

# LOKALIZÁCIA V MOBILNÝCH SIEŤACH POMOCOU METÓDY DATABÁZOVEJ KORELÁCIE (DCM)

## LOCATION IN MOBILE NETWORKS USING DATABASE CORRELATION (DCM)

M. Mada<sup>1)</sup>, J. Dúha<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Katedra telekomunikácií a multimédií, Elektrotechnická fakulta ŽU v Žiline  
Veľký diel, 010 26 Žilina, tel.: +421 41 513 2260, mail: [michal.mada@azet.sk](mailto:michal.mada@azet.sk)

<sup>2)</sup>Katedra telekomunikácií a multimédií, Elektrotechnická fakulta ŽU v Žiline  
Veľký diel, 010 26 Žilina, tel.: +421 41 513 2260, mail: [duha@fel.utc.sk](mailto:duha@fel.utc.sk)

**Abstrakt** Článok predstavuje jednu z metód lokalizácie (DCM), ktorá je vhodná pre použitie v hustejšie zastavaných oblastiach, kde iné metódy vykazujú podstatne menšiu presnosť. Princípom tejto metódy je porovnávanie nameraných vzoriek signálu so vzorkami uloženými v databáze. Článok sa ďalej venuje metódam spracovania údajov a ďalším možnostiam spravenia lokalizácie.

**Summary** The article presents one of the methods of location (DCM), which is suitable for using in urban environments, where other methods are less accurate. The principle of this method is in comparison of measured samples of signal with samples stored in database. Next the article deals with methods for processing the data and other possibilities of correction of location.

### 1. ÚVOD

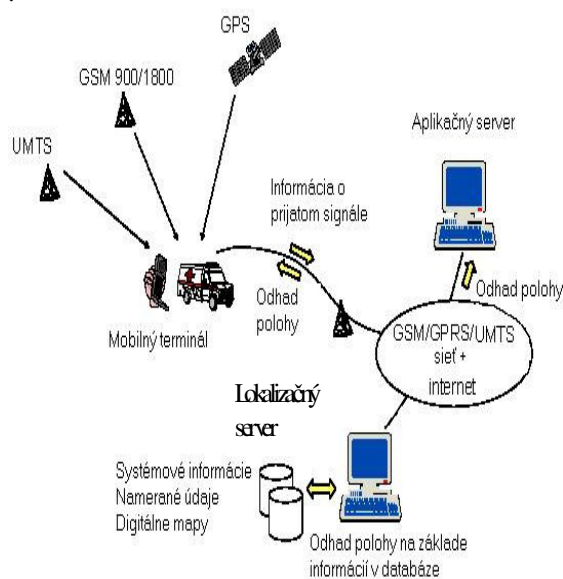
Mobilné siete v dnešnej dobe okrem hlasových služieb ponúkajú aj ďalšie služby vrátane lokalizačných. S väčšou či menšou nepresnosťou umožňujú používateľovi mobilnej stanice alebo operátorovi určiť aktuálnu polohu. V husto zastavaných územiach je však z hľadiska lokalizácie výrazný problém viacestného šírenia a nemožnosť priamej viditeľnosti medzi vysielacou a prijímacou anténou. Štandardné metódy v takýchto podmienkach neumožňujú dostatočne presne určiť polohu mobilnej stanice. Vlastnosti signálu sú v každom mieste jedinečné a tak po ich vložení do databázy je možné späť určiť miesto zmerania signálu. Táto metóda sa nazýva DCM.

### 2. TEÓRIA

Konvenčné metódy založené na triangulácii (napríklad TOA alebo AOA) rátajú s priamou viditeľnosťou medzi BTS a MS. V husto zastavanom území je len zriedkavo možné prijímať signály z troch BTS naraz, čo znižuje dostupnosť a presnosť. Prijímať signály z viacerých BTS je v sieti UMTS tiež problematické ak je mobilná stanica blízko BTS, ktorá ruší signály susedných BTS. V zastavanom území viacestné šírenie a nemožnosť priamej viditeľnosti medzi prijímacou a vysielacou anténou ešte zväčšujú problém, pretože signál šíriaci sa odrazmi medzi budovami má väčšie tlmenie. Vyžaduje sa vyvinutie presnejšej lokalizačnej metódy, použiteľnej v takýchto územiach.

