

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Možnosti monitoringu a přesné lokalizace osob

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Jan Hart, Ph.D.

Autor práce: Bc. Antonín Sirotek

PRAHA 2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Antonín Sirotek

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Možnosti monitoringu a přesné lokalizace osob

Název anglicky

Possibilities of monitoring and precise localization of persons

Cíle práce

Diplomová práce je tematicky zaměřena na problematiku monitoringu a přesné lokalizace osob. Hlavním cílem je provést popis jednotlivých typů monitoringu a lokalizace osob a prakticky otestovat vybrané metody.

Dílní cíle diplomové práce jsou:

- vytvořit přehled řešené problematiky,
- definovat jednotlivé typy lokalizace,
- provést testování vybraných metod monitoringu a lokalizace osob

Metodika

Metodika řešené problematiky diplomové práce je založena na studiu a analýzách odborných informačních zdrojů. Praktická část práce je zaměřena na monitoring a přesnou lokalizaci osob a následné otestování těchto systémů. Na základě rozboru teoretických poznatků a výsledků praktické části práce budou formulovány závěry diplomové práce.

Doporučený rozsah práce

50 až 60 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

Lokalizace, monitoring, trasování, triangulace

Doporučené zdroje informací

ČERNÝ, J. – STEINER, I. *GPS od A do Z*. Praha: eNav, 2003. ISBN 80-239-0228-8.

HEŘMAN, J., et al.: *Elektrotechnické a telekomunikační instalace*. Praha: Verlag Dashöfer, 2008. ISSN 1803-0475.

HRDINA, Z. – VEJRAŽKA, F. – ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. ELEKTROTECHNICKÁ FAKULTA, – PÁNEK, P. *Rádiové určování polohy : (družicový systém GPS)*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995. ISBN 80-01-01386-3.

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Jan Hart, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 12. 1. 2017

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 22. 06. 2017

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „**Možnosti monitoringu a přesné lokalizace osob**“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že má diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom 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, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne

.....
podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Janu Hartovi, Ph.D. za ochotu, trpělivost a cenné rady, které mi pomohly při zpracování této práce.

Možnosti monitoringu a přesné lokalizace osob

Abstrakt:

Tato diplomová práce se zabývá problematikou monitoringu a přesné lokalizace osob. Bude zde proveden teoretický rozbor jednotlivých systémů, popsány jejich principy a význam v porovnání s ostatními. Budou zhodnoceny výhody a nevýhody jednotlivých systémů. V praktické části budou testovány jednotlivé systémy a zhodnocena jejich kvalita. Kvalitou lokalizace je myšlena především její přesnost, rychlost, konzistentnost a spolehlivost v různých podmínkách. Díky získaným datům budou porovnány vlastnosti jednotlivých systémů. V závěru práce bude shrnuta výše zmíněná problematika.

Klíčová slova: lokalizace, trasování, triangulace

Possibilities of monitoring and precise localization of persons

Summary:

This diploma thesis deals with the issue of monitoring and accurate localization of people. There will be analysis of the particular systems, there will be described their principles and their importance compared to others. Benefits and disadvantages of individual systems will be assessed. The practical part will test individual systems and evaluate their quality. The quality of localization means its accuracy, speed, consistency and reliability in various conditions. The data obtained will be used to compare the properties of each system. This issue will be summarized at the end of the thesis.

Key words: localization, tracking, triangulation

Obsah

1	Úvod	6
2	Cíl práce	7
3	Metodika práce	8
4	Přehled řešené problematiky	9
4.1	Principy lokalizace	9
4.1.1	Trilaterace	9
4.1.2	Triangulace	10
4.2	Mobilní sítě	10
4.2.1	Nejpoužívanější technologie buňkových sítí	12
4.2.2	Lokalizace mobilních zařízení v mobilních sítích	14
4.2.3	Metody lokalizace v mobilních sítích	15
4.2.4	Využití lokalizace pomocí mobilní sítě	19
4.2.5	Omezení a rizika lokalizace pomocí mobilní sítě	20
4.3	GNSS	21
4.3.1	GPS	21
4.3.2	Určování polohy pomocí GPS	23
4.3.3	Zpřesňující metody	24
4.3.4	A-GPS	25
4.3.5	Ostatní družicové polohovací systémy	26
4.3.6	Omezení GPS	27
4.3.7	Využití GNSS	28
4.4	Další způsoby lokalizace	33
4.4.1	Smart Beacons	33
4.4.2	IPS	34
4.4.3	RFID	35
4.4.4	RTLS	36

4.4.5	Lokalizace pomocí Wi-Fi	37
4.4.6	Lokalizace pomocí IP adresy	38
5	Praktická část práce	39
5.1	Lokalizace osob pomocí aplikace chytrého telefonu	39
5.2	Testování jednotlivých způsobů lokalizace v rozdílných prostředích	45
5.3	Demonstrace metody Cell ID	48
5.4	Srovnání cen lokalizace pomocí osobního lokátoru a chytrého telefonu	50
6	Zhodnocení výsledků	53
7	Závěr	61
8	Seznam použitých zdrojů	62
9	Seznam příloh	69

Seznam použitých zkratk

ACII	American Standard Code for Information Interchange
A-GPS	Assisted GPS, asistovaná GPS
AP	Access Point
BSC	Base Station Controller
BSSID	Basic Service Sets Identifier
BTS	Base Transceiver Station, základová stanice
CAN	Controller Area Network
CD	Compact Disc, kompaktní disk
CGI	Cell Global Identity
CGI + TA	Cell Global Identity + Timing Advance
CPU	Central Processing Unit, centrální procesorová jednotka
ČR	Česká republika
DOP	Dilution Of Precision
DVB-T	Digital Video Broadcasting - Terrestrial, digitální vysílání
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
E-OTD	The enhanced observed time difference method
GAGAN	GPS aided geo augmented navigation
GBAS	Ground Based Augmentation Systems
GLONASS	Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistéma
GMLC	Gateway Mobile Location Centre
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Globální systém pro mobilní komunikaci, původně francouzsky Groupe Spécial Mobile
HLR	Home Location Register
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access

HSS	Home Subscriber Server
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IP	Internet Protocol
LA	Location Area
LAC	Location Area Code
LBS	Location-based Service
LMU	Location Measurement Units
LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Access Control
MCC	Mobile Country Code
MNC	Mobile Network Code
MS	Mobile Station, mobilní zařízení
MSAS	Multi-functional Satellite Augmentation System
MSISDN	Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network Number
NB	Network-based
OTDOA	Observed Time Difference Of Arrival
RAM	Random Access Memory
RFID	Radio Frequency Identification, identifikace na rádiové frekvenci
ROM	Read-Only Memory
RSSI	Receive Signal Strength Indicator
RTLS	Real-time Locating Systems
RTT	Round Trip Time
SBAS	Satellite Based Augmentation Systems
SIM	Subscriber Identity Module
SMLC	Serving Mobile Location Center
SMS	Short Message Service, služba krátkých textových zpráv
SSID	Service Set Identifier
TA	Timing Advance

TB	Terminal/Handset-based
TTFF	Time To First Fix
UE	User Equipment
UL-TOA	Uplink Time Of Arrival
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
WAAS	Wide Area Augmentation System

1 Úvod

Potřeba orientovat se v prostoru byla pro člověka důležitá od pradávna. Lidé se pohybovali díky znalosti okolí svého sídla a pomocí význačných bodů v krajině. S vývojem civilizace se objevila potřeba cestovat na větší vzdálenosti do neznámých míst. Lidé se tak naučili orientovat pomocí Slunce a hvězd. Později byl vynalezen magnetický kompas, který umožnil určit světové strany. S rozvojem námořní dopravy už nestačilo pouze znát směr a lidé zdokonalili určování polohy pomocí hvězd či bodů v krajině uhlovými měřeními.

Ve dvacátém století dosáhla navigace téměř dokonalosti. Celá řada technologií umožnila nalézt lidem cestu a určit svoji polohu kdekoli na světě. S nástupem radiových vysílačů se začaly budovat navigační systémy založené na vysílání a příjmu rádiových signálů. Vysílače rádiových systémů se zprvu rozmísťovaly na zemském povrchu, následně se přesunuly do blízkého vesmíru ve formě družic. V několika generacích tak vznikaly družicové navigační systémy, které se rozvinuly až do podoby dnešních systémů globální navigace.

Vyspělé technologie už nepoužívá pouze armáda, ale jsou čím dál více dostupné všem lidem. Rozvoj technologií a konkurence snižuje nejen rozměry a hmotnost zařízení ale i jejich cenu. Díky technologiím můžeme nejen určit svou polohu, ale i sledovat další osoby a jiné objekty. Například uživatelé mobilních telefonů jsou dobře dohledatelní, čehož si ani nemusí být vědomi. Toho může využívat záchranná služba při výjezdu či policie při pátrání po pohřešovaných osobách. Lokalizace a monitoring nejsou omezeny pouze na osoby, dohledat lze i odcizené předměty. Autopiloti strojů mohou být naváděni systémy globální družicové navigace. Nyní je určení polohy pro člověka snadnější než kdykoli předtím, tomu však předcházelo tisíce let vývoje. Technologický pokrok proniká do všech odvětví lidské činnosti, od dopravy přes zemědělství až po zdravotnictví.

2 Cíl práce

Diplomová práce se zabývá problematikou monitoringu a přesné lokalizace osob. Hlavním cílem je provést rozbor jednotlivých typů monitoringu a lokalizace.

Dílčí cíle diplomové práce jsou:

- vytvoření přehledu řešené problematiky,
- testování vybraných metod monitoringu a lokalizace,
- definování jednotlivých typů lokalizace.

Dále dojde:

- ke zhodnocení významu jednotlivých systémů pro lokalizaci,
- k určení jejich výhod a nevýhod v porovnání s ostatními systémy.

Na základě teoretických poznatků a výsledků praktické části práce bude porovnána kvalita jednotlivých metod.

3 Metodika práce

Na základě studia a analýzy odborných informačních zdrojů bude popsána problematika monitoringu a přesné lokalizace osob a vytvořen ucelený přehled této problematiky. Získané poznatky budou použity při řešení praktické části diplomové práce, která se zabývá testováním vybraných metod monitoringu a lokalizace osob.

Praktická část diplomové práce bude zaměřena na testování lokalizace osob různými metodami pomocí chytrých mobilních telefonů s aplikací sloužící přímo pro tracking (stopování) osob. Poloha uživatelů bude sledována a určována pomocí chytrých telefonů, zaznamenaná data budou ukládána a následně zpracována a vyhodnocena.

Určování polohy pomocí chytrých telefonů proběhne i v rozdílných přesně definovaných prostředích. Na základě toho bude porovnána kvalita jednotlivých metod. Kvalitou se je zde myšlena především přesnost, rychlost, spolehlivost a konzistentnost jednotlivých metod.

Náklady na lokalizaci osob pomocí chytrého osobního telefonu budou srovnány s náklady na lokalizaci pomocí osobních lokátorů dostupných na českém trhu. Díky získaným poznatkům budou uvedena i možná doporučení.

Závěry diplomové práce budou formulovány na základě teoretických poznatků a výsledků praktické části práce. Budou zde rovněž porovnány teoretické předpoklady s výsledky měření.

4 Přehled řešené problematiky

Rozvoj moderních technologií umožnil automatizované lokalizování a monitorování objektů, které získává široké využití. Lokalizací je zde myšleno určování umístění objektu v prostoru. Monitoringem se míní systematický sběr informací o určitém objektu probíhající po určitou dobu. Dále jsou rozebrány principy fungování jednotlivých technologií, oblasti využití, rizika jednotlivých systému, jejich výhody a nevýhody.

