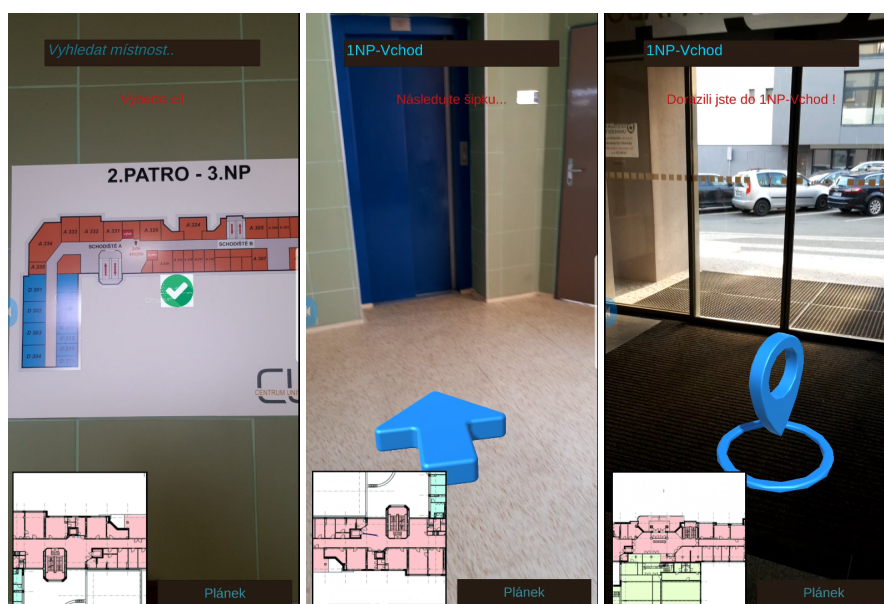


Navigace uvnitř budov v rozšířené realitě

Oliver Rainoch*



Abstrakt

Tato práce se zabývá využitím rozšířené reality pro navigaci v budovách. Cílem je vytvořit mobilní aplikaci s prvky rozšířené reality pro navádění uživatele. K určení polohy jsou využity vizuální markery a technologie SLAM. Výsledná aplikace je implementována s pomocí knihovny ARCore a herního engine Unity. Uživatel naskenuje marker, vybere hledanou místnost a pomocí plánu a šipky v rozšířené realitě je naváděn k cíli. Díky aplikaci je možné se efektivně a snadno dostat k hledané místnosti. Použité principy mohou být využity k navigování i v rozsáhlých areálech škol, společností a skladech.

Klíčová slova: AR — Navigace uvnitř budov — Mobilní aplikace — Android — Rozšířená realita — Unity — ARCore

Příložené materiály: [Demonstrační video](#)

*xraino00@stud.fit.vutbr.cz, Faculty of Information Technology, Brno University of Technology

1. Úvod

Pokud někdo vstoupí do budovy, kterou nezná nebo je složité se v budově orientovat je výhodné mít u sebe aplikaci, která ukáže, jak se nejrychleji dostat k potřebné místnosti. V této aplikaci uživatel vybere hledanou místnost a přímo před ním se ukáže šipka směřující, kam se má uživatel vydat. Uživatel tak nemusí ztrácet čas orientací v mnohdy složitých plánech budovy a může rovnou vyrazit na zvolenou místnost.

Ve venkovních prostorách se k lokalizaci využívá GPS, ale protože v budovách nefunguje nebo se špatnou přesností, je třeba získat pozici uživatele jiným způsobem. Toho lze dosáhnout díky různým technologiím jako jsou Bluetooth beacons, wifi signály, SLAM, UWB nebo rozpoznávání okolí pomocí strojového učení. Pomocí vybrané technologie lze dosáhnout různé přesnosti a vhodnosti pro konkrétní případy užití.

Tato práce navrhuje problém řešit využitím vizuálních markerů a algoritmu SLAM¹ [1, 2], na kterém je postavena knihovna ARCore², která je základem výsledné aplikace. Navržený postup navigace je rozšiřitelný a adaptovatelný na teoreticky jakékoliv vnitřní prostory.