Riešením môže byť metóda DCM. Táto metóda je aplikovateľná na ľubovoľnú mobilnú sieť. Hlavnou myšlienkou je zhromažďovať signály prijímané mobilnou stanicou z celého pokrytého územia v databáze, ktorú používa lokalizačný server.

Databáza obsahuje vzorky signálu zvané "odtlačky" s potrebným rozlíšením, ktoré sa môžu meniť v závislosti od prostredia. Odtlačky môžu pozostávať z úrovne signálu, časového oneskorenia signálu alebo dokonca z impulzovej odozvy kanála. Pre DCM techniku môže byť užitočný akýkoľvek signál meraný v MS. Je možné použiť údaje merané sieťou, ako aj mobilnou stanicou. Odtlačky môžu pozostávať zo signálov meraných v GSM, UMTS, alebo GPS. Ak chceme lokalizovať MS, namerané údaje sú z MS poslané do lokalizačného servera. Lokalizačný server následne určí polohu MS porovnaním nameraných údajov s údajmi v databáze



Obr. 1. Principiálna schéma lokalizácie metódou DCM [1]

Fig. 1. Principle scheme of localization using DCM [1]

Najpracnejšie pri aplikácii DCM je vytvorenie a udržiavanie databázy. Signály pre databázu môžu byť získané meraním alebo pomocou simulačného softvéru. Meranie je pracnejšie, ale výsledky sú presnejšie. Nevýhodou je, že údaje v databáze môžu byť neaktuálne. Ak nastanú čo i len malé zmeny v prostredí šírenia vln (napríklad nová budova), môže to spôsobiť zníženie presnosti. Preto je použitie simulačného softvéru prípadne jeho kombinácia s meraním veľmi výhodné.

### DCM pomocou merania úrovne a TA

Medzi dôležité lokalizačné parametre patria kód oblasti - LAC, identifikačné číslo bunky - Cell ID, časového predstihu TA a úroveň prijímaného signálu. Pri volaní sú tieto parametre známe v mobilnej stanici aj v sieti (údaje o úrovni signálu zo susedných buniek sú vysielané z MS do siete). MS meria úroveň signálu nepretržite. Pozná tiež identifikačné číslo BTS s najväčšou úrovňou signálu. Tieto údaje musia byť poslané do lokalizačného servera napríklad vo forme SMS.

Údaje LAC, cell ID a TA (TA je známy s rozlíšením 554m), sú použité len na približné určenie polohy. Ak je potrebné určiť polohu s väčšou presnosťou, použije sa aj údaj o úrovni signálu. Kvôli eliminácii rýchleho úniku sa použije medián niekoľkých nameraných údajov. V prípade, že je priamy signál zatienený prekážkou, môže nastať prudký pokles úrovne. Preto algoritmus, ktorý používa údaj o úrovni signálu, nesmie byť citlivý na takéto zmeny.

Jeden spôsob ako nájsť zodpovedajúci údaj v databáze je jednoduchý - rozdiel medzi dvomi odťahkami sa vypočíta nasledovne:

$$d(k) = \sum_i (f_i - g_i(k))^2 + p(k) \quad (1)$$

kde  $f_i$  je úroveň signálu nameranej vzorky na  $i$ -tom BCCH,  $g_i(k)$  je úroveň signálu  $k$ -teho údaju v databáze na tom istom kanáli a suma predstavuje súčet rozdielov na všetkých kanáloch. Ak sa kanál nachádza iba v jednom odťahku, zväčší sa diferenciacia o určitú hodnotu  $p(k)$ . Súradnice odťahku, pre ktorý je diferenciacia  $d$  najmenšia, predstavujú výsledok. Prehľadávaná oblasť v databáze sa použitím parametrov Cell ID a LAC výrazne zmenší.

