот е поголемо од времето за приказ на друг тип мултимедиумска содржина, поради што се препорачува негово намалување
- архивирањето на 3D-објектот овозможува значително помала архива во однос на другите типови мултимедиумски содржини, а со тоа и помала потреба од проток на податоци помеѓу апликацијата и серверот.

Структура и содржина на докторската дисертација

Докторската дисертација е структурирана во повеќе глави во кои примената на проширената реалност е обработена во согласност со фазите на истражувањето.

Во првата глава се дава краток преглед на: предметот на истражувањето, целта на истражувањето, хипотезите што се поставуваат во докторската дисертација, методологијата на истражувањето, како и на резултатите и придобивките од истражувањето и од развиената апликација за проширена реалност која ќе овозможи временско истражување на просторот.

Во втората глава се разгледуваат историјата и еволуцијата на проширената реалност, преку анализа на литературата и на досегашните истражувања и развиени апликации, како вовед во проблематиката и во состојбата со дефинирањето и примената на проширената реалност.

Третата глава ги обработува видовите хардвер и нивните можности, а вклучува и компаративна анализа на одделни хардверски уреди со цел избор на хардвер погоден за развој на апликација за примена на проширената реалност за временско истражување на просторот.

Четвртата глава ги обработува видовите софтвер и нивните можности за примена на проширената реалност, а вклучува, исто така, и компаративна анализа на одделни софтверски развојни решенија.

Во петтата глава, врз основа на заклучоците од претходните фази и од анализата на досегашните апликации за временско истражување на просторот, се обработува и предлага систем со кој, преку користење на проширената реалност, како и на широко достапната комбинација од хардвер и софтвер, може да се направи временско истражување на просторот.

Шестата глава ја обработува развиената апликација за проширена реалност во согласност со специфицираните цели и хипотези на истражувањето, а ги опфаќа: примената, демонстрацијата и анализата на можностите на апликацијата на повеќе реални локации (и со користење на реални проширени податоци – текстуални и визуелни).

Во седмата глава е изработена валидација за вчитување на маркери и за нивно препознавање, а даден е и приказ на мултимедиумска содржина.

На крај, се изведуваат заклучоците од истражувањето, како и од развојот и примената на изработениот систем и се даваат насоки за идни истражувања.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] O. Bimber and R. Raskar, *Spatial Augmented Reality*. Wellesley, Mass.: A. K. Peters, 2005.
- [2] S. Aukstakalnis, *Practical Augmented Reality: A Guide to the Technologies, Applications and Human Factors for AR and VR*, 1st ed. Pearson Technology Group Canada, 2016.
- [3] J. Grubert and R. Grasset, *Augmented reality for Android application development*, 1st ed. Birmingham: Pack Publishing, 2013.

- [4] L. Madden, *Professional augmented reality browsers for smartphones*. Chichester, UK: Wiley, 2011.
- [5] T. Mullen, *Prototyping augmented reality*. Hoboken, N.J: Wiley, 2011.
- [6] W. Blackstone and W. Morrison, *Commentaries on the laws of England*. London: Cavendish Pub., 2001.
- [7] A. Craig, *Understanding augmented reality*. Amsterdam: Morgan Kaufmann, 2013.
- [8] W. Blackstone and W. Morrison, *Commentaries on the laws of England*. London: Cavendish Pub., 2001.
- [9] D. Schmalstieg and T. Höllerer, *Augmented reality*. Boston: Addison-Wesley, 2016.
- [10] R. Azuma, "A Survey of Augmented Reality Presence": Teleoperators and Virtual Environments, August 1997, pp. 355–385.
- [11] P. Milgram, H. Colquhoun, "A taxonomy of real and virtual world display integration", In *Mixed Reality: Merging Realand Virtual Worlds*, Tamura YOH (ed.). Springer-Verlag: Berlin, 1999, 5–30.
- [12] S. Guven and S. Feiner, "Interaction Techniques for Exploring Historic Sites through Situated Media", *3D User Interfaces (3DUI'06)*, 2006.
- [13] Y. Cao and J. McDonald, "Improved feature extraction and matching in urban environments based on 3D viewpoint normalization", 2012.
- [14] M. Cavallo, G. Rhodes and A. Forbes, "Riverwalk: Incorporating Historical Photographs in Public Outdoor Augmented Reality Experiences", *2016 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct)*, 2016.
- [15] T. Hollerer, S. Feiner and J. Pavlik, "Situated documentaries: embedding multimedia presentations in the real world", *Digest of Papers. Third International Symposium on Wearable Computers*, 1999.
- [16] G. Sörös, H. Seichter, P. Rautek and E. Gröller, "Augmented visualization with natural feature tracking", *Proceedings of the 10th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia - MUM '11*, 2011.

