

MOBILE POSITIONING BASED ON GSM AS PART OF INTEGRATED POSITIONING SYSTEM

Peter Brida

Katedra telekomunikácií a multimédií, Elektrotechnická fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Slovensko
peter.brida@fel.uniza.sk

Juraj Machaj

Katedra telekomunikácií a multimédií, Elektrotechnická fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Slovensko
juraj.machaj@fel.uniza.sk

Abstract – *The paper deals with mobile positioning system based on GSM network. This system will be part of integrated positioning system. The main goal of integrated positioning system is to provide ubiquitous location based services. It is crucial requirement of modern positioning system, i.e. ability to localize mobile terminal in indoor and outdoor environment. GSM part seems to be useful for positioning in both environments as backup positioning system. The paper investigates the impact of actual position of localized mobile terminal in the localized area on positioning accuracy. It is important to know the dependency before implementation of positioning system.*

Key words – mobile positioning, GSM, fingerprinting.

Úvod

Implementácia rôznych lokalizačných aplikácií do relatívne obyčajných mobilných telefónov orientuje aplikačný výskum nielen smerom na družicové systémy, ale aj na využívanie komunikačných sietí pre potreby lokalizácie. V súčasnosti sú často využívané lokalizačné systémy založené na bunkových sieťach. Rozvojom a nasadzovaním sietí WiFi sa predpokladá rozmach lokalizačných systémov využívajúcich práve túto platformu. Ich využitie je predovšetkým vo vnútri budov. Dosiahnuteľná lokalizačná presnosť sa liši od použitej technológie. Na druhej strane požadovaná lokalizačná presnosť závisí od typu služby založenej na informácii o polohe LBS (Location Based Service).

Tento článok sa venuje problematike lokalizácie mobilných terminálov prostredníctvom bunkových sietí GSM. Schopnosť lokalizovať mobilný terminál pomocou GSM závisí od vybavenia siete a samotného terminálu. Bez akýchkoľvek zmien je náročné dosiahnuť vysokú lokalizačnú presnosť. Jedno zaujímavé riešenie je prezentované v tomto článku.

Existujú rôzne spôsoby ako lokalizovať mobilnú stanicu. Je zrejmé, že rôzne lokalizačné metódy pracujú s rôznymi vstupnými dátami, na základe ktorých odhadnú polohu lokalizovaného objektu. Tieto vstupné dáta sú do

lokalizačného procesu získané pomocou meraní realizovaných v danom čase, keď dochádza k lokalizácii. Výsledkom jednotlivých meraní ešte nie je poloha mobilnej stanice, ale len údaj, ktorý sa použije na jej odhad prostredníctvom konkrétnej lokalizačnej metódy (algoritmu). Typ a forma dát závisí od použitej lokalizačnej metódy. Najčastejšie lokalizačné metódy používané v bunkových sieťach sú:

- metóda identifikácie bunky: Cell Identification (Cell ID),
- metódy založené na meraní času: Time of Arrival (ToA), Time Difference of Arrival (TDoA),
- metóda využívajúca informácie o úrovni prijímaného signálu: Received Signal Strength (RSS),
- atď. [1 - 6].

Väčšina lokalizačných metód je citlivá na viaccestné šírenie signálu. Práve tieto metódy nie sú vhodné na lokalizáciu v husto urbanizovanom prostredí. Metódy založené na meraní času sú najpresnejšie, ale ich implementácia je finančne nákladná. Na druhej strane Cell ID nepotrebuje vysoké investície spojené s implementáciou, ale jej presnosť je nízka. Z toho dôvodu je potrebné nájsť kompromisné riešenie.