Mobilná stanica meria úroveň signálu a jeho kvalitu a úroveň signálu susedných základňových staníc. Úroveň signálu sa pohybuje v intervale -110dBm až -48dBm. Dôležitým je aj meranie časového predstihu TA, podľa ktorého môže zistiť vzdialenosť medzi BTS a MS. [1]

### DCM pomocou merania impulzovej odozvy kanála

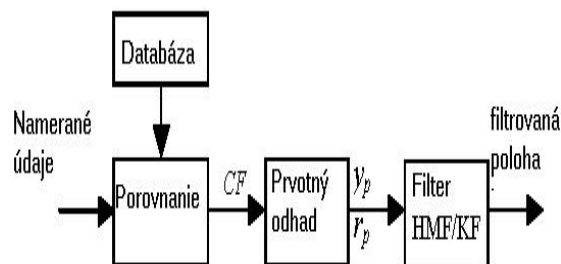
Šírenie signálu v mikrobunkách v zastavanom území je charakteristické viacestným šírením, tienením a väčším tlmením signálu, čo znamená, že signál podlieha náhodnej zmene fázy a amplitúdy a

časovému oneskoreniu. To sa prejaví na CIR. Na úpravu prijatého signálu sa využíva ekvalizér. Prijímač vie, akú postupnosť má očakávať a na základe porovnania s prijatou postupnosťou sú určené koeficienty impulzovej odozvy.

Prijatý signál potom prejde cez inverzný filter [2]. V GSM je CIR odhadovaná počas skúšobnej postupnosti a v UMTS použitím pilotnej postupnosti v DPCCCH kanále, štandardizovanom pre WCDMA [3], preto nie sú nutné veľké úpravy mobilnej stanice. CIR nesie informáciu o viacestnom šírení, relatívnom oneskorení a intenzite poľa signálu. V každom mieste je teda CIR jedinečná a preto sa môže použiť ako údaj slúžiaci pre lokalizáciu. V niektorých prípadoch, ak nie sú vďaka terénu prítomné odrazené signály, nemusí byť CIR jedinečná pre určité miesto.

### Použitie filtra

Na zmenšenie nepresnosti spôsobenej nejednoznačnosťou parametra signálu a jeho rušeniu je možné použiť filter, ktorý spracuje predbežný odhad polohy z porovnávacieho procesu. Známe sú Kalmanov filter a Hiddenov - Markovov model. Oba algoritmy predpokladajú viacero meraní pre určenie polohy. Nameraný údaj (napríklad CIR) je spracovávaný podľa nasledujúceho obrázka č.2)

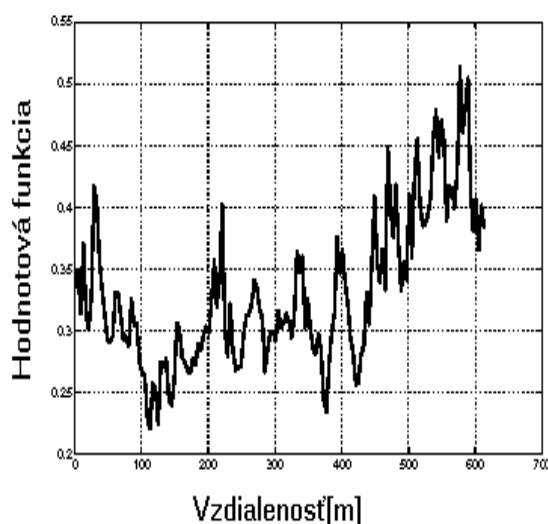


Obr. 2. - Bloková schéma určenia polohy s použitím HMF/KF filtra [4]

Fig. 2. Block scheme of location process using HMF/KF filter [4]