4.1 Principy lokalizace

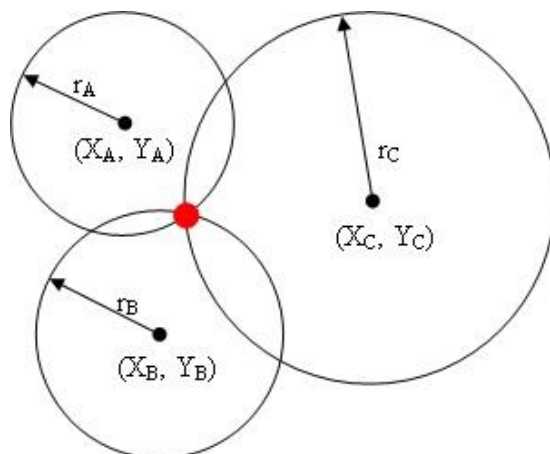
Pod pojmem lokalizace si můžeme představit zjišťování určitého objektu v prostoru, určování jeho polohy a parametry jeho pohybu. [1]

4.1.1 Trilaterace

Goniometrická metoda trilaterace slouží pro relativní určení polohy objektů v prostoru, přičemž k tomu využívá geometrických obrazců kružnic. Pomocí znalosti pozice referenčních bodů a vzdálenosti od těchto bodů se stanoví pozice neznámého bodu. Vzdálenost od referenčních bodů představuje poloměr kružnice, viz obrázek 1. Pozice hledaného bodu je průsečíkem těchto kružnic. Průsečíkem dvou kružnic získáme dva pravděpodobné body, průsečíkem třech kružnic získáme přesné určení hledaného bodu. V soustavě rovnic jsou referenční body A, B, C a vzdálenosti od těchto bodů jsou poloměry r . Výpočtem se získají souřadnice (x, y) hledaného bodu, viz rovnice 4.1. Přesnost trilaterální lokalizace je závislá na správné vzdálenosti od referenčních bodů. [1]

$$\begin{aligned} A: (X - X_A)^2 + (Y - Y_A)^2 &= r_A^2 \\ B: (X - X_B)^2 + (Y - Y_B)^2 &= r_B^2 \\ C: (X - X_C)^2 + (Y - Y_C)^2 &= r_C^2 \end{aligned} \quad (4.1.)$$

Obrázek 1 princip trilaterace



Zdroj: autor

4.1.2 Triangulace

Metoda triangulace využívá goniometrických funkcí k určení souřadnic hledaného bodu. Ze dvou referenčních bodů a třetího neznámého bodu se skládá trojúhelník. K určení neznámého bodu je nutno znát délku strany mezi referenčními body a dva úhly. Pro výpočet triangulací se používá Sinová věta, viz rovnice (4.2.) a Kosinová věta, viz rovnice (4.3.). [1, 2]

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma} \quad (4.2.)$$

kde a , b , c jsou délky stran trojúhelníku.

$$\begin{aligned} a^2 &= b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos \alpha \\ b^2 &= c^2 + a^2 - 2ca \cdot \cos \gamma \\ c^2 &= a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos \beta \end{aligned} \quad (4.3.)$$

kde α , β , γ jsou úhly trojúhelníka.

4.2 Mobilní síť

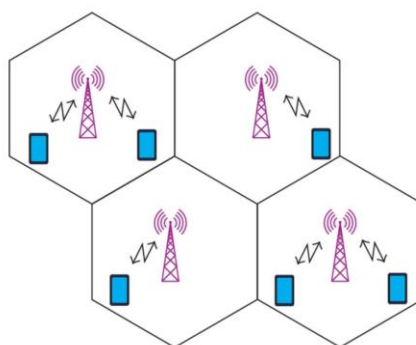
Mobilní síť lze využít pro lokalizaci mobilního zařízení (mobilní telefony, pagery apod.) komunikujícího se sítí. Díky tomu je možné lokalizovat uživatele mobilního zařízení, samozřejmě za předpokladu, že zařízení nosí u sebe. Pro pochopení principů tohoto způsobu

lokalizace je nutné nejdříve porozumět principům fungování mobilních sítí, které jsou popsány v následujících kapitolách. [3]

Mobilní síť je telekomunikační síť určená pro telefonní hovory, přenos dat a další služby mezi dvěma a více účastníky. V mobilní síti není účastník omezen pouze na místa s telefonní přípojkou. Mobilní zařízení komunikují se sítí pomocí rádiových vln. Mobilní telekomunikační síť lze rozdělit na buňkové neboli celulární rádiové sítě, síť pro satelitní telefon a síť pro bezdrátový (také pod názvem bezšňůrový) telefon. Většina mobilních zařízení používá buňkové sítě, které budou popsány v následujícím textu. [3]

Buňková neboli celulární rádiová síť (z latinského celula neboli buňka) se skládá z množství základových stanic, které tvoří soustavu buněk. Každá buňka obsahuje přijímače a vysílače, jenž pokrývají určité území, které navazuje na území pokryté dalšími buňkami. Oblast pokrytá signálem je rozdělena na buňky pravidelných tvarů. Mohou to být šestiúhelníkové, čtvercové, kruhové nebo jiné pravidelné tvary. Nejpoužívanější jsou šestiúhelníkové buňky, viz obrázek 2. [3, 4]

Obrázek 2 Síť mobilních buněk



Zdroj: www.researchgate.net

Buňkové systémy pracují na frekvencích od 300 MHz do 3 GHz. Každá buňka používá několik frekvencí. Stejně frekvence jsou použity v různých buňkách za předpokladu, že buňky jsou od sebe dostatečně daleko a nejsou to sousední buňky. Použití stejných frekvencí v sousedních buňkách by způsobilo rušení. Pokud se v mobilní síti pohybuje mobilní zařízení, přechod mezi frekvencemi jednotlivých buněk je prováděn elektronicky bez jakékoliv zásahu operátora či uživatele. Tato akce se nazývá předání spojení (anglicky handover). Mobilní zařízení přepne z jednoho kanálu na další a pokračuje v komunikaci bez přerušení. [3,5]

Rádiové vlny mají omezený dosah, ten závisí na mnoha faktorech. Jsou to především frekvence, prostředí šíření vln (nejlépe se šíří ve volném prostoru, velmi špatně přes vodu a zdi), zisk přijímací a vysílací antény, výkon vysílače a některé další. [4,5]

Použitá frekvence má vliv na velikost buněk, viz tabulka 1. Nižší frekvence např. 450 MHz je vhodná pro volnou krajinu a pokrytí venkova. Frekvence 900 MHz je vhodná pro řídké osídlené městské oblasti. Vyšší frekvence 1,8 GHz a 2,1 GHz jsou nevýhodné pro pokrytí, ale výhodné pro větší kapacitu. Tudíž ve větších městech mají buňky velikost většinou do 1 km, mimo město mohou mít velikost do 10 km, v otevřených oblastech až 40 km. [6]

Tabulka 1 Pokrytí buňky v závislosti na frekvenci pro síť CDMA

Frekvence (MHz)	Poloměr buňky (km)	Plocha buňky (km²)
450	48,9	7 521,0
950	26,9	2 269,0
1 800	14,0	618,0
2 100	12,0	449,0

Zdroj: www.itu.int

Mobilní zařízení nekomunikují přímo mezi sebou, ale se základovými stanicemi, které používají kvalitnější přijímače, vyšší výkon vysílače, směrové antény s vyšším ziskem a jsou umístěny vysoko nad terénem. Kdyby mobilní zařízení komunikovala přímo mezi sebou, bylo by zapotřebí lepších rozměrnějších antén, větších baterií a lepšího prostředí pro šíření vln. To by bylo méně komfortní pro uživatele mobilních zařízení. Mobilní zařízení komunikují se sítí v průběhu hovoru, při zaslání SMS (služba krátkých textových zpráv, z anglického Short message service), datovém spojení, zapnutí a vypnutí přístroje či po několika hodinách neaktivity. [7, 8]

4.2.1 Nejpoužívanější technologie buňkových sítí

GSM (v překladu Globální systém pro mobilní komunikaci, původně francouzsky Groupe Spécial Mobile) je v současné době nejrozšířenějším standardem pro mobilní telefony. Pracovní skupina GSM navrhla systém využívající digitální technologii již v roce 1982. Digitální technologie umožňuje další služby, jako jsou textové zprávy (SMS), datové přenosy, zobrazování čísla volajícího, hlasová schránka či přesměrování hovorů. Digitalizace také zvyšuje kvalitu zvuku, umožňuje šifrování a tím ztěžuje odposlech hovorů. Buňky v systému GSM můžeme rozdělit podle velikosti na makro, mikro, piko a deštníkové buňky. Velikost

pokrytí opět záleží na výšce antény, výkonu vysílače a podmínkách šíření. V makro buňkách je anténa umístěna na stožárech a střechách budov. Antény mikro buněk jsou umístěny pod úrovní střech pro použití v zastavěných oblastech. Pikobuňky s dosahem pár desítek metrů slouží hlavně uvnitř budov. Sítě GSM mají pokrytí i uvnitř budov, rádiový signál se šíří z venku skrze zdi, a tam kde je to zapotřebí, je možno šířit signál do budov pomocí děliče signálu, který přináší signál do systému antén uvnitř budov. Toho se využívá hlavně u letišť a obchodních center, kde je potřeba velké kapacity hovorů. [7, 8]

GPRS (General Packet Radio Service) je služba umožňující přenos dat a připojení k internetu pro uživatele mobilních zařízení díky paketovým přenosům. Nástup GPRS přinesl snížení cen za přenos dat. Označuje se jako generace 2.5 G. [9 - 11]

EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) je dalším vývojovým stupněm v technologii GSM pro datové přenosy nazývaným generace 2.75 G. [12, 13]

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) je stupněm vývoje GSM sítí v rámci Partnerského projektu třetí generace (3GPP). Bývá označena jako síť třetí generace (3G). V ČR vysílá v pásmu 2100 MHz. [14]

HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) je technologie označována jako 3.5 generace. Přináší zvýšení rychlosti pro stahování dat. [14]

HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access) je nástavbou předchozího protokolu. Označuje se jako generace 3.75G a přináší zvýšení rychlosti přenosu dat od uživatele (uplink). [14, 15]

LTE (Long Term Evolution) je technologie vysokorychlostního internetu pro mobilní zařízení. Technologie LTE používá přenos hlasu přes datové spojení. Mobilní operátoři na českém trhu (T-Mobile, Vodafone a Telefonica O2) se zavázali pokrýt území ČR do roku 2019. Existují ovšem obavy o rušení některých pásem DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial, digitální televizní vysílání). Mobilní operátoři v ČR používají pásma 800, 900, 1 800, 2 100 a 2 600 MHz. Skepticky se k technologii LTE staví USA, neboť dle armády spojených států mohou vysílače firmy LightSquared pracující s frekvencemi 1 559 MHz až 1 610 MHz rušit navigaci GPS (Global Positioning System). [16 - 19]

4.2.2 Lokalizace mobilních zařízení v mobilních sítích

Lokalizace polohy mobilního zařízení v mobilní síti je nutná funkce vycházející již z principů fungování buňkové sítě, ve které se může účastník pohybovat. Mobilní zařízení stále kontroluje svoje umístění, konkrétně připojení k dané buňce po určitém časovém intervalu. Poloha základových stanic neboli BTS (Base Transceiver Station) je známa. Pokud se zařízení nachází v oblasti bez BTS, určení polohy samozřejmě není možné. [20]

Hlavní lokalizační prvky v sítích GSM

Pro fungování mobilní sítě a lokalizaci mobilního zařízení jsou nezbytné některé prvky sítě. Níže následuje výčet těch nejdůležitějších.