2. Možnosti navigace uvnitř budov

Pro určení pozice se nejčastěji využívá měření síly Wi-fi signálu, zařízení bluetooth beacons, SLAM, rozpoznávání okolí pomocí strojového učení, vizuální markery nebo UWB technologie [3].

Řešení s využitím wifi signálů má malou přesnost v rozmezí 3-12 m [4], což je v malých místnostech nedostačující. Další nevýhodou jsou náklady na wifi zařízení a zároveň v případě výpadku zcela znemožnění funkčnosti.

Bluetooth beacons (Bluetooth majáky) je dalším možným způsobem lokalizace. Přesnost se v mnoha studiích liší, pohybuje se v řádech metrů a je také ovlivněna volbou zařízení [5]. Záporům je potřeba značného množství zařízení a s tím pořizovací náklady na pokrytí většího prostoru. Další nevýhodou je nutnost po čase vyměnit baterie v zařízeních.

UWB (Ultra-wideband) používá bezdrátový signál o vysoké frekvenci, při malém využití energie, ale velké části rádiového spektra pro širokopásmovou komunikaci krátkého dosahu. Informace jsou přenášeny frekvencí větší než 500 MHz. Pomocí této technologie lze lokalizovat venku i uvnitř budov zařízení, která UWB podporují. Přesnost určení polohy je v řádech nižších jednotkách cm [6]. Příklad využití může být navádění k zaparkovanému automobilu se zařízením UWB nebo klíčenky s UWB tagem. Ačkoliv by tato technologie díky svým přednostem mohla nahradit Bluetooth beacons nebo lokalizaci pomocí wifi, tak není v současné době příliš rozšířená. Podpora je u malého množství nejnovějších mobilních telefonů [7]. Zároveň je třeba používat v budově kromě samotného mobilního telefonu i další zařízení podporující UWB. V této práci jsem se rozhodl tuto technologii nevyužít hlavně kvůli malému rozšíření a potřebě dalšího zařízení navíc.

Dalším možným způsobem navigace je pomocí technologie SLAM. Pohyb je zaznamenáván senzory mobilního telefonu, především kamery. Při tomto způsobu je nutné předem reálný prostor osadit vizuálními značkami (marker) a vytvořit jeho virtuální model společně s místy těchto markerů. V takto anotovaném

prostoru se pak zařízení lokalizuje pomocí algoritmu SLAM a detekcí značek upřesňuje polohu například na konkrétní podlaží budovy.

3. Existující řešení

Oproti klasickým venkovním navigacím nejsou aplikace pro vnitřní navigaci tolik časté. Častým řešením je implementace na míru dané budě s unikátními specifikacemi. Na navigování uvnitř budov dlouhodobě pracuje společnost Google se svojí aplikací, která se stejně jako tato práce používá k navigování prvky rozšířené reality [8]. Mezi komerční řešení patří také aplikace od společnosti Oriient, které využívají technologie opírající se pouze o geomagnetismus, díky čemuž nepotřebují žádné další zařízení jako jsou Bluetooth beacons. Aplikace využívá senzory v mobilním telefonu k zaznamenání magnetického pole v budovách, tyto záznamy ukládá na vzdálené úložiště a pomocí porovnávání určuje pozici v budově³.

Lokalizaci uvnitř budov se také zabývá česká společnost Sewio jejíž zakladatelé jsou také absolventi VUT. Sewio pracuje i na vývoji UWB zařízení a spolupracují s mezinárodními společnostmi, které využívají jejich služeb například k navádění personálu nebo navigaci dronů uvnitř hal⁴. Vnitřní lokalizaci se věnuje i firma ARTIN. Zabývají se například projekty pro lokalizaci a sledování nemocničního zařízení v nemocnicích. K lokalizaci používají převážně Bluetooth a UWB⁵.

Aplikace využívající UWB technologii jsou používány nejčastěji v průmyslu, kde je prioritou přesnost a dobrá odezva. Společně s využíváním wifi a bluetooth je implementace nákladnější, už jen kvůli potřebě samotných zařízení rozmístěných po budově⁶. Hlavní výhodou oproti většině komerčních řešení je to, že mnou zvolený přístup navigace nevyžaduje žádné další zařízení než samotný mobil.