- [17] A. Butz, T. Hollerer, S. Feiner, B. MacIntyre and C. Beshers, "Enveloping users and computers in a collaborative 3D augmented reality", Proceedings 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR'99), 1999.
- [18] T. Lee and T. Hollerer, "Handy AR: Markerless Inspection of Augmented Reality Objects Using Fingertip Tracking", 2007 11th IEEE International Symposium on Wearable Computers, 2007.
- [19] M. Billinghurst and H. Kato, "Collaborative augmented reality", Communications of the ACM, vol. 45, no. 7, 2002.
- [20] M. Wagner, "Building wide-area applications with the ARToolkit", The First IEEE International Workshop Augmented Reality Toolkit, 2002.
- [21] E. Ch'ng, "Experiential archaeology: Is virtual time travel possible?", Journal of Cultural Heritage Volume 10, Issue 4, Pages 458–470 2009, October–December 2009.
- [22] S. Julier, Y. Baillot, D. Brown and M. Lanzagorta, "Information filtering for mobile augmented reality", IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 22, no. 5, pp. 12-15, 2002.
- [23] C. Arth, C. Pirchheim, J. Ventura, D. Schmalstieg and V. Lepetit, "Instant Outdoor Localization and SLAM Initialization from 2.5D Maps", *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 21, no. 11, pp. 1309–1318, 2015.
- [24] E. Nofal, "Taking Advantages of Augmented Reality Technology in Museum Visiting Experience," Conference: 6th International Congress "Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin", At Athens, Greece, October 2013.
- [25] N. Thalmann, G. Papagiannakis, "Virtual Worlds and Augmented Reality in Cultural Heritage Applications", Virtual Worlds and Augmented Reality in Cultural Heritage Applications, January 2006.
- [26] Y. Nam, "Unified Physical and Digital Experiences: Exploring Art and Digital Media via Augmented Reality Interface", ISEA 2015.
- [27] D. Broschart and P. Zeile, "ARchitecture – Augmented Reality Techniques and Use Cases in Architecture and Urban Planning", Proceedings of 19th International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society. pp. 75–82, 2014.

- [28] C. Kuo, H. Lin, Y. Shen, T. Jeng, "Mobile Augmented Reality For Spatial Information Exploration", CAADRIA , Proceedings of the 9th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia / ISBN 89-7141-648-3], pp. 891–900, Seoul Korea, April 2004.
- [29] R. McCall, R. Wetzel, J. Löschner and A. Braun, "Using presence to evaluate an augmented reality location aware game", Personal and Ubiquitous Computing, vol. 15, no. 1, pp. 25–35, 2010.
- [30] Z. Lv, A. Halawani, S. Feng, S. ur Réhman and H. Li, "Touch-less interactive augmented reality game on vision-based wearable device", Personal and Ubiquitous Computing, vol. 19, no. 3 – 4, pp. 551–567, 2015.
- [31] D. Střelák, F. Škola and F. Liarokapis, "Examining User Experiences in a Mobile Augmented Reality Tourist Guide", Proceedings of the 9th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments - PETRA, Corfu, Greece, 2016.
- [32] I. Herbst, A. Braun, R. McCall and W. Broll, "TimeWarp", Proceedings of the 10th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services - MobileHCI, Amsterdam, Netherlands, pp. 235–244, 2008.
- [33] S. Nilsson, M. Arvola, A. Szczepanski and M. Bång, "Exploring place and direction: Mobile Augmented Reality in the Astrid Lindgren Landscape", Proceedings of the 24th Australian Computer-Human Interaction Conference on - OzCHI '12, 2012.
- [34] L. Feng, S. Li, "Extending Touch-less Interaction on Vision Based Wearable Device", IEEE Virtual Reality Conference, Arles, France, March 2015.
- [35] R. Azuma, "Predictive Tracking for Augmented Reality", Ph.D. dissertation, Dept. Comput. Sci., North Carolina Univ., USA, 1995.
- [36] D. Střelák, "Augmented Reality Tourist Guide", M.S.Thesis, Fac.Informatiky, M Asarykova Univ., Brno, Czech Republic, 2016.
- [37] E. McClean, "An Augmented Reality System for Urban Environments using a Planar Building Facade Model," National Univ., Maynooth, Ireland February 2013.

- [38] A. J. Clarkson, “Keyframe Tagging: Unambiguous Content Delivery for Augmented Reality Environments,” Ph.D.dissertation, Dept. Eng.Comput.Sci., Durham Univ., England, November 2015.
- [39] T.Gjosaeter, “Interaction with mobile augmented reality”, Ph.D.dissertation , Bergen Univ., Norway, 2015.
- [40] A. Mulloni, “A collaborative and location-aware application based on augmented reality for mobile devices”, M.S.Thesis, Udine Univ., Italy, 2006 – 2007.
- [41] P.Kán, “High-Quality Real-Time Global Illumination in Augmented Reality”, Ph.D.dissertation, Dept. Informatics, Vienna Univ., Austria, 2014.
- [42] S. Nilsson, “Augmentation in the Wild: User Centered Development and Evaluation of Augmented Reality Applications”, Ph.D.dissertation, Depart. Comput. Information Sci., Linköping Univ., SE-581 83, Sweden 2010.
- [43] S.Siltanen, “Developing augmented reality solutions through user involvement”, Depart. Comput., Aalto Univ., Finland, May 2015.
- [44] P. Sinclair, “Integrating Hypermedia Techniques with Augmented Reality Environments”, Ph.D.dissertation, Southampton Univ., England, June 2004.
- [45] J. Vallino, “Interactive Augmented Reality”, Ph.D.dissertation, Dept. Comput. Sci., Rochester Univ., New York, USA, 1998.
- [46] O. Akman, “Robust Augmented Reality”, M.S.Thesis, Dept. Elec. Electron. Eng., Middle East Technical Univ., Ankara, Turkey, December 2012.
- [47] N.Slijepcevic, “The Effect of Augmented Reality Treatment on Learning, Cognitive Load and Spatial Visualization Abilities”, Ph. D. dissertation, Coll. Edu., Kentucky Univ., USA, 2013.
- [48] L. Rentzos, “Development Of Virtual And Augmented Reality Environment For Manufacturing”, Ph. D. dissertation, Sch. Eng., Patras Univ., Greece, 2014.
- [49] W. Piekarski, “Interactive 3D Modelling In Outdoor Augmented Reality Worlds”, Ph. D. dissertation, Dept. Inf. Technology, Eng., Environment, South Australia Univ., Australia, February 2004.

[50] J. Kjeldskov, "Human-Computer Interaction Design for Emerging Technologies Virtual Reality, Augmented Reality and Mobile Computer Systems", Ph. D. dissertation, Fac. Eng. Sci., Aalborg Univ., Denmark, 2003.

[51] D. Wagner, "Handheld Augmented Reality", Ph. D. dissertation, Technology Ins. Comput. Graph. Vision, Graz Univ., Austria, October 2007.

[52] E. Veas, "Augmented Reality Interfaces for Mobile Environmental Monitoring", Ph. D. dissertation, Technology Ins. Comput. Graph. Vision, Graz Univ., Austria, April 2012.

[53] N. Thakar, "A Design-Led Investigation of Augmented Reality A Case of AR for Board Games", Sch. of Architecture Design, RMIT Univ. Melbourne, Victoria, Australia, January 2015.