

Metody lokalizace mobilních telefonů

Methods of Locating Mobile Phones

Bc. Zdeněk Krist

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Zdeněk KRIST**
Osobní číslo: **A11289**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Metody lokalizace mobilních telefonů**

Zásady pro vypracování:

1. Popište možnosti sledování polohy mobilních telefonů.
2. Definujte používané metody pro lokalizaci mobilních telefonů.
3. Zpracujte slabá a silná místa těchto metod.
4. Otestujte vybrané metody v reálném použití.
5. Porovnejte teoretické a praktické schopnosti těchto metod.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. DOLEŽEL, Pavel. Současné možnosti nalezení fyzické pozice stanice v internetu. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
2. SnapTrack, A QUALCOMM Company. Location Technologies for GSM, GPRS and UMTS Networks. [online] Release Date: May 18, 2006 [cit. 4.2.2013]. Dostupné z: http://www.cs.uiuc.edu/homes/haiyun/cs598hl/papers/location_tech_wp_1-03.pdf.
3. DJUKNIC, G. M.; RICHTON, R.E. . Geolocation and assisted GPS. [online] Release Date: August 7, 2001 [cit. 4.2.2013]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=901174&isnumber=19496>.
4. SCHILLER, J.; VOISARD, A. . Location-Based Services. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2004. ISBN: 1-55860-929-6.
5. KIKIRAS P.; DRAKOULIS D. . An Integrated Approach for the Estimation of Mobile Subscriber Geolocation. [online] Release Date: September, 2004 [cit. 4.2.2013]. Dostupné z: <http://link.springer.com/article/10.1023%2FB%3AWIRE.0000049401.97358.c7?LI=true>.
6. FANG SH. . Learning Location From Sequential Signal Strength Based on GSM Experimental Data. [online] Release Date: February, 2012 [cit. 4.2.2013]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6111323&isnumber=6151237>.
7. FANG SH. . A Dynamic Hybrid Projection Approach for Improved Wi-Fi Location Fingerprinting. [online] Release Date: March, 2011 [cit. 4.2.2013]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5699409&isnumber=5730612>.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. David Malaník, Ph.D.

Ústav informatiky a umělé inteligence


Datum zadání diplomové práce:

8. února 2013

Termín odevzdání diplomové práce:

3. června 2013

Ve Zlíně dne 8. února 2013


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Úvod práce se věnuje mobilní síti GSM, jejímu historickému vývoji a obecné struktuře. Následně jsou popsány základní prvky sítí GSM a UMTS, které jsou využívány při určování polohy mobilních telefonů. Další část už popisuje jednotlivé lokalizační metody v těchto sítích. Poslední rozšiřující teoretická část je zaměřena na určení polohy zařízení v síti Internet. V praktické části jsou nejdříve rozebrány silné a slabé stránky lokalizačních metod a podmínky jejich případného zlepšení či zhoršení. Dále jsou reálně vyzkoušeny tři lokalizační metody. Poslední část porovnává možné odlišnosti teoretických a praktických aspektů.

Klíčová slova: lokalizace mobilního telefonu, metody geolokace, mobilní síť, lokalizace v Internetu

ABSTRACT

Introduction of thesis is dedicated to GSM mobile network, its historical development and general structure. Subsequently, there are described basic elements of the GSM and UMTS, which are used in determining the location of mobile phones. Another part it described different location method in these networks. Last expanding theoretical part is focused on positioning device over the Internet. In the practical part are first analyzed the strengths and weaknesses of localization methods and conditions of a possible improvement or deterioration. Furthermore, they are realistically tested three location methods. The last section compares the possible differences of theoretical and practical aspects.

Keywords: localization of mobile phone, methods of geolocation, mobile network, localization in Internet

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Davidu Malaníkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, které mi poskytl při vypracování této práce. Dále bych chtěl ještě poděkovat rodině, blízkým a kamarádům za jejich podporu při mém studiu.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

I.TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1MOBILNÍ SÍŤ.....	12
1.1GSM	14
1.1.1Historický vývoj.....	14
1.1.2Struktura sítě.....	15
1.1.3Lokalizace v síti GSM.....	17
2LOKALIZACE V SÍTÍCH GSM, GPRS A UMTS.....	18
2.1.1Základní lokalizační prvky sítě.....	18
3METODY LOKALIZACE MOBILNÍCH TELEFONŮ.....	22
3.1CELL ID.....	22
3.1.1Cell ID + TA (Timing Advance) nebo RTT (Round Trip Time).....	22
3.1.2Cell ID + TA + RXLEV.....	23
3.2ENHANCED OBSERVED TIME DIFFERENCE (E-OTD).....	23
3.3OBSERVED TIME DIFFERENCE OF ARRIVAL (OTDOA).....	24
3.4WIRELESS ASSISTED-GPS (A-GPS).....	25
3.5HYBRIDNÍ METODY.....	26
4LOKALIZACE V SÍTI INTERNET.....	27
4.1PASIVNÍ METODY.....	27
4.1.1Geolokace na základě IP adresy.....	27
4.1.2Geolokace na základě DNS záznamů.....	28
4.1.3Geolokace s využitím WiFi.....	28
4.2AKTIVNÍ METODY.....	29
4.2.1Geolokace metodou GeoPing.....	29
4.2.2Geolokace metodou ShortestPing.....	29
4.2.3Geolokace metodou Constraint-Based Geolocation (CBG).....	30
4.2.4Geolokace metodou Topology-Based Geolocation (TBG).....	31
4.2.5Geolokace metodou Speed of Internet.....	31
II.PRAKTICKÁ ČÁST.....	33
5SILNÉ A SLABÉ STRÁNKY LOKALIZAČNÍCH METOD.....	34
5.1CELL ID.....	34
5.1.1Prvky snižující přesnost.....	35
5.1.2Návrhy pro zlepšení metody.....	35
5.2E-OTD.....	36
5.2.1Prvky snižující přesnost.....	36
5.2.2Návrhy pro zlepšení metody.....	37
5.3OTDOA.....	37
5.3.1Prvky snižující přesnost.....	37
5.3.2Návrhy pro zlepšení metody	38
5.4A-GPS.....	38
5.4.1Prvky snižující přesnost.....	38
5.4.2Návrhy pro zlepšení metody.....	39
5.5POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ LOKALIZAČNÍCH METOD.....	39
5.5.1Oblasti hodnocení.....	39
6TESTOVÁNÍ VYBRANÝCH METOD V REÁLNÉM POUŽITÍ.....	41

6.1	GEOLOKACE METODOU CELL ID.....	41
6.1.1	Nástroje.....	41
6.1.2	Praktické otestování metody Cell ID.....	45
6.1.3	Výsledek metody Cell ID.....	48
6.2	GEOLOKACE S VYUŽITÍM WiFi.....	48
6.2.1	Nástroje.....	49
6.2.2	Praktické otestování lokalizace s využitím WiFi.....	49
6.2.3	Výsledek metody geolokace s využitím WiFi.....	50
6.3	GEOLOKACE METODOU A-GPS.....	50
6.3.1	Nástroje.....	50
6.3.2	Praktické otestování lokalizace s A-GPS.....	51
6.3.3	Výsledek metody geolokace s využitím A-GPS.....	52
7	POROVNÁNÍ TEORETICKÝCH A PRAKTICKÝCH MOŽNOSTÍ.....	53
7.1	CELL ID.....	53
7.2	GEOLOKACE S VYUŽITÍM WiFi.....	53
7.3	A-GPS.....	54
7.4	POROVNÁNÍ OTESTOVANÝCH METOD.....	55
	ZÁVĚR.....	56
	CONCLUSION.....	57
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	58
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	62

ÚVOD

Starověcí cestovatelé před příchodem map určovali svou polohu za pomoci triangulace hvězd na obloze. To se však ukázalo jako nepřesné vzhledem k závislosti na dobré viditelnosti a měnící se noční obloze na různých místech v různá roční období.

Nicméně vývoj v oblasti určování polohy pokračoval dále a kolem roku 1920 se začal vyvíjet pozemní radiový systém Gee pod hlavičkou britského letectva. Tento systém byl založen na tzv. hyperbolické navigaci, pomocí které bylo možné určit polohu ze signálů přicházejících z majáků. Nápad vytvořit globální družicový polohový systém začal vznikat v době vypuštění prvních družic na oběžnou dráhu Země. Družice vysílaly k Zemi signál a tak je bylo možné lokalizovat. To dalo základ dnešnímu družicovému systému GPS, jehož funkci dnes zajišťuje 31 družic obíhajících Zemi.

Lokalizace našla uplatnění zejména v těchto třech oblastech: sektor armádní a státní, záchranné služby a komerční sektor. V armádě byl družicový systém GPS, vytvářený americkou armádou, využíván hlavně námořnictvem a letectvem. Lokalizace v oblasti záchranných služeb byla vynucena legislativními podmínkami tísňových linek Evropské unie, vztahujících se k jednotnému evropskému číslu tísňového volání 112, či Spojených států amerických, týkající se tamního systému 911. Lokalizace volajícího tak významně zkracuje čas potřebný pro poskytnutí účinné pomoci při mimořádné události. Své využití našlo určování pozice i v komerčním sektoru. Zde se aplikuje v široké škále různorodých uplatnění, mezi něž například patří navigace v budovách, na silnicích, dopravní informace, využití při managementu spravovaného movitého majetku (vozový park), sledování pohybu vozidel, lidí či zboží, v neposlední řadě to jsou také hry (geocaching, foursquare...) a lokálně cílené reklamy.

Technickému vývoji mobilních telefonů dalo impuls masové rozšíření mezi obyvatele zemí. Tlak na tento vývoj spoluvytváří jak zvyšující se nároky uživatelů mobilních telefonů, tak i výše zmiňované požadavky záchranných složek či další subjekty. Přešlo se tak od mobilních telefonů zabudovaných v automobilech, přes přenosné, přesto poměrně objemné, telefony, k mobilním telefonům kapesním až k dnešním „chytrým“ telefonům tzv. smartphonům. Z hlediska možností lokalizace mobilních telefonů tento pokrok postupně umožnil využití zabudovaných zařízení (bluetooth, WiFi, GPS), ale také možnost využívat vyšších výpočetních výkonů mobilních zařízení.

V této práci bude nastíněn vývoj a fungování mobilní sítě, následně budou popsány různé lokalizační metody v mobilní síti a jako nadstavba jsou zde uvedeny také lokalizační metody pro síť Internet. V praktické části budou popsány silné a slabé stránky metod a následně budou vyzkoušeny různé metody lokalizace.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MOBILNÍ SÍŤ

Mobilní sítě zaznamenaly za svou dobu existence několik generací vývoje.

1. Generace (1G)

Vývoj sítí první generace se datuje do 80. let. Jednalo se o v podstatě národní analogovou mobilní síť. Využívaly přístupovou metodu FDMA (Frequency Division Multiple Access). Jejich hlavním využitím byla hlasová komunikace. Do této generace patří například systém **NMT** (Nordic Mobile Telephony), americký systém **AMPS** (Advanced Mobile Phone System) či britský **TACS** (Total Access Communication System). Systémy však většinou mezi sebou nebyly kompatibilní a jejich sítě měly nízkou kapacitu. Tyto nedostatky daly podnět k vývoji jednotné sítě s dostatečnou kapacitou.[1]

2. Generace (2G)

Druhá generace přinesla řadu změn, přechod analogové sítě na digitální, změna metody přístupu z FDMA na kombinaci TDMA (Time Division Multiple Access) a FDMA, národní různorodé sítě postupně přešly na jednotný mezinárodní telekomunikační standard, snížení vysílacího výkonu, zlepšení odolnosti proti chybám a zvýšení bezpečnosti. Druhá generace dala vzniknout systému **GSM** v Evropě a systému **CDMAOne** (známého také jako IS-95) v Americe. GSM, který se stal základem pro novější systémy je popsán podrobně v následující kapitole.[1]

2.5 Generace (2.5G)

Nadstavbou řešící některé nedostatky GSM se stala technologie **GPRS** (General Packet Radio Service). Hlavním přínosem bylo rozšíření spojově orientovaných přenosů GSM na paketově orientované přenosy GPRS. To umožnilo spojování až 8 kanálů GSM a tedy rychlejší přenos dat. [1]

2.75 Generace (2.75G)

Tento generační mezistupeň představuje technologie **EDGE** (Enhanced Data Rates for GSM Evolution). Oproti GPRS přináší lepší modulaci (8-PSK) což umožňuje technologii EDGE přenášet data téměř trojnásobnou rychlostí než je tomu u GPRS.[1]

3. Generace (3G)

Poselstvím třetí generace je přinést uživatelům vysokorychlostní, vysokokapacitní, efektivnější technologii zpřístupňující multimediální služby. Pro Evropu je představitelem třetí generace technologie **UMTS** (Universal Mobile Telecommunication System), pro Ameriku to je pak **CDMA2000**. UMTS kombinuje TDMA v GSM pásmech a W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) v přiděleném pásmu 1,9 GHz až 2,2 GHz.[29]

3.5 Generace (3.5G)

Vývoj sítí UMTS, konkrétně Release 5, přinesl novou technologii **HSDPA** (High-Speed Downlink Packet Access), která opět podstatně zvyšuje rychlost k uživateli ze 384 kbit/s na 3,6 Mbit/s na jednu buňku. HSDPA využívá dva typy modulace (QPSK a 16-QAM), dále řeší snižování zpoždění na transportním kanále, rychlé přidělování rádiových prostředků, rychlé opakované vysílání (HARQ) a další.[2][30]

3.75 Generace (3.75G)

Zrychlení datových přenosů směrem od uživatele pak přinesl Release 6, označovaný jako **HSUPA** (High-Speed Uplink Packet Access). Buňka tak může posílat data rychlostí až 14,4 Mbit/s k uživatelům (downlink) a až 5,76 Mbit/s od uživatelů (uplink).[2][30]

4. Generace (4G)

Standard od skupiny 3GPP Release 8 přináší technologii **LTE** (Long Term Evolution) jež je marketingově označována jako čtvrtá generace, ale v podstatě je založena na stejné bázi jako třetí generace. Teoretická rychlost této technologie v laboratorních podmínkách může dosáhnout rychlostí až 172,8 Mbit/s downlink a 57,6 Mbit/s uplink. LTE se tak snaží řešit zvyšující se požadavky uživatelů na rychlost přenášených dat.[3]

Následovníkem LTE je **LTE-Advanced**, které kromě dalšího zvyšování rychlosti (3 Gbit/s downlink a 1,5 Gbit/s uplink) pomocí agregace více pásem a vícecestného přenosu signálu, umožňuje efektivnější využití frekvenčního pásma a lepší pokrytí v budovách.[4][5]

1.1 GSM

GSM, globální systém pro mobilní komunikaci, je buňková síť, jejíž buňky tvoří území pokrývané signálem jednotlivých základnových stanic (BTS). Vzhledem k tomu, že se území pokrytí jednotlivých buněk překrývá, má každá buňka jiný rozsah frekvencí než buňky s ní sousedící, aby nedocházelo ke kolizím. Buňky mohou mít různou velikost - makrobuňky, mikrobuňky či deštníkové buňky, lišící se úhlem a dosahem vyzařování. Základnové stanice jsou přístupovými body umožňující uživatelům, resp. jejich mobilním zařízením, propojení s ostatními uživateli sítě.