CF (hodnotová funkcia) je funkcia hovoriaca o stupni podobnosti nameraného a uloženého údaju. Potom je porovnávacou metódou vybraný z databázy signál, ktorý je najviac podobný nameranému. Ako výsledok sú poslané príslušné súradnice. Takto sa zistí predbežný odhad polohy, ktorý však môže byť nepresný. Na obrázku č.3 je zobrazený priebeh hodnotovej funkcie CF (cost function), ktorá zobrazuje podobnosť medzi nameranými údajmi a údajmi z databázy. Predbežný odhad vzdialenosti je určený na základe minima hodnotovej funkcie. Tento proces však možno vylepšiť. Podľa obrázka č.3 je skutočná vzdialenosť sledovaného objektu 94 metrov ale minimum je pri 105 metroch. Tento rozdiel súvisí s problémom reprodukovateľnosti signálu. Reprodukovateľnosť definujeme ako schopnosť reprodukovat rovnaký

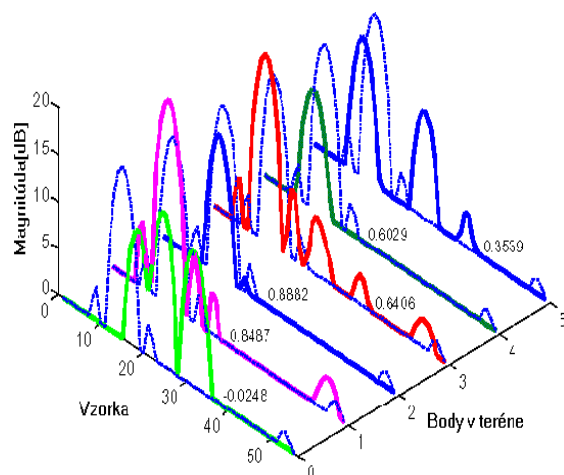
signál na rovnakej pozícii. Značné minimum je aj pri vzdialenosti 380 metrov. Je to spôsobené nejednoznačnosťou parametra signálu. To znamená, že možno namerať veľmi podobné údaje na dvoch rôznych miestach. Oba efekty sú problémové pre určenie polohy. Na spresnenie prvotného odhadu je možné ďalej použiť HMM alebo KF v prípade, ak sa mobilná stanica pohybuje. HMM sa využíva v aplikáciách (napríklad rozpoznávanie reči), u ktorých rýchlosť nemusí byť konštantná.



Obr. 3. Priebeg hodnotovej funkcie [4]

Fig. 3. Progress of cost function [4]

V prípade DCM nastáva podobná situácia, pretože používateľ mobilnej stanice môže mať rôznu rýchlosť. Model počíta pravdepodobnosť, že sa MS nachádza v určitej lokalite na základe trasy, ktorú MS prešla predtým. Použitím filtrov sa dosahuje značné zväčšenie presnosti lokalizácie [4]. Nasledujúci obrázok ukazuje využitie PDP (priebeg oneskorenia signálu) ako "odtlačku".



Obr. 4. Určenie polohy pomocou korelácie [5]

Obr. 4. Location using correlation [5]

Zmeraný PDP (čiarkovane) je korelovaný s PDP uloženým v databáze. Korelačný koeficient je počítaný pre každý bod v databáze a bod s najvyššou koreláciou je určený ako výsledok lokalizácie.

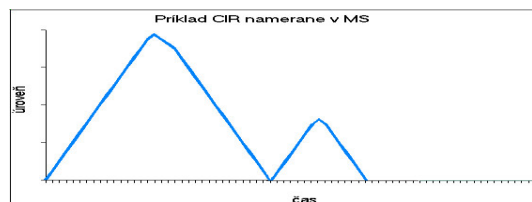
Informácia o absolútnom oneskorení príchodu signálu z BTS je uložená v RTT, ktoré sa meria v BTS. Použitím RTT sa ohraničí maximálna priama vzdialenosť. Pri priamom šírení je vzdialenosť medzi MS a BTS priamoúmerná oneskoreniu, ktoré tak limituje možnú plochu, v ktorej sa mobilná stanica môže nachádzať. Ak je prostredie symetrické (napríklad v uliciach s pravouhľou zástavbou), môžu sa vyskytnúť podobné PDP v rôznych častiach, čo spôsobí chyby. Z porovnania metód z hľadiska presnosti v mestskom a predmestskom prostredí vyplýva, že u metód založených na meraní času sa v mestskom prostredí presnosť znižuje, naopak u DCM metódy je presnosť väčšia [1].