4. ARCore pro detekci markerů a tracking zařízení

Ve své práci jsem zvolil kombinaci vizuálních markerů a technologii SLAM jako nejideálnější řešení. Oba tyto přístupy, jak detektor markerů, tak SLAM pro tracking a lokalizaci zařízení v prostoru jsou obsaženy

³<https://www.orient.me/geomagnetic-indoor-positioning-technology/>

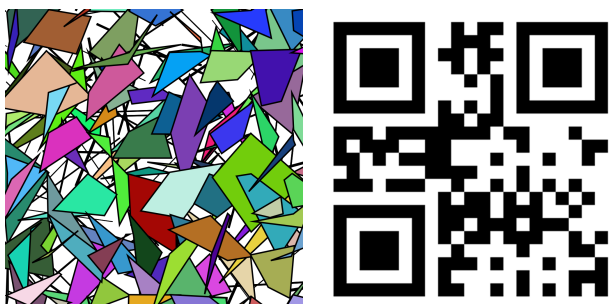
⁴<https://www.sewio.net/people-employee-indoor-location-tracking-and-monitoring>

⁵<https://www.artin.cz/indoor-lokalizace-a-navigace/>

⁶<https://www.infsoft.com/technology/positioning-technologies/ultra-wideband>

¹ Simultánní lokalizace a mapování

² ARCore overview <https://developers.google.com/ar/discover>



Obrázek 1. Porovnání vygenerovaného markeru (vlevo) a QR kódu (vpravo).⁷

v knihovně ARCore, kterou jsem se rozhodl využít. Přesnost se pohybuje v rozmezí několika centimetrů tedy nejlepší z výše popsaných. Oproti Bluetooth beacons mají také výhodu v trojrozměrné navigaci v budovách, tedy nejen v rámci jednoho patra, ale několika. Přesnost se zhoršuje podle vzdálenosti od poslední načtené značky a je ovlivněna i okolním prostředím jako jsou například světelné podmínky a manipulací s mobilem. U komplikovanější trasy, při různém otáčení s mobilem nebo při špatných světelných podmínkách dochází k nepřesnostem v lokalizaci a je potřeba pro zpřesnění znovu naskenovat značku. Když je ovšem cesta přímočará a nedochází ke složité manipulaci s telefonem stačí značku naskenovat až přibližně po padesáti metrech.

Při využití vizuálních markerů se používají jednoduše identifikovatelné obrazce například obrázky s nějakým dobře rozpoznatelným vzorem, QR kód nebo Aruco markery. Uživatel namíří na marker mobilní telefon se zapnutou aplikací, ta za pomoci zpracování obrazu rozpozná, o jaký marker se jedná a podle toho může být určeno, kde se uživatel právě nachází a zároveň ukázáno kam má dále pokračovat.

Originální a dobře rozpoznatelné markery, lze vytvořit v online generátorech, které jsou optimalizovány na co nejlépe rozpoznatelné značky. Při testování aplikace jsem vyzkoušel vygenerované markery a QR kódy, které jsou vidět na obrázku 1. Jako možné markery jsem vyzkoušel také plánky pater znázorněné na obrázku 2. Všechny způsoby pro potřeby aplikace fungují a jsou použitelné. Jelikož jsou plánky pater umístěné v každém schodišti, v blízkosti výtahu, jsou rozdílné, dobře rozpoznatelné a návštěvníci budovy jsou na ně zvyklí, rozhodl jsem se je zvolit jako ideální značky. Zároveň mohou být pro uživatele vizuálně přijatelnější než vygenerované složité markery, ty by se museli do budov dodat a zabíraly by zbytečně další prostor jen pro potřeby navigace.

⁷Generátor markerů <https://www.brosvision.com/ar-marker-generator/> a generátor QR kódů <https://www.the-qr-code-generator.com/>