1.1.1 Historický vývoj

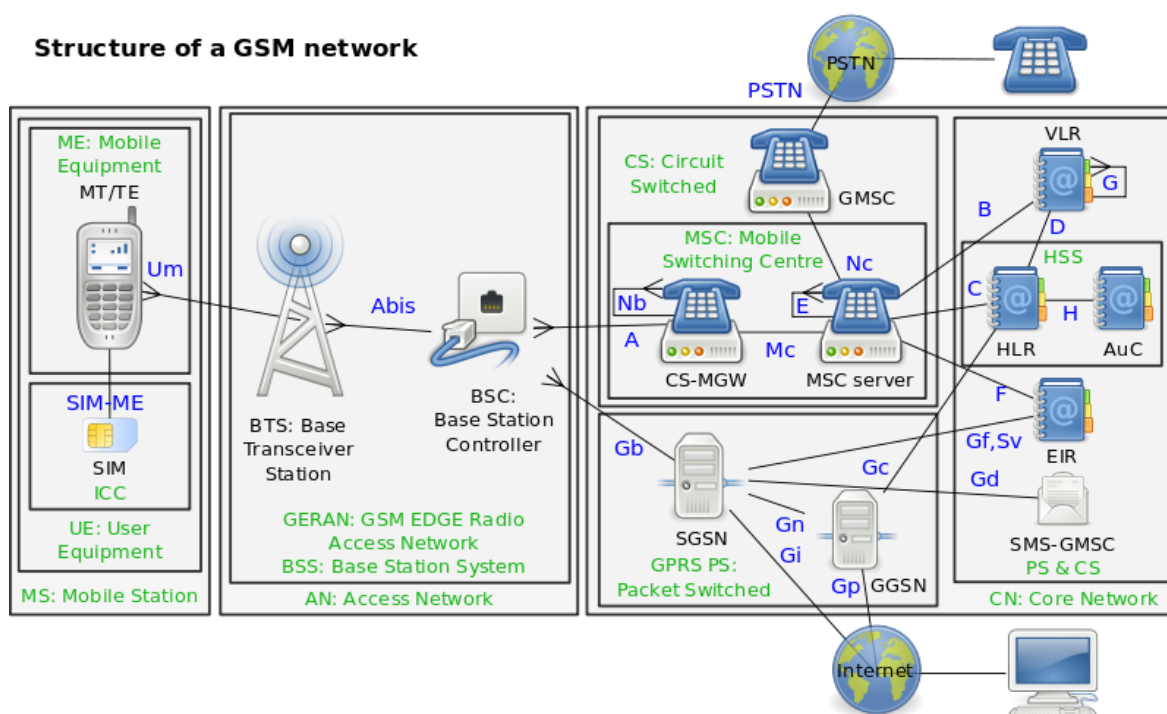
V průběhu 80. let svět zaznamenal rychlý růst analogových celulárních systémů v Evropě, především pak ve Skandinávii, Velké Británii, Francii a Německu. Každá země měla vyvinutý svůj systém, který však byl neslučitelný s jakýmkoliv jiným systémem celulární komunikace. Tato situace byla neudržitelná nejenom z důvodu nepoužitelnosti zařízení za hranicemi země, které ve sjednocující se Evropě ztrácely na významu, ale také z důvodu velmi omezeného trhu pro jednotlivé typy zařízení, což s sebou přinášelo ekonomické problémy. Proto Konference evropských správ a pošt CEPT vytvořila v roce 1982 novou standardizační skupinu GSM (Groupe Spécial Mobile), která měla za úkol vytvořit standardy pro nový digitální systém, který by byl kompatibilní v zemích celé Evropy (světa). Navržený systém musel splňovat určitá kritéria:

- Perfektní subjektivní kvalita přenášené řeči
- Nízká cena vybavení a služeb
- Podpora mezinárodního roamingu
- Frekvenční hospodárnost
- ISDN slučitelnost
- Efektivitu v budoucnosti[6]

V roce 1989 byla odpovědnost za standardizaci tohoto systému přesunuta na Evropský telekomunikační normalizační institut (ETSI) a v roce 1990 byla specifikace fáze 1 sítě GSM prohlášena standardem.[6]

Komerční provoz první GSM sítě byl zahájen v polovině roku 1991 a již v roce 1993 existovalo 36 GSM sítí v 22 zemích. Ačkoliv byl standardizován v Evropě, GSM není jen evropský standard, ale například i Jižní Afrika, Austrálie a mnoho dalších zemí středního a dálného východu zvolily z hlediska kompatibility tento systém. S jistým zpožděním použili tuto technologii i v USA, kde pod názvem PCS 1900 pracuje na odlišných frekvencích. Systém GSM tak existuje na všech kontinentech a zkratka GSM je interpretována jako "Global System for Mobile Communication", tedy "Globální systém pro mobilní komunikaci". Analogové buňkové systémy jako například AMPS v USA nebo TACS ve Velké Británii začaly pomalu upadat a v současné době je systém GSM velice rozšířeným mobilním komunikačním prostředkem. V květnu 2001 dosáhl počet uživatelů GSM 900/1800/1900 na celém světě 500 miliónů. V České republice byl systém GSM spuštěn v roce 1996 společností Eurotel (dnes O₂) a dále následován společnostmi Radiomobil (dnes T-Mobile) a Český mobil (dnes Vodafone).[6]

1.1.2 Struktura sítě



Obrázek 1: Struktura sítě GSM[8]

Mobilní síť GSM se dělí do několika oblastí (popis a funkce podstatných částí sítě z hlediska lokalizace mobilního zařízení bude provedeno později):

I. Mobilní uživatelské stanice (MS)

Mobilní telefon spolu s kartou SIM dohromady tvoří mobilní stanici. Ta je pak schopná komunikovat prostřednictvím rádiových frekvencí se základnovými stanicemi.

II. Subsystem základnových stanic (BSS)

Tento subsystem obsahuje základnové stanice (BTS) a základnové řídicí stanice (BSC). Skupinka několika BTS je řízena jednou BSC. Základnové řídicí stanice pomáhají svou činností ústřednám MSC, protože provádí handover (přeladění MS na frekvenci BTS se silnějším signálem), přidělují kanály a z částečně také provádí přepojování.

III. Síťový spojovací subsystem (NSS)

Základními stavebními prvky subsystemu NSS jsou následující zařízení:

- Mobilní radiotelefonní ústředna MSC (Mobile Switching Centre)
- Domovský lokační registr HLR (Home Location Register)
- Návštěvnický lokační registr VLR (Visitor Location Register)
- Centrum autentičnosti AuC (Authentication Centre)
- Identifikační registr mobilních stanic EIR (Equipment Identity Register)
- Jednotka spolupráce s externími sítěmi IWF (Inter-Working Functionality)
- SMS Centrum[7]

NSS v systému GSM plní zejména spojovací funkce, podobně jako klasická telefonní ústředna. Tuto funkci zde plní mobilní radiotelefonní ústředna MSC. Ústředna je nadřazena nad systém řadičů BSC a některé z nich plní funkci tzv. brány MSC (GMSC), ty pak umožňují propojení mobilní sítě GSM s dalšími externími telekomunikačními sítěmi. K tomuto účelu slouží v ústředně jednotka IWF.[7]

V každé GSM síti se nachází také domovský lokační registr HLR, který lze označit jako hlavní databázi, obsahující důležitá data o uživateli, jako jsou IMSI čísla, MSISDN, zpřístupněné služby a také například údaje o poloze uživatele resp. SIM karty. Součástí HLR registru je i centrum autentičnosti AuC, které představuje chráněnou databázi pro

ověřování totožnosti uživatelů. Dále databáze obsahuje unikátní šifrovací klíč každého uživatele, kterým jsou šifrována přenášená data daného uživatele, tento klíč se v čase mění. Součástí tohoto subsystém je také identifikační registr mobilních stanic EIR obsahující IMEI čísla autorizovaných stanic v této síti, dále eviduje čísla ukradených, porouchaných či nepodporovaných mobilních stanic. VLR návštěvnický lokační registr v systému pracuje jako dočasné úložiště dat o uživateli, jež se nacházejí v daném okamžiku v oblasti příslušné MSC. [7]

IV. Operační a podpůrný podsystém (OSS)

Subsystém OSS se skládá z následujících částí:

- Provozní a servisní centrum OMC (Operational and Maintenance Centre)
- Centrum pro řízení sítě NMC (Network Management Centre)
- Administrativní centrum ADC (Administrative Centre)[7]

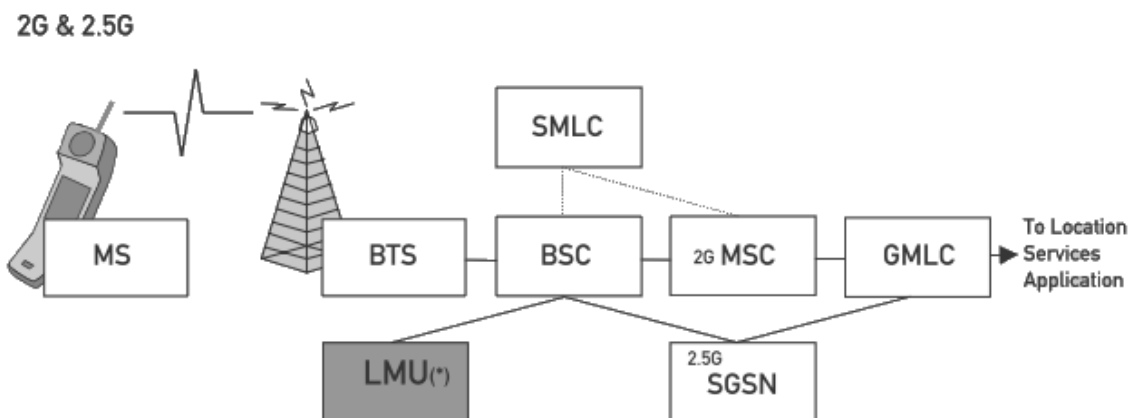
Tato část sítě plní různé funkce, jako je kontrola a evidence mobilních stanic, konfigurace sítě, kontrola a údržba systému GSM nebo registrace a tarifkace účastníků GSM.[7]

1.1.3 Lokalizace v síti GSM

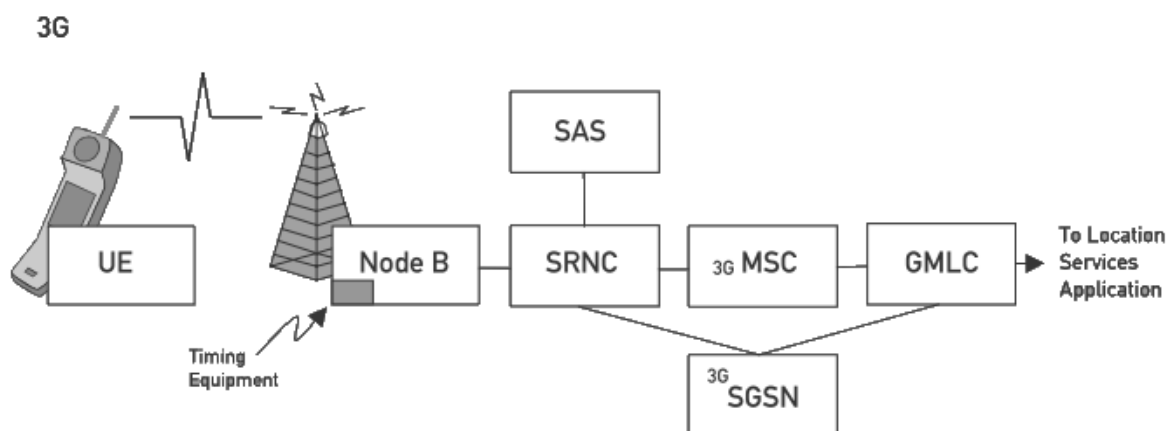
Převážná většina mobilních telefonů využívá k telefonování síť GSM, tudíž jejich lokalizace se provádí zejména skrze tento stále nejrozšířenější standard. GSM je otevřená digitální buňková technologie využívající se k přenosu hlasu mobilním telefonem a datové služby. GSM umožňuje uskutečňování hovorů, přenos dat rychlostí až 9,6 kbps a výměnu SMS zpráv. GSM se provozuje na frekvencích 900 MHz a 1,8 GHz v Evropě a 1,9 GHz a 850 MHz ve Spojených státech, Kanadě, Austrálii a v mnoha latinskoamerických zemích. Pokrytí území signálem této technologie umožňuje účastníkům využívat výše zmiňované služby na různých místech světa. Pozemní síť GSM nyní pokrývá více než 90% světové populace a GSM satelitní roaming může rozšířit služby i do míst, které nejsou pokryta pozemní sítí.[8][9]

2 LOKALIZACE V SÍTÍCH GSM, GPRS A UMTS

2.1.1 Základní lokalizační prvky sítí



Obrázek 2: Základní prvky sítě pro určování polohy v GSM a GPRS sítích[10]



Obrázek 3: Základní prvky sítě pro určování polohy v UMTS sítích[10]

MS – Mobile station. Mobilní stanice/telefon (MS/MT v GSM a GPRS, v UMTS sítích jako UE – User Equipment), je zařízení schopné bezdrátově komunikovat (vysílat a přijímat) se základnovou stanicí (BTS). Obsahuje řídicí obvody, jako např. mikroprocesor a další vstupně/výstupní obvody, mezi které patří klávesnice, dotyková plocha, displej, sluchátko, mikrofon, porty, tlačítka apod.[7]

Identifikátorem mobilního telefonu je číslo IMEI (International Mobile Equipment Identity), které je unikátní číslo přidělované výrobcem mobilního telefonu. Toto číslo

identifikuje mobil v síti a zároveň lze z něj vyčíst např. kód země nebo výrobce.[7]

Druhým identifikátorem, ne však mobilu, ale spíše jeho uživatele je karta SIM. Samotná karta má vlastní identifikační číslo IMSI, které slouží v interních systémech operátora k dohledání detailů o uživateli. Číslo samotného uživatele SIM karty pak reprezentuje MSISDN, z pohledu uživatele jde o telefonní číslo.[7]

BTS – Base Transceiver Station

BTS neboli základnová stanice je propojovacím prvkem mezi sítí a mobilním telefonem. Komunikuje s MT přes rádiové rozhraní a spolu s řídicí základnovou jednotkou (BSC) tvoří subsystém základnových stanic (BSS). Charakteristickým prvkem BTSky je panelová anténa, která je obvykle vícesektorová, nejčastěji dvou, tří nebo čtyřsektorová. Panelové antény resp. jednotlivé sektory mají pak následující vyzařovací úhly – 180°, 120° a 90° v horizontální rovině a 15-30° ve vertikální rovině. BTS obsahuje ještě druhý typ antén, a to mikrovlnné (parabolické), které zabezpečují komunikaci se zbytkem mobilní sítě. Základnová stanice obsahuje pak ještě další části, jako je vybavení pro šifrování a dešifrování signálů, filtrační nástroje, výkonový zesilovač, anténní přepínač a další. V UMTS sítích se BTS označuje jako Node B. [11][12][13]

BSC – Base Station Controller

Úkolem BSC – základnové řídicí jednotky je řídit činnost základnových stanic, konkrétněji provádí a řídí předávání hovoru, frekvenční skoky, dynamické přidělování kanálů.