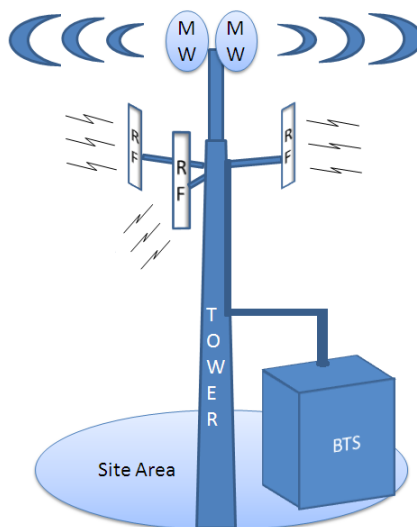
Mobilní zařízení

Telefony, pagery a další zařízení se v sítích GSM a GPRS označují jako MS (Mobile Station) a v sítích UMTS jako User Equipment (UE). Klíčovým prvkem je vyjímatelná čipová karta SIM (Subscriber Identity Module) sloužící k identifikaci účastníka v síti. Pomocí unikátního čísla IMSI (International Mobile Subscriber Identity) přiděleného operátorem a uloženého na kartě SIM lze identifikovat účastníka na celém světě. Každé kartě je přiděleno ještě číslo MSISDN (Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network Number) známé jako telefonní číslo. Mobilní zařízení využívají karty různých velikostí: MiniSIM (2FF), MicroSIM (3FF), NanoSIM (4FF) a eSIM. Z technického hlediska je SIM karta mikropočítač obsahující CPU (Central Processing Unit, centrální procesorovou jednotka), paměti ROM (Read-Only Memory), RAM (Random Access Memory) a vstupně-výstupní obvody. [21, 22]

Základová stanice

BTS (Base Transceiver Station) je základová stanice komunikující s mobilním zařízením. V sítích UMTS se pro ně používá název Node B. BTS obsahují panelové antény, většinou vícesektorové, vyzařující pod úhlem 90° až 180° v horizontální rovině a 15° až 30° ve vertikální rovině. Dále obsahují parabolické antény pro komunikaci s dalšími vysílači. Jednoduché schéma je znázorněno na obrázku 3. [20]

Obrázek 3 Jednoduché schéma BTS



Zdroj: www.telecomdocs.com

Ovladač základové stanice

BSC (Base Station Controller) může ovládat 10 až 100 BTS. Slouží pro alokaci radiových signálů a řídí předávání hovorů mezi BTS. [20]

SMLC

SMLC (Serving Mobile Location Center) je síťový prvek umístěný v základové řídicí jednotce BSC. Vypočítává polohu mobilních zařízení v síti a ovládá místní měřicí jednotky LMU (Location Measurement Units). Umí vypočítat polohu mobilního zařízení díky hodnotě TA (Timing Advance). Hodnota TA je blíže popsána v kapitole Metody lokalizace v mobilních sítích. [20]

GMLC

Mobilní lokalizační brána GMLC (Gateway Mobile Location Centre) podporuje služby pro lokalizaci LBS (Location-based Service). GMLC získává data o uživatelích z registrů HLR (Home Location Register) a HSS (Home Subscriber Server). HLR a HSS jsou registry obsahující data o každém účastníkovi sítě. [23]

4.2.3 Metody lokalizace v mobilních sítích

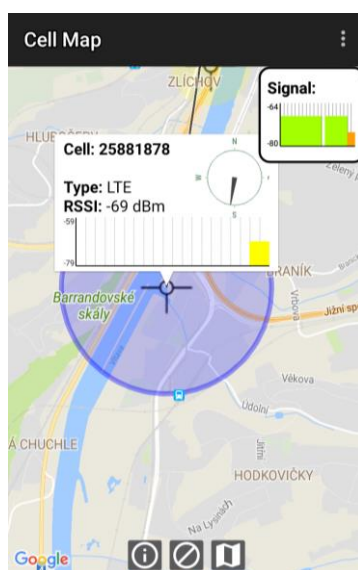
Metody lokalizace v mobilní síti můžeme rozdělit na metody využívající síť a metody využívající mobilní telefon. Metody využívající síť (network-based, NB) jsou starší a mobilní

zařízení je v nich pouze pasivním prvkem. Nezáleží zde na hardwaru mobilního zařízení. Novější metody využívající mobilní telefon (terminal/handset-baset, TB) nepotřebují aktivní spolupráci sítě a zjišťování polohy může probíhat na straně mobilního telefonu. Metodami využívající síť jsou Cell ID, Timing Advance a Uplink time of arrival. [24]

Metoda Cell ID

Mobilní zařízení se připojí k určité BTS jejíž přesnou polohu známe. Obvykle se používají souřadnicové systémy WGS84 (World Geodetic System 1984) nebo UTM (Univerzální transverzální Mercatorův systém souřadnic). BTS je označena číslem Cell ID či CGI (Cell Global Identity), což je jednoznačný identifikátor základové stanice, respektive všesměrového nebo sektorového vysílače. Poloha souřadnic je spjata s číslem Cell ID. Krom této informace o poloze se ještě používají další kódy. Buňky jsou řazeny do skupin Location Area (LA) a označeny číslem LAC (Location Area Code). Pro identifikaci mobilní sítě v dané zemi se používá Mobile Country Code (MCC) a jednotliví operátoři jsou odlišeni kódem Mobile Network Code (MNC). Oblast, ve které se účastník pohybuje, je dána velikostí buňky sítě, tedy dosahem BTS, maximálně však 35 km. Přesnost se pohybuje od 100 do 500 m v městských oblastech a v jednotkách až desítkách kilometrů ve venkovských oblastech. Přesnost určení polohy roste s hustotou BTS. Zeměpisné souřadnice BTS lze jednoduše zobrazit na mapových podkladech, viz obrázek 4. Je to nejrychlejší a nejjednodušší, avšak také nejméně přesná metoda. [24 - 27]

Obrázek 4 Zobrazení BTS na mapovém podkladu pomocí aplikace Cell ID



Zdroj: autor

Metoda CGI + TA (Cell Global Identity + Timing Advance)

Je známa BTS díky identifikátoru Cell Id či Cell Global Identity, ke které se mobilní zařízení připojilo, a zároveň je známa i vzdálenost od BTS díky hodnotě Timing Advance (TA). Hodnota TA odpovídá velikosti časové prodlevy při komunikaci mezi mobilním zařízením a BTS. Pro ochranu překrývání signálů v jednotlivých časových slotech při komunikaci mezi stanicí BTS a mobilním zařízením se používá ochranný časový interval. Čím dále je mobilní zařízení od BTS, tím je ochranný signál kratší a hodnota TA větší. TA se vyjadřuje jako celé číslo od 0 do 63. Vzdálenost mezi mobilní zařízením a BTS d_{TA} pak lze vypočítat dle vzorce:

$$d_{TA} = TA \times \left(c \times \frac{T_b}{2} \right) \quad \text{pro } TA > 0 \quad (4.4.)$$

$$d_{TA} = \frac{1}{4} \times \left(c \times \frac{T_b}{2} \right) \quad \text{pro } TA = 0$$

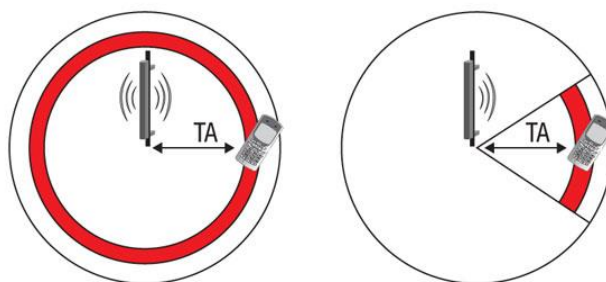
kde TA je hodnota timing advance,

c je rychlost světla,

$T_b = 3,69\mu\text{s}$ je perioda jednoho bitu v mobilní síti.

V sítích UMTS se zpoždění signálu při komunikaci označuje RTT (Round Trip Time). Oblast, ve které se může účastník pohybovat se pak zmenší na mezikruží nebo jeho výseč, viz obrázek 5. [24 - 26]

Obrázek 5 Všesměrový a sektorový vysílač se vzdáleností TA



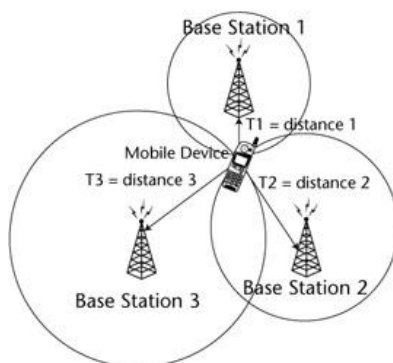
Zdroj: <http://www.telekomunikacije.rs>

Metoda UL-TOA (Uplink Time Of Arrival)

UL-TOA je složitější a přesnější metoda pro lokalizaci mobilního zařízení pomocí mobilní sítě. Mobilní zařízení obsahuje hodiny synchronizované se sítí. Vyhodnocovací centrum zná čas, kdy mobilní zařízení začalo vysílat díky tomu, že je vysílání označeno časovou známkou. Porovná jej s časem, kdy signál dorazil do BTS a na základě toho vypočítá vzdálenost mezi mobilním zařízením a BTS. Pomocí trilaterace, tedy díky zjištění vzdálenosti k několika BTS

lze získat průnik kruhových výsečí v nichž se účastník nachází, viz obrázek 6. Díky tomu dosahuje přesnosti 50 až 150 metrů. [25 - 27]

Obrázek 6 Princip metody UL-TOA



Zdroj: <http://etutorials.org>

Metoda RxLev (Received Signal Level)

Metoda je založena na měření síly signálu přijatého mobilní zařízením od BTS. Měření síly signálu je nutné pro předání spojení (handover). Síla signálu odpovídá vzdálenosti mobilního zařízení od BTS. Použitím matematického modelu šíření signálu lze předpovídat vzdálenost mobilního zařízení od několika BTS. Poloha mobilního zařízení se pak stanoví triangulací. [27]

Metoda E-OTD (The Enhanced Observed Time Difference method)

Tato metoda je založena na podobném principu jako metoda UL-TOA. Rozdíl je v tom, že výpočet zpoždění signálu provádí přímo mobilní zařízení a vysílacím prvkem jsou základové stanice. Mobilní zařízení měří časový rozdíl mezi příchody signálů od více BTS. Síť musí být vybavena měřicí jednotkou LMU, která provádí měření reálných časových rozdílů vysílání signálu jednotlivých BTS. Výsledek tohoto rozdílu se označuje jako RTD (Real Time Difference). Při synchronním vysílání BTS by RTD byl roven nule. Mezi dvojicemi BTS se určí hodnota GTD (Geometry Time Difference), což je hodnota RTD přepočítaná na délku. Průsečíky hodnot GTD pak udávají nejpravděpodobnější výskyt mobilního zařízení. Metoda E-OTD se používá v sítích GSM a GPRS. [24 - 27]

Metoda OTDOA (Observed Time Difference Of Arrival)

Metoda pracuje na stejném principu jako E-OTD s tím rozdílem, že se provádí v síti UMTS. I zde se využívá měřících jednotek LMU. [24, 25]

Kombinované metody

Chytré mobilní telefony neboli smartphone nejčastěji využívají A-GPS (asistované GPS) v kombinaci s E-OTD v sítích GSM a GPRS. V sítích UMTS se používá kombinace A-GPS a OTDOA. Mobilní telefony tedy využijí A-GPS, pokud je dostupný signál GPS. Pokud dostupný není, využijí lokalizaci v mobilní síti. Lokalizace pomocí GPS je blíže popsána v kapitole GNSS. [27]

4.2.4 Využití lokalizace pomocí mobilní sítě

Lokalizaci mobilních telefonů pomocí mobilní sítě používá policie a další bezpečnostní služby. Policie ČR toto využívá hlavně při pátrání po pohřešovaných osobách a při závažnější trestné činnosti. Mobilní operátor na žádost policie se soudním příkazem zaměří polohu mobilního zařízení metodou triangulace. Mobilní operátoři mají navíc povinnost uchovávat provozní a lokalizační údaje po dobu 6 měsíců. Nařizuje jim to § 97 zákona č.127/2005 Sb, o elektronických komunikacích. Například v roce 2017 dostaly oprávněné orgány (policie, orgány činné v trestním řízení, Bezpečnostní informační služba České republiky, Vojenské zpravodajství a Česká národní banka) od mobilních operátorů data o elektronické komunikaci ve 253 380 případech. Počet vydaných provozních a lokalizačních údajů každým rokem roste, jak je vidět v tabulce 2. [28 - 34]

Tabulka 2 Počet případů poskytnutých údajů

Rok	Počet případů poskytnutých údajů	Počet případů neposkytnutých údajů
2012	30 842	9 161
2013	173 087	2 437
2014	214 705	3 040
2015	219 070	2 826
2016	214 522	4 461
2017	253 380	5 822

Zdroj: ctu.cz

Na poskytnutí provozních a lokalizačních údajů má právo i subjekt, kterým je jejich zdrojem, tedy osoba vlastníkem mobilní telefon. Úřad pro ochranu osobních údajů k tomuto vydal stanovisko již v říjnu 2013. Operátoři musí ověřit, zda se údaje týkají opravdu dané osoby a za vydání údajů si účtují částku, která by neměla převyšovat náklady na poskytnutí informace. Cena se pohybuje okolo 1 600 Kč. Zájem o tuto službu je však minimální. [35]

Lokalizaci mobilních telefonů využívají rovněž i záchranná služba a hasiči. Dokonce většina telefonátů směřující na zdravotnická střediska pochází z mobilních telefonů. Jako první v České republice začal Moravskoslezský kraj s projektem „Zajištění lokalizace tísňových volání z mobilních telefonů v Integrovaném bezpečnostním centru Moravskoslezského kraje“. Projekt byl dokončen v koncem roku 2014. Také Zdravotnická záchranná služba Středočeského kraje sídlící v Kladně má nový systém pro lokalizaci volajících od roku 2015. Tísňový hovor se přenesse na monitor a na mapě se ukáže odkud osoba volá. Na mapě se navíc ukazují uzávěrky či dopravní zácpy. Lokalizace volaného má pro záchrannou službu velký přínos. Kromě popisu události je místo události nejdůležitější informací pro záchrannou službu. Volající je navíc ve velkém stresu a může pro něho být složité správně popsat, kde se nachází. Problémy nastávají v obcích, kde nejsou pojmenované ulice. Je také možné lépe najít osoby, které se například zranily na vycházce. Lokalizace také urychluje čas dojezdu a odhalí podvodné telefonáty. [36, 37]

Lokalizaci v mobilní síti využívají chytré telefony. Díky popsaným metodám dokáží určit svoji polohu. Zjišťování polohy mobilního telefonu lze používat pro sledování pohybu rodinných příslušníků, či k pátrání po ztraceném telefonu. Chytré telefony navíc kromě mobilní sítě využívají i globální polohovací systémy. Globální polohovací systémy jsou popsány v kapitole GNSS a využití mobilních telefonů pro lokalizaci osob se dále věnuje praktická část práce. [27]

4.2.5 Omezení a rizika lokalizace pomocí mobilní sítě

Lokalizace pomocí mobilní sítě není možná tam, kde není mobilní signál. Operátoři v ČR udávají pokrytí mobilním signálem blížící se 100 %, ale stále jsou obce a místa bez mobilního signálu. Mobilní operátoři pokrytí těchto míst ani neplánují, protože využití mobilní sítě by bylo malé a investice do stanic by se operátorům nevyplatila. Operátoři se snaží hlavně pokrýt co nejvíce uživatelů, nikoliv co nejvíce území, viz tabulka 3. [25, 26]

Tabulka 3 Pokrytí ČR pásmem 800 MHz

Operátor	Pokrytí území [%]	Pokrytí obyvatel [%]
T-Mobile	94,1	98,9
Vodafone	92,5	99,2
O2	94,6	99,2

Zdroj: <http://lte.ctu.cz/pokryti>

Mapy pokrytí jednotlivých operátorů jsou umístěny na webových stránkách operátorů. Tyto mapy jsou ale výsledkem matematických modelů šíření signálu a skutečné pokrytí signálem se může lišit. [38]

Kromě toho se také vyskytují místa bez mobilního signálu jako jsou sklepy budov nebo tunely metra. Některé budovy jsou stavěny z nevhodných materiálů, které brání pronikání signálu. Tento problém se řeší vysílači uvnitř budov. Mobilní telefony také nelze použít při zahlcení stanic. Toto se stává při velkých kulturních akcích, např. festivalech, koncertech a dalších. Při použití mobilních základových stanic pro posílení kapacity mobilní sítě může dojít k chybné lokalizaci. Souřadnice mobilní základové stanice nemusí být známy nebo nemusí být aktuální. Mobilní základová stanice také může sloužit jako opakovač, není tedy připojena přímo na ústřednu BSC. [24, 25]

Přesnost lokalizace ovlivňuje celá řada faktorů, především počet a velikost buněk mobilní sítě, ale také reliéf prostředí, ve kterém se šíří signál. Výpočet hodnoty TA může být nepřesný ve městech, kde dochází k odrazům signálů od budov. V řídkce osídlených oblastech je méně základových stanic a nemusí zde být splněna podmínka pro výpočet polohy triangulací, tedy přítomnost signálu od více vysílačů. Metody lokalizace v mobilních sítích udávají polohu jen ve dvourozměrném prostoru na rozdíl od globálních polohovacích systémů a dosahují oproti nic menší přesnosti. [25, 27]

4.3 GNSS

Globální družicový polohovací systém (zkratkou GNSS z anglického Global Navigation Satellite System) je systém umožňující celosvětové určování polohy pomocí družic. Uživatelé těchto systémů vlastní radiové přijímače sloužící pro určení polohy. Využívá se pro navigaci, lokalizaci osob a dalších objektů či geodetická měření. Systémy pro určování polohy jsou GPS, GLONASS, Galileo a Beidou. Jejich fungování systému bude popsáno na systému GPS. [39]

4.3.1 GPS

Technologie GPS (Global Positioning System) česky globální polohovací systém se stal fenoménem moderní doby. Rozmach používání této původně výhradně vojenské technologie

nastal díky vypnutí záměrného ovlivňování signálů pro civilisty v roce 2000. Tím došlo ke skokové změně přesnosti navigace ze stovek metrů na jednotky metrů. [40]

Této příležitosti se chopila celá řada výrobců a vzniklo konkurenční prostředí, které stlačilo ceny GPS přijímačů na úroveň dostupnou komukoli. Existují různé druhy přijímačů: turistické, automobilové, letecké námořní a další. Původním názvem NAVSTAR GPS (Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System) je technologie provozovaná Ministerstvem obrany USA. Vývoj NAVSTAR GPS byl zahájen již v roce 1973. [39, 40]

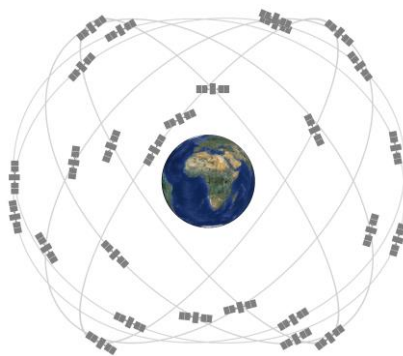
GPS se skládá ze tří segmentů:

- kosmického,
- uživatelského,
- řídicího.

Kosmický segment

Kosmický segment je tvořen soustavou umělých družic obíhajících po přesně definovaných oběžných drahách, viz obrázek 7. Každá družice vysílá jiný kód a má své číslo. NAVSTAR GPS je projektován na 24 družic, nyní se ale využívá 32 družic. Družice se pohybují v šesti orbitálních drahách ve výšce 20 200 km s periodou 12 hodin a s rychlostí 3,8 km/s. Družice obsahují přesné atomové hodiny, antény pro vzájemnou komunikaci, antény pro vysílání rádiových kódů, antény pro komunikaci s pozemními kontrolními stanicemi, senzory pro detekci startů balistických raket a jaderných výbuchů, baterie a solární panely jako zdroj energie. Družice jsou několikrát do roka odstaveny kvůli údržbě atomových hodin. [39 - 42]

Obrázek 7 Konstelace družic GPS



Zdroj: www.nasa.gov

Uživatelský segment

Uživatelský segment tvoří antény a procesory přijímačů. Dávají uživateli informace o poloze, rychlosti a čase. Přijímač potřebuje pro určení polohy přijmout signál nejméně ze 4 družic. Signál z první družice slouží k synchronizaci času přijímače s časem GPS a signály ze zbývajících třech družic jsou použity pro dálkoměrná měření. Relativně přesnou polohu může určit přijímač i ze tří družic. Uživatele můžeme rozdělit do dvou skupin, a to na autorizované uživatele a ostatní uživatele. Autorizovanými uživateli jsou Armáda Spojených států amerických a vybrané spojenecké armády. Ti mají k dispozici dekodovací klíče a díky nim větší přesnost. Ostatními uživateli je především civilní sektor. Vyrábí se automobilové, lodní, letecké, ruční a další přijímače. Příklad ručního přijímače je znázorněn na obrázku 8. [39 - 41]

Obrázek 8 Přijímač Garmin GPSMAP 64st PRO



Zdroj: www.garmin.cz

Řídící segment

Nejméně známý je řídicí segment GPS. Je tvořen pozemními stanicemi, které plní řadu úloh. Stanice řídí celý systém, řídí manévry družic, vyhodnocují stav družic a určují korekční parametry. Pro tyto úkoly slouží tři typy stanic, a to monitorovací stanice, hlavní řídicí stanice a stanice pro komunikaci s družicemi. Kdyby došlo ke zničení pozemních stanic, družice přejdou do autonomního režimu, kde jsou schopny pracovat až 6 měsíců. [39 - 41]

4.3.2 Určování polohy pomocí GPS

Přijímač určuje svoji vzdálenost k několika družicím a svoji polohu pak zjistí protínáním těchto vzdáleností. Přijímače jsou pasivní, to znamená, že pouze přijímají signál a nevysílají nic ke družicím. Tento způsob je zvolen hlavně kvůli vojenskému využití. Vysílání by znamenalo vyzrazení polohy. Výhodné je to také pro konstrukci antén a spotřebu energie.

Vzdálenost přijímače od družic se určuje na základě kódových měření, fázových měření a dopplerovských měření. [40]

Kódová měření

Principem kódového měření je určení vzdálenosti mezi přijímačem a vysílačem. Dálkoměrné kódy jsou značky určující čas, kdy byla odvysílána část signálu vysílaného družicí. Přijímač zjistí čas odeslání a přijetí kódu a ze zjištěného rozdílu určí vzdálenost mezi družicí a přijímačem. Tento způsob se používá u běžných navigačních přístrojů. Dosahuje obvykle přesnosti okolo pěti metrů. [39 - 41]

Fázová měření

Fázová měření využívají nosné vlny signálů vysílaných družicemi. Spočítají se celé vlny signálu, které proběhly na trase mezi družicí a přijímačem. Délka vln je známa. Kousek nedokončené vlny se zjistí podle její amplitudy. Jsou výrazně přesnější než kódová měření. Nevýhodou je, že tato metoda je poměrně složitá a zdoluhavá. Proto není vhodná pro navigování. Fázová měření se používají u aplikací vyžadujících přesnou polohu, např. u geodetických měření. [40, 41]

Dopplerovská měření

Tato metoda je založena na fyzikálním principu Dopplerova jevu. Při pohybu přijímače nebo vysílače dojde ke změně vlnové délky přijímaného signálu. Z jedné družice se zjistí aktuální orbit družice, změna frekvence oproti výchozí a časové značky. Z těchto údajů se následně vypočítá rychlost a poloha na Zemi. Dopplerovská měření se však využívají hlavně ke zjištění rychlosti pohybu přijímače. [39 - 41]

4.3.3 Zpřesňující metody

Pro zvětšení přesnosti GPS se používají systémy SBAS (Satellite Based Augmentation Systems) a GBAS (Ground Based Augmentation Systems). [42]

SBAS se skládají z družic a sítě pozemních stanic. Přesná poloha pozemních stanic je známa. Stanice porovnávají svoji polohu s polohou vypočtenou pomocí GPS. Zjištěný rozdíl pak slouží pro korekci poloh naměřených pomocí GPS. Korekce jsou vysílány k uživatelům přes družice na geostacionární poloze. Těmito systémy jsou například WAAS, EGNOS, MSAS.

[40 ,42] Systém WAAS (Wide Area Augmentation System) doplňuje a vylepšuje vlastnosti GPS v Severní a Jižní Americe. Aplikace EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) vylepšuje vlastnosti GPS v Evropě. MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System) je satelitní rozšiřující systém pro Japonsko. GAGAN (GPS Aided Geo Augmented Navigation) je družicový geolokační systém provozovaný vládou Indie. [41 - 43]

Systémy **GBAS** (někdy označované taky Ground-based Regional Augmentation Systems, zkratkou GRAS) se skládají z pozemních stanic, které monitorují stav kosmického segmentu GPS a GLONASS. Díky rozdílům své přesné polohy a naměřené polohy vypočítávají korekce, které poskytují uživatelům pomocí mobilních sítí a rádiových vysílání. [43]

Příkladem GBAS jsou:

- DGPS diferenciální GPS (USA),
- UEREF (EU),
- CZEPOS (Česká síť permanentních stanic pro určování polohy).

4.3.4 A-GPS

Asistovaná GPS (anglicky Assisted GPS) je technologie využívající asistenčního serveru pro podporu a zrychlení procesu lokalizace. Díky A-GPS se zkracuje čas potřebný pro navázání spojení tzv. TTFF (Time To First Fix). A-GPS využívají především mobilní telefony. Komunikace mezi přijímačem GPS a asistenčním serverem probíhá pomocí mobilní sítě. A-GPS podporuje průběh lokalizace jednak podporou navázání spojení s družicí a také výpočtem polohy. Jednoduché schéma A-GPS je na obrázku 9. [44, 45]

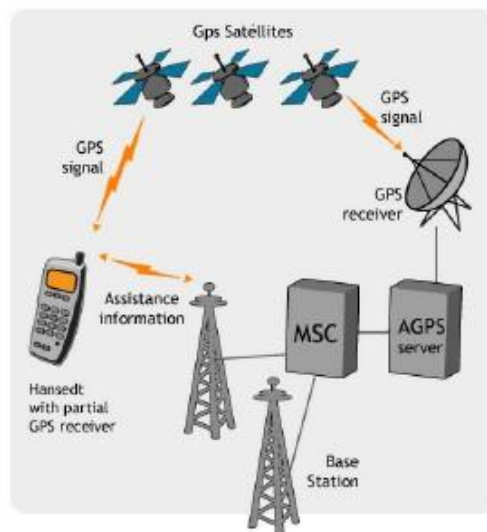
Navázání spojení s družicí

Přijímač získává informace o přesné dráze družic a palubních časech (tzv. almanach a efemeridy). Tato data tedy nemusí přijímat z družic GPS, což by trvalo déle. [44, 45]

Podpora výpočtu polohy

Získaná surová poziční data z družic odešle mobilní telefon asistenčnímu serveru. Ten využije své velké kapacity a provede výpočet polohy. [44, 45]

Obrázek 9 Princip A-GPS



Zdroj: www.macblog.sk

4.3.5 Ostatní družicové polohovací systémy

Níže představené systémy Galileo, GLONASS a BeiDou poskytují podobné služby a mají i podobné parametry. V následujících kapitolách je uveden jejich stručný popis.

GLONASS

Obdobou amerického NAVSTAR GPS je ruský globální polohovací systém GLONASS (Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema). Pomocí GLONASS je možné určit polohu a čas kdekoli za Zemi. Vývoj začal v roce 1976, plně funkční byl systém v roce 2011. Kosmický segment se skládá z 24 družic URAGAN, které obíhají ve výšce 19 100 km na třech kruhových drahách se sklonem 65° rychlostí 3,9 km/s. Doba oběhu kolem Země činí 11 h 15 min. Řídící segment tvoří řídicí středisko, 3 rozšířené stanice, 5 povelových stanic a 10 monitorovacích stanic. Přenos dat je řešen frekvenční modulací. Toto řešení sebou přenáší některé problémy. Kanály se mohou vzájemně překrývat, je zapotřebí širší vysílací pásmo a také jiná konstrukce přijímače. Stejně jako u NAVSTAR GPS je uživatelský systém tvořen pasivními přijímači. Autorizovaní uživatelé (armáda Ruské federace) využívají vyšší přesnost systému, ostatní civilní uživatelé mají k dispozici pouze část služeb. GLONASS je vhodný pro určení polohy ve vysokých zeměpisných šířkách, kde je určování pomocí NAVSTAR GPS obtížné. Jeho používání není tak rozšířené, systém využívají především

vědci a geodeti. Systém GLONASS zatím využívá pouze malá část navigačních přístrojů a mobilních telefonů. [40, 46, 47]

Galileo

Civilní obdobou amerického GPS je evropský autonomní globální polohovací systém Galileo. Systém je pojmenován podle vědce Galilea Galileo. Projekt byl zahájen v roce 1999. Kompletní systém se očekává v roce 2020. Hlavní sídlo systému Galileo je v Pražských Holešovicích. Kosmický segment má být tvořen 30 družicemi ve výšce 23 222 km se sklonem 56° ve třech rovinách vzájemně posunutých o 120°. Systém Galileo zatím využívá jen malá část mobilních telefonů a navigací. [40, 47]

BeiDou

Družicový polohovací systém BeiDou je projektem Čínské lidové republiky. Pojmenován je podle souhvězdí Velké medvědice. V roce 2020 má být tvořen 35 družicemi. Služby na vyšší úrovni bude poskytovat Čínské lidové osvobozené armádě a omezené služby civilnímu sektoru. [48, 49]

4.3.6 Omezení GPS

Přesnost a dostupnost informací z družic snižuje celá řada faktorů. Na dostupnost signálu má v první řadě vliv prostředí, ve kterém se nachází přijímač. Přijímače nejsou schopny zachytit signál v husté vegetaci, v podzemních objektech, v některých budovách a dalších místech bez přímého výhledu na oblohu. Kovové střechy a některé fasády domů způsobují odrazy signálu. Přijímač potom nemůže určit, jestli se jedná o signál přímo z družice nebo o jeho odraz.

Dalším omezením je také to, že pokud se přijímač nepohybuje, nelze určit jeho orientaci (světové strany). Pro určení orientace je nutný pohyb přijímače. U některých přijímačů je tento nedostatek řešen elektronickým kompasem. [40 - 42]

Přesnost určené polohy

Přesnost naměřené polohy u systému GPS závisí na typu přijímače a použité metodě. V ideálním případě je přesnost geodetických přístrojů řádově jednotky mm a obyčejných navigačních přístrojů 3 m. Ve špatných podmínkách jsou to u obou typů přístrojů až stovky metrů. Přesnost současných přijímačů používajících kódová měření je obvykle 5 až 15 m.

Chyba měření vzniká v uživatelském, kosmickém i řídicím segmentu. Velikost chyby pak ovlivňuje hlavně:

- konstelace družic,
- poloha družic vzhledem k přijímači,
- síla signálu,
- vliv ionosféry a troposféry,
- vícecestné šíření a odrazy signálu,
- kvalita antény přijímače. [39]

Přesnost udávaná přístroji

Přístroje využívající GPS často zobrazují přesnost, se kterou určily polohu. Přesnost naměřené polohy ovlivňuje především geometrické uspořádání družic, počet využívaných družic a síla signálu. Udávaná hodnota v metrech je odhadem přesnosti. Uvádí se tzv. střední polohová chyba. Přičemž 2/3 měření mají chybu menší, než je udávaná střední polohová chyba a za chybné měření se považuje měření s chybou 2,5 až 3krát větší. Hlavním parametrem pro její výpočet je parametr DOP (Dilution Of Precision) udávající geometrické rozmístění družic. Aplikace mobilních telefonů pak zobrazují naměřenou polohu na mapovém podkladu jako bod, který je středem kruhu. Udávaná přesnost je poloměrem tohoto kruhu. Kruh pak představuje oblast, kde se s největší pravděpodobností nachází přijímač GPS. Zaznamenávaná přesnost v praktické části práce je právě hodnotou udávanou přístrojem, v našem případě mobilním telefonem. [40]

4.3.7 Využití GNSS

Globální družicové systémy pro určování polohy naleznou široké využití. Původně převážně vojenské systémy využívané armádou slouží pro civilní sektor nejen jako navigace automobilů, lodí a letadel. Stále více jsou zapotřebí v průmyslu, zemědělství i zdravotnictví. Kromě lokalizace a monitoringu osob je možno sledovat i zvířata a další objekty. [40]

Automobilové navigace

Navigace automobilů využívající GPS usnadňují práci řidičům. Řidiči nepotřebují papírové mapy a vyhnou se složitému plánování trasy, což jim ušetří čas i práci. U většiny navigací stačí zadat jen cíl cesty, navigace pak sama najde svoji polohu a naplánuje trasu. Před jízdou

se zadá cíl, vybere se trasa a případně další důležité body. Současné navigace jsou již cenově dostupné a jejich mapové podklady dostatečně podrobné. Řidiči jsou naváděni pomocí displeje a hlasovými pokyny. Současné navigace již mají vnitřní menu i hlasovou navigaci v češtině. [40]

Současně zde ovšem hrozí riziko, že řidič se nebude plně věnovat řízení, bude ovládat navigaci za jízdy nebo ho navigace může zavést jinam, než chtěl. Řidič si musí navyknout na displej a pohybující se mapu, což nemusí být snadné. Veškeré parametry pro navigaci musí řidič nastavit před výjezdem. Navigace rovněž nesmí bránit výhledu z vozu. [40]

Navigace se vyrábí buď přímo zabudované v autech či přenosné. Zabudované navigace jsou umístěny do středového panelu auta a často jsou integrovány s rádiem a přehrávačem CD. Jejich cena bývá mnohem vyšší než cena nejdražších přenosných navigací. Nehrozí zde, že by navigace zakrývala výhled z vozidla. Přenosné navigace lze z auta vyjmout, což je výhodné pro ty, co vlastní více vozů. Komplet navigace se skládá z přijímače GPS, držáku a napájecího kabelu. Ovládání probíhá pomocí dotykového displeje. Pro zvýšení čitelnosti jsou displeje vybaveny antireflexními vrstvami. Nejznámějšími výrobci navigací v ČR jsou Garmin, Geosat, MIO a TomTom. Pokud konstrukce vozidla brání přijímat signály, lze k navigaci připojit externí anténu, viz obrázek 10. Přijímač musí být vybaven příslušným konektorem. Antény se vyrábí aktivní se zesilovačem a pasivní bez zesilovače. Montují se na střechu vozidla nebo pod palubní desku. [40, 50]

Obrázek 10 Externí anténa GPS GA 25MCX



Zdroj: gpscentrum.cz

Sledování vozidel s využitím GPS

Sledování vozidel pomocí technologie GPS se používá nejen ve firemní sféře, ale i čím dál častěji ve sféře soukromé. Vozidlo lze on-line sledovat, pokud jednotka kromě modulu GPS

obsahuje navíc zařízení pro bezdrátový přenos. Aplikace systému sledování vozidel lze rozdělit do tří oblastí, dle toho, co poskytují:

- elektronická kniha jízd s GPS
- on-line sledování vozidel
- on-line střežení vozidel.

Elektronická kniha jízd s GPS

V knize jízd jsou zaznamenávány údaje o jednotlivých jízdách vozidla v majetku firmy nebo soukromého vozidla používaného k podnikání. Kniha jízd musí vést ti, kdo si chtějí nárokovat odpočet DPH z pohonných hmot. Kniha nemusí být vedena, pokud je auto pro podnikání používáno pro osobní účely a není žádán odpočet na pohonné hmoty. Elektronická kniha jízd nahrazuje knihu jízd v původní papírové podobě. Elektronickou knihu jízd lze realizovat buďto on-line (s možností sledování vozidla v reálném čase) nebo off-line. [40, 51]

Jednodušší a levnější varianta off-line se skládá pouze z přijímače GPS a záznamové jednotky pro ukládání dat. V pravidelných intervalech se ukládají informace o projeté trase, datum a čas trasy, případně i další údaje jako rychlost vozidla a typ jízdy (soukromá, služební). Následně se data z jednotky nahrají do počítače a importují do programu elektronické knihy jízd, kde se mohou dále zpracovávat. [40]

On-line varianta umožňuje on-line monitorování vozidla. Jednotka musí být tedy navíc vybavena zařízením pro přenos dat. Díky tomuto systému je možné hodnotit chování řidiče, rychlost a styl jeho jízdy. Pro řidiče je obtížné se pokoušet o podvod. Návratnost investice do systému bývá velmi rychlá. [40]

On-line sledování vozidel pomocí GPS

Umožňuje neustálý přehled o přesné poloze a stavu vozidel. To je vhodné především pro optimalizaci provozu a operativní řízení vozidla. Vozidla jsou vybavena jednotkou s modulem GPS a zařízením pro datové přenosy. Pro datové přenosy se běžně používá technologie GSM/GPRS. Jednotka může získávat další údaje (např. spotřeba, stav pohonných hmot v nádrži, otáčky motoru, zatížení, zaplnění cisterny) připojením na sběrnici CAN (Controller Area Network) nebo instalací dalších čidel. [40, 52, 53]

On-line sledování se rovněž používá u vozidel záchranných služeb, hasičů, přepravy nebezpečných nákladů a provozovatelů inženýrských sítí. Sledování vozidel nabízí velká řada

firem, jednak formou vybudování kompletního dispečinku přímo ve firmě majitele vozidel nebo formou přístupu k centrálně spravovanému dispečinku pomocí aplikací či webu. Například sanitky zdravotnické záchranné služby Plzeňského kraje mají ve výbavě navigační systémy. Dispečerů na monitorech vidí přesnou polohu všech vozů v regionu a v případě potřeby mohou nasměrovat k zásahu nejbližší vůz. [54]

Středočeský kraj vybavil posypové vozy přijímači GPS, občané tak mohou na webových stránkách sledovat sjízdnost silnic. [55]

Sledování osob pomocí GPS

Lokalizace a monitoring osob pomocí systémů globální navigace nalezne uplatnění především pro hlídání dětí, starších lidí, handicapovaných osob, sportovců pohybujících se v odlehlých oblastech či pracovníků v terénu, k tomu slouží osobní lokátory (nazývané rovněž lokalizátory). Toto speciální zařízení zjišťuje svoji polohu periodicky či na vyžádání a odesílá ji pomocí mobilní sítě. Zařízení zjišťují polohu pomocí GPS nebo pomocí GSM, v případě že signál GPS není dostupný. Data se odesílají na telefony ve formě SMS nebo se zobrazí pomocí webové aplikace. K datům mají přístup jen oprávněné osoby, aby nedošlo k jejich zneužití. Je nutné, aby sledovaná osoba nosila zařízení stále u sebe. Zařízení se vyrábí v podobě malých krabiček obsahující GPS přijímač, GSM modul a baterii. Je vhodné, aby zařízení bylo skladné, odolné a s velkou výdrží baterie. Aby sledovaná osoba mohla pohodlně nosit zařízení u sebe, vyrábí se lokátory i ve formě hodinek nebo přívěsku na klíče, viz obrázek 11. Lokátory jsou často vybaveny dalšími funkcemi jako SOS tlačítkem pro případ nouze, akcelerometrem, vytáčením a přijímáním hovoru nebo odesláním krátké hlasové zprávy. Lokátory navíc umí sledovat opuštění zadané oblasti, mohou tedy nahlásit odchod dítěte z domu nebo jeho příchod do školy. [40, 56, 57]

Obrázek 11 Lokátor Abardeen KT01S ve formě hodinek



Zdroj: www.bezpecideti.cz

Riziko hrozí hlavně při ztrátě, poškození nebo vybití baterie zařízení. Pokud k tomu dojde, bude zaznamenána alespoň poslední poloha zařízení. Navíc pokud dítě nebude chtít nic podobného u sebe nosit, bude se snažit zařízení zbavit. Podle dětských psychologů může dítě také pociťovat, že mu rodiče tímto vyjadřují nedůvěru. Také může dítě i rodič nabýt falešného pocitu bezpečí. Zařízení nemůže zabránit, aby se sledované osobě něco přihodilo. [56]

Lokátory se využívají i pro sledování polohy zvířat, nejčastěji domácích mazlíčků. Malý lokátor připevněný na obojku pomůže najít zaběhnutého psa nebo kočku. Zařízení může sledovat i dobu strávenou pohybem a spánkem. [58]

Další druhy přijímačů GNSS

Námořní přijímače neboli námořní plottery jsou speciální skupinou určenou pro navigaci lodí. Mohou být kombinovány se sonarem, radarem a přístroji pro předpověď počasí. Jsou vybaveny speciálními mapovými podklady s informacemi o přístavech, překážkách pod hladinou a dalšími informacemi. Námořní přijímače významně zvyšují bezpečnost lodní dopravy. [40]

Podobně jako námořní navigace jsou speciálním druhem navigací letecké přijímače. Ty zastávají řadu funkcí určené pro létání a obsahují informace letecké databáze Jeppensen. Databáze nese informace o letištích, zakázaných prostorech, prostorech pro seskoky, plochách lesa apod.

Turistické přijímače bývají vyráběny v robustním voděodolném provedení. Uplatní se v horolezectví, turistice, cyklistice, při hře zvané geocaching a dalších aktivitách. Fitness

přijímače umožňují sportovcům krom určení polohy i měření jejich výkonů. Přijímače GNSS jsou integrovány i do chytrých mobilních telefonů. Jejich nevýhodou je hlavně menší výdrž baterie a horší ergonomie, jelikož nejsou primárně konstruovány jako navigace. [40, 50]

4.4 Další způsoby lokalizace

Kromě výše zmíněných způsobů lokalizace existují další technologie, které nejsou zatím využívány tak hojně nebo mají specifické využití.

4.4.1 Smart Beacons

Elektronické majáky Smart Beacons se využívají pro periodické vysílání informací různého typu pro příjem chytrými telefony. Podobně jako skutečné majáky vysílají světlo a navádí lodě. Majáky vysílají pouze kódy, které přijme chytrý telefon a přes datovou síť nebo Wi-Fi spáruje kód s informací uloženou na serveru. Informace je následně zobrazena na chytrém telefonu. Uživatel pak nabyde dojmu, že informace zobrazuje přímo maják. Majáky se vyrábí v různých provedeních, např. pro montáž na stěnu, jako přívěsek či pásek na hodinky. Využívají se v obchodních domech, muzeích, letištích, na konferencích, festivalech a dalších. Uživatelům se tak mohou zobrazovat informace o zboží či muzejních exponátech nebo mohou určit svoji přibližnou polohu uvnitř budov. Informace se přenáší pomocí bezdrátové technologie Bluetooth Low energy v pásmu 2,4 GHz s velmi nízkou spotřebou energie. Majáky jsou malých rozměrů. Maják BLE Proximity Beacon EMBC01 na obrázku 12 má průměr 30 mm, tloušťku 10 mm, váhu 7 g a je napájen baterií CR2032 Li 3 V. [59 - 61]

Obrázek 12 Provedení BLE Proximity Beacon EMBC01



Zdroj: emmicroelectronic.com

Vysílání je možné na maximální vzdálenost 120 m při přímé viditelnosti. Vysílací výkon a interval vysílání závisí na nastavení, viz tabulka 4. Pro komunikaci s chytrými telefony existují bezplatné aplikace pro operační systémy Android a iOS. [61]

Tabulka 4 Parametry majáku Proximity Beacon EMBC01

Režim	Komunikační vzdálenost [m]	Interval vysílání [s]	Životnost baterie [měsíce]
ID Short Range	15	0,1	1,5
ID Medium Range	30	0,5	7,5
ID Long Range	75	1	12,5

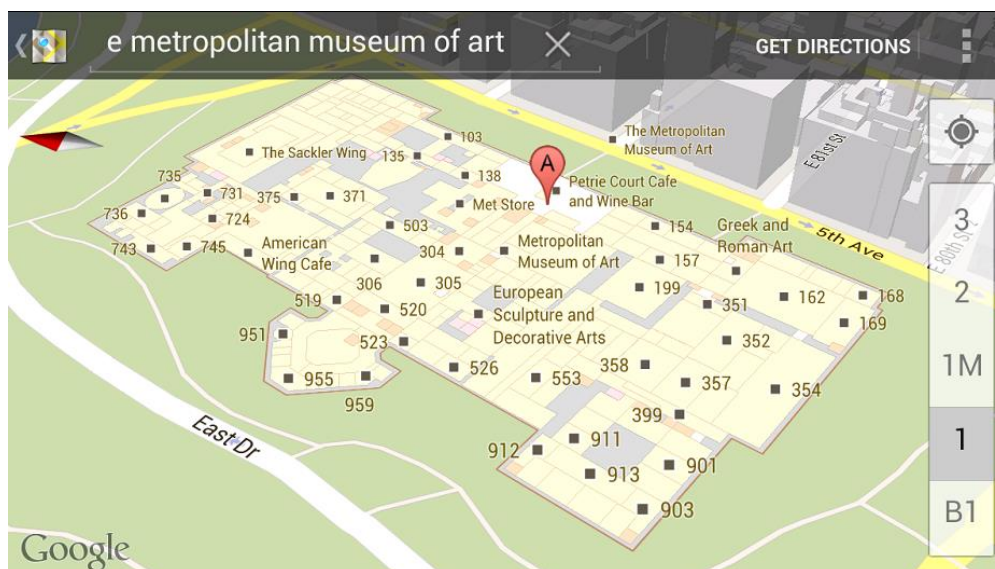
Zdroj: 1dps-az.cz

4.4.2 IPS

IPS (Indoor Positioning System) je technologie pro lokalizaci osob a dalších objektů uvnitř budov využívajících rádiových vln, magnetických polí či akustických signálů. Tato technologie využívá senzorů mobilních telefonů, nejčastěji Wi-Fi a Bluetooth. Aby navigace uvnitř budov správně fungovala je zapotřebí speciálních mapových podkladů, které nejsou součástí běžných navigací. Výrobci uvádí přesnost určení polohy 2 m. [62]

IPS umožňuje lepší orientaci uvnitř velkých budov, viz obrázek 13. IPS se v ČR zatím nerozšířila, více se využívá v zahraničí pro orientaci v letištích, muzeích, nemocnicích a obchodních domech. Uvnitř budov jsou pak zmapovány chodby, schodiště, výtahy a další body zájmu. Na letištích jsou to místa pro dobavení nebo úschovna zavazadel a v nákupních centrech to jsou jednotlivé obchody. Navigace uvnitř budov by mohla být výhodná pro obchodníky, lze tedy do budoucna předpokládat její rozšíření. [62, 63]

Obrázek 13 Mapa Metropolitního muzea umění, New York, USA



Zdroj: droid-life.com

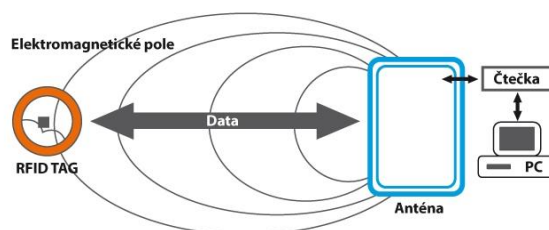
4.4.3 RFID

RFID (Radio Frequency Identification) je systém pro identifikaci objektů pomocí rádiových vln. Systém je schopen poskytovat velké množství informací o objektech v reálném čase. Umožňuje automatickou identifikaci objektů v reálném čase na krátkou vzdálenost, shromažďování dat a zadávání dat do výpočetních systémů s minimálním nebo dokonce žádným zásahem člověka. Systém RFID využívá pro komunikaci frekvence 125 kHz, 134 kHz, 13,56 MHz, 868 MHz (v Evropě) a 915 MHz (v Americe). Na použití frekvenci závisí rychlost čtení a zápisu, dosah čtečky, a použitelnost v různém prostředí. Informace je uložena v čipu připojeném k anténě tvořící dohromady RFID tag. RFID tagy se vyrábí v různých provedeních, aby byly odolné vysoké teplotě, vlhkosti a nečistotám. [65]

RFID tagy můžeme rozdělit na aktivní a pasivní. Pasivní RFID tagy neobsahují samostatný zdroj napájení. Vysílač (čtečka tagů) periodicky vysílá impulsy do okolí. Pasivní RFID tag se v jeho blízkosti nabije, energií napájí čip a díky tomu odešle odpověď. Aktivní RFID tagy mají vlastní zdroj napájení a samy vysílají informaci. Využívají se pro aktivní lokalizaci. Aktivní tagy se používají méně často, jsou složitější a dražší. [65, 66]

RFID čtečky (dříve nazývané RFID dotazovače) jsou radiofrekvenční vysílače a přijímače řízené mikroprocesorem. Pomocí antény se data čtou z tagů a předávají dále ke zpracování. Čtečky mohou být stacionární nebo přenosné. Princip systému RFID je patrný na obrázku 14. [65]

Obrázek 14 Princip RFID



Zdroj: www.esp.cz

RFID technologie se využívá v logistice, skladovém hospodářství, řízení přístupu do uzavřených objektů či monitorování prací při výrobě a dalších oblastech. Ve zdravotnictví slouží k označování pacientů, nemocničního zařízení a nástrojů. Používají se také pro identifikaci účastníků sportovních závodů. V zemědělství umožňují identifikovat konkrétní chovaná zvířata. [67]

4.4.4 RTLS

RTLS (Real Time Location System) je systém pro lokalizaci a monitoring osob a předmětů v reálném čase uvnitř uzavřeného prostoru pomocí RFID tagů. Tento systém umožňuje lokalizaci uvnitř budov, výrobních hal či jinak ohraničeného prostoru. Výrobci udávají přesnost lokalizace 30 cm. Polohu lze sledovat v trojrozměrném prostoru, tedy určit pozici ve třech osách. [68]

RTLS využívá frekvenci 868 MHz. Základem systému jsou tagy a kotvy, viz obrázek 15. RTLS kotvy zjišťují polohu tagů pomocí metody TDoA (Time Difference of Arrival). Měří tedy časový rozdíl příchodu signálů a na základě toho zjišťují vzdálenosti mezi kotvami a tagy. Poloha kotev je známá a neměnná. RTLS má využití hlavně v průmyslu pro sledování zaměstnanců či předmětů ve skladech. Umožňuje sledovat práci zaměstnanců a zvyšuje jejich bezpečnost. Sledovaná osoba u sebe nosí aktivní RFID tag. Při detekci ležící osoby či volném pádu dokáže systém přivolat pomoc. RTLS je vhodný zejména pro riziková pracoviště jako jsou železárny, slévárny, chemičky či mrazírny. [69]

Obrázek 15 Příklad tagů a kotvy RTLS



Zdroj: www.eprin.cz

4.4.5 Lokalizace pomocí Wi-Fi

Wi-Fi je označení pro bezdrátovou komunikaci v počítačových sítích ve standardu IEEE 802.11. Technologie používá bezlicenční frekvenční pásmo 2,4 GHz a 5 GHz. Sítě obsahují přístupové body AP (Access Point) vysílající Identifikátory SSID (Service Set Identifier). SSID je řetězec až 32 znaků ASCII (American Standard Code for Information Interchange) sloužící pro rozlišení jednotlivých sítí, který se v pravidelných intervalech odesílá jako broadcast (plošné vysílání). Všichni potenciální uživatelé tedy mohou zobrazit dostupné bezdrátové sítě, ke kterým se lze připojit. Kdykoli je zařízení (chytrý telefon, notebook apod.) s přijímačem Wi-Fi v dosahu bezdrátové sítě, může zjistit jeho identifikační údaje SSID, BSSID (Basic Service Sets Identifier) a sílu signálu. Unikátní identifikátor BSSID je MAC adresou (Media Access Control) přístupového bodu. [70]

Mobilní zařízení v síti Wi-Fi zjistí identifikační údaje dostupných sítí. Zeměpisné souřadnice přístupových bodů sítě mohou být známy. Zařízení odešle údaje serverům Google, ty informace porovnají se svou databází. Podle souřadnic přístupových bodů a síly signálu provedou výpočet triangulací a zašlou zpět nejpravděpodobnější polohu. [71]

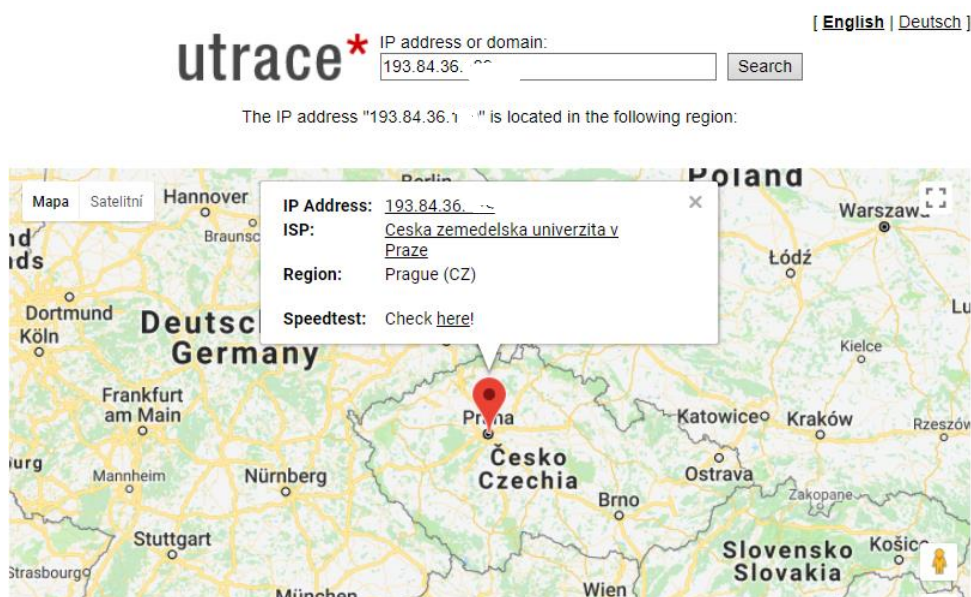
Poloha přístupových bodů je známa díky automobilům Street View společnosti Google, které kromě focení ulic také skenují dostupné Wi-Fi a shromažďují tyto údaje a také díky komunitě uživatelů chytrých telefonů. Pokud má chytrý telefon s operačním systémem Android aktivní zároveň Wi-Fi a příjem GPS, zjistí identifikační údaje přístupového bodu a souřadnice a odešle je společnosti Google. Čím více uživatelů zaměří přístupový bod, tím budou jeho souřadnice přesnější. Komunita uživatelů chytrých telefonů takto přispívá ke zlepšení této metody lokalizace. V USA provádění skenování přístupových bodů Wi-Fi pomocí automobilů nejen Google ale i další firmy. Lokalizace pomocí Wi-Fi může být velice přesná,

ale je použitelná pouze v místech s dostupnou Wi-Fi. Pokud souřadnice přístupového bodu nejsou známy, lokalizace touto metodou možná není. Tato metoda je vhodná především pro navigaci uvnitř budov. [71, 72]

4.4.6 Lokalizace pomocí IP adresy

Přibližná lokalizace zařízení připojených k internetu je možná pomocí jedinečné veřejné IP adresy. IP adresa je identifikátor síťového rozhraní, který využívá protokol IP (Internet Protocol). Vždy jde o adresu veřejnou, tedy pouze polohu brány. Každá IP adresa má svého majitele. V databázi IP adres jsou uvedeny údaje o vlastníkovi a mezi nimi je i korespondeční adresa. Je tedy možné určit pouze adresu majitele, nikoliv polohu uživatele. Zobrazení polohy pomocí IP adresy na stránkách www.en.utrace.de je znázorněno na obrázku 16. [72, 73]

Obrázek 16 Ukázka lokalizace pomocí IP adresy



Zdroj: <http://en.utrace.de>

5 Praktická část práce

Sledování osob pomocí chytrých telefonů se jeví jako levný a snadný způsob. V praktické části práce bude porovnána lokalizace pomocí A-GPS, pomocí mobilních sítí a přístrojem využívající A-GPS a GLONASS zároveň. Bude testována kvalita tohoto způsobu lokalizace. Kvalitou se myslí především přesnost, spolehlivost, rychlost a konzistentnost jednotlivých metod. Tyto způsoby lokalizace budou provedeny navíc v různých prostředích, protože v různých prostředích dosahují jednotlivé metody rozdílných výsledků. Následně budou zhodnoceny jejich výhody, nevýhody a rizika. Dále bude vyzkoušena metoda Cell ID. Výsledek této metody bude přenesen na mapový podklad. Lokalizace pomocí mobilních telefonů je zde prezentována jako levný způsob. Na konci praktické části budou porovnány ceny jednotlivých možných řešení.

Jak bylo popsáno v teoretické části práce, chytré mobilní telefony určují svoji polohu prostřednictvím A-GPS, pokud je dostupný signál a také pomocí mobilní sítě metodou E-OTD v sítích GSM a GPSR, v sítích UMTS metodou OTDOA. Zobrazovaná přesnost přístroji je střední polohová chyba, která je odhadem přesnosti. Střední polohová chyba určuje, že 2/3 měření mají chybu menší než zobrazené číslo. Za chybné měření se pak považuje měření s chybou 2,5 až trojnásobku střední polohové chyby. Chyba je závislá především na síle a počtu přijímaných signálů. Níže naměřené hodnoty přesnosti jsou právě údajem zobrazeným přístroji, tedy střední polohovou chybou. Přesnost udávaná přijímači GPS je více popsána v kapitole Omezení GPS.

5.1 Lokalizace osob pomocí aplikace chytrého telefonu

Aplikace pro GPS tracking zjišťují polohu chytrého telefonu a data odesílají přes datové síť nebo Wi-Fi, pokud jsou k dispozici. Lokalizace osob pomocí chytrých mobilních telefonů bude testována prostřednictvím aplikace Family GPS tracker My Family verze 5.45.

Uživatelé mobilních telefonů se pohybovali nejčastěji na území Středočeského kraje. Měření probíhalo v síti operátora T-Mobile.

Family GPS tracker My Family

Aplikace je určena pro sledování rodinných příslušníků, především pro hlídání dětí. Software je ve 14 jazycích včetně češtiny. Návod obsažený v aplikaci je pouze v angličtině. Stránky výrobce jsou také v angličtině. Aplikace je zadarmo. Po shlédnutí reklamního videa je navíc bez reklam po dobu 14 dní. Placená verze Premium stojí 259,99 Kč na rok a nabízí několik funkcí navíc. Aplikace je ve verzích pro operační systémy Android 4.0.3. a vyšší, iOS, Windows 10 Mobile a Windows Phone 8.1. Existuje mnoho podobných aplikací, sloužících ke stejnému účelu, My Family byla vybrána multikriteriální analýzou variant.

Funkce neplacené verze:

- chat,
- poplašné tlačítko,
- zobrazení, kdy proběhla poslední aktualizace polohy,
- přesnost polohy (m),
- přibližná adresa,
- úroveň baterie (%),
- příjem alarmu do uživatele.

Placená verze Premium navíc nabízí:

- možnost nesdílet polohu s vybraným uživatelem,
- vynucené volání či videohovor,
- vyhledání trasy k uživatelům,
- sledování uživatele přes fotoaparát,
- dětský režim, který zakáže změnu nastavení aplikace.

Instalace:

Software lze stáhnout pomocí Obchod Play a na stránkách play.google.com. Instalace proběhne automaticky po stažení. Po instalaci aplikace je nutné pozvat další uživatele. Kliknutím na ikonu *Pozvat do rodiny* aplikace vygeneruje přijímací kód. Kód lze odeslat emailem nebo jiným způsobem. Uživatel obdrží zprávu: „*Zvu Vás k připojení k mé rodině. Instalujte aplikaci z <https://bestmyfamily.com> a zadejte přijímací kód: xxxxxx*“ Po instalaci a zadání kódu se již uživatelé mohou vzájemně sledovat.

Nastavení aplikace

V nastavení lze změnit barevné téma, výběr mapových podkladů a lze zkontrolovat správné nastavení telefonu. Uživatel se může rozhodnout mezi mapovými podklady Google mapy, Google Mapy Sputnik, OSM a OSM Cyklistické mapy. Bohužel nejde použít off-line mapové podklady. Lze nastavit ukládání historie pohybu a přesnější zobrazení polohy. Polohu je možné aktualizovat a ukládat v intervalech 5, 10, 15 minut, 1 hodina, 1 den a nikdy. Vysoká frekvence aktualizace vede k většímu vybíjení baterie.

Použité přístroje

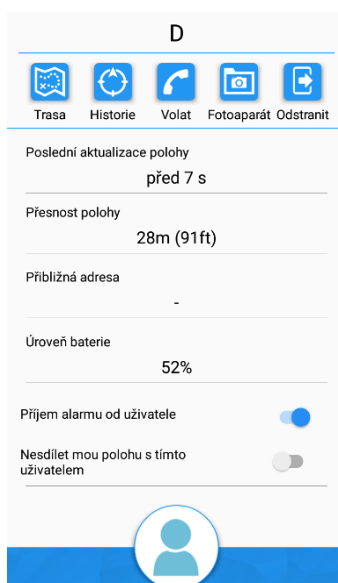
Aplikace byla naistalován na chytrých telefonech:

- STK Hero X s operačním systémem Android 5.1 Lollipop,
- LG L Fino D295 s operačním systémem Android 4.4 KitKat,
- HUAWEI P9 lite 2017 s operačním systémem Android 7.0.

Měření

Po instalaci aplikace byla každý den zaznamenávána historie pohybu uživatelů. Naměřené výsledky byly uloženy jako screeny obrazovky a následně zpracovány. Uživatelé trávili většinu času v zaměstnání, ve škole a doma. Nijak neměnili své chování. Aplikace u jednotlivých uživatelů zobrazuje aktuální polohu, čas poslední aktualizace polohy, přesnost polohy, přibližnou adresu a stav baterie, viz obrázek 17.

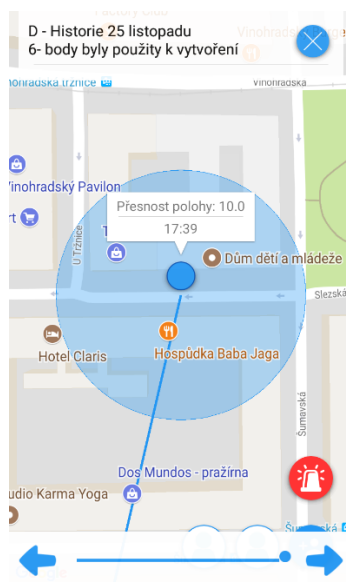
Obrázek 17 Údaje zobrazené aplikací



Zdroj: autor

Zaznamenaná poloha, její čas a přesnost se ukládají a lze je později zobrazit, jak lze vidět na obrázku 18.

Obrázek 18 Zobrazení historie



Zdroj: autor

Režimy určování polohy

V nastavení chytrého telefonu lze vybrat určování polohy pomocí GPS, pouze pomocí sítí a pomocí GPS a sítí zároveň. Pokud je chytrý telefon navíc vybaven přijímačem GLONASS, může svoji polohu určit pomocí GPS a GLONASS zároveň. Toho bylo využito a byly nastaveny různé režimy, aby bylo možné následně porovnat výsledky jednotlivých metod.

Určování polohy pomocí GPS a mobilních sítí

V chytrých telefonech byl nastaven režim určování polohy pomocí GPS a mobilních sítí. Poloha uživatelů byla zaznamenávána 90 dní. Statistické údaje naměřených hodnot ukazuje následující tabulka 5.

Tabulka 5 Lokalizace pomocí GPS a mobilních sítí

Lokalizace osob pomocí mobilních telefonů, poloha určována pomocí GPS a mobilních sítí	
průměrná přesnost [m]	30,41
modus	21,00
medián	21,00
počet měření	2 687
počet dnů	90
nejlepší přesnost [m]	4,00
nejhorší přesnost [m]	100,00
průměrně bodů za den na jednu osobu	14,93
počet osob	2

Zdroj: autor

Určování polohy pomocí mobilních sítí

K určování polohy byly použity pouze mobilní sítě. Přijímače GPS nebyly použity. Výsledky naměření zobrazuje tabulka 6.

Tabulka 6 Lokalizace pomocí mobilních sítí

Lokalizace osob pomocí mobilního telefonu, poloha určována podle mobilních sítí	
průměrná přesnost [m]	39,27
modus	21,00
medián	24,00
počet měření	644
počet dnů	10
nejlepší přesnost [m]	13,00
nejhorší přesnost [m]	100,00
průměrně bodů za den na jednu osobu	32,20
počet osob	2

Zdroj: autor

Lokalizace pomocí GPS

Mobilní telefony určovaly svoji polohu pouze pomocí A-GPS. Výsledky měření zobrazuje tabulka 7.

Tabulka 7 Lokalizace pomocí GPS

Lokalizace osob pomocí mobilního telefonu, poloha určována podle GPS	
průměrná přesnost [m]	40,82
modus	10,00
medián	38,00
počet měření	205
počet dnů	10
nejlepší přesnost [m]	4,00
nejhorší přesnost [m]	98,00
průměrně bodů za den na jednu osobu	20,50
počet osob	1

Zdroj: autor

Lokalizace pomocí GPS + GLONASS

Mobilní telefon určoval svoji polohu pomocí A-GPS a GLONASS zároveň. Výsledky jsou přehledně zobrazeny v tabulce 8.

Tabulka 8 Lokalizace pomocí GPS + GLONASS

Lokalizace osob pomocí mobilního telefonu, poloha určována podle GPS+GLONASS	
průměrná přesnost [m]	28,56
modus	10,00
medián	10,00
počet bodů	170
počet dnů	10
nejlepší přesnost [m]	5,00
nejhorší přesnost [m]	96,00
průměrně bodů za den na jednu osobu	18,89
počet osob	1

Zdroj: autor

5.2 Testování jednotlivých způsobů lokalizace v rozdílných prostředích

U jednotlivých způsobů lokalizace závisí jejich přesnost na prostředí, ve kterém se nachází přijímač, proto byly metody otestovány v odlišných prostředích. Důležité je také definovat jednotlivé prostředí. Měření probíhalo pomocí chytrých mobilních telefonů na území Středočeského kraje a v mobilní síti operátora T-Mobile. Použité chytré telefony jsou stejné jako v předchozím měření.

Les

Hustě zalesněné prostředí, ve kterém výhledu na oblohu brání stromy. Lze předpokládat nízkou hustotu BTS a slabší signál GPS.

Město

Prostředí husté zástavby, kde domy převyšují výšku šesti metrů a výhled na oblohu je zhoršený. Lze předpokládat velkou hustotu BTS a horší viditelnost družic GPS. Přijímače se nacházely vně budov.

Uvnitř budov

Přijímače se nacházely uvnitř budov. Přímý výhled na oblohu zde není, předpokládaný signál GPS je tedy velice slabý. Měření probíhalo v budovách ve městě i na venkově.

Uvnitř dopravních prostředků

Konstrukce dopravních prostředků neumožňuje přímý výhled telefonu na oblohu, signál GPS je zde slabý. Hustota BTS závisí na tom, kde se dopravní prostředek pohybuje. Měření probíhalo v jedoucích osobních vozech, autobusech a tramvajích.

Venkov

Měření probíhalo vně budov. Budovy nepřevyšují šest metrů, výhled na oblohu je tedy dobrý. Hustota BTS je výrazně nižší oproti městu.

Volné prostranství

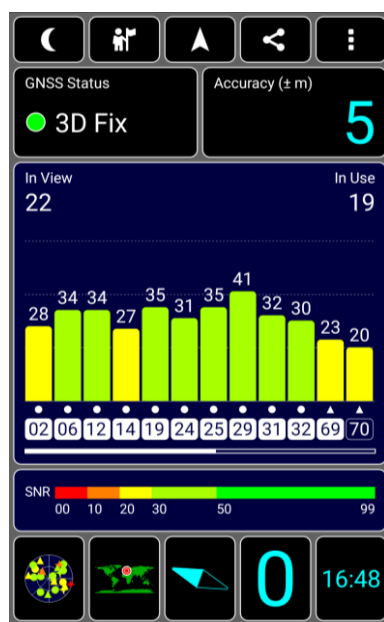
Prostředí s výborným výhledem na oblohu. Podmínky pro příjem signálu GPS jsou ideální. Nejbližší budovy se nacházejí desítky až stovky metrů daleko. Hustota BTS je nízká.

V takto definovaných prostředích byla určována poloha chytrých telefonů pomocí:

- mobilní sítě,
- GPS,
- GPS a GLONASS zároveň.

Při určování polohy pomocí mobilní sítě byla zaznamenána přesnost. Při určování pomocí GPS a GPS + GLONASS byla zaznamenána přesnost a počet využívaných satelitů. Pro zobrazení počtu využívaných satelitů a odhadované přesnosti určení polohy byla použita mobilní aplikace GPS Test verze 1.5.5, viz obrázek 19. Zjištěné hodnoty byly uloženy jako screeny obrazovky telefonu a dále zpracovány.

Obrázek 19 Aplikace GPS Test



Zdroj: autor

Průměrnou přesnost, průměrný počet využívaných satelitů a počet měření při lokalizaci pomocí chytrého telefonu s hybridním přijímačem využívající GPS + GLONASS zobrazuje tabulka 9.

Tabulka 9 Lokalizace pomocí GPS+GLONASS

Lokalita	Průměrná přesnost [m]	Využívaných satelitů	Počet měření
les	5,54	16,76	100
město	6,06	14,22	100
uvnitř budov	9,73	7,89	100
uvnitř dop. prostředků	5,55	15,09	100
venkov	5,17	17,43	100
volné prostranství	5,00	19,31	100

Zdroj: autor

Výsledky měření při určení polohy pouze pomocí GPS ukazuje tabulka 10.

Tabulka 10 Lokalizace pomocí GPS

Lokalita	Průměrná přesnost [m]	Využívaných satelitů	Počet měření
les	6,62	8,94	100
město	13,42	8,31	100
uvnitř budov	47,49	7,05	100
uvnitř dop. