

# Mobilné zariadenia a ich využitie pri navigácii používateľa v knižnici

Lukáš Račko

rackolukas14@gmail.com

**GPS signál sme si už zvykli využívať pre navigáciu na cestách, avšak v uzavretých priestoroch to nie je možné, alebo je to veľmi nespoľahlivé. Preto sme skúmali iné spôsoby, ktorými by sme dokázali nahradiť GPS signál, ale zároveň dosiahnuť spoľahlivú navigáciu v knižnici. V našom príspevku analyzujeme existujúce metódy pre lokalizovanie a navigáciu používateľa v uzavretých priestoroch pomocou mobilných zariadení. Článok popisuje navigačnú aplikáciu pre mobilné zariadenia, vytvorenú pre knižnicu Ekonomickej Univerzity v Bratislave. Lokalizácia používateľa je založená na metóde WIFI odtlačkov pozostávajúcej z dvoch fáz. V prvej sa vytvorí mapa signálov, obsahujúca intenzity signálov jednotlivých vysielačov, ktoré sme v priestore inštalovali. V druhej – navigačnej fáze sa pomocou euklidovskej vzdialenosti odhadne najpravdepodobnejšia pozícia používateľa. Pre zlepšenie presnosti lokalizácie a na prekonanie nedostatkov Wi-Fi technológie sa využívajú zabudované senzory – kompas a akcelerometer.**

Ľudstvo od nepamäti používalo rôzne prostriedky uľahčujúce orientáciu v priestore. Medzi bežných ľudí sa vo veľkom rozšírili klasické papierové mapy. S postupným vývojom informačných technológií a rozšírením mobilných zariadení s väčším výpočtovým výkonom sa kedysi papierová mapa dostala do vrecka každého majiteľa takéhoto zariadenia.

Dnes je navigácia v priestore založená na GPS. Pomocou signálov z aspoň štyroch satelitov je možné vypočítať polohu používateľa s presnosťou niekoľkých metrov. V otvorenom priestore je teda bez problémov možné navigovať používateľa k zvolenému bodu záujmu, do vzdialenosti postačujúcej nato, aby sa vedel vizuálne zorientovať v priestore a nájsť svoj cieľ.

GPS je však v uzavretých priestoroch nepoužiteľné, pretože signál zo satelitov je tienení, a nie je možné s akceptovateľnou presnosťou lokalizovať používateľa. Potreba zjednodušiť orientáciu ľudí v uzavretých priestoroch podnietila skúmanie alternatívnych možností navigácie tam, kde GPS signál už nie je spoľahlivý. V priestoroch ako sú letiská alebo veľké nákupné centrá postačuje, keď sa poloha používateľa určí s presnosťou aj do desať metrov. Odtiaľ sa používateľ už dokáže vizuálne zorientovať a nájsť konkrétny obchod, alebo terminál, ktorý hľadá. V niektorých prípadoch sa však vyžaduje oveľa väčšia presnosť lokalizácie, napríklad vo veľkých knižkupectvách alebo knižniciach. Presná navigácia umožní používateľovi zorientovať sa v krátkom čase, v ktorom regáli, v ktorej poličke a prípadne aj koľká v poradí je hľadaná kniha.

## Navigácie používateľa v priestore

Využitie bezdrôtových sietí na lokalizovanie používateľa je jedným z najčastejšie používaných spôsobov na lokalizovanie používateľa[1]. Výhodou je využitie existujúcej Wi-Fi infraštruktúry, teda nie je nutné inštalovať drahý špecializovaný hardvér. Na strane používateľa postačuje len mať nainštalovanú aplikáciu navigácie a tá pomocou zabudovaných senzorov dokáže využiť namerané hodnoty na lokalizáciu používateľa v priestore.