Veľa výskumníkov sa venuje pozornosť lokalizačným metódam, ktoré využívajú informácie úrovni prijímaného signálu [1, 7 – 11]. Tento záujem vyplýva z jednoduchého získania tejto informácie a nie potrebné realizovať finančne náročné prídavné investície v porovnaní s inými metódami. RSS informácie je možné využiť dvoma spôsobmi: trilateráciou alebo metódou založenou na informácii odtlačku signálu, tzv. fingerprinting. Druhý spôsob je výhodnejší v prípade NLoS (Non-Line-of-Sight) prostredia v porovnaní trilateráciou.

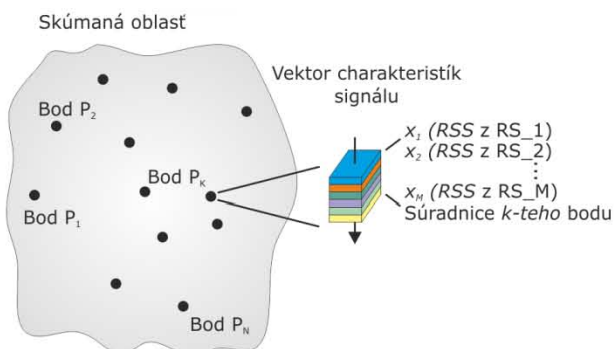
Predkladané riešenie je založené na vyššie uvedenom princípe metódy odtlačku signálu v kombinácii s meraním RSS.

Článok je členený nasledovne. V sekcii II je venovaná pozornosť metóde odtlačku signálu. V tretej sekcii je prezentovaná realizácia lokalizačného systému. V štvrtej sekcii sú analyzované experimentálne výsledky. Sekcia VI tvorí zhodnotenie článku.

METÓDA ODTLAČKU SIGNÁLU - FINGERPRINTING

Metóda je založená na vytvorení rádiovkej mapy územia na ktorom dochádza k lokalizácii [12 - 14]. Rádiovou mapou sa rozumie databáza bodov so známou polohou, pričom každému bodu je priradený vektor určitých parametrov signálov z okolitých referenčných staníc spolu s identifikátormi týchto staníc. Prenesene povedané, každý bod nesie „odtlačok“ parametrov signálov a ten je jedinečný tak, ako je unikátny aj odtlačok prsta ľudskej ruky (v angličtine *fingerprint* = odtlačok prsta).

Pri použití angulácie alebo laterácie sa merajú parametre rádiového signálu ako je úroveň prijímaného signálu, uhol príchodu signálu atď. Tieto parametre sú však ovplyvňované vlastnosťami rádiového kanála ako sú tlmenie, odrazy, viaccestné šírenie, ktoré zhoršujú presnosť napr. pri meraní vzdialenosti. Uvedené vplyvy môžeme eliminovať použitím metódy odtlačku signálu, ktorá je tiež označovaná ako *fingerprinting*, *pattern matching*, *database correlation method*. Tejto metóde neprekážajú vyššie uvedené vplyvy a dokáže ich využiť vo svoj prospech, nakoľko tieto vplyvy sú špecifické pre jednotlivé miesta, napr. tlmenie tienením. Navyše metóda nevyžaduje významné počiatočné investície, pretože využíva existujúcu infraštruktúru a zariadenia. Mapovanie je založené na meraní parametrov rádiových signálov vysielaných z okolitých referenčných staníc. Týmto parametrami bývajú v praxi identifikátor referenčnej stanice, RSS, SNR (Signal-to-Noise Ratio), indikátor kvality [12]. Uvedené parametre rádiové zariadenie sleduje počas bežnej prevádzky a preto nie je zvyčajne potrebné realizovať veľké zmeny v mobilnej stanici za účelom implementácie lokalizácie.