SMLC – Serving Mobile Location Center

SMLC je síťovým prvkem nacházejícím se v základnové řídicí jednotce provádějící výpočty o polohách mobilních telefonů. Může řídit několik LMU (Location Measurement Units), které měří rádiové signály pomáhající najít mobilní telefon. SMLC komunikuje s GMLC, které jsou rozhraním poskytujícím informace LCS (lokačním) klientům.[14]

LMU – Location Measurement Unit

LMU je zřízení poskytující přesné časové informace o době šíření signálu mezi BTS a MS. Na základě těchto informací a znalosti přesných geografických umístění BTS odhadne polohu mobilního zařízení.[15]

SGSN – Serving GPRS Support Node

SGSN odpovídá za obousměrný provoz datových paketů k MT v dané oblasti. Mezi jeho úkoly patří směrování a přenos paketů, mobility management (připojování/odpojování a location management), ověřování uživatelů, převod IP na LLC protokol. Často se tento prvek nachází na stejném místě jako MSC. [16][17]

MSC – Mobile Switching Center

Mobilní ústředna pracuje podobným způsobem jako klasická ústředna v pevné síti, tedy sestavuje jednotlivá spojení v rámci mobilní sítě i směrem do ostatních sítí. Dále kontroluje přidělení kanálů, eviduje všechny uživatele a účtují se zde hovory.[18]

GMLC – Gateway Mobile Location Centre

GMLC by se dalo přeložit jako mobilní lokační brána, ta plní funkci zpřístupňování informací o poloze pro lokalizační aplikace. Informace může získávat z HLR (Home location register) nebo HSS (Home subscriber server). V těchto registrech jsou uložena data o všech registrovaných účastnících, IMSI čísla SIM karet, údaje o dostupných službách, údaj o lokalitě účastníka.[19][10]

SRNC – Serving Radio Network Controller

SRNC je řídicí jednotka rádiové sítě a jde v podstatě o obdobu BSC v síti GSM. Jednotka ovládá několik základnových stanic Node B a kontroluje jejich funkčnost. Má též na starost přidělování rádiových kanálů a je důležitou jednotkou sledující a registrující mobilitu uživatele. [20]

SAS – Stand-Alone Assisted GPS SMLC

SAS poskytuje GPS data řídicí jednotce rádiové sítě a může provádět výpočetní lokalizační funkce. Tento samostatný uzel je propojen přes rozhraní Iupc a protokol PCAP k RNC.[21]

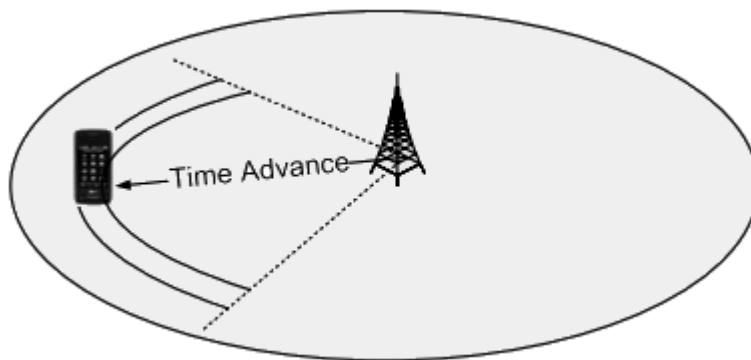
3 METODY LOKALIZACE MOBILNÍCH TELEFONŮ

3.1 Cell ID

Každý operátor a poskytovatel služeb má skrze standard GSM, GPRS nebo UMTS vybudovanou síť základnových vysílacích stanic (tzv. BTS), k nimž se uživatelé sítě připojují pro uskutečňování hlasových a datových přenosů s jiným uživatelem sítě. Určení pozice uživatele zde umožňuje Cell ID, což je identifikátor základnové vysílací stanice resp. všesměrového nebo sektorového vysílače, skrze něhož uživatel komunikuje v síti. Vysílače mají známou geografickou polohu a její hodnota je spjata identifikátorem Cell ID, což je základem pro určování polohy v síti GSM. Ve své podstatě se jedná o nejjednodušší, poměrně spolehlivou, ale nepříliš přesnou metodu. Přesnost metody je hodně ovlivněna územím, které BTS pokrývá. Mobilní stanice nebo terminál UMTS sítě se může totiž pohybovat uvnitř buňky kdekoliv v dosahu BTS, ke které je připojen. Z principu lze tedy odvodit, že přesnost roste s hustotou základnových stanic. V městech je hustota přijímačů větší, tedy je zde i větší přesnost a ve venkovských oblastech je hustota BTS menší, tudíž je zde i přesnost menší.[10]

3.1.1 Cell ID + TA (Timing Advance) nebo RTT (Round Trip Time)

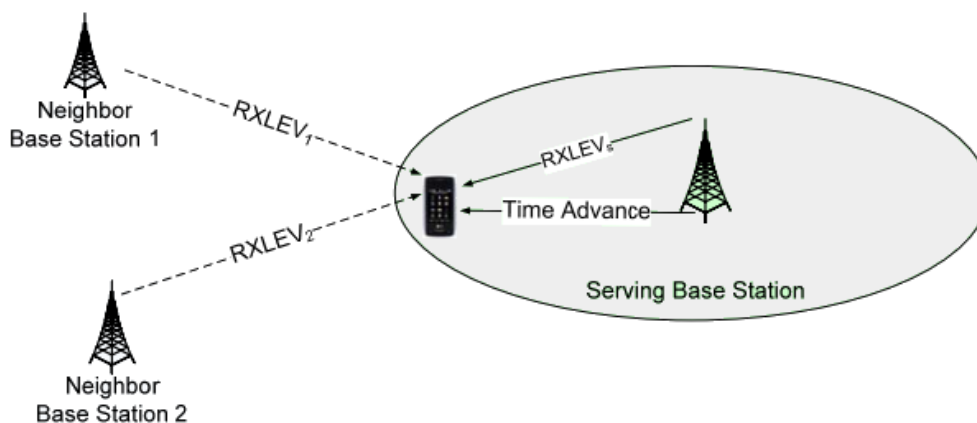
Jak již název napovídá, tento způsob lokalizace vychází z Cell ID a přidává pro zpřesnění další proces. Princip procesu kterého se využívá je založen na měření hodnoty zpoždění signálu při komunikaci. V sítích GSM resp. GPRS se měří hodnota TA, což je časová prodleva umožňující odhadnout vzdálenost MS (mobilní stanice) od BTS. Analogicky je tomu v síti UMTS, kde se užívá pojem RTT.[10][22]



Obrázek 4: Cell ID + Time Advance[22]

3.1.2 Cell ID + TA + RXLEV

Dalším stupněm upřesnění polohy mobilního telefonu je přidání do výpočtu další měřené veličiny – síly signálů přijímané z BTS mobilním telefonem. Znalostí úrovně přijímaného signálu mobilním telefonem a vysílacích výkonů okolních základnových stanic lze tak metodu Cell ID + TA dále zpřesnit. [22]

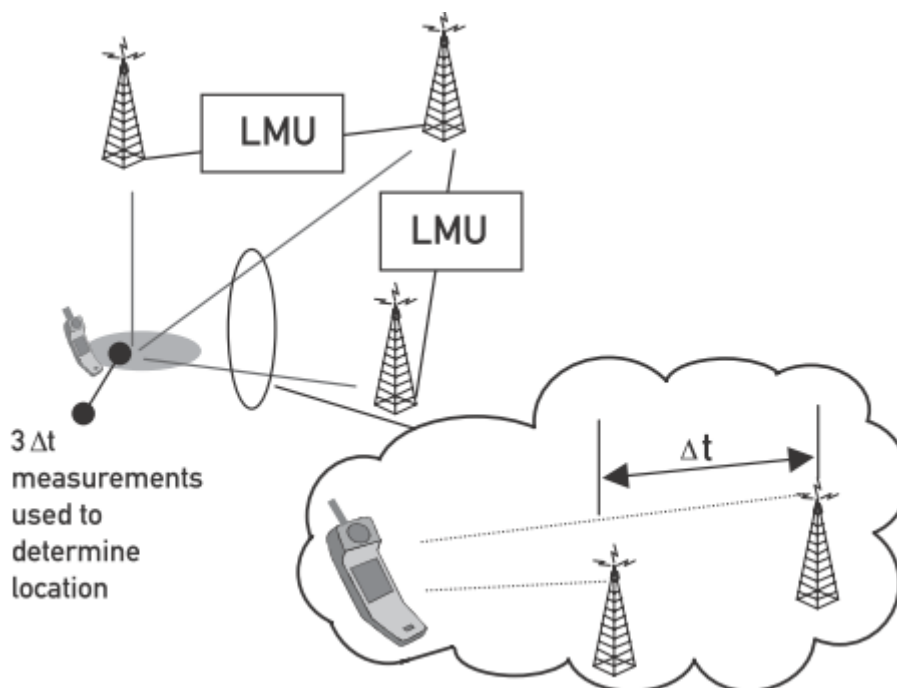


Obrázek 5: Cell ID + Time Advance + RXLEV[22]

3.2 Enhanced Observed Time Difference (E-OTD)

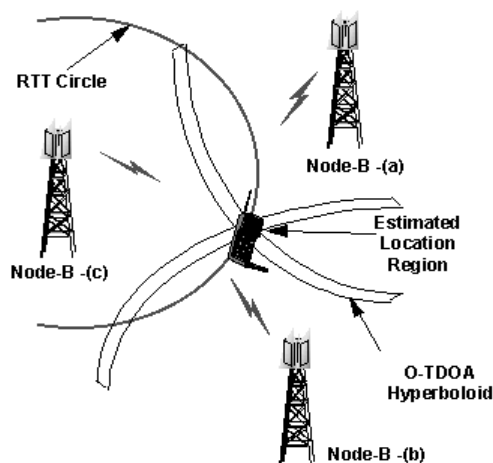
Odvození polohy telefonu lze také učinit pomocí znalosti doby šíření signálu od telefonu k referenční základnové stanici a dalším sousedním stanicím v dosahu. Metoda se používá v sítích GSM a GPRS a je založena na tzv. Triangulaci, kdy se v tomto případě pomocí dvojice bodů se známým umístěním a znalostí časových rozdílů v příjmu signálů stanic BTS zjišťuje umístění bodu třetího. Protože přesnost měření času u této metody je velmi důležitá, vyžaduje se zde velmi přesné měření času. [10]

Vzhledem k tomu, že je síť GSM nesynchronizována zavádí se do systému určování prvek LMU (Location Measurement Unit), který provádí měření reálných časových rozdílů vysílání základnových stanic, tato naměřená hodnota bývá označována RTD (Real Time Difference). Na základě těchto hodnot se poté mezi dvojicemi základnových stanic stanovuje GTD (Geometry Time Difference), což je časová hodnota RTD přepočítána na hodnotu délkovou. Zaznačením délkových hodnot GTD vzniknou kolem základnových stanic oblasti a jejich průsečíky udávají nejpravděpodobnější pozici mobilního telefonu. [10]



3.3 Observed Time Difference Of Arrival (OTDOA)

OTDOA se používá v sítích UMTS. Obvykle se považuje za UMTS verzi metody E-OTD. Touto metodou se odhaduje pozice pomocí časů příchodu signálů do mobilního přístroje minimálně ze tří základnových uzlů (node B) sítě UMTS. Pozice mobilního přístroje je definována průsečíky nejméně dvou hyperbol určených ze sledovaných UMTS rámců přijímaných mobilním telefonem. Je zde nezbytná časová synchronizace různých základnových stanic. Toho se dosahuje buď začleněním lokační měřící jednotky nebo GPS přijímače do základnové stanice (node B).[10][22][23]

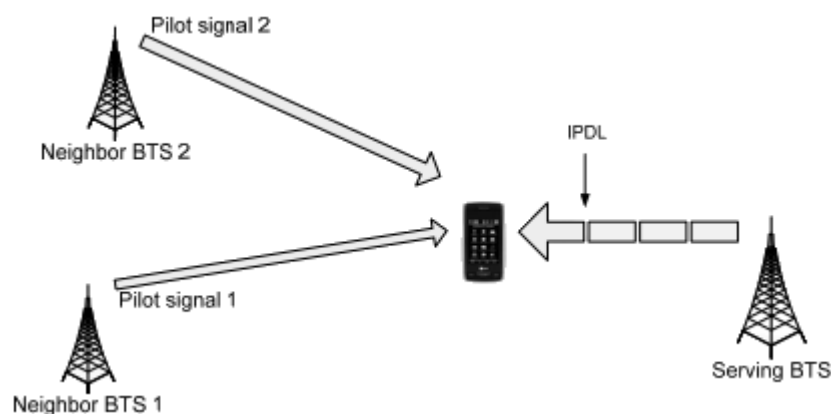


Obrázek 7: metoda OTDOA[31]

Technologie OTDOA může využívat ke kontaktu se sousedními základnovými

stanicemi tzv. IPDL přestávek, které na krátkou dobu vytváří obsluhující základnová stanice. Během IPDL přestávek přijímá MT pilotní signály ze sousedních základnových stanic. [10][22][23]

Existují dva typy IPDL, a to standardní IPDL a modifikované IPDL, označované jako TA-IPDL. Běžným – standardním IPDL vytváří základnové stanice vysílací mezery náhodně či pseudonáhodně. TA-IPDL kde TA je zkratkou time-aligned, tedy časového sladění IPDL, vytváří základnové stanice přerušování ve stejný okamžik, to zaručuje vyšší přesnost, ale jsou kladeny vyšší nároky na síť.[10][22][23]



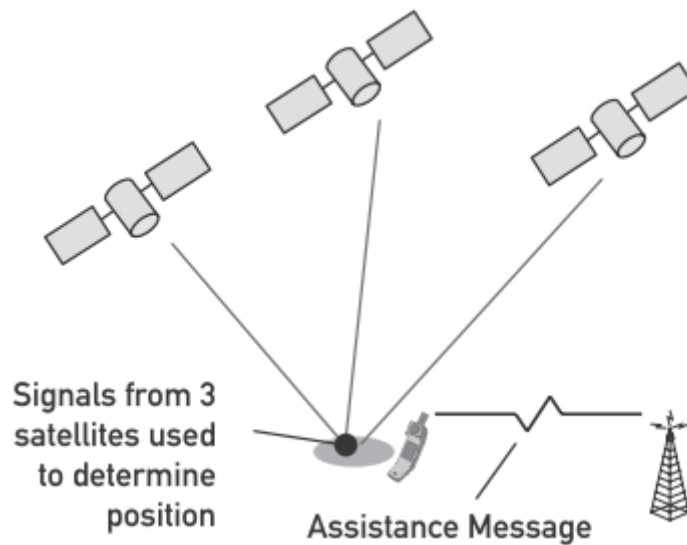
Obrázek 8: OTDOA s technologií IPDL[22]

3.4 Wireless Assisted-GPS (A-GPS)

Bezdrátová metoda A-GPS operuje v GSM, GPRS a UMTS sítích. A-GPS používá k určení polohy satelity ve vesmíru jako referenční body. Podle přesně měřených vzdáleností od nejméně tří satelitů je schopen přijímač pomocí triangulace určit polohu kdekoliv na zemi. Přijímač měří vzdálenost z údajů o čase, který signál potřebuje od momentu vyslání satelitem až po příjem mobilním přístrojem.[10][22]

A-GPS přijímač může pracovat několika způsoby, nejčastější jsou však dva, buď výpočetní operace řeší přijímač a nebo prvky sítě. V prvním případě přijímač/MT přijme malou část dat ze satelitů GPS a část dat obdrží od lokačního serveru sítě skrz BTS. Následně z přijatých dat MT spočítá svou polohu. Druhý případ se od prvního liší především tím, že finální výpočetní operace neprovádí MT, ale je prováděno prvky sítě. MT přijme balík pomocných dat (aktuální almanach a efemeridy) od lokačního serveru sítě, ten umožní rychlé vyhledání viditelných družic a jejich dráhy, z nich MT získá surová – nede kódovaná data o své pozici. Poté tato data pošle lokačnímu serveru, který určí

přesnou pozici a výsledek vrátí do MT.[10] [22]



Obrázek 9: metoda A-GPS[10]

3.5 Hybridní metody

Spojení více lokalizačních metod se zavádí z důvodu vylepšení slabých stránek jednotlivých způsobů lokalizace. Nejčastější hybridní metodou je spojení A-GPS s metodou Cell ID, kde se využívá velké přesnosti A-GPS a vysoké úspěšnosti lokalizace Cell ID. [10]

Základem dalších kombinací metod je A-GPS, které se kombinuje s E-OTD nebo OTDOA. V kombinaci s E-OTD se využívá v sítích GSM a GPRS a v síti UMTS je to zase metoda OTDOA. Zmiňované metody dosahují vyšších přesností než Cell ID avšak jsou výpočetně náročnější.[10]

4 LOKALIZACE V SÍTI INTERNET

Geolokaci, tedy fyzické určení geografické polohy cíle, je možné dělit podle různých kritérií, nejčastěji se však metody lokalizace v síti internet dělí na pasivní a aktivní metody geolokace. Nejčastěji se k lokalizaci využívá číslo IP adresy, ale také další údaje, jako například informace z DNS, informace od poskytovatele internetu, nastavení jazyka a časové zóny ve webovém prohlížeči, či ve webových aplikacích (webmail, Facebook, ...), metadat v obrázcích, informací o platební kartě apod.. Určení fyzické polohy cílové stanice v internetu má mnohé využití, od cílené reklamy přes určování počasí v lokalitě, ve které se daný uživatel nachází a kontrolou lokálně dodržovaných platných předpisů konče.[32] [33]

4.1 Pasivní metody

Pasivní metody jsou založeny na získávání dostupných lokalizačních informací o síťových zařízeních. Informace o pozicích síťových zařízení se získávají na základě záznamů veřejných nebo soukromých databází. Podle zdrojových informací lze pasivní metody geolokace rozdělit na:

- Geolokace na základě IP adresy,
- Geolokace na základě DNS záznamů,
- Geolokace s využitím WiFi.[32]

4.1.1 Geolokace na základě IP adresy

Geolokace na základě IP adresy je jednou z nejjednodušších metod geolokace, neboť IP adresa síťového zařízení nebo jeho přístupová brána jsou dostupné téměř vždy. Získaná IP adresa se porovnává s dostupnými databázemi IP adres, mezi které patří především databáze adres organizace IANA, která celosvětově dohlíží na přidělování IP adres. Dalšími často využívanými databázemi jsou např. Databáze WHOIS nebo GeoIP.[32][33]

Databáze WHOIS

Jedná se o veřejnou a v současnosti nejvíce používanou databázi. Databáze Whois obsahuje záznamy zaměřené na evidenci údajů o majitelích internetových domén a IP adres. Tyto údaje mohou nést například adresu, jméno nebo kontaktní údaje na správce domény.[32]

Databáze GeoIP

Databáze obsahuje knihovnu jazyka C, která umožňuje najít zemi, ze které pochází daná IP adresa nebo název počítače. Používá k tomu souborovou databázi obsahující bloky IP jako klíče. Země, města, PSČ a zeměpisné souřadnice jsou pak hodnotami těchto klíčů. [32]

Geolokace pomocí IP adres je sice jednoduchá a velmi často použitelná, ale přesnost výsledků je mnohdy velice malá. Tato geolokace dokáže v celku spolehlivě určit zemi, kde se daná IP nachází, méně spolehlivě pak už dokáže určit město. [32]

4.1.2 Geolokace na základě DNS záznamů

System DNS se využívá k překladu doménových jmen na jim příslušící IP adresy. Struktura DNS je hierarchická a tak z ní lze často určit alespoň zemi ve které se daná stanice nachází. [32][33]

4.1.3 Geolokace s využitím WiFi

Metoda geolokace s využitím WiFi je založena na databázi přístupových bodů se záznamy o jejich MAC adrese, SSID a především jejich předpokládané poloze. Samotná geolokace poté probíhá tak, že jsou nejdříve zjištěny informace o okolních přístupových bodech (SSID, MAC adresa, síla signálu) a poté jsou informace poslány do databáze přístupových bodů k jejich porovnání. Databáze vyhledá známé přístupové body v databázi a určí jejich nejpravděpodobnější průnik, jako předpokládanou polohu dotazované stanice. Tímto procesem se databáze i zároveň samoopravuje a aktualizuje, protože některé přístupové body mohou být přestěhovány a další nové vznikají. Polohy nových nebo přesunutých přístupových bodů jsou následně určeny na základě více již známých pozic přístupových bodů z jejich okolí. [32][34]

Takovou velice známou databází přístupových bodů je např. databáze GoogleMaps, která vznikala skenováním přístupových bodů souběžně s vytvářením tzv. StreetView pro GoogleMaps. [34]

4.2 Aktivní metody

Za aktivní metody jsou považovány takové, u kterých je nutné při určování pozice využít různých měření při přenosech dat. Cílem těchto měření bývá obvykle zjištění zpoždění a záznam cesty dat od zdroje k cíli přes síťové uzly.[32]

Zpoždění je doba potřebná na přenos jednoho datového segmentu od zdroje k příjemci. Obecně může být zpoždění ovlivněno mnoha faktory. Například přenosovou rychlostí vedení, momentální zátížení, geografickou vzdáleností zdrojové a cílové stanice, případně výkonností a aktuálním zatížením mezilehlých uzlů, kterými jsou nejčastěji směrovače a přepínače připojené v síti na cestě od zdrojové stanice k cílové stanici. Podle místa, kde zpoždění vzniká jej lze dělit na:

- zpoždění na koncových zařízeních,
- zpoždění na mezilehlých uzlech,
- zpoždění na přenosových linkách. [32]

Existuje mnoho nástrojů na měření přenosového zpoždění a hledání cesty od zdroje k cíli. Těmi nejzákladnějšími jsou nástroje Ping a Traceroute. Nástroje pro měření zpoždění měří hodnotu zpoždění vznikající součtem zpoždění vzniklých při přenosu signálu od zdroje k cíli a zpět. Tato hodnota se nazývá RTT (Round-Trip Time). Zpoždění se měří v obou směrech, protože cesta vysílaného signálu od zdroje k cíli může být odlišná vůči cestě signálu z cíle zpět ke zdroji a může tak mít různou dobu zpoždění.[32]

4.2.1 Geolokace metodou GeoPing

Stavebním kamenem metody GeoPing je zpoždění mezi referenčními body se známou geografickou polohou a cílovou stanicí. Výsledkem měření je vektor zpoždění určující vzdálenost referenčního bodu od cílové stanice. Poloha stanice je pak odhadnuta na základě Euklidovské vzdálenosti jednotlivých poloh referenčních bodů v okolí hledané stanice a jejich vektorů zpoždění.[32]

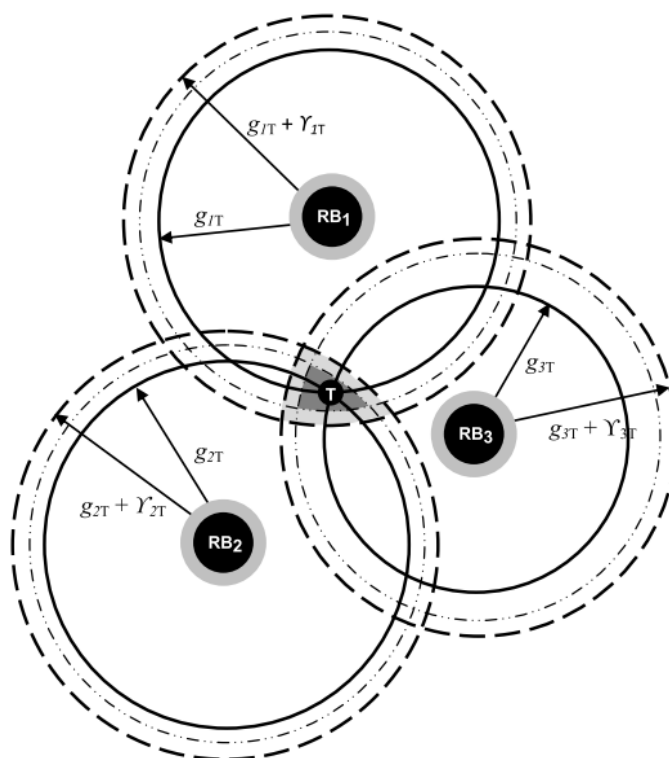
4.2.2 Geolokace metodou ShortestPing

Metoda ShortestPing spočívá v měření zpoždění RTT (Round Trip Time) a určení jeho nejnižší hodnoty z naměřených hodnot. Tato hodnota udává nejnižší zpoždění k nejbližšímu referenčnímu bodu měřeného cíle. Z této skutečnosti vyplývá, že nepřesnost

této metody závisí především na vzdálenosti cíle od jeho nejbližšího referenčního bodu. [32][35]

4.2.3 Geolokace metodou Constraint-Based Geolocation (CBG)

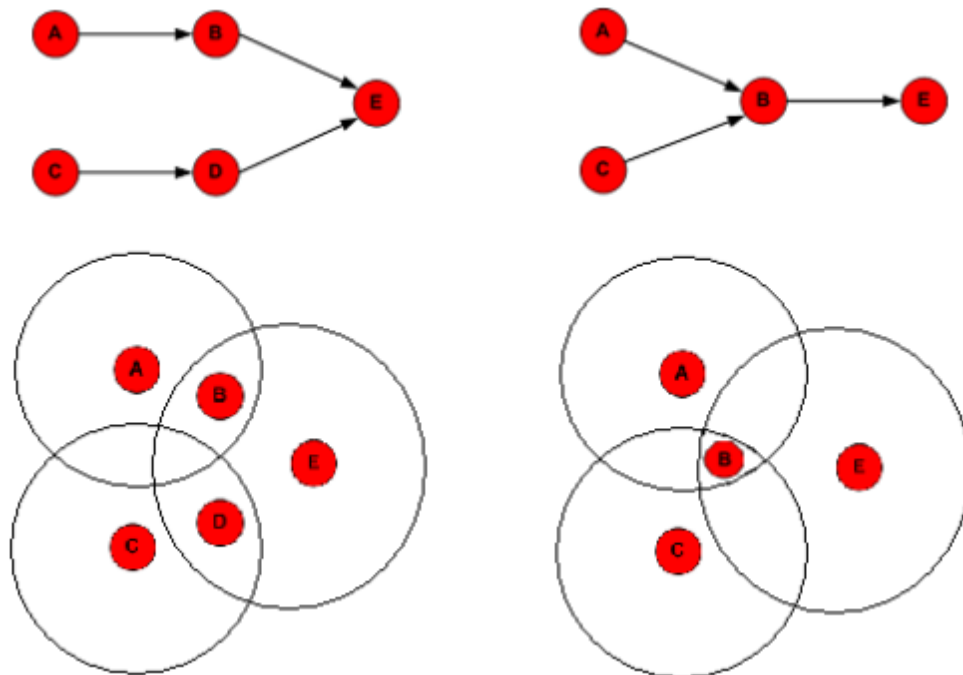
Tato metoda v porovnání s metodou ShortestPing využívá měření zpoždění u více referenčních bodů. Měří zpoždění mezi všemi referenčními body a cílovou stanicí. Využívá se zde multilaterace, podobně jako u systému GPS. Signál od cílové stanice přichází k referenčním bodům s různým zpožděním, to závisí především na vzdálenosti od cílové stanice. Pomocí zjištěného zpoždění od cílové stanice k referenčním bodům se vypočítá předpokládaná vzdálenost, která je reprezentována mezikružím, které je ohraničeno dolní a horní hranicí (lower bound a upper bound). Kde vzdálenost mezi dolní (přerušovaná čára) a horní hranicí (plná čára) tvoří nežádoucí zkreslení vzdálenosti, nazývané také jako přídavek zpoždění, které je tvořeno souhrnem nežádoucích navýšení. [32][35]



Obrázek 10: Příklad CBG geolokace[35]

4.2.4 Geolokace metodou Topology-Based Geolocation (TBG)

Jedná se o rozšíření lokalizační techniky CBG. Při této technice se při měření zpoždění využívá informace o topologii a směřování v síti, přes kterou data prochází. Metoda se snaží odhadnout pozici cílové stanice na základě měření zpoždění od jednotlivých referenčních bodů a taky odhadované pozice mezilehlých uzlů.[32]



4.2.5 Geolokace metodou Speed of Internet

Geolokační metoda Speed of Internet je zjednodušená forma metody CBG. V této metodě se vychází ze stanoveného koeficientu, udávajícího rychlost šíření signálu přenosovou soustavou. Stanovená rychlost je odvozena od rychlosti světla v nejpoužívanějším přenosovém médiu sítě Internet, tedy přibližně hodnoty $0,65c$. Je však ještě nutné brát v úvahu snížení rychlosti na mezilehlých prvcích přenosové soustavy a koncových zařízeních. Upravená hodnota rychlosti šíření signálu byla měřeními stanovena

jako $\frac{4}{9}c$. Stanovením této hodnoty se dosáhne zjednodušení postupu oproti metodě CBG, kde je nutné ještě provádět měření mezi referenčními body a kalibrace. Výpočet vzdálenosti se pak provádí následovně

$$d = \left(\frac{RTT}{2}\right) * \left(\frac{4}{9}c\right) [km]$$

Ze vzorce vyplývá, že je nutné znát ještě hodnotu obousměrného zpoždění RTT, hodnota je ve vzorci podělena dvěma kvůli stanovení hodnoty zpoždění pouze v jednom směru.[36]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 SILNÉ A SLABÉ STRÁNKY LOKALIZAČNÍCH METOD

Následující kapitola rozebírá přednosti a nedostatky lokalizačních metod mobilní sítě. Dále jsou zde uvedeny možné podmínky a situace, kdy může dojít ke zhoršení přesnosti u jednotlivých metod a také jsou zde navrženy různé způsoby, jak by bylo možné částečně eliminovat nedostatky těchto metod.

5.1 Cell ID

Bezesporu největší výhodou Cell ID je spolehlivost a podpora napříč různými komunikačními standardy, Cell ID se používá v GSM, GPRS i UMTS. Síť základnových stanic je základem pro provoz všech těchto typů sítí. Každá BTS má své identifikační číslo (Cell ID), podle kterého se dá v databázi vyhledat o jakou BTS se jedná a kde přesně se nachází. Mobilní telefon, aby mohl přijímat a vysílat hovory, musí být přihlášen do sítě a být v dosahu některé z BTS, která jej umožňuje spojit s ostatními uživateli sítě.

Pokud se u této metody zaměříme na její přesnost tak zjistíme, že je poměrně nepřesná, protože její přesnost je dost individuální. Obvykle je hustota základnových stanic úměrně závislá na obvyklé koncentraci obyvatelstva v daném místě, tedy aby přenosová kapacita stanic byla dostatečně velká a mohla tak bez problémů obsluhovat všechny uživatele. V základu je tedy tato metoda přesnější při určování polohy ve městech a hustěji osídlených místech než mimo ně. Ke zpřesnění metody může dojít při využívání sektorových vysílačů na BTS, kdy dojde ke změně kruhového, případně eliptického pokrytí na výseč. Druhou zpřesňující metodou je využití časového předstihu (TA). V městských zástavbách však kvůli odrazům signálu od budov může být měření dost nepřesné. Naopak v méně zastavěných a rovinných oblastech je tato metoda mnohem efektivnější. Dalším zpřesňujícím prvkem lokalizace může být například využití lokalizačních údajů v kombinaci s vhodným geografickým informačním systémem. Kdy mohou být vyfiltrovány určité nevyhovující oblasti a nebo obráceně, mohou být vyhledány oblasti jen s určitým charakteristickým údajem. Obecně se přesnost Cell ID v GSM síti pohybuje průměrně v rozmezí od 2 do 20 km.[10]

Mezi dobré vlastnosti tohoto způsobu lokalizace patří kompatibilita, správnost lokalizace, nízké nároky (jak na telefon tak na síť). Protipólem jsou pak negativní vlastnosti jako nerovnoměrná a nízká přesnost. Ve výsledku tuto metodu lze označit jako dobrý základ při potřebě správné, na typu sítě nezávislé, ale ne příliš přesné lokalizace. Tento způsob může sloužit také pro eliminaci slabých míst jiných přesnějších metod při

jejich společné kombinaci.

5.1.1 Prvky snižující přesnost

Tato metoda by se dala označit za poměrně stabilní nebo-li spolehlivou. Přesnost je zde sice velmi nízká, ale to vyvažuje právě její minimální chybovost, protože výchozím bodem určujícím polohu je pro MS zpravidla základnová stanice s nejlepším signálem v dané lokaci. Přesto však může dojít ke speciální situaci, kdy může dojít ještě ke zhoršení už ta malé přesnosti, a to při použití mobilní základnové stanice.

Taková situace může nastat například při konání různých kulturních akcí, typicky při koncertech, výstavách, festivalech, sportovních utkáních a dalších hromadných společenských událostech. Zde dochází k enormnímu navýšení potřebné obslužné kapacity ze strany uživatelů a tak je nutné tuto kapacitu dočasně navýšit posílením o další základnové stanice. Pozice pevných základnových stanic je dobře známá, ale s pozicemi mobilních základnových stanic už může být problém, protože se jejich umístění mění. Přesná pozice pak nemusí být v databázi pozic BTS aktuální. V úvahu je potřeba brát také jakým způsobem mobilní BTS funguje, zda jako repeater (komunikaci směřuje okolním volným základnovým stanicím) nebo je jako klasická BTS připojena přímo na ústřednu BSC. Co se lokalizace týče, při funkci mobilní BTS jako repeateru, má na určování polohy spíše negativní vliv z důvodu možného připojení ke vzdálenějším BTS, od které se určování polohy odvíjí. V případě druhém, mobilní BTS ve funkci BTS připojené k BSC, je podstatné zda má mobilní operátor zanesen v databázi aktuální údaj o umístění mobilní BTS. Pokud ano, dojde pravděpodobně ke zlepšení přesnosti, pokud však tento údaj v databázi chybí nebo je zastaralý, pak lokalizace mnohem komplikovanější případně chybná.

5.1.2 Návrhy pro zlepšení metody

Způsob, jak by bylo možné zlepšit přesnost je zvýšení hustoty BTS. Pokud dojde k takové situaci, je zřejmé, že se průměrná vzdálenost BTS od jí obsluhované MS sníží a dojde tedy ke zlepšení přesnosti lokalizace. Je však potřeba vidět i negativa této varianty. Negativa se projeví zejména v oblasti nákladů vynaložených na vybudování nových základnových stanic a nákladů vynakládaných v budoucnu na jejich provoz.

Ke zlepšení míry přesnosti metody Cell ID by mohlo také vést zmenšení území, které jednotlivé BTS obsluhují. Jeden ze způsobů, jak toho dosáhnout by bylo např.

vhodným nasměrováním vysílacích panelů antén daných BTS. Další možností je snížení vysílacího výkonu základnových stanic. Opět jsou ale i zde určitá negativa. Ta by se projevila hlavně snížením volných komunikačních kanálů. Docházelo by pak k jejich častému zahlcení a znemožnění komunikace dalším účastníkům.

5.2 E-OTD

Nízkou přesnost lokalizace metody Cell-ID řeší metoda E-OTD, která k určování polohy mobilního zařízení využívá ke své práci více základnových stanic. Oblast předpokládaného výskytu hledaného cíle pak určuje prostřednictvím časových rozdílů signálů základnových stanic. Tímto způsobem dojde ke zdatelnému zlepšení přesnosti, která se u této metody pohybuje mezi 100-500 m (ve dvou-rozměrném prostoru). Přesnost může negativně ovlivnit geometrické uspořádání základnových stanic a také reliéf prostředí, kterým se signál šíří. Například pokud se základnové stanice nacházejí v řidčeji pokryté oblasti a jsou v linii, může metoda produkovat špatné výsledky.[10]

Z důvodu nutnosti mít přesný časový údaj, je vyžadováno, aby se v síti vyskytovala LMU (lokační měřicí jednotka), která tyto údaje poskytuje. Udává se hustota 1 LMU na 1,5 BTS v síti. Navíc je v mobilním přístroji vyžadován speciální software pro podporu E-OTD. Také se přenáší více dat při komunikaci MT s BTS, tím se rovněž více zatěžuje síť, než je tomu u Cell ID. Nevýhodou také je, že metoda se nedá používat v sítích typu UMTS. [22]

5.2.1 Prvky snižující přesnost

Podmínkou pro využití tohoto způsobu lokalizace je mít v dosahu MS signál nejméně tři základnové stanice. V mimoměstských nebo málo osídlených oblastech však hustota BTS není tak vysoká a může v některých místech dojít k tomu, že požadovaná podmínka tří BTS nebude splněna. Hraje zde roli i členitost okolního terénu, ten také do jisté míry ovlivňuje šíření rádiových vln.

Okolní terén je i druhým aspektem ovlivňujícím přesnost. Kromě možného snižování dosahu jednotlivých BTS např. kopci či stromy může vést i ke zkreslení resp. navýšení časů nutných pro přenosy signálů mezi MS a BTS. Toto zpoždění signálu se podepíše na přesnosti zejména v městské zástavbě.

5.2.2 Návrhy pro zlepšení metody

Vzhledem k tomu, že metoda E-OTD vyžaduje v mobilním zařízení softwarovou podporu pro přesné měření příchozích časových burstů, byla by pro rozšíření podpory pro tuto metodu vhodná častější implementace potřebného softwarového vybavení. Na tento software se kladou nároky na precizní měření příchozích signálů a jejich následné porovnávání.

Mimo požadavků na SW vybavení MS zde mohou být ještě požadavky na prvky sítě, které mohou nedostatky této metody do jisté míry zlepšit. Referenčními body tohoto typu lokalizace jsou také zde základnové stanice celulárního (buňkového) systému. Zvýšení jejich počtu povede k tomu, že počet dostupných sousedních základnových stanic v dosahu mobilní stanice bude větší a tudíž bude moci MS produkovat přesnější lokalizaci.

5.3 OTDOA

V sítích UMTS však lze využít metody OTDOA, která je obdobou E-OTD v GSM či GPRS sítích. S lokalizací E-OTD má mnoho společných vlastností – nutnost přesného měření časových údajů, nižší přesnost měření v místech řídko osazenými základnovými stanicemi, špatná přesnost podél liniových úseků sítě, kompatibilita pouze v jednom typu sítě. V důsledku toho, že v UMTS sítě jsou založeny na CDMA, je zde optimalizovanější využití vysílacích výkonů a také využití komunikačních kanálů.

5.3.1 Prvky snižující přesnost

Vzhledem k tomu že OTDOA pracuje na téměř stejném principu jako E-OTD jsou zde velmi podobné vlastnosti. I tady jsou problémovými aspekty nízký počet dostupných základnových stanic na některých místech a negativní vlivy ovlivňující čas přenosu radiového signálu mezi MS a BTS.

Pokrytí území sítěmi druhé generace dnes už přesahuje daleko 90%, ale pokrytí území (v ČR) sítěmi generace třetí je na tom mnohem hůře. Pokrytá jsou zpravidla jen obydlená místa, tedy v oblastech měst a obcí. Z toho vyplývá, že lze tento typ lokalizace využívat jen v obydlených oblastech s dostatečným počtem základnových stanic v dosahu (alespoň 3).

5.3.2 Návrhy pro zlepšení metody

Jak bylo napsáno výše, metoda ke své činnosti využívá sítě třetí generace, která u nás není zatím běžně dostupná na celém území, podobně jako GSM/GPRS síť. Rozšíření využitelnosti této lokalizační technologie lze dosáhnout vybavováním i dalších základnových stanic technologiemi třetí generace (UMTS, HSDPA...).

5.4 A-GPS

Schopnost pracovat s technologií A-GPS v sítích GSM, GPRS i UMTS je bezesporu jedna z hlavních výhod této lokalizační technologie. A-GPS za pomoci dat a případně výpočetního výkonu asistenční jednotky sítě podstatně sníží tzv. TTFF (Time To First Fix), tedy čas potřebný k (první) lokalizaci. Obvykle se tato hodnota pohybuje mezi 5-10 s. V porovnání s klasickým GPS, kdy je kompletní datový přenos realizován rychlostí 50 b/s a A-GPS, které tato data může získávat ze sítě 9,6 kb/s (GSM - HSCSD) nebo rychleji jde o znatelné zrychlení lokalizace. Další silnou stránkou této technologie je pokrytí, protože není zapotřebí takové množství dat ze satelitů GPS, není nutná tak dobrá viditelnost, jako u GPS technologie, ostatní data jsou totiž poskytnuta pozemním mobilním vysíláním skrze některou z uvedených možností. Kromě výhod plynoucích z nezávislosti na typu sítě, pokrytí a rychlosti určování polohy, je zde ještě jeden podstatný aspekt a to přesnost. Ta v celku logicky koresponduje s přesností GPS, jež je tedy přibližně 5-20 m. [10]

Tato technologie má ale rozhodně také svá negativa. MT potřebuje mít pro příjem GPS dat potřebné hardwarové a softwarové nástroje. V dnešní době, po vlně revoluce „smartphonů“, je už naprosto běžnou součástí telefonů i GPS modul a s ním i nezbytný software. Menší nároky jsou kladeny rovněž na síť. Z principu je zřejmé, že síť musí umět přijímat GPS a zpracovávat ho, aby výsledné informace mohla poskytovat MT resp. jejich uživatelům.

5.4.1 Prvky snižující přesnost

A-GPS kombinuje přesnost globálního družicového polohového systému (GPS) s pokrytím a rychlostí přenosů v GSM sítích. Přestože pro přenos většiny potřebných dat týkajících se pohybu družic využívá GSM síť, je zde také nutné, aby MS přijala i data vysílané družicemi. S tím ale např. v budovách může být problém, signál z družic není totiž tak silný, jako signál ze základnových stanic a neprojde tak lehce přes zdi.

5.4.2 Návrhy pro zlepšení metody

Prostor pro zlepšení lze hledat např. v rychlosti přenosu dat díky novým rychlejšími technologiím nasazovaným do stávající mobilní sítě. Hlavní předností A-GPS oproti klasickému GPS je rychlost první lokalizace tzv. TTFF (Time To First Fix). Pokud dojde k rychlejšími přenosům mezi MS a BTS zkrátí se tím i čas TTFF.

Další zrychlení lze hledat v hardwarovém vybavení MS a BTS. Vyšší výpočetní výkony procesorů provádějící výpočty polohy se také kladně projeví na celkovém čase potřebném k určení místa, kde se MS nachází.

5.5 Porovnání vlastností lokalizačních metod

5.5.1 Oblasti hodnocení

Přesnost

Přesnost je hlavní atribut, který má při hodnocení lokalizačních metod velký význam. Přesnost se pohybuje v rozmezí jednotek metrů až po jednotky kilometrů. Požadavek na míru přesnosti závisí na typu aplikace. Přesnost udává maximální odchylku od lokalizací určeného bodu nebo také střed této kružnice, uvnitř níž se nachází reálná poloha zařízení.[10]

Rychlost

Lokalizační řešení by měla poskytovat informace o poloze rychle. Rychlostí je zde myšlen startovací čas nebo tzv. TTFF (Time To First Fix). Obvykle se tento čas pohybuje v mezích 5-20 sekund. Je třeba rozlišovat čas zpoždění zapříčiněný sítí a čas, který zabere samotný proces lokalizace.[10]

Konzistentnost

Požadavkem je také poskytování konzistentních výsledků měření. Tedy poskytovat stejné výsledky v různých prostředích a v různých sítích. Například pokud některé řešení poskytuje výsledky v určité lokalitě s přesností do 100 metrů a v jiné lokalitě s přesností do 2000 metrů, jde o nekonzistentní řešení. To pak může způsobit nedůvěru uživatelů ve spolehlivost údajů nebo také nemusí vždy dosahovat potřebné přesnosti při aplikaci v některých službách.[10]

Kompatibilita

Požadavek na kompatibilitu se standardy (GSM, UMTS...), tedy schopnost využit lokalizačního řešení v různých typech sítí a možnosti přechodu mezi nimi.[10]

	Přesnost	Rychlost	Kompatibilita	Konzistentnost
Cell ID	Špatná	Velmi dobrá	Velmi dobrá	Špatná
E-OTD	Průměrná	Dobrá	Špatná	Průměrná
OTDOA	Průměrná	Dobrá	Špatná	Průměrná
A-GPS	Velmi dobrá	Dobrá	Velmi dobrá	Velmi dobrá

Tabulka 1: Porovnání vlastností lokalizačních metod

6 TESTOVÁNÍ VYBRANÝCH METOD V REÁLNÉM POUŽITÍ

V této kapitole budou nastíněny vybrané lokalizační metody v praktické realizaci.

6.1 Geolokace metodou Cell ID

První testovanou metodou je metoda Cell ID. Při určování polohy se vychází ze znalosti:

- **ID buňky** – tedy označení obsluhující základnové stanice pro daný mobilní telefon. Udává ho jedinečný číselný kód v dané oblasti jako **CID** - Cell ID, globální ID pak jako **CGI** – Cell Global Identity).
- **Polohy obsluhující základnové stanice** – každý operátor dobře zná přesnou polohu každé své základnové stanice.

Testování bude rozděleno do dvou částí. V první části bude stanovena poloha cíle jen ze znalosti BTS (jejího ID a pozice), tedy základní metoda Cell ID a k ní ve druhé části pak přidám další dostupné údaje, o síle signálu obsluhující BTS, sousedních BTS (poloha a síla signálu) a pokusím se tak zvýšit přesnost.

6.1.1 Nástroje

G-NetTrack

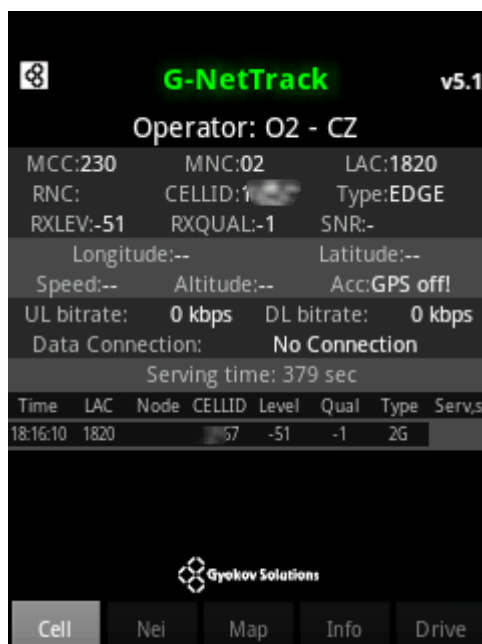
G-NetTrack je mobilní aplikace k monitorování sítě. Umožňuje monitorování UMTS, GSM, LTE, CDMA a EVDO sítí. V těchto sítích pak zobrazuje hodnoty obsluhující CELLID, LEVEL, QUAL, MCC, MNC, LAC, technologii, čas připojení a u sousedních buněk CELLID a LEVEL.[37]

Hodnoty LEVEL a QUAL závisí na technologii, pro:

- 2G síť je to Rx Level a Rx Quality
- 3G síť je to RSCP a ECNO
- 4G síť je to RSRP a RSRQ[37]

Program zobrazuje údaje v pěti záložkách:

- **Záložka Cell**



Obrázek 12: G-NetTrack - záložka Cell

Na této záložce se zobrazují informace o základnové stanici, ke které je mobilní telefon právě připojen. Z těchto informací lze vyčíst kód země (MCC), kód operátora (MNC), kód oblasti (LAC), ID buňky (CELLID), technologie (Type), sílu signálu (RXLEV) a další. Pokud je aktivován v telefonu GPS modul, program zobrazí i zeměpisné souřadnice telefonu (Longitude, Latitude), rychlost (Speed), nadmořskou výšku (Altitude) a přesnost (Acc). V další části jsou obsaženy informace o datovém spojení (UL bitrate, DL bitrate, Data Connection). Čtvrtou oblastí této záložky je čas připojení k aktuální obsluhující BTS (čas se započítává od spuštění programu) pod tímto údajem je stručný výpis parametrů základnových stanic, ke kterým byl telefon připojen.

- Záložka Nei



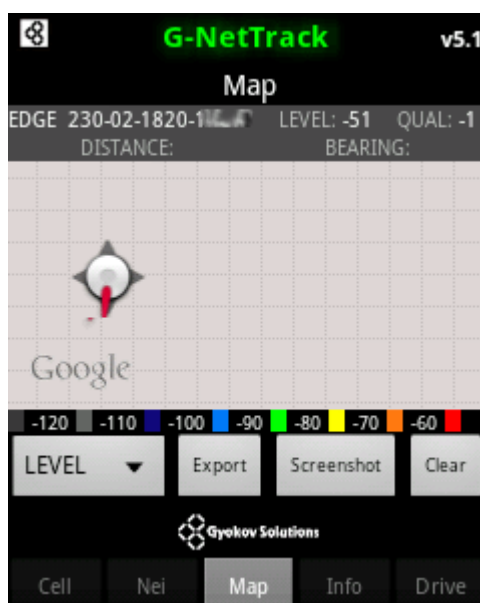
Type	LAC	CELLID	RxLev,dBm
2G	1820	1820	-51

Type	LAC	NCELLID/PSC	RxLev,dBm
2G	0	1820	-90
2G	0	1820	-91
2G	0	1820	-94
2G	0	1820	-102
2G	0	1820	-103
2G	0	1820	-101

Obrázek 13: G-NetTrack - záložka Nei

Ve druhé záložce lze najít informace o obsluhující základnové stanici a sousedních základnových stanicích. Horní část obsahuje informace o BTS aktuálně obsluhující MS, pod ní je pak výpis sousedních BTS seřazených podle síly signálu přijímaného v místě MS.

- Záložka Map



Obrázek 14: G-NetTrack - záložka Map

Záložka Map prezentuje nasbíraná data na mapovém podkladu. Vychází ze

zaznamenaných dat pomocí GPS, která vyznačuje na mapě. Značení má barvu dle stupnice uvedené pod mapou. Je zde také několik možností pro výběr parametru (výchozí parametr je síla signálu), vyznačovaného barevnou stupnicí. Výsledek lze exportovat či zaznamenat.

- **Záložka Info**



Obrázek 15: G-NetTrack - záložka Info

Záložka Info pak podává informace o telefonu a SIM kartě jako např. IMEI, výrobce telefonu, model telefonu, IMSI, operátor apod.

- **Záložka Drive**



Obrázek 16: G-NetTrack - záložka Drive

Poslední pátá záložka je vhodná pro rychlý přehled o aktuální připojené základnové stanici, vhodná např. Pro „lovce“ BTS, kdy je žádoucí při vyhledávání BTS mít základní údaje hned na očích.

Databáze základnových stanic

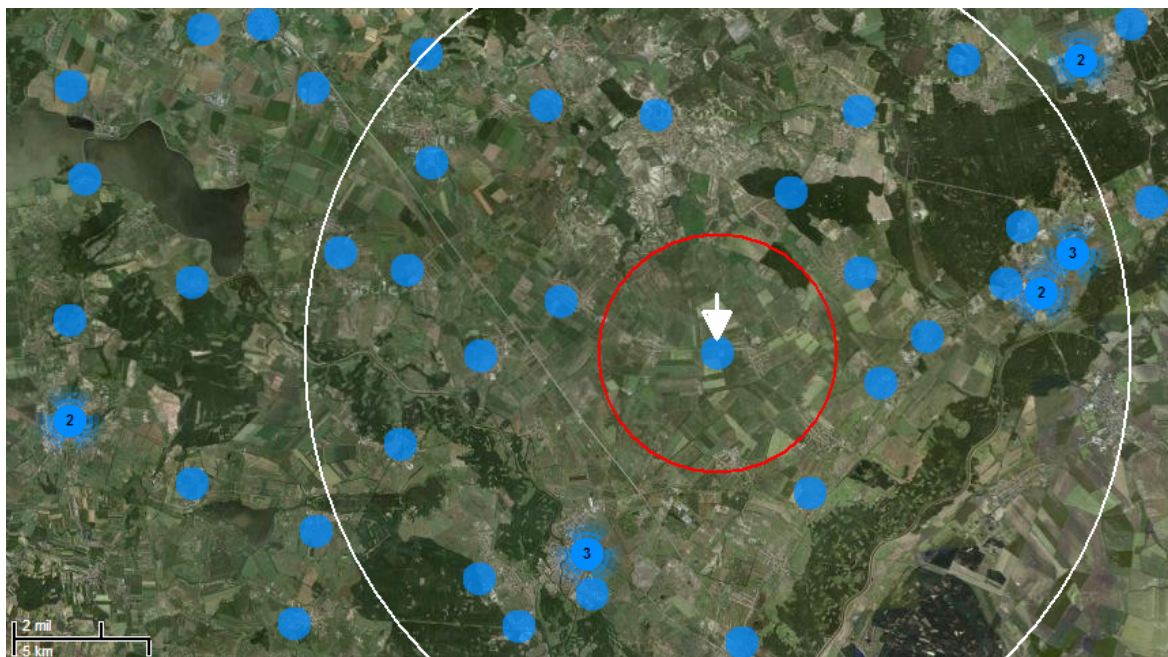
K otestování lokalizace přes GSM síť bude využita databáze základnových stanic z webových stránek www.gsmweb.cz. Tuto databázi spravují lidé se zálibou ve vyhledávání BTS. Databáze je neustále aktualizována a nyní obsahuje desetitisíce základnových stanic. V databázi jsou zaznamenány následující informace o buňkách:

- **CID** – Cell ID (v desítkovém a šestnáctkovém vyjádření)
- **LAC** – kód oblasti
- **Bch** – číslo přenosového kanálu
- **BSIC** – kód využívající se pro odlišení dvou základnových stanic vysílajících na stejném kanále.
- **GPS** – zeměpisné souřadnice jednotlivých BTS

Databáze dále ještě obsahuje datum záznamu, popis umístění BTS, okres, foto základnové stanice a autora záznamu.

6.1.2 Praktické otestování metody Cell ID

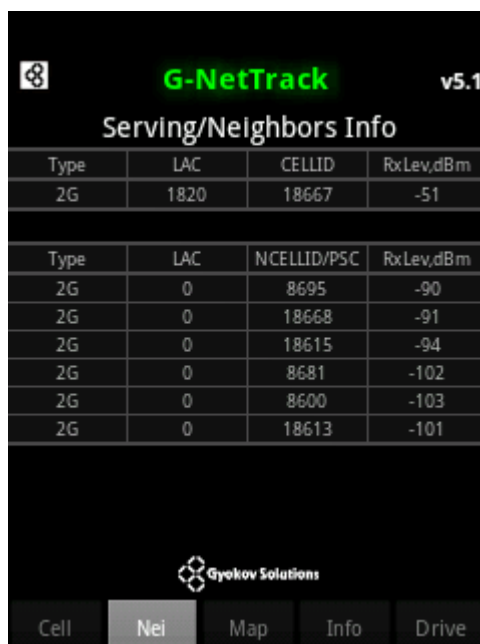
Údaj Cell ID byl použit pro vyhledání odpovídající buňky v databázi. Dále byl ověřen výsledek hledání (odpovídající BTS) dalšími naměřenými údaji. Následně byly z databáze zjištěny zeměpisné souřadnice základnové stanice a ta byla zobrazena na mapě.



Obrázek 17: metoda Cell ID: Umístění obsluhující BTS a sousedních BTS

V GSM síti se udává dosah BTS přibližně 35 km. Na obrázku č. 17 je bílou barvou vyznačena hranice 15 km od základnové stanice, už v tomto okruhu jsou zde asi dvě desítky sousedních základnových stanic (modré kruhy). Z toho vyplývá, že i když je teoretický dosah 35 km, tak reálný dosah, kde bude stanice pracovat jako obsluhovaná, bude mnohem menší, protože ve vzdálenějších místech bude s největší pravděpodobností signál této BTS „přebít“ silnějším signálem sousední BTS. Lze tedy tento uvažovaný okruh zmenšit přibližně na 3 km od BTS – červená kružnice.

Polohu však lze ještě dále zpřesnit dalšími údaji. Při znalosti sousedních stanic a síly jejich signálů je možné polohu určit s lepší přesností.

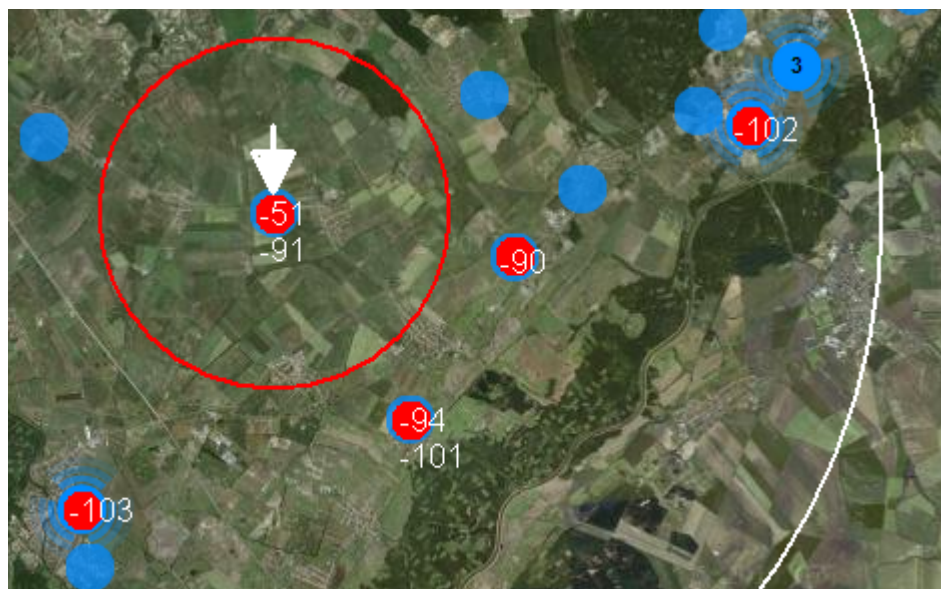


Type	LAC	CELLID	RxLev,dBm
2G	1820	18667	-51

Type	LAC	NCELLID/PSC	RxLev,dBm
2G	0	8695	-90
2G	0	18668	-91
2G	0	18615	-94
2G	0	8681	-102
2G	0	8600	-103
2G	0	18613	-101

Obrázek 18: metoda Cell ID: Výpis sousedních základnových stanic

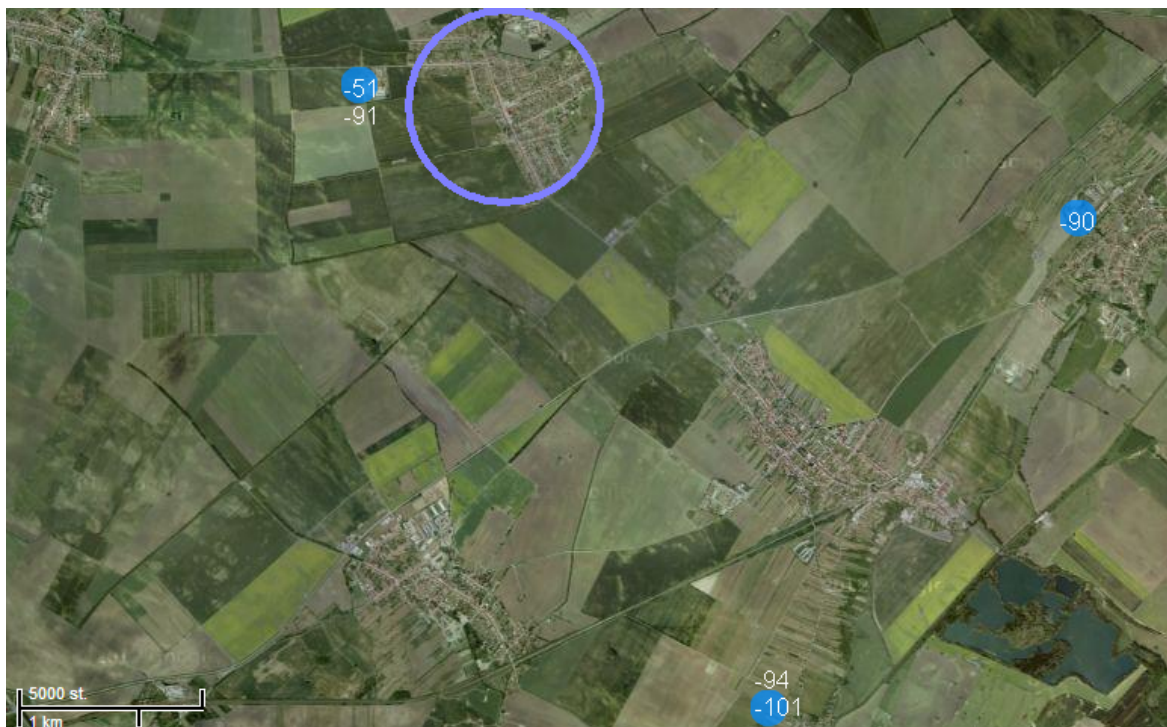
Pokud tyto údaje budou zaneseny do mapy, naznačí pak přibližný směr od obsluhující BTS, kde by se hledaný telefon mohl nacházet.