V uverejnených výsledkoch výskumov sa pre meranie podobnosti prijatej CIR s údajom v databáze použila metóda výpočtu Euklidovej vzdialenosti alebo metóda vzájomnej korelácie. Metóda výpočtu Euklidovej vzdialenosti spočíva vo výpočte rozdielov amplitúd jednotlivých vzoriek. Čím je teda signál podobnejší, tým je výsledná hodnota menšia, v prípade zhody signálov nulová. Euklidova vzdialenosť sa vypočíta podľa vzťahu:

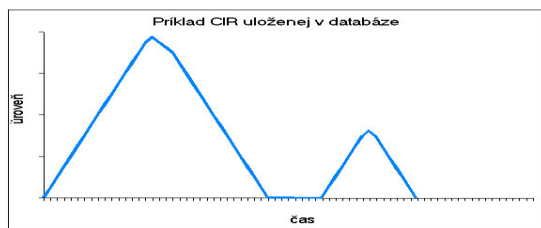
$$L = \sqrt{\sum_{i=1}^n (c_i - C_i)^2} \quad (2)$$

kde  $c_i$  je vektor vzoriek nameranej impulzovej odozvy a  $C_i$  je vektor impulzovej odozvy uloženej v databáze

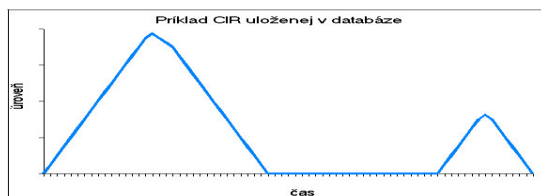
Táto metóda podľa môjho názoru nie je vhodná, pretože v niektorých prípadoch nemusí nájsť najpodobnejší záznam. Ak by napríklad MS odmerala uvedený priebeh CIR (obr. 5), výpočet Euklidovej vzdialenosti by neurčil podobnejší zo záznamov na obr. 6 a obr. 7 z databázy, pretože jej hodnota by bola rovnaká. Ako vidieť záznam z obr. 6 je značne podobnejší, pretože odrazený signál príde skôr a MS je teda bližšie k miestu prislúchajúcemu záznamu na obr. 6.



Obr. 5. Príklad CIR nameranej v MS  
Fig. 5. Example of CIR measured by MS



Obr. 6. Príklad CIR uloženej v databáze  
Fig. 6. Example of CIR stored in database



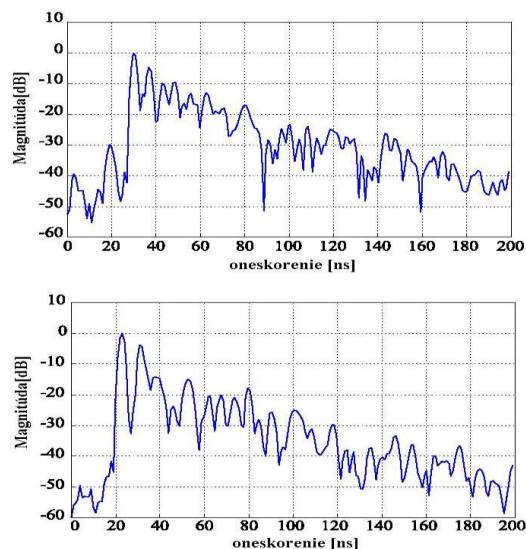
Obr. 7. Príklad CIR uloženej v databáze  
Fig. 7. Example of CIR stored in database

Navyše tento výpočet prikladá väčšiu váhu väčším hodnotám, čo pre porovnanie impulzových odoziev signálu nemusí byť vhodné, pretože vzorky sa môžu líšiť práve v detailoch. Túto podobnosť však postihne korelačná funkcia, ktorá vykáže značne vyšší koeficient vzájomnej podobnosti. Jej nevýhodou však je, že vôbec neberie do úvahy veľkosti amplitúd. Ak by teda dva porovnávané signály mali úplne rozdielnu veľkosť ale rovnaký priebeh, výsledok korelačnej funkcie by vykázal zhodu.

Úplne vylúčiť intenzitu poľa signálu ako jeden z lokalizačných parametrov by zrejme nebolo vhodné i keď intenzita v mieste merania môže meniť svoju veľkosť napríklad zatienením MS telom človeka alebo malou zmenou polohy MS. Ak by bol intenzite signálu prikladaný určitý percentuálny význam, mohlo by to prispieť k presnejšiemu určeniu lokality hlavne v prípadoch, keď sú v rôznych miestach namerané veľmi podobné údaje. Pre zníženie vplyvu šumu je vhodné urobiť viacero meraní a tie spriemerovať. Následne sa určí hraničná úroveň signálu, pod ktorou je všetko považované za šum. Jednou z možností, ktoré umožňuje sieť UMTS, je spresniť lokalizáciu pomocou DCM tým, že sa použijú vzorky zmerané z viacerých BTS. Pri použití IPDL periód by sa táto možnosť dala reálne uplatniť, pretože by počas tejto periódy bolo možné prijímať signály aj zo susedných BTS.

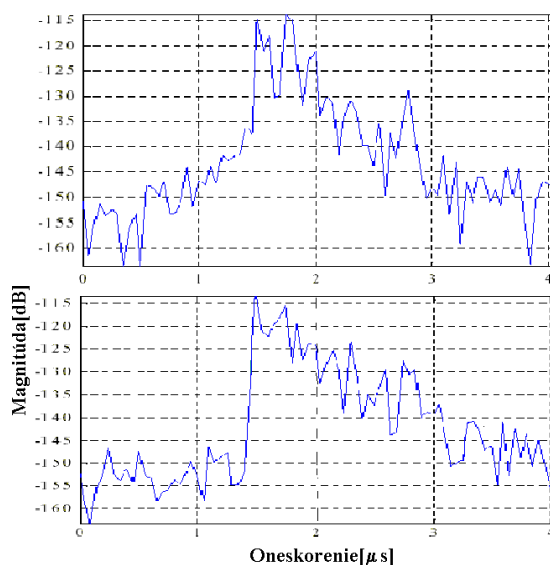
Ak by signál prichádzal z iného smeru (inej BTS), zmenil by sa aj priebeh CIR a tak by sa v jednom mieste získalo väčšie množstvo odtlačkov, čo by pri použití vhodného algoritmu mohlo prispieť k zlepšeniu presnosti. Na obrázku č.8 vidieť priebehy 2 signálov prijatých v tom istom mieste, pričom poloha vysielača sa zmenila. Ďalšou možnosťou je využiť rozdiel impulzových odoziev

medzi impulzovou odozvou vzostupného a zostupného kanála ako vyplýva z meraní v [6].



Obr. 8. Priebeh dvoch signálov v jednom mieste [6]  
Fig. 8. Progress of two signals in the same place [6]

Na obrázku č. 9 vidieť rozdiely priebehov CIR v prípade, že sa vysielača na dvoch rôznych frekvenciách (1,9 - 2,1GHz) [7]. Priebehy CIR vykazujú značné rozdiely, čo je v sieti GSM závažný problém, pretože odtlačok CIR uložený v databáze nemusí byť nameraný na tej istej frekvencii, na ktorej práve prijíma mobilná stanica. Na druhej strane sa rozdielnosť priebehov u CIR dá využiť a to tak, že by MS prijímala počas priebehu lokalizácie signály na viacerých frekvenciách, čím by sa získalo viacero odtlačkov. Pri budovaní databázy by sa však musel ukladať odtlačok CIR pre viacero frekvencií. V sieťach UMTS je zisťovaná impulzová odozva kanála pomocou signálu z pilotného kanála a pre jednu bunku je jeho frekvencia rovnaká.



Obr. 9. Priebeh signálov pri dvoch rôznych frekvenciách [7]  
Fig. 9. Progress of two signals on two frequencies [7]

Čím viac druhov odtlačkov sa získa v danej lokalite, tým presnejšie sa dá opätovne určiť miesto získania odtlačkov. Použitím Hiddenovho - Markovovho filtra by sme zrejme dosiahli pomerne veľkú presnosť určenia polohy aj bez viacerých odtlačkov v jednom mieste, avšak používateľ MS, ktorá požiadala o službu určenia polohy, nemusí byť vždy v pohybe. Navyše pre spomínané algoritmy je nutné určiť východzí bod.

O čo presnejšie teda bude prvotné určenie polohy, o to skôr sa pomocou HMM určí aktuálna trasa, po ktorej sa používateľ pohybuje.

V sieti UMTS je časový údaj oveľa presnejší ako v sieti GSM, čo prispieje k determinovaniu maximálnej vzdialenosti MS a tak sa porovnávanie s databázou zjednoduší a spresní.

### 3. ZÁVER

Na rozdiel od iných metód je metóda DCM použiteľná aj v husto zastavaných oblastiach, avšak jej presnosť a možnosti spracovania údajov neboli zatiaľ dostatočne skúmané. To je zrejme aj príčina prečo nie je táto metóda dodnes používaná. Je to však jediná metóda, ktorá môže najmä v mestskom prostredí konkurovať lokalizácii pomocou GPS, ktorej možnosti môžu byť v budovách či husto zastavaných oblastiach obmedzené.

### POUŽITÁ LITERATÚRA

[1] Laitinen, Ahonen, Kyriazakos, Lähteenmäki, Menolascino, Seppo: *Cellular network optimisation based on mobile location*, VTT 2001 Dostupné na: <<http://www.telecom.ntua.gr/cello/documents/CELLO-WP2-VTT-D03-007-Int.pdf>>

- [2] *GSM Radio interface*, Dostupné na: <<http://www.cs.ucl.ac.uk/staff/t.pagtzis/wireless/gsm/radio.html>>
- [3] Nypan T., Gade T., Maseng T.: *Location using estimated impulse response in a mobile communication system*, UniK - Center for Tech. at Kjeller, Norway Dostupné na: <[http://www.norsig.no/norsig2001/Papers/49.Location\\_usi\\_692001174517.pdf](http://www.norsig.no/norsig2001/Papers/49.Location_usi_692001174517.pdf)>
- [4] Nypan T., Hallingstad O.: *A cellular positioning system based on database comparison - The hidden Markov model based estimator versus the Kalman filter*, UniK. University Graduate Center, Kjeller, Norway Dostupné na: <<http://www.norsig.no/norsig2002/Proceedings/papers/cr1070.pdf>>
- [5] Ahonen S., Laitinen H.: *Database Correlation Method for UMTS Location*, VTT Information Technology, Dostupné na: <<http://www.ieeexplore.ieee.org/iel5/8574/27214/01208882.pdf>>
- [6] Salous, Gokalp: *Simultaneous average power delay profile*, University of Manchester Institute of science and technology, UK Dostupné na <<http://www.dur.ac.uk/comms.systems/pdfs/simultaneous%20average%20pdp.pdf>>
- [7] Wysocki, Zepernick: *Characterization of the indoor radio propagation channel at 2.4 GHz*, Journal of telecommunications and information technology, 3-4/2000, Dostupné na: <<http://www.elec.uow.edu.au/staff/wysocki/publications/J4.pdf>>