Obr. 1 Metóda odtlačku signálu

Určovanie polohy sa uskutočňuje v dvoch fázach – fáza vytvorenia rádiovkej mapy a lokalizačná fáza. Rádiová mapa predstavuje model vlastností siete na určitom území a je databázou parametrov signálov v danej geografickej oblasti. Příklad takejto mapy je uvedený na **Error! Reference source not found.** Počas fázy vytvorenia rádiovkej mapy je oblasť, v ktorej chceme lokalizovať mobilné uzly, rozdelená na menšie oblasti, pričom každá z týchto malých oblastí je reprezentovaná jedným referenčným bodom – odtlačkom signálu. V týchto bodoch sú zmerané hodnoty parametrov signálu od všetkých referenčných bodov, ktoré sú v dosahu. Výsledky týchto meraní sú uložené v databáze ako odtlačky referenčných bodov v tvare:

$$P_j = (N_j, \mathbf{x}_{ji}, \theta_j) \quad j = 1, 2, \dots, M, \quad (1)$$

kde N_j je označenie j -teho referenčného bodu, M je počet referenčných bodov, $\mathbf{x}_{ji}$ je vektor hodnôt parametrov signálu a parameter θ_j obsahuje ďalšie informácie, ktoré môžu byť použité počas lokalizačnej fázy.

V lokalizačnej fáze je realizovaná lokalizácia MS zisťovaním aktuálneho stavu parametrov signálu a porovnávaním týchto hodnôt s údajmi z databázy. Tento proces je realizovaný prostredníctvom lokalizačného algoritmu. Existuje viacero typov algoritmov používaných v lokalizačnej fáze metódy odtlačkov a to deterministické algoritmy, štatistické algoritmy, algoritmy neurónových sietí, algoritmy metódy podporných vektorov SVM (Support Vector Machine) a algoritmy najmenšieho polygónu M -tého stupňa [15].

Najčastejšie používanými algoritmami sú deterministické algoritmy. Základom týchto algoritmov je predpoklad, že zmerané hodnoty parametrov signálu nie sú náhodné. Odhad polohy x je realizovaný ako kombinácia súradníc referenčných bodov na základe vzťahu:

$$x = \sum_{i=1}^M \omega_i p_i \cdot \left(\sum_{j=1}^M \omega_j \right)^{-1}, \quad (2)$$

kde p_i sú súradnice referenčných bodov rádiovkej mapy, ω_i sú nezáporné váhové koeficienty a M je počet referenčných bodov [14]. Algoritmus využíva na výber referenčných bodov porovnanie medzi odtlačkom signálu nameraného v lokalizačnej fáze a odtlačkami signálov uloženými v databáze rádiovkej mapy. Porovnanie odtlačkov prebieha najčastejšie na základe euklidovskej vzdialenosti porovnávaných vektorov.

V prípade, že algoritmus nastaví k váh na hodnotu $\omega_i = 1$ a zvyšné váhy nastaví na hodnotu $\omega_i = 0$, jedná sa o algoritmus K -najbližších susedov KNN (K-Nearest Neighbours). Ak $k=1$, ide o najjednoduchší možný algoritmus nazývaný najbližší sused NN (Nearest Neighbour). V tomto prípade sú lokalizovanému uzlu priradené súradnice referenčného bodu s najmenšou euklidovskou vzdialenosťou odtlačkov signálu.

Ďalšou modifikáciou je algoritmus využívajúci váhovanie K -najbližších susedov WKNN (Weighted K-Nearest Neighbours). Tento algoritmus nastavuje váhy jednotlivých referenčných bodov na rôzne hodnoty, napríklad ako prevrátenú hodnotu vzdialenosti odtlačkov signálu.

Všeobecne platí, že lokalizácia pomocou algoritmov WKNN a KNN je presnejšia ako lokalizácia s použitím algoritmu NN. Algoritmus NN však môže dosiahnuť rovnakú presnosť ako algoritmy WKNN a KNN v prípade, že body v rádiovkej mape sú rozmiestnené s dostatočnou hustotou.

LOKALIZAČNÝ SYSTÉM ZALOŽENÝ NA BUNKOVEJ SIETI GSM

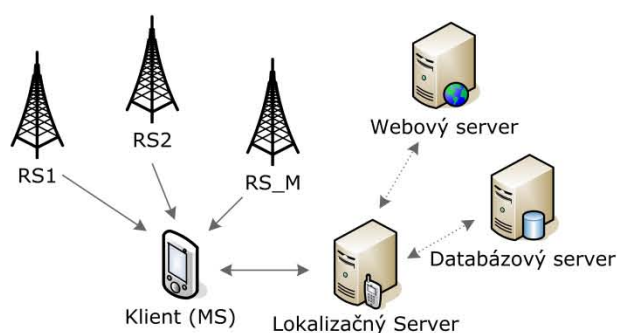
Táto časť pojednáva o lokalizačnom systéme využívajúcom sieť GSM s pracovným názvom GSM meter [16]. Pri návrhu a realizácii tohto systému bol kladený dôraz na:

- otvorenosť systému z pohľadu rozširiteľnosti jeho funkcionalít,
- maximálnu nezávislosť od mobilných operátorov, t.j. aby systém pracoval pasívne v interakcii s mobilným operátorom,
- implementovateľnosť do súčasných mobilných zariadení,
- lokalizačnú presnosť; aby bola dosiahnuteľná lokalizačná presnosť vyššia ako je tomu v prípade komerčných služieb LBS.

Na základe vyššie uvedených predpokladov sme realizovali GSM meter s využitím lokalizačnej metódy odtlačku signálu – *fingerprinting*. Metóda využíva informácie o úrovni prijímaného signálu RSS, pretože tento parameter je dostupný v mobilnom telefóne aj bez aktívnej komunikácie, čo bol jeden z našich cieľov. Implementácia presnejších lokalizačných metód je v prostredí GSM veľmi problematická. Metódy založené na meraní času nie je možné použiť, pretože sieť GSM nepoužíva dostatočne presnú synchronizáciu na presné určovanie polohy, preto sa javí použitie tejto metódy optimálne najmä z pohľadu dosiahnuteľnej presnosti.

Architektúra uvedeného systému je znázornená na nasledujúcom obrázku. Pozostáva zo štyroch základných častí:

- klient (mobilný terminál s modulom GSM),
- databázový server - databáza rádiovkej mapy,
- webová služba - Simple Object Access Protocol (SOAP),
- používateľské rozhranie.



Obr. 2 Architektúra lokalizačného systému GSM meter

Databázový server používa databázu Oracle® Express. Webové služby sú umiestnené na webovom serveri a sú používané na prenos nameraných dát vo fáze vytvorenia rádiovkej mapy a rovnako aj v lokalizačnej fáze.

Lokalizačné výsledky sú zobrazované prostredníctvom webovej stránky, ktorá je generovaná webovým serverom. Webová stránka zobrazuje mapu a odhadovanú polohu. Táto stránka môže byť zobrazená na strane používateľa (mobilný telefón), strane servera alebo tretej strane (samozrejme za definovaných podmienok). Na zobrazovanie máp používame Google Maps™ API. Pre tento produkt sme sa rozhodli z dôvodu ich univerzálneho použitia a voľnej dostupnosti.

GSM meter pracuje na princípe MAP (Mobile Assisted Positioning), t.j. všetky potrebné merania sa realizujú

mobilnou stanicou. Zmerané údaje sú následne poslané prostredníctvom webového servera do databázového servera, ktorý slúži na uchovávanie údajov a na samotný odhad polohy MS. Webový server zabezpečuje komunikáciu MS so sieťovou časťou systému prostredníctvom ľubovoľnej siete IP. Komunikácia môže byť teda realizovaná prostredníctvom ľubovoľnej technológie: GSM, 3G, WiFi atď.

Samotný lokalizačný algoritmus pracuje nasledovne. Predpokladajme odtlačok signálu z rádiovkej mapy vo forme vektora $\mathbf{P}$

$$\mathbf{P} = [x_j] = [x_1, \dots, x_M], \quad (3)$$

kde x_j charakterizuje bod, t.j. hodnoty $RxLev$, M je počet použitých referenčných staníc. Predpokladajme, že rádiová mapa obsahuje N bodov (odtlačkov)

$$\mathbf{P}_i = [x_{ij}] = [x_{i1}, \dots, x_{iM}], \quad i = 1, \dots, N. \quad (4)$$

Jednoznačné identifikátory referenčných staníc sú uložené v databáze, rovnako ako súradnice odtlačkov a tie sú spojené s x_j . Celá rádiová mapa obsahuje všetky odtlačky $\mathbf{P}_i$ a tým vytvára súbor dát $\mathbf{S}$

$$\mathbf{S} = \{\mathbf{P}_i : i = 1 \dots N\}. \quad (5)$$

V lokalizačnej fáze sú zmerané parametre signálu v neznámom bode, tým je získaný nový odtlačok $\mathbf{Q}$

$$\mathbf{Q} = [y_j], \quad j = 1, \dots, M. \quad (6)$$

Euklidova vzdialenosť d_k medzi vektormi $\mathbf{P}_k$ a $\mathbf{Q}$ je definovaná ako

$$d_k = |\mathbf{P}_k - \mathbf{Q}| = \sqrt{\sum_{j=1}^M (x_{kj} - y_j)^2}. \quad (7)$$

Euklidova metrika je aplikovaná na celú rádiovú mapu. Tým získame vektor $\mathbf{D}$, ktorý zodpovedá Euklidovej vzdialenosti medzi neznámym bodom $\mathbf{Q}$ a všetkými bodmi v databáze $\mathbf{P}_i$

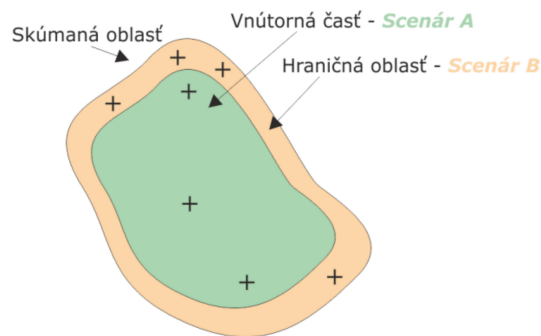
$$\mathbf{D} = [d_i] = [|\mathbf{P}_i - \mathbf{Q}|] = \left[\sqrt{\sum_{j=1}^M (x_{ij} - y_j)^2} \right], \quad i = 1, \dots, N. \quad (8)$$

Prvok vektora $\mathbf{D}$ s minimálnou hodnotou definuje najbližší bod k bodu $\mathbf{Q}$. Jeho súradnice sú načítané z rádiovkej mapy a sú priradené ako výsledný odhad polohy.

EXPERIMENTÁLNE TESTOVANIE VÝKONNOSTI SYSTÉMU

Výkonnosť systému bola testovaná v prostredí, ktoré môže byť charakterizované ako otvorená oblasť, t.j. bez zástavby a pevných prekážok. Počas experimentu boli v okolí pohyblivé reflektory rádiových signálov (chodcia automobily). Vzájomná vzdialenosť bodov rádiovkej mapy bola cca. 2 metre. Maximálny počet použitých referenčných staníc v danom meraní bol sedem, ale jednotlivé referenčné stanice boli rôzne. Experiment bol realizovaný v reálnej sieti GSM v pásme 900 MHz.

Experiment má za cieľ zistiť ako vplyva konkrétne miesto, v ktorom dochádza k lokalizácii mobilnej stanice, z pohľadu celej oblasti na lokalizačnú presnosť. Predpokladáme, že dosahovaná lokalizačná chyba bude iná na okraji skúmanej oblasti a iná v jej strede. Z toho dôvodu sme rozdelili celú oblasť na dve časti: vnútorná oblasť (Scenár A) a hraničná oblasť (Scenár B).



Obr. 3 Ilustrácia rozlišovania miesta v ktorom dochádza k lokalizácii

Bolo realizovaných 300 nezávislých meraní. Mobilný terminál sa pohyboval rýchlosťou 2 až 3 km/h po sledovanej oblasti.

Výkonnosť systému bola hodnotená prostredníctvom štatistických charakteristík. Odchýlku voči reálnej polohe sme vyhodnocovali pomocou pravdepodobnej kruhovej chyby CEP. Dosiahnuté výsledky sa v tomto prípade dajú jednoducho porovnať napríklad s požiadavkami na službu núdzových volaní v USA E-911. Požiadavky na MBP riešenie sú [17]:

- 67 % všetkých lokalizácií musí byť realizovaných s menšou chybou ako 50 m,
- 95 % všetkých lokalizácií musí byť realizovaných s menšou chybou ako 150 m.

Z toho dôvodu sme sa zamerali aj my na uvedené hodnoty pravdepodobnosti 67 % and 95 % (označených CEP67 and CEP95). Dosiahnuté výsledky sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Tab. 1 - Lokalizačná chyba v závislosti od typu scenára

Scenár	Scenár A	Scenár B
Medián [m]	20	39
CEP67 [m]	31	49
CEP95 [m]	57	82

Uvedené výsledky potvrdzujú predpoklad, že okamžitá poloha v rámci celej oblasti pre ktorú je vytvorená rádiová mapa má významný vplyv na lokalizačnú presnosť. Nižšia presnosť, t.j. väčšia chyba bola získaná na hranici sledovanej oblasti. Tento fakt je spôsobený menším počtom susedných bodov v rádiovkej mape okolo špecifického miesta.

Na záver uvedených výsledkov pre systém GSM meter je potrebné poznamenať, že uvedené výsledky sú platné pre uvedenú hustotu bodov v rádiovkej mape. Je zrejme, že hustota

bodov v mape je skutočne vysoká. Samozrejme, vyššia hustota bodov v rádiovkej mape sa prejavuje menšou lokalizačnou chybou. Tento jav nebol skúmaný v uvedených experimentoch.

Testovaný systém bol navrhnutý pre činnosť v sieti GSM. Jeho rozšírenie pre siete 3G nepredstavuje výrazný problém. Rovnako implementácia tohto systému do integrovaného lokalizačného systému zabezpečí lokalizáciu mobilných terminálov pomocou bunkových sietí.

VYHODNOTENIE

V článku je prezentovaný lokalizačný systém využívajúci komunikačnú sieť GSM. Systém lokalizuje mobilný terminál prostredníctvom informácií o úrovni prijímaného signálu a lokalizačnej metódy odtlačku signálu. Výkonnosť lokalizačného systému bola testovaná v reálnej sieti GSM z pohľadu vplyvu umiestnenia lokalizovaného terminálu na lokalizačnej oblasti. Nižšia presnosť bola dosiahnutá na hranici sledovanej oblasti. Z toho vyplýva fakt, že je potrebné vytvoriť rádiovú mapu väčšiu ako je oblasť, na ktorej budú poskytované lokalizačné služby. Prezentovaný lokalizačný systém bude slúžiť ako časť integrovaného lokalizačného systému, ktorého úlohou je poskytovať lokalizačné služby v ľubovoľnom prostredí bez potreby zmeniť terminál alebo aplikáciu. Integrovaný lokalizačný systém pozostáva z viacerých parciálnych lokalizačných systémov, ktoré budú lokalizovať mobilný terminál v špecifickom prostredí.

POĎAKOVANIE

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu: „Brokerské centrum leteckej dopravy pre transfer technológií a znalostí do dopravy a dopravnej infraštruktúry; ITMS 26220220156.“



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/
Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ

REFERENCES

- [1] WANG, X., WANG, Z., O'DEA, B. A TOA-based location algorithm reducing the errors due to non-line-of-sight (NLOS) propagation. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2003, vol. 52, no. 1, p. 112 - 116.
- [2] GARG, V.K., WILKES, J.E. Wireless and personal communications systems, Prentice Hall, 1996.
- [3] OTSASON, V. "Accurate indoor localization using wide GSM fingerprinting". Master's thesis, Tartu, 2005.
- [4] NEMEC, Z., BEZOUSEK, P. "The Time Difference of Arrival Estimation of Wi-Fi Signals", Radioengineering, 12/2008, ISSN 1210-2512.
- [5] DELIGIANNIS, N., KOTSOPOULOS, S. "Mobile Positioning Based on Existing Signalling Messaging in GSM Networks". In Proceedings of 3rd International Mobile

- Multimedia Communications Conference (MSAN). 27-29 August 2007, Greece: Nafpaktos.
- [6] BRIDA, P. - CEPER, P. - DUHA, J. "Mobile Positioning in Next Generation Networks" (Chapter XI). In Kotsopoulos, S. & Ioannou, K. (Ed.), Handbook of Research on Heterogeneous Next Generation Networking: Innovations and Platforms (pp. 223 - 252). New York, Hershey: IGI Global (Information science reference), 10/2008. ISBN 978-1-60566-108-7 (hardcover).
- [7] KURNER, T., MEIER, A. "Prediction of outdoor and outdoor-to-indoor coverage in urban areas at 1.8 GHz", IEEE on selected areas in communications, vol. 20, 2002.
- [8] ANNE, K., R., KYAMAKYA, K., ERBAS, F., TAKENGA, C., CHEDJOU, J. C. "GSM RSSI-based Positioning Using Extended Kalman Filter for Training ANN," presented at VTC, Los Angeles, 2004.
- [9] LAITINEN, H., NORDSTRÖM, T., LÄHTEENMÄKI, J. "Location of GSM Terminals Using a Database of Signal Strength Measurements", in URSI XXV. National Convention on Radio Science, Helsinki, September 2000.
- [10] TAKENGA, C., KYAMAKYA, K., QUAN W. "On the Accuracy Improvement Issues in GSM Location Fingerprinting", Vehicular Technology Conference, 2006. VTC-2006 Fall, pp. 1-5, ISBN: 1-4244-0062-7. Hannover 25-28 Sept. 2006.
- [11] NERGUIZIAN, C., DESPINS, C., AFFES, S. "Indoor Geolocation with Received Signal Strength Fingerprinting Technique and Neural Networks", presented at ICT, Putten, 2004.
- [12] KJÆRGAARD, M.B. „A Taxonomy for Radio Location Fingerprinting”. In Proceedings of the Third International Symposium on Location- and Context-Awareness. Springer, 2007, pp. 139–156.
- [13] ALI-LOYTTY, S., PERALA, T., HONKAVIRTA, V., PICHE, R. „Fingerprint Kalman Filter in Indoor Positioning Applications“. Control Applications, (CCA) & Intelligent Control, (ISIC) 2009 IEEE, pp. 1678–1683, 2009.
- [14] HONKAVIRTA, V., PERÄLÄ, T., ALI-LÖYTTY, S., PICHE, R. „A Comparative Survey of WLAN Location Fingerprinting Methods“. Wireless Positioning, Navigation and Communication 2009, WPNC 2009, pp. 243– 251, ISBN: 978-1-4244-3292-9, 2009.
- [15] HUI, L., DARABI, H., BANARJEE, P., JING, L. „Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems“. Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions Volume: 37 , Issue: 6, pages: 1067–1080, ISSN: 1094-6977, 2007.
- [16] BENIKOVSKY, J. Vytvorenie systému na určovanie polohy v reálnej sieti GSM. Diplomová práca, Žilinská univerzita v Žiline, 2008.
- [17] WTB/Policy "FCC Wireless 911 Requirements", 01/2001.