Obrázek 19: metoda Cell ID: BTS a jejich úrovně signálů

Z těchto údajů vyznačených na mapě lze tedy usoudit, že se MS bude nacházet pravděpodobně jihovýchodně od obsluhující buňky. Také lze vyčíst, že v místě, kde se nachází obsluhující BTS jsou dvě antény, jedna obsluhující (-51 dBm) a druhá – sousední zjevně s jinou orientací (-91 dBm). Dalším pomocným prvkem při určování polohy jsou také geografické informační systémy. Pomocí nich je možné z původního okruhu

vyfiltrovat jen ta pravděpodobnější místa (obydlená území, silnice).



Obrázek 20: metoda Cell ID: vyznačení výsledné oblasti

6.1.3 Výsledek metody Cell ID

Výsledkem samotné metody Cell ID (znalost polohy aktivní/obsluhující BTS a umístění okolních BTS) je oblast na obr. č. 19 vyznačená červenou kružnicí o poloměru 3 km se středem v bodě, ve kterém se nachází obsluhující BTS.

Další zpřesnění polohy MS přineslo vyhledání polohy sousedních základnových stanic, jejichž signál MS zachytila. Vyznačení síly signálů těchto sousedních BTS a výběr pouze obydleného území pak přineslo stanovení výsledné oblasti, jejíž hranice je vymezena na obr. č. 20 modrou kružnicí s poloměrem 800 m.

6.2 Geolokace s využitím WiFi

Metoda určování polohy na základě WiFi připojení bude druhou testovanou metodou. Na rozdíl od předchozí metody Cell ID, která využívá mobilní síť GSM, se zde využívá síť Internet. Paralelou k BTS v GSM síti je zde AP (Access Point – přístupový bod). Ten má obdobné funkce i využití k lokalizaci, jako základnová stanice. Rozdíl tvoří zejména dosah vysílaného signálu, který je ve srovnání s BTS mnohonásobně nižší. Pro standard IEEE 802.11n na frekvencích 2,4 nebo 5 GHz platí, že AP má dosah uvnitř

budovy přibližně 70 m a venku je to přibližně 250 m. [38]

6.2.1 Nástroje

Google Maps Geolocation API (Mapy Google)

U této metody bude využito rozhraní Googlu Google Maps Geolocation API, které pracuje s pravděpodobně největší databází zaznamenaných přístupových bodů. Geolokace zde funguje tak, že je do databáze zaslán požadavek s informacemi o okolních přístupových bodech a nazpět jsou vráceny souřadnice dotazovaného zařízení a přesnost. Požadavkem na určení pozice jsou do databáze zaslány následující údaje o přístupových bodech:

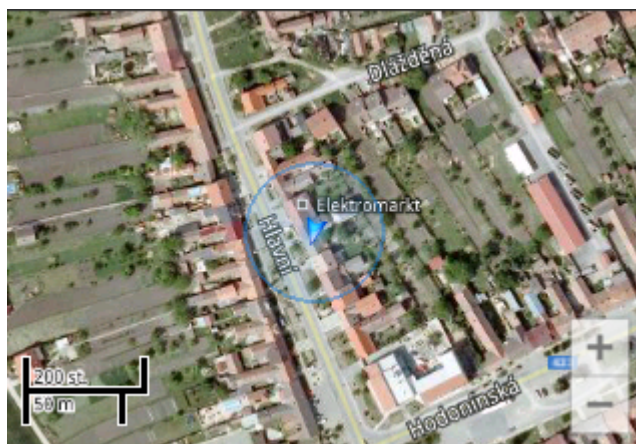
- **BSSID** – Basic Service Set Identifier – je unikátním identifikátorem pro WiFi router (označován také jako MAC adresa přístupového bodu WiFi). Tento údaj je jako jediný pro určení pozice nutný (po bezpečnostní aktualizaci jsou vyžadovány minimálně dva tyto údaje).
- **Síla signálu** – aktuální naměřená síla signálu, obvykle v jednotkách dBm.
- **Čas** – časová hodnota v milisekundách vyjadřující před jakou dobou byl přístupový bod detekován.
- **Kanál** – kanál přes který komunikuje s přístupovým bodem
- **Odstup signálu od šumu** – aktuální hodnota odstupu signálu od šumu v dB[27]

Tyto zasílané údaje také databázi aktualizují, stačí zaslat požadavek na určení pozice, se kterým se zároveň pošlou informace o okolních přístupových bodech a databáze se tak zaktualizuje.

6.2.2 Praktické otestování lokalizace s využitím WiFi

Metoda bude otestována aplikací Mapy Google, která je velice jednoduchá na použití. Nejprve je však potřeba povolit v menu operačního systému (Android) telefonu určování polohy pomocí bezdrátových sítí. Po spuštění aplikace stačí otevřít Menu a v něm vybrat položku Moje poloha. Následně dojde k vycentrování mapy na zjištěnou pozici, kolem níž se vytvoří modrý kruh označující přesnost, čili možnou odchylku od zjištěné

pozice. Všechny potřebné úkony (porovnání a výpočet polohy) tak učiní server Googlu a poskytne jen finální výsledek (souřadnice pozice a jejich přesnost).



6.2.3 Výsledek metody geolokace s využitím WiFi

Výsledkem geolokační metody s využitím dostupných informací o okolních přístupových bodech WiFi byla zjištěna pozice, vyznačena modrým kruhem, s přesností 35 m.

6.3 Geolokace metodou A-GPS

Třetí testovanou metodou je A-GPS. Metoda vyžaduje jak přístup do mobilní sítě, tak i možnost přijímat data z družic. Metodou bude testována zejména rychlost, přesněji doba mezi požadavkem na lokalizaci a určením pozice, a přesnost jaké je možné dosáhnout. Pro lokalizaci touto metodou byla vybrána aplikace Locus Map, která na rozdíl od aplikace Mapy Google použité u předchozí metody umožňuje lepší demonstraci metody A-GPS.

6.3.1 Nástroje

Locus Map

Jak už bylo výše napsáno, bude lokalizace probíhat přes aplikaci Locus Map. Ta je prezentována jako navigační aplikace pro turistiku, geocaching, sport a další. Aplikace podporuje jak online, tak i offline mapy, vyhledávání míst, záznam trasy, hlasovou navigaci, import/export souborů s dalšími aplikacemi využívající tyto geoinformace. V neposlední řadě ale nabízí i pokročilou práci s GPS, což zde bude následně využito.[28]



Obrázek 22: Locus Map - GPS

V pravém horním rohu je rozbalovací menu s odkazující na možnosti nastavení pro GPS, senzory a systémové nastavení týkající se zaměřování polohy. Nastavení pro GPS umožňuje různé způsoby spouštění a vypínání GPS zařízení, také rozšiřující nastavení pro nadmořskou výšku a hlavně také umožňuje reset A-GPS dat. Další menu řeší nastavení senzorů, tedy orientace, k čemuž slouží magnetometr (kompas) a tlaku měřeného barometrem, případně může být tlak odvozen z naměřené nadmořské výšky. Třetí nastavení vede do systémového menu, kde je možné povolit či zakázat zaměřování vlastní polohy přes bezdrátové sítě či satelity GPS.

Dolní část obsahuje dvě tlačítka pro zapnutí či vypnutí GPS zařízení nebo kompasu. Dále jsou zde zobrazeny údaje o zeměpisných souřadnicích (pod horní lištu), umístění, číslo a aktivita dostupných satelitů, nadmořská výška, rychlost, přesnost, počet satelitů jejichž polohu MS zná, deklinace a poslední zaznamenaný GPS fix (údaj o poloze MS).

6.3.2 Praktické otestování lokalizace s A-GPS

Jak bylo napsáno v úvodu, bude otestována rychlost a přesnost lokalizace. Ke změření rychlosti, doby mezi požadavkem na lokalizaci a vrácením polohy MS, je zapotřebí před testováním smazat data v paměti RAM, kde se po dobu několika hodin uchovávají informace o dráhových efemeridech a almanachu. To se provede odpojením baterie od telefonu a MS bude proto muset data stáhnout znovu.



Obrázek 23: metoda A-GPS: před spuštěním GPS

6.3.3 Výsledek metody geolokace s využitím A-GPS

Po tzv. studeném startu trvalo zařízení 17 sekund než určilo pozici MS alespoň s 30 m přesností, po 30 sekundách od zapnutí GPS už zařízení určilo pozici s přesností na 8 m. MS byla připojena k mobilní síti technologií HSDPA s povolenými mobilními datovými přenosy.

7 POROVNÁNÍ TEORETICKÝCH A PRAKTICKÝCH MOŽNOSTÍ

V této kapitole budou porovnávány možné odlišnosti teoretických a praktických možností vybraných geolokačních metod.

7.1 Cell ID

Teoretickou vlastností BTS je dosah signálu až 35 km, reálně se však dosah při této metodě pohybuje hlavně v rozmezí od 2 do 5 km, v závislosti na hustotě rozmístění základnových stanic.

Druhým rozdílnějším aspektem při určování polohy mobilního telefonu je přesnost, konkrétně v kmitočtovém pásmu od 1900 do 2200 MHz. V České republice je toto pásmo vyhrazeno zejména pro nasazení mobilních technologií třetí generace (3G), tedy UMTS nebo HSPA. Toto kmitočtové pásmo má však svá specifika. Tím nejdůležitějším je zhoršení vlastností signálu při prostupnosti prostředím, to neumožňuje dosahování tak velkého dosahu, jako je tomu v kmitočtovém pásmu od 850 do 950 MHz, kde jsou nasazeny technologie druhé generace (2G - GSM, GPRS, EDGE). Důsledkem tohoto nižšího dosahu je lepší přesnost při lokalizaci pomocí jedné základnové stanice, než je tomu u technologií 2G, ale je nutné dodat, že tato skutečnost má negativní dopad na určování pozice s využitím více základnových stanic. Málokteré území totiž překrývá více signálů 3G než jeden, to pak neumožňuje využití lokalizačních metod založených na určování polohy za pomoci více základnových stanic v 3G sítích.[24][25]

7.2 Geolokace s využitím WiFi

WiFi geolokace je velmi efektivní při využití ke geolokaci uvnitř budov, tzv. indoor geolokaci a nepotřebuje k tomu žádné dodatečné zařízení, v porovnání např. s GPS či A-GPS metodami. Přesnost WiFi geolokace se obvykle pohybuje od jednotek po desítky metrů, ale je nutné vzít v potaz také rozsah databáze. Tato databáze vznikla a je aktualizována tzv. „skenování“ WiFi, to bývá prováděno jak specializovanými auty k této činnosti vybavenými, tak i samotnými uživateli při současné používání WiFi připojení a GPS přijímače. Databáze neobsahuje však zdaleka všechny WiFi routery (BSSID routerů), natož jejich přesnou pozici. Problémy s lokalizací mohou tedy nastat při pokusu o určení polohy v místech, kde nebyly „naskenovány“ WiFi routery nebo v případně přemístění routeru do „nenaskenované“ lokace vznikne chybná lokalizace (databáze bude počítat s předchozím umístěním routeru). [26]

7.3 A-GPS

Asistované GPS vyžaduje ke své funkci data ze sítě (almanach a efemeridy), aby mohlo GPS zařízení uvnitř telefonu rychleji zaměřit dráhu viditelných satelitů a tak poskytnout rychlejší zaměření polohy. K tomu, aby bylo možné tyto data ze sítě stáhnout, je zapotřebí datového přenosu mezi telefonem a sítí. To však může být problém pro uživatele, kteří běžně nevyužívají mobilních datových přenosů. Datové přenosy jsou totiž obvykle mobilními operátory zpoplatněny nad rámec obvyklé kombinace volání a posílání SMS. Toto připojení mimo jiné vyžaduje povolení datových přenosů prostřednictvím sítě v mobilním telefonu.

7.4 Porovnání otestovaných metod

Metoda	Cell ID + RxLev	WiFi geolokace	A-GPS
Výhody	+ spolehlivost + dostupnost + rychlost	+ rychlost + přesnost (do 50m)	+ přesnost (do 20 m)
Nevýhody	- přesnost	- vyžaduje Internet	- horší prostupnost GPS signálu
Faktory ovlivňující přesnost	+/- mobilní BTS +/- hustota BTS	+/- zmapovanost okolí +/- počet okolních AP	- atmosférické vlivy +/- ministerstvo obrany USA*
Návrhy pro zdokonalení	+ zvýšení hustoty BTS + 3G na nižší frekvenci	+ zvětšení databáze + zvýšení počtu přesně určených AP	+ zvýšení rychlosti datových přenosů + častější korekce satelitů
změřená přesnost	800 m	35 m	30 / 8 m
změřená rychlost	1 s**	4 s	17 / 30 s

* selektivní dostupnost, anti-spoofing

** v případě provázanosti s databází BTS

Tabulka 2: Porovnání otestovaných metod

ZÁVĚR

Cílem lokalizačních metod je stanovit polohu zařízení. Výsledkem jsou pak obvykle zeměpisné souřadnice a možná odchylka od bodu jimi stanoveným. Tato práce se zaměřuje především na způsoby lokalizace mobilního telefonu v mobilní síti. Z tohoto důvodu byl v práci rozebrán generační vývoj mobilních technologií a následně popsána nejrozšířenější mobilní síť GSM. Při popisu GSM sítě jsem se zaměřil na její strukturu a pak na rozdělení do čtyř oblastí na mobilní uživatelské stanice, subsystém základnových stanic, síťově spojovací subsystém a operační a podpůrný subsystém. Podrobněji pak byly popsány jednotlivé části těchto oblastí, které se významněji podílí na lokalizaci mobilních telefonů. Třetí kapitola pak řeší samotné lokalizační metody v mobilních sítích. U jednotlivých metod byl vždy uveden typ sítě, ve které se daná metoda může použít, samozřejmě její princip a schéma fungování. Byly zde popsány metody založené na odvození polohy mobilního telefonu ze znalosti pozice okolních vysílačů a jejich dalších parametrů (Cell ID, E-OTD, OTDOA), ale také s využitím technologie GPS (A-GPS) a v závěru této kapitoly nejvhodnější kombinace metod. Čtvrtá kapitola pak rozšiřuje práci o lokalizační metody využívající síť Internet. Zde jsou metody rozděleny do dvou skupin, na pasivní metody, využívající k určení pozice dostupných informací o daném zařízení a na metody aktivní, které využívají různých měření.

Praktická část této práce je složena ze tří kapitol. První z těchto kapitol je zaměřena na rozbor silných a slabých stránek lokalizačních metod. Jsou zde také popsány možné situace a podmínky, kdy může dojít ke zhoršení přesnosti. Dále jsou v této části navrženy možné způsoby pro zlepšení vlastností lokalizačních metod. Ve druhé kapitole, praktické části, byly prakticky vyzkoušeny tři různé lokalizační metody. První metoda využívá k určení pozice mobilního telefonu mobilní síť, resp. její základnové stanice. Zde byla metoda Cell ID rozšířena o informace o okolních základnových stanicích a úrovni jejich signálu. Pro vyzkoušení této metody byla využita aplikace G-NetTrack a databáze základnových stanic z webových stránek gsmweb.net. Další otestovanou metodou byla metoda s využitím WiFi přístupových bodů do sítě Internet. Pro vyzkoušení této metody byla použita aplikace Mapy Google, která tímto způsobem umožňuje určovat polohu. A-GPS byla třetí testovaná metoda. U této metody byla pozornost zaměřena na rychlost první lokalizace (TTFF) a následně za jakou dobu bude určena přesnost do 10 m. Závěrečná kapitola je stručným shrnutím a porovnáním testovaných metod v tabulce.

CONCLUSION

Aim of location methods is to determine the position of the device. The result is usually the geographic coordinates and possible deviation from the set point by them. This thesis focuses on the localization of the mobile phone in the mobile network. For this reason, analyze this thesis too generational development of mobile technologies and subsequently described the most widely used GSM mobile network. In describing the GSM network, i focused on the structure and then at split into four areas, the mobile user stations, base station subsystem, network and switching subsystem and operations support system. Were then described in more detail each of these areas, which significantly contributes to the localization of mobile phones. The third chapter then solves itself location methods in mobile networks. For each method was always described the principle and operation scheme. There is a description method based on the derivation of mobile phone location from knowledge of the position of nearby transmitters and other parameters (Cell ID, E-OTD, OTDOA), but also using GPS (A-GPS) technology and at the end of this chapter the best combination of from this methods. The fourth chapter extends the work on location methods using the Internet. Here are the methods are divided into two groups, passive methods for determining position using available information about the device and the active methods, which use various measurements.

The practical part of this thesis consists of three chapters. The first of these chapters is focused on the analysis of the strengths and weaknesses of localization methods. There are also described possible situations and conditions which may be aggravated accuracy. Furthermore in this part are designed possible ways to improve the properties of localization methods. In the second chapter, of the practical part, they were practically tested three different location methods. The first method used mobile network to determine the position of the mobile phone, respectively its base transceiver stations. Here, the method Cell ID was extended by the information of the surrounding base transceiver stations and their signal level. To try this method was used application G-NetTrack and the base of base stations from the website gsmweb.net. Another of tested method was method using WiFi access points to the Internet. To try this method has been used application Google Maps, which allows such determination of position. A-GPS was the third test method. With this method, attention was focused on the time to first fix and then at what time takes than will be determined by the accuracy to 10 m. The final chapter is a brief summary and comparison of test methods in the table.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOKEŠOVÁ, Nikol. *Principy činností soudobých mobilních komunikačních sítí*. Brno, 2007. Dostupné z: <http://www.fi.muni.cz/usr/staudek/mobilni/mobilni.html#>. Bakalářská práce. Masarykova univerzita.
- [2] ZIKMUND, Martin. Jak se vyznat v mobilních datových sítích (UMTS, HSDPA, HSUPA, HSPA+, LTE). *BusinessVize* [online]. 2010 [cit. 16.5.2013]. Dostupné z: <http://www.businessvize.cz/datove-prenosy-a-site/jak-se-vyznat-v-mobilnich-datovych-sitich-umts-hsdpa-hsupa-hspa-lte>
- [3] POSPÍŠIL, Adam. *Vyzkoušeli jsme internet budoucnosti. Revoluční LTE mění pravidla hry* [online]. 2011 [cit. 16.5.2013]. Dostupné z: http://mobil.idnes.cz/vyzkoušeli-jsume-internet-budoucnosti-revolucni-lte-meni-pravidla-hry-1mj-/mob_tech.aspx?c=A110404_134236_mob_tech_apo
- [4] SMOLNÍK, Petr a Aleš VOŽENÍLEK. *Novinky v LTE-Advanced* [online]. 2012 [cit. 16.5.2013]. Dostupné z: <http://www.netguru.cz/rozhovory/novinky-v-lte-advanced.html>
- [5] WANNSTROM, Jeanette. *LTE-Advanced* [online]. 2012 [cit. 16.5.2013]. Dostupné z: <http://www.3gpp.org/lte-advanced>
- [6] RICHTR, Tomáš. *Historie systému GSM* [online]. 2002 [cit. 14.4.2013]. Dostupné z: <http://tomas.richtr.cz/mobil/bunk-gsm.htm>
- [7] RICHTR, Tomáš. *Základní struktura sítě GSM* [online]. 2002 [cit. 14.4.2013]. Dostupné z: <http://tomas.richtr.cz/mobil/gsm-struktss.htm>
- [8] WIKIPEDIE. *Global System for Mobile Communications* [online]. 2013 [cit. 14.4.2013]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Global_System_for_Mobile_Communications&oldid=10260401
- [9] GSMA. *Mobile Technology: GSM* [online] 2013 [cit. 14.4.2013]. Dostupné z: <http://www.gsma.com/aboutus/gsm-technology/gsm>
- [10] SnapTrack, A QUALCOMM Company. *Location Technologies for GSM, GPRS and UMTS Networks*. [online]. 2006 [cit. 4.4.2013]. Dostupné z: http://www.cs.uiuc.edu/homes/haiyun/cs598hl/papers/location_tech_wp_1-03.pdf

- [11] ZABLOUDIL, Pavel. *Základnová stanice - BTS (Base Transceiver Station)* [online]. České vysoké učení technické v Praze, 2005 [cit. 30.4.2013]. Dostupné z: http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK05_semestralky/stanice_BTS.pdf
- [12] ČERNÝ, Jan, František BITTNER, Eva DAVIDOVÁ a Jaroslav ŽULAVSKÝ. *Vše o základnových stanicích: Podrobná příručka* [online]. Praha: Asociace provozovatelů mobilních sítí, 2011, 23 s. [cit. 30.4.2013]. Dostupné z: <http://www.zdraviamobil.cz/default/file/download/id/101>
- [13] SYNKOVÁ, Zuzana. *Měření a analýza výkonu signálu základnových stanic systému GSM*. Pardubice, 2012. Dostupné z: http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/48574/2/SynkovaZ_MereniaAnalyza_ZN_2012.pdf. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice.
- [14] WIKIPEDIA. *SMLC* [online]. 2011 [cit. 30.4.2013]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=SMLC&oldid=412193028>
- [15] BAHLMANN, Bruce. *LMU - Location Measurement Unit* [online]. [cit. 30.4.2013]. Dostupné z: <http://www.birds-eye.net/definition/acronym/?id=1165799795>
- [16] TELECOM ABC. *SGSN* [online]. 2005 [cit. 30.4.2013]. Dostupné z: <http://www.telecomabc.com/s/sgsn.html>
- [17] WIKIPEDIA. *GPRS core network* [online]. 2013 [cit. 30.4.2013]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=GPRS_core_network&oldid=552524988
- [18] *Mobilní komunikace* [online]. České vysoké učení technické v Praze, 2007, 9 s. [cit. 30.4.2013]. Dostupné z: http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK07_semestralky/GSM_GPRS.pdf
- [19] WIKIPEDIA. *GMLC* [online]. 2013 [cit. 30.4.2013]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=GMLC&oldid=543315224>
- [20] RICHTR, Tomáš. *Přístupová síť UTRAN* [online]. 2002 [cit. 30.4.2013]. Dostupné z: <http://tomas.richtr.cz/mobil/utran.htm>
- [21] EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARDS INSTITUTE. *ETSI TS 125 450: V5.1.0* [online]. 2002, 14 s. [cit. 30.4.2013]. Dostupné z: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/125400_125499/125450/05.01.00_60/ts_125450v050100p.pdf

- [22] WANG, Shu, Jungwon MIN a Byung K. YI. *Location Based Services for Mobile: Technologies and Standards* [online]. LG Electronics Mobile Research, 2008, 123 s. [cit. 11.3.2013]. Dostupné z: <http://sites.google.com/site/toswang/ICC2008LBSforMobilesimplifiedR2.pdf>
- [23] WIJESINGHE, Pushpika. *Positioning Techniques in 3G Networks* [online]. 2007, 47 s. [cit. 11.3.2013]. Dostupné z: <http://www.ent.mrt.ac.lk/dialog/documents/Positioning%20Techniques%20in%203G%20Networks.ppt>
- [24] PV-P/6/11.2011-16. *Část plánu využití rádiového spektra pro kmitočtové pásmo 1900–2200 MHz*. Praha: Český telekomunikační úřad, 2011. Dostupné z: http://www.ctu.cz/cs/download/plan-vyuziti-radioveho-spektra/rok_2011/pv-p_06-11_2011-16.pdf
- [25] PV-P/10/08.2012-11. *Část plánu využití rádiového spektra pro kmitočtové pásmo 470–960 MHz*. Praha: Český telekomunikační úřad, 2012. Dostupné z: http://www.ctu.cz/cs/download/plan-vyuziti-radioveho-spektra/rok_2012/pv-p_10-08_2012-11.pdf
- [26] LEITERITZ, Raphael. *Google Location Based Services* [online]. 2010, 4 s. [cit. 16.5.2013]. Dostupné z: http://static.googleusercontent.com/external_content/untrusted_dlcp/www.google.com/cs/googleblogs/pdfs/google_submission_dpas_wifi_collection.pdf
- [27] *The Google Maps Geolocation API* [online]. 2013 [cit. 16.5.2013]. Dostupné z: <https://developers.google.com/maps/documentation/business/geolocation/>
- [28] *Locus Map – Androidí online/offline mapová aplikace* [online]. 2013 [cit. 16.5.2013]. Dostupné z: <http://www.locusmap.eu/>
- [29] RICHTER, Tomáš. *IMT-2000* [online]. 2002 [cit. 14.4.2013]. Dostupné z: <http://tomas.richtr.cz/mobil/umts.htm>
- [30] NERUDA, M. *Technologie HSDPA* [online]. 2009 [cit. 16.5.2013]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cislocclanku=2009020003>
- [31] *UMTS Location Based Services* [online]. 2003 [cit. 30.4.2013]. Dostupné z: <http://www.umtsworld.com/technology/lcs.htm>

- [32] VERNER, Lukáš; KOMOSNÝ, Dan. *Geolokace síťových zařízení v internetových sítích*. Elektrovue [online]. 2011, 2011, 33, [cit. 2012-12-1]. Dostupné z: www.elektrovue.cz. ISSN 1213-1539.
- [33] HRABALOVÁ, Eliška. *Geolokace* [online]. 2011 [cit. 2012-12-1]. Dostupné z: <http://kisk.phil.muni.cz>
- [34] ČÍŽEK, Jakub. *Hackujeme Google: vím, kde je tvůj Wi-Fi router*. Živě [online]. 2010, [cit. 2012-12-1]. Dostupné z: www.zive.cz
- [35] DOLEŽEL, Pavel. *Současné možnosti nalezení fyzické pozice stanice v Internetu* [online]. V Brně, 2.6.2011 [cit. 2012-12-01]. Dostupné z: www.vutbr.cz. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [36] CHMELAR, Jakub. *Využití přenosových vlastností optických kabelů pro určování polohy stanic v síti Internet* [online]. V Brně, 2.6.2011 [cit. 2012-12-01]. Dostupné z: www.vutbr.cz. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [37] *G-NetTrack - Android OS UMTS/GSM/LTE/CDMA/EVDO Network Monitor and Drive Test tool* [online]. 2013 [cit. 16.5.2013]. Dostupné z: <http://www.gyokovsolutions.com/G-NetTrack%20Android.html>
- [38] WIKIPEDIE. *Access point* [online]. 2013 [cit. 16.5.2013]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Access_point&oldid=10131852

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

3GPP	3rd Generation Partnership Project
A-GPS	Asistované GPS
ADC	Administrativní centrum
AMPS	Advanced Mobile Phone System
AP	Access Point
AuC	Centrum autentičnosti
BSC	Základnová řídicí stanice
BSIC	Base Station Identity Code
BSS	Subsystém základnových stanic
BSSID	Basic Service Set Identifier
BTS	Base Transceiver Station
CBG	Constraint-Based Geolocation
CDMA	Code division multiple access
CEPT	Konference evropských správ pošt a telekomunikací
dBm	Jednotka výkonu
DL	DownLoad
DNS	Domain Name System
E-OTD	Enhanced Observed Time Difference
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EIR	Identifikační registr mobilních stanic
ETSI	Evropský telekomunikační normalizační institut
EVDO	Enhanced Voice-Data Optimized
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GMLC	Gateway Mobile Location Centre
GMSC	Gateway Mobile Switching Centre
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Globální systém pro mobilní komunikaci
GTD	Geometry Time Difference
HARQ	Hybrid automatic repeat request
HLR	Domovský lokační registr
HSCSD	High-speed circuit-switched data
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access

HSS	Home subscriber server
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access
IANA	Internet Assigned Numbers Authority
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IP	Internet Protocol
IPDL	Idle Periods in Down Link
ISDN	Integrated Services Digital Network
IWF	Jednotka spolupráce s externími sítěmi
LAC	Location Area Code
LLC	Logical link control
LMU	Location Measurement Unit
LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Access Control
MCC	Mobile country code
MNC	Mobile country code
MS	Mobilní stanice
MSC	Mobilní radiotelefonní ústředna
MSISDN	Mobile Subscriber ISDN Number
NMC	Centrum pro řízení sítě
NMT	Nordic Mobile Telephony
NSS	Síťový spojovací subsystém
OMC	Provozní a servisní centrum
OTDOA	Observed Time Difference Of Arrival
PCAP	Packet CAPture
PCS	Personal Communications Service
RAM	Random-access memory
RNC	Radio Network Controller
RTD	Real Time Difference
RTT	Round trip time
SAS	Stand-Alone Assisted GPS SMLC
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIM	Subscriber identity module
SMLC	Serving Mobile Location Center

SMS	Short message service
SRNC	Serving Radio Network Controller
SSID	Service Set Identifier
TA	Time advance
TACS	Total Access Communication System
TBG	Topology-Based Geolocation
TDMA	Time Division Multiple Access
TTF	Time To First Fix
UL	UpLoad
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
VLR	Návštěvníkový lokační registr
W-CDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WiFi	Bezdrátová komunikace v počítačových sítích

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Struktura sítě GSM[8].....	15
Obrázek 2: Základní prvky sítě pro určování polohy v GSM a GPRS sítích[10].....	18
Obrázek 3: Základní prvky sítě pro určování polohy v UMTS sítích[10].....	18
Obrázek 4: Cell ID + Time Advance[22].....	22
Obrázek 5: Cell ID + Time Advance + RXLEV[22].....	23
Obrázek 6: metoda E-OTD[10].....	24
Obrázek 7: metoda OTDOA[31].....	24
Obrázek 8: OTDOA s technologií IPDL[22].....	25
Obrázek 9: metoda A-GPS[10].....	26
Obrázek 10: Příklad CBG geolokace[35].....	30
Obrázek 11: Příklady TBG geolokace[32].....	31
Obrázek 12: G-NetTrack - záložka Cell.....	42
Obrázek 13: G-NetTrack - záložka Nei.....	43
Obrázek 14: G-NetTrack - záložka Map.....	43
Obrázek 15: G-NetTrack - záložka Info.....	44
Obrázek 16: G-NetTrack - záložka Drive.....	44
Obrázek 17: metoda Cell ID: Umístění obsluhující BTS a sousedních BTS.....	46
Obrázek 18: metoda Cell ID: Výpis sousedních základnových stanic.....	47
Obrázek 19: metoda Cell ID: BTS a jejich úrovně signálů.....	47
Obrázek 20: metoda Cell ID: vyznačení výsledné oblasti.....	48
Obrázek 21: Metoda geolokace s WiFi: Výsledné zaměření.....	50
Obrázek 22: Locus Map - GPS.....	51
Obrázek 23: metoda A-GPS: před spuštěním GPS.....	52

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Porovnání vlastností lokalizačních metod.....	40
Tabulka 2: Porovnání otestovaných metod.....	55