Používa sa viacero prístupov, ktoré využívajú signály bezdrôtových sietí Wi-Fi, medzi najvýznamnejšie patria:

- Wi-Fi odtlačky
- Trilaterácia
- Bluetooth
- PDR
- Hybridné prístupy

## Wi-Fi odtlačky

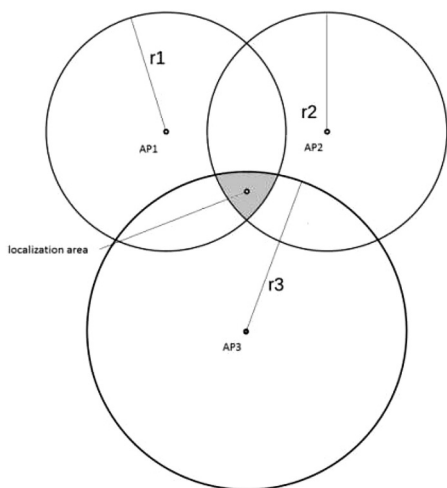
Metóda využívajúca Wi-Fi odtlačky je väčšinou najspoľahlivejšia, preto tvorí základ viacerých systémov, ktoré sa venujú tejto problematike[2]. Základná myšlienka tejto metódy spočíva v tom, že ľubovoľná pozícia v priestore má svoju jedinečnú množinu intenzít signálov[3]. Táto metóda sa teda delí na dve fázy – online a offline fázu. Predpokladá sa, že v priestore je rozmiestnený dostatok vysielačov.

- Offline fáza pozostáva z vytvorenia mapy intenzít signálov. Priestory, pre ktoré sa vytvára navigácia je nutné rozdeliť na množinu lokalizovateľných bodov, ktoré sú rozmiestnené v priestore tak, aby pokryli všetky miesta, kam sa používatelia môžu dostať – chodby, regály, študovňa... Hustota týchto bodov sa určí na základe počtu vysielačov v priestore. Každý lokalizovateľný bod musí mať dostatočné rozdielne intenzity signálov od ostatných, aby ho bolo možné jednoznačne určiť. Na týchto miestach sa namerajú intenzity signálov k jednotlivým vysielačom a vytvorí sa referenčná mapa signálov, ktorá bude tvoriť základ pre určovanie pozície používateľa.
- Online fáza predstavuje už samotnú lokalizáciu používateľa. Navigačná aplikácia neustále získava aktuálne intenzity signálov k jednotlivým vysielačom. Tie sa následne porovnávajú s vytvorenou mapou signálov, a pomocou rôznych algoritmov sa odhaduje najpravdepodobnejšia pozícia používateľa. Medzi najpoužívanejšie algoritmy patrí algoritmus „najbližšieho suseda“, ktorý porovnáva rozdiel intenzít signálov k jednotlivým vy-

sielačom medzi hodnotami nameranými v online fáze a každým bodom v mape signálov. Bod, pre ktorý vyjde najmenšia Euklidovská vzdialenosť sa určí ako pozícia používateľa. [4] Keďže všetky lokalizovateľné body tvoria graf, na nájdenie najkratšej trasy od používateľa k cieľu je možné použiť štandardné grafové algoritmy.

## Trilaterácia

Trilaterácia je druhý často používaný spôsob lokalizácie pomocou Wi-Fi. Ide o jednoducho realizovateľný spôsob, ktorý však býva menej presný. Trilaterácia využíva parametre známych sietí ako silu signálu, frekvenciu, MAC adresu vysielača a presné koordináty vysielačov v mape budovy. Aby bolo možné použiť trilateráciu, je nevyhnutné prijímať v ľubovoľnom mieste signály z aspoň troch vysielačov. Prijatý signál je možné použiť pre odhadnutie vzdialenosti medzi vysielačom a mobilným zariadením. Sila signálu klesá exponenciálne, v závislosti od vzdialenosti mobilného zariadenia a vysielača. [5] Vypočítaná vzdialenosť od vysielača je reprezentovaná, ako kruh s polomerom rovným vzdialenosti. Prienik troch takýchto kruhov nám poskytuje bod alebo priestor, kde sa prijímač nachádza.



Obrázok 1 Lokalizovanie používateľa pomocou trilaterácie [5]

## Bluetooth

Bluetooth je dnes samozrejmovou súčasťou všetkých bežne dostupných mobilných zariadení. Určovanie polohy sa uskutočňuje podobným spôsobom ako pri Wi-Fi. [6] Je možné realizovať odtlačkovú metódu a aj trilateráciu. Na rozdiel od Wi-Fi, bluetooth vysielače nie sú bežne rozmiestnené v budovách a je potrebné ich dodať, najčastejšie prostredníctvom Bluetooth beaconov.

## Pedestrian Dead Reckoning

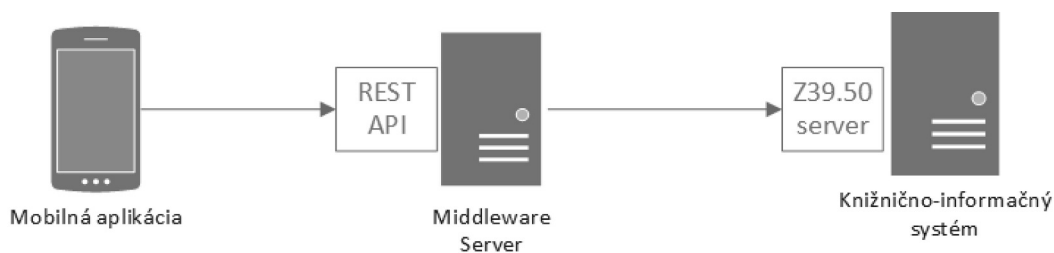
Pedestrian Dead Reckoning, ďalej PDR, je algoritmus slúžiaci na odhadnutie pozície používateľa v čase na základe jeho smerovania a rýchlosti. PDR pri navigácii pomocou mobilných zariadení využíva informácie získané zo zabudovaných senzorov. Väčšina dnešných mobilných zariadení už je vybavená kompasom a akcelerometrom, ktoré umožňujú zistiť užitočné informácie o pohybe. Algoritmus vychádza z faktu, že poznáme poslednú známu pozíciu používateľa, jeho smerovanie a rýchlosť. [7] Na základe toho dokážeme odhadnúť, kde sa bude používateľ nachádzať o danú jednotku času.

## Hybridné prístupy

Každá z používaných metód má svoje výhody aj nevýhody. Vylepšenie presnosti lokalizácie je možné dosiahnuť hybridným prístupom, ktorý kombinuje viacero metód. Často sa kombinuje niektorá z metód založená na Wi-Fi spolu s inými technológiami, ako sú bluetooth, PDR algoritmus. [8] Existuje aj niekoľko „exotickejších“ prístupov založených napríklad na kombinácii Wi-Fi trilaterácie a spracovaní obrazu – skenovanie QR kódov rozmiestnených po budove. [9]

## Naša navigačná aplikácia

V rámci bakalárskeho projektu sme vytvorili navigačnú aplikáciu pre mobilné zariadenia, ktorú sme reálne testovali pre jedno z poschodí knižnice Ekonomickej univerzity v Bratislave. Cieľom nášho projektu bolo umožniť používateľom rýchlo nájsť konkrétnu knihu, ktorá bola fyzicky prítomná v danej knižnici. Na danom poschodí sme rozmiestnili štyri Wi-Fi vysielače, na každú stranu poschodia jeden. Ako je možno vidieť na nasledujúcom obrázku, náš systém pozostával z troch hlavných častí:



Obrázok 2 Architektúra navrhnutého systému

Mobilná aplikácia realizovala samotnú lokalizáciu a navigáciu používateľa. Používateľ mal pred sebou mapu daného poschodia s vyznačenými regálmi. Aplikácia pri každej zmene používateľovej polohy prepočítala najkratšiu trasu k regálu s vyhľadanou knihou a zobrazila ju.

Samotná aplikácia neobsahovala žiadne dáta, ktoré sa týkali danej knižnice. Všetky špecifické údaje (mapa signálov, mapové podklady pre aplikáciu, ďalšie špecifické údaje) boli uložené na tzv. Middleware serveri. Tento server poskytoval grafické rozhranie pre vyhľadávanie kníh v knižnično-informačnom systéme, na ktoré bol používateľ presmerovaný po spustení navigačnej aplikácie. Webové rozhranie umožňovalo vyhľadávať podľa autora, názvu a iných kritérií. Vyhľadávanie bolo realizované protokolom Z39.50, ktorý umožňuje vyhľadávať v knižnično-informačných systémoch rôznych knižníc.

Systém by bolo možné jednoducho rozširovať o nové knižnice. V prípade záujmu ľubovoľnej knižnice by sa vytvoril prístup vo webovom rozhraní, cez ktorý by mohla nahráť a neskôr aktualizovať mapové podklady pre navigáciu v daných priestoroch.

Ak sa vyhľadaná kniha nachádzala v uvedenom priestore našej testovacej knižnice, zobrazila sa pri výsledku možnosť navigovať k nej. Po kliknutí na dané tlačidlo sa otvorila navigačná aplikácia aj s potrebnými parametrami, ktoré sa následne využili na stiahnutie špecifických dát pre danú knižnicu.

Toto generické riešenie umožňuje jednoduchým spôsobom pridávať ďalšie knižnice, prípadne meniť dáta k existujúcim knižniciam a dostať zmeny k používateľom bez nutnosti aktualizovať navigačnú aplikáciu. V prípade záujmu ľubovoľnej knižnice by bolo možné vytvoriť prístup vo webovom rozhraní na správu a manažment mapových podkladov. Prostredníctvom tohto prístupu by bolo možné nahráť a priebežne aktualizovať dáta potrebné pre navigáciu v daných priestoroch. Na základe spúšťacích parametrov, ktoré aplikácia získa pri spustení cez internetový prehliadač je jednoznačne určené, ktoré dáta a z ktorej knižnice patria k vyhľadanému záznamu.

Navigačná aplikácia obsahuje tri lokalizačné režimy, medzi ktorými si používateľ môže ľubovoľne prepínať:

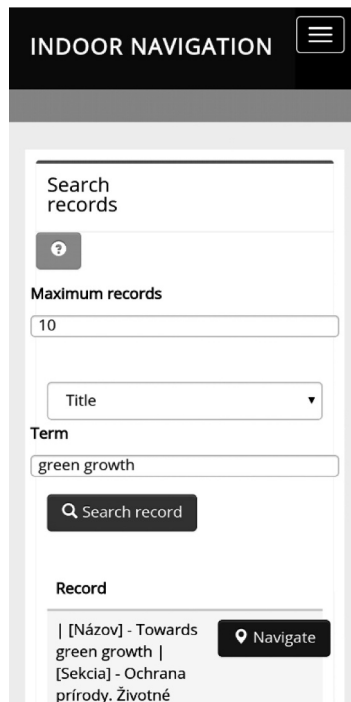
- Wi-Fi odtlačky – jednoduchá metóda, ktorá umožní lokalizovať používateľa kdekoľvek v knižnici. Tento režim sa vždy použije pri prvej lokalizácii.
- Wi-Fi odtlačky s obmedzením prehľadávaného priestoru – vylepšený prvý režim, ktorý vychádza z poslednej známej pozície používateľa. Obmedzuje množinu prehľadávaných bodov len na tie, kam sa používateľ skutočne môže presunúť za časový úsek potrebný na získanie nových intenzít signálov (v závislosti od konkrétneho mobilného zariadenia to môže byť 0,5 – 4 sekundy). Tým sa zabráni nereálnym presunom, kedy sa používateľ za krátky časový úsek podľa aplikácie presunie do inej časti budovy. Nevýhodou tohto prístupu je malá pravdepodobnosť regenerácie z väčšej chyby. Keď sa skutočná poloha používateľa nenachádza v množine prehľadávaných bodov, aplikácia neurčí používateľovu polohu. Napriek tomu tento navigačný režim výrazne obmedzil veľké „skoky“ po mape a prispel k celkovej presnosti lokalizácie.
- Wi-Fi v kombinácii s algoritmom PDR – hybridné riešenie využívajúce dáta získané zo zabudovaných senzorov v mobilnom zariadení na vylepšenie presnosti lokalizácie. Údaje z kompasu sa použijú na lepšie obmedzenie prehľadávaného priestoru, za potenciálne možné pozície používateľa sa považujú len tie, ktoré sa nachádzajú v smere pohybu. Pokiaľ by štandardná metóda Wi-Fi odtlačkov z dôvodu nestálosti signálov určila pozíciu používateľa a niekoľko krokov dozadu, PDR umožňuje odstrániť takéto chyby. Poloha používateľa sa štandardne prepočítava v krátkych pravidelných intervaloch, a môže sa stať, že jednotlivé signály kolíšu a aplikácia odhadne, že používateľ sa presunul na inú pozíciu. Takéto chyby sme odstránili použitím krokomeru, pomocou ktorého sme zistovali, či sa používateľ naozaj pohol. Podľa počtu krokov sme sa pokúšali odhadnúť vzdialenosť, o ktorú sa používateľ presunul, avšak na viacerých mobilných zariadeniach, na ktorých bola aplikácia testovaná sme nedostávali úplne korektné údaje z krokomeru. Preto sme jeho použitie obmedzili len na detekciu, či sa používateľ pohol.

Na nájdenie najkratšej trasy sme používali Dijkstrov algoritmus, ktorý nad množinou všetkých lokalizovateľných bodov spoľahlivo našiel najkratšiu trasu k cieľu.

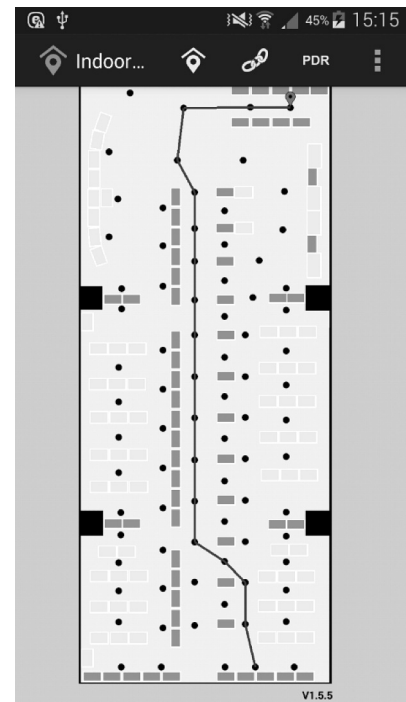
## Dosiahnuté výsledky

Testovanie navigačnej aplikácie sme realizovali v priestoroch spomínanej knižnice. V miestnosti boli rozmiestnené štyri Wi-Fi routery, každý z nich bol umiestnený pri vlastnej obvodovej stene miestnosti. Na testovanie bolo primárne využívané mobilné zariadenie Samsung Galaxy S5 mini.

Testovanie bolo vykonané za bežných prevádzkových podmienok, kedy v knižnici bolo viacero študentov, ktorí využívali pripojenie na bezdrôtovú sieť na svojich notebookoch a smartfónoch. V priestoroch bývalo celkom rušno a takmer neustály pohyb. Po opakovaných meraniach sme zistili, že signály v tejto miestnosti nie sú stabilné a intenzity signálov k známym vysielateľom výrazne kolísali. Tento fakt priamo ovplyvnil všetky lokalizačné režimy v aplikácii, keďže sú založené primárne na Wi-Fi. Vylepšené režimy navigácie však dokázali do istej miery zmierniť negatívny vplyv nestálosti signálov.



Obrázok 3 Vyhľadanie knihy vo webovom prehliadači



Obrázok 4 Navigácia používateľa ku zvolenej knihe

- **Testovanie Wi-Fi lokalizácie – vzhľadom na nekonzistentnosť signálov lokalizácia týmto režimom nedosahovala očakávané výsledky.** Poloha používateľa sa určovala zvyčajne v širšom okolí skutočnej pozície. Hustota rozmiestnenia lokalizovateľných bodov bola príliš veľká a jednotlivé body neboli kvôli nestabilným signálom jednoznačne určené. Lokalizácia bola najpresnejšia v blízkosti Wi-Fi routerov. Body, ktoré sa nachádzajú v bezprostrednej blízkosti, majú výrazne vyššiu intenzitu signálu k najbližšiemu vysielaču, čo umožňuje jednoznačnejšie lokalizovať používateľovu polohu. S narastajúcou vzdialenosťou od vysielačov sa už presnosť lokalizácie postupne znižuje.
- **Testovanie Wi-Fi lokalizácie s obmedzením prehľadávaného priestoru** – tento lokalizačný režim dokázal zmierniť nestálosť signálov a zamedzil nereálnym skokom po mape. Často sa opakovala situácia, že používateľ bol lokalizovaný v bližšom okolí jeho skutočnej pozície. Počas chôdze sa väčšinou určená poloha nachádzala v akceptovateľnej vzdialenosti od skutočnej, avšak občas bola určená natoľko nesprávne, že používateľova skutočná poloha nebola súčasťou množiny prehľadávaných bodov a „zotavenie“ sa z takejto chyby je pri tomto lokalizačnom režime problematické. Tento režim dosahoval lepšie výsledky pri pomalej až priemernej rýchlosti chôdze.
- **Testovanie Wi-Fi lokalizácie s PDR** – využitie kompasu prinieslo viditeľné výsledky vo vylepšení presnosti. Množina susedných bodov sa výrazne znížila, čo minimalizovalo priestor pre veľmi nekorektné určenie polohy. Možné body, kam sa používateľ môže pri využití tohto režimu pohnúť, sú len smerom dopredu, kde aj pri nepresnej lokalizácii pomocou Wi-Fi sa vždy určí pozícia veľmi blízka tej skutočnej. Vo viacerých prípadoch bolo v smere používateľa len zopár bodov, a teda pravdepodobnosť na určenie polohy, diametrálne odlišnej od skutočnosti, bola minimálna.

Nedostatkom tejto metódy boli náhle zmeny orientácie používateľa. Zoznam susedných bodov, ktoré je možné navštíviť, sa počíta v momente, keď sa naskenujú intenzity signálov k jednotlivým Wi-Fi vysielačom. Na niektorých mobilných zariadeniach toto skenovanie trvá aj niekoľko sekúnd. Keď sa za tento čas používateľ presunie o niekoľko bodov a následne sa otočí o 90°, pri najbližších výsledkoch zo skenovania Wi-Fi signálov sa budú za akceptované susedné body považovať tie, ktorý vyhovujú používateľovej aktuálnej orientácii, ale z jeho poslednej známej polohy. To môže spôsobiť, že používateľova skutočná poloha sa nebude vyskytovať v množine akceptovaných susedných bodov. Vzhľadom na fakt, že tento režim uvažuje len o bodoch v smere používateľa, v prípade chyby nie je možná náprava bez toho, aby sa používateľ fyzicky otočil do potrebného smeru. Pri pomalšej chôdzi táto metóda dosiahla výrazné zlepšenie presnosti lokalizácie.

## Zhodnotenie

Vytvorili sme mobilnú aplikáciu, ktorá umožnila používateľom vyhľadať konkrétnu knihu a navigovať ich k nej. Pri pomalšej chôdzi dosahovali vylepšené režimy lokalizácia presnejšie výsledky. Výrazným nedostatkom na niektorých mobilných zariadeniach je čas potrebný na získanie aktuálnych intenzít signálov k jednotlivým vysielačom. V najhoršom prípade sú to zhruba štyri sekundy, a to je čas za ktorý sa používateľ dokáže presunúť o výraznejšiu vzdialenosť, čo znižuje presnosť odhadu jeho pozície. Dobré výsledky dosahovala aplikácia, keď sa používateľ nachádzal v bezprostrednej blízkosti k niektorému z vysielačov. S narastajúcou vzdialenosťou od vysielačov sme zaznamenali veľkú nestabilitu signálov, čo výrazne znížilo presnosť lokalizácie. Vylepšené lokalizačné režimy dokázali zmierniť tieto problémy, avšak keďže všetky režimy boli primárne založené na metóde Wi-Fi odtlačkov, ani jeden z nich nebol úplne spoľahlivý vo všetkých priestoroch knižnice.

Presnosť lokalizácie používateľa je možné zvýšiť rozmiestnením ďalších vysielačov do priestorov knižnice, obzvlášť do priestoru v strede miestnosti, kde bola stabilita signálov najhoršia. Počet potrebných vysielačov pre dosiahnutie presnej lokalizácie závisí od mnohých faktorov. Každá miestnosť môže mať iné vlastnosti, ktoré ovplyvňujú šírenie Wi-Fi signálov. Pred zvolením vhodného prístupu treba dôkladne otestovať dané podmienky a na základe toho určiť, koľko vysielačov treba rozmiestniť a aká metóda sa zvolí na lokalizáciu. Neexistuje univerzálne riešenie, ktoré by fungovalo spoľahlivo vo všetkých podmienkach.

## Použitá literatúra

- [1] CURRAN, K. et al.: An Evaluation of Indoor Location Determination Technologies. In: *Journal of Location Based Services*, vol. 5, 2011, no.1, pp. 61-78.
- [2] MOHD, N. H., SUKHAN, L.: „Indoor human localization with orientation using WiFi fingerprinting“, In *Proceedings of the 8th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (ICUIMC '14) ACM*, Article 109, 6 pages
- [3] PRITT, N.: „Indoor location with Wi-Fi fingerprinting,“ in *Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR): Sensing for Control and Augmentation*, 2013 IEEE, vol., no., pp.1-8, 23-25 Oct. 2013
- [4] NAVARRO, E., PEUKER, B., QUAN, M.: *Wi-Fi Localization Using RSSI Fingerprinting*. Technical Report. California Polytechnic State University, <http://digitalcommons.calpoly.edu/cpesp/17/>
- [5] SHCHEKOTOV, M.: Indoor Localization Method Based on Wi-Fi Trilateration Technique. In *Proceeding of the 16th conference of fruit association*, Oct. 2014, pp 177-179.
- [6] APARICIO, S. et al.: A fusion method based on bluetooth and WLAN technologies for indoor location. In *Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, 2008. MFI 2008. IEEE International Conference, pp.487-491, 20-22 Aug. 2008
- [7] WONHO, K., YOUNGNAM, H.: SmartPDR: Smartphone-Based Pedestrian Dead Reckoning for Indoor Localization. In *Sensors Journal, IEEE*, vol.15, no.5, pp.2906-2916, May 2015.
- [8] KAZUYA, M. et al.: Cross-assistive approach for PDR and Wi-Fi positioning. In *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct Publication*
- [9] HATTORI, K. et al.: Hybrid Indoor Location Estimation System Using Image Processing and WiFi Strength, In *Wireless Networks and Information Systems*, 2009. WNIS '09, pp.406-411, 28-29 Dec. 2009.

Bc. Lukáš Račko

rackolukas14@gmail.com

(Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta informatiky a informačných technológií)