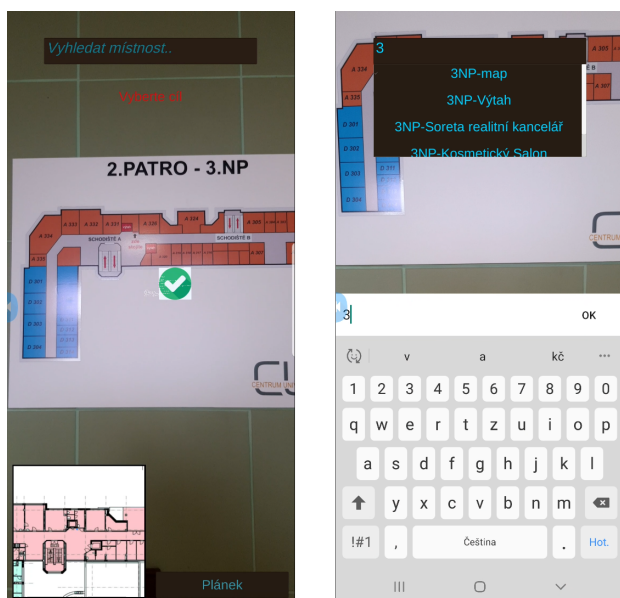
Obrázek 2. Plán podlaží umístěný v budově a použitý jako značka k lokalizování.

Po spuštění aplikace uživatel načte nejbližší marker, jenž určí jeho polohu v prostoru. Naskenování značky je vidět na obrázku 3. Následně zadá pomocí klávesnice do textového pole název hledané místnosti nebo vybere z nabídky našeptávače a aplikace zobrazí do prostoru šipky směrem kam se má vydat. Pokud uživatel hledá místnost, ke které vede přímočařejší cesta i v rámci pater, tak za dobrých světelných a okolních podmínek může vystačit naskenování pouze jedné značky. V případě, že bude cesta příliš vzdálená nebo komplikovaná od poslední načtené značky, může se stát, že se uživatel bude zobrazovat v aplikaci jinde, než kde se skutečně nachází. Pokud tedy cesta přestane být dostatečně přesná, může uživatel načíst nejbližší marker, který znovu zpřesní jeho polohu. Nepřesnosti v navigaci se mohou projevit například pozicí uživatele v plánu neodpovídající skutečnosti. Další nepřesností může být špatný směr navigační šipky nebo zobrazení cíle v jiné pozici, než má být například dříve než před hledanou místností. Naskenováním markeru se poloha uživatele opět zpřesní.

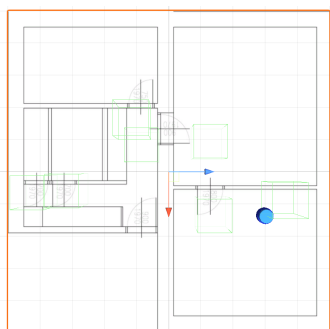
5. Navigační plánec pro tvorbu cesty

Pro vytvoření navigace jsem nejprve vytvořil náčrtek bytu, v kterém aplikace měla navádět mezi místnostmi. Do programu Unity jsem následně vložil vytvořený plánec, který je vidět na obrázku 4. Náčrtek je co nejpodobnější skutečnosti a rozměry 1:1 tedy jeden metr v náčrtu je roven jedné jednotce v Unity. Do tohoto plánu jsou přidány objekty reprezentující místnosti a klíčové prvky tedy markery a uživatel. Plánek je využíván v aplikaci i jako další možnost ukazování cesty.

Cesta k místnostem je vybírána s využitím nástroje Unity NavMesh (navigační síť). Cesta je vybírána v prostoru mezi neprůchozími objekty, v tomto případě

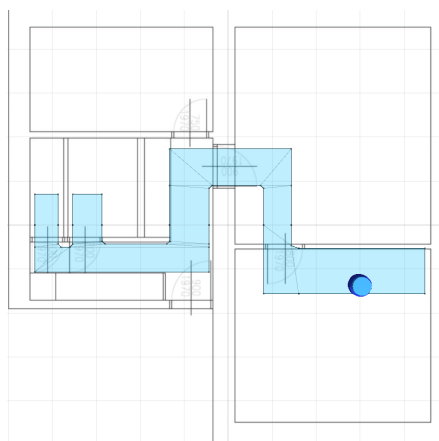


Obrázek 3. Uživatel naskenuje marker, čímž se lokalizuje a následně do textového pole zadává hledanou místnost.



Obrázek 4. Plánek bytu, který se využívá pro vytvoření navigační cesty pomocí NavMesh a navigování. Modrý bod představuje polohu uživatele.

stěnami bytu. Do plánu jsou vloženy objekty, jež jsou neprůchozí a pomocí navigační sítě jsou vytvořeny možné cesty mezi místnostmi. Na obrázku 5 je vygenerovaný hotový NavMesh v nákrese bytu.



Obrázek 5. Plánek bytu 2+1 pokrytý navigační sítí NavMesh, sloužící k plánování cest.

Pro určení počáteční polohy uživatele v prostoru jsou použity markery. K implementaci je využita knihovna Reference Image Library ⁸. Tato knihovna zpracovává obrázky, které mají být rozpoznány. Obrázkem může být například plakát, obrázek na zdi nebo cedulka u kanceláře. Pokud kamera mobilu zaznamená obrázek, který byl vložen a analyzován v této knihovně, je možné ve skriptu definovat, která akce má být provedena. Konkrétně pokud kamera míří na marker se jménem Start, nastaví se souřadnice uživatele na souřadnice objektu startingPoint vložený v nákrese bytu.

Samotný pohyb uživatele je zpracován knihovnou ARCore s využitím technologie SLAM. Při pohybu mobilu se SLAM snaží zpracovat okolní prostředí k určení relativní pozice. Pomocí kamery detekuje vizuálně odlišné prvky v okolí, které se nazývají feature points [9]. Díky těmto bodům probíhá následný výpočet změny polohy. Vizuální informace v kombinaci s dalšími senzory mobilu, umožňují dopočítat relativně přesné pohyby a rotace v prostoru, které mohou být následně převedeny na pohyby po plánu budovy.

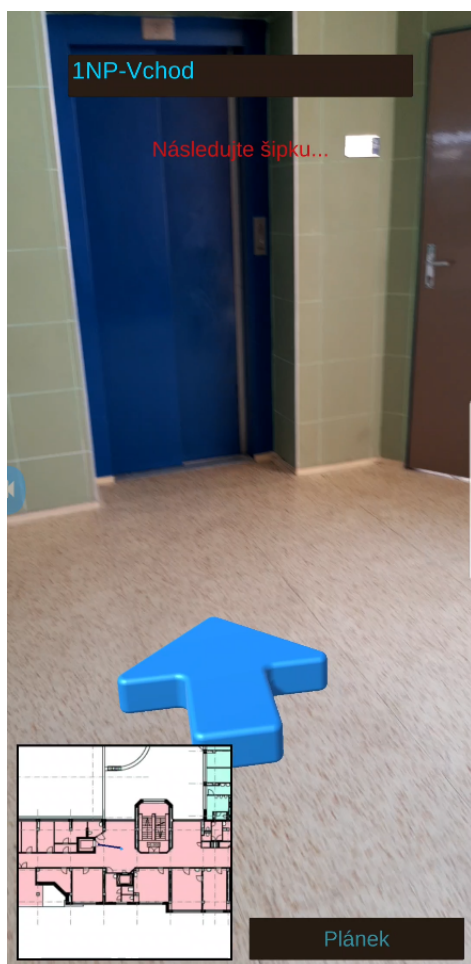
6. Navigování uživatele kombinací plánu a šipek v rozšířené realitě

Klíčovou částí aplikace je využití rozšířené reality [10]. Pro efektivní navádění po budově je výhodné rovnou před sebou vidět kudy jít, než hledat konkrétní místnosti v plánech budovy nebo dokonce náhodně. Uživatel naskenuje nejbližší marker, zobrazí se před ním plán se zvýrazněnou polohou a možnost výběru místnosti kam se chce dostat. Po vybrání cíle se k zefektivnění navigace v rozšířené realitě zobrazí 3D model šipky navigující uživatele k cíli jako je vidět na obrázku 6. Šipka je zobrazena před kamerou mobilu směřující k nejbližšímu uzlu cesty.

Šipka se zobrazí ve stejném místě jako prostorová kotva, aby při pohybu mobilu zůstala na stejném místě. Ve chvíli, kdy se pozice mobilu a šipky protínají, tak šipka zmizí a zobrazí se další o kus dál na cestě. Šipky se nezobrazují všechny najednou podél cesty, protože by se promítaly i ty, které mají být až za zdí nebo jiným neprůchozím objektem.

V momentě, kdy se pozice mobilu nachází v objektu hledané místnosti, který má v Unity rozměry 1 m, zobrazí se krátké oznámení o příchodu k cíli.

⁸Dokumentace k Reference Image Library <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arsubsystems@4.0/manual/image-tracking.html>

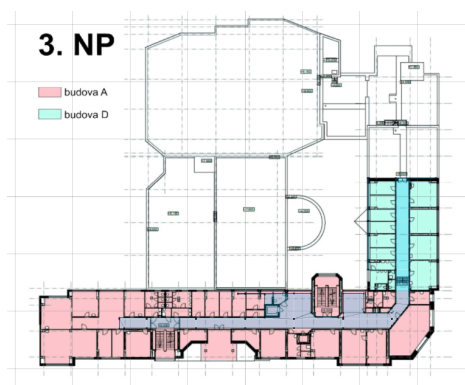


Obrázek 6. Navigační šipka zobrazená v prostoru před uživatelem. Šipka směřuje k výtahu, aby se uživatel dostal do správného patra k hledanému vchodu.

7. Aplikování principů na větší budovu s několika podlažími

Jelikož prakticky stejné principy využity k navigaci po menším bytě lze použít i na větší budovy, byla pro tuto práci vybrána budova Centrum Univerzita Tábor. V této budově se nachází například komerční prostory, velké množství kanceláří různých společností, sklady, učebny atd. Jedná se tak o příklad reálného využití aplikace pro veřejnost. K předělání aplikace z původního bytu na větší budovu bylo potřeba vložit do Unity nákresy poschodí, přidání objektů místností a markerů a vygenerování nového navmeshu, jako je vidět na obrázku 7. Markery potřebné k prvotnímu určení polohy se nachází u vchodu budovy a v každém patře u schodiště.

Uživatel při vstupu do budovy načte marker a do vyhledávače zadá požadovanou místnost. Pokud si zvolí nějakou místnost v jiném patře, než se mo-



Obrázek 7. Plán podlaží Centrum Univerzita Tábor s vyznačeným NavMeshem.⁹

mentálně nachází aplikace ho navede nejprve k výtahu. Může samozřejmě použít i schody. Pokud využije schody nebo pokud vyjde z výtahu v jiném patře, než kam ho aplikace naváděla, může si jednoduše načíst další marker a tím přenastavit aplikaci na správné podlaží. Výtah se nachází v plánech budovy stále na stejném místě a pohybuje se pouze nahoru a dolů. Díky tomu, pokud uživatel hledá místo v jiném patře, lze ho nejprve navést do výtahu a ve chvíli, kdy se v něm nachází, přenastavit jeho pozici na stejné místo v plánu požadovaného poschodí. Lze tak jako cíl zvolit například vchod budovy i ve chvíli, kdy se uživatel nachází ve třetím patře. Aplikace navede k cíli, který je vizualizovaný 3D modelem (viz obrázek 8).

8. Testování mobilní aplikace

Během testování byli účastníci rozděleni do dvou skupin, přičemž jedna skupina měla za úkol nalézt v budově konkrétní místnost s využitím aplikace a druhá skupina bez aplikace, podle svého uvážení. Každému účastníkovi byl změřen čas, jak dlouho požadovanou místnost hledal. Naměřené časy byly porovnány a průměrně byli účastníci využívající aplikaci rychlejší než ostatní, kteří k hledání aplikaci nevyužívali.

U kratších vzdáleností byl průměrný rozdíl několik desítek sekund. Největší rozdíl byl u komplikovanějších tras, kdy účastníci museli nejprve najít kancelář společnosti Soreta a poté najít jinou kancelář ve stejném patře, ale na opačné straně budovy. U komplikovanějších tras byli účastníci s aplikací dokonce průměrně dvakrát rychlejší než bez aplikace. Konkrétně s aplikací trvalo najít obě místnosti průměrně 1 minutu a 7 sekund, zatímco bez aplikace 2 minuty a 22 sekund. Rozdíly v časech obou skupin se zvětšovaly s tím, jak narůstala délka trasy. Kromě testování efektivity navigace byl součástí testování i dotazník uživatelské zkušenosti User Experience Ques-

⁹Plány jsou volně dostupné na <https://www.centrumuniverzita.cz/dlouhodobě-pronajmy/>



Obrázek 8. Cíl cesty je vždy označený 3D modelem bodu.

tionnaire (UEQ)¹⁰. Z výsledků dotazníku vyplývá, že účastníci testování na aplikaci nejvíce vyzdvihovali její inovativnost a praktické využití. Menší obtíže měli s uživatelským rozhraním, který ne všem zcela vyhovovalo. Během testování se také objevily menší problémy v podobě drobných nepřesností, kdy se modely reprezentující cíl cesty zobrazily přibližně o metr jinde, než účastníci očekávali. Všem účastníkům se pomocí aplikace vždy podařilo dostat do hledané místnosti.

9. Rozšíření a plán do budoucna

Místo markerů by mělo být možné používat ke zpřesnění polohy například UWB zařízení. V plánu je zároveň vytvoření aplikace, která by umožňovala například správci budovy, aby mohl vytvářet vlastní cesty pro návštěvníky bez nutnosti použití programu Unity. K tomu mohou posloužit cloud anchors, což jsou prostorové kotvy uložené na vzdáleném úložišti, ke kterým je možné přistupovat z více zařízení [11]. Správce budovy by tak mohl vkládat do prostoru kotvy, které by posloužily jako uzly cest a vytvořit tak trasy po

budově. Návštěvníci s jinými mobily budou moci díky uloženým kotvám rovnou využívat tyto vytvořené cesty.

10. Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout a implementovat mobilní aplikaci pro navigaci uvnitř budov s prvky rozšířené reality. Díky tomu se může uživatel dostat do hledané místnosti snadněji a efektivněji. Důležitou částí práce bylo určení polohy uživatele v prostoru pomocí vizuálních markerů a technologie SLAM. Nedílnou součástí bylo také využití rozšířené reality v podobě šipek zobrazovaných před uživatelem. Na vývoji dále pracuji a snažím se vytvořit další možný způsob vytváření navigace pomocí cloud anchors a možností mít jednu aplikaci pro více budov.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce panu Ing. Danielovi Bambuškově za cenné rady a za čas strávený na konzultacích.

Literatura

- [1] Cesar Cadena, Luca Carlone, Henry Carrillo, Yasir Latif, Davide Scaramuzza, José Neira, Ian Reid, and John J. Leonard. Past, present, and future of simultaneous localization and mapping: Toward the robust-perception age. *IEEE Transactions on Robotics*, 32(6), 2016.
- [2] Anca Morar, Maria Anca Băluțoiu, Alin Moldoveanu, Florica Moldoveanu, Alex Butean, and Victor Asavei. Evaluation of the arcore indoor localization technology. In *2020 19th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research (RoEduNet)*, pages 1–5, 2020.
- [3] WERNER Martin. *Indoor Location-Based Services: Prerequisites and Foundations*. Springer International Publishing AG, 2014. ISBN: 9783319106984.
- [4] Peter Žiška. Navigační systém do budov na mobilním zařízení. Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií, 2017. <https://www.fit.vut.cz/study/thesis/15097/>.
- [5] Feriştah Dalkılıç, Emine Arıkan, Umut Çabuk, and Aslıhan Gürkan. An analysis of the positioning accuracy of ibeacon technology in indoor environments. 10 2017.
- [6] Snezhana Jovanoska. *Localisation and tracking of people using distributed UWB sensors*. PhD

¹⁰<https://www.ueq-online.org/>

thesis, Ilmenau, Aug 2020. Dissertation, Technische Universität Ilmenau, 2020.

- [7] Robert Triggs. Everything you need to know about uwb wireless technology, Feb 2021. <https://www.androidauthority.com/what-is-uwb-1151744/>.
- [8] Dane Glasgow. Redefining what a map can be with new information and ai, Mar 2021. <https://blog.google/products/maps/defining-what-map-can-be-new-information-and-ai/>.
- [9] Google. Fundamental concepts, 2021. https://developers.google.com/ar/discover/concepts#motion_tracking.
- [10] SCHMALSTIEG Dieter and HÖLLERER Tobias. *Augmented Reality: Principles and Practice*. Addison-Wesley, 2016.
- [11] Google. Cloud anchors overview for android, 2021. <https://developers.google.com/ar/develop/java/cloud-anchors/overview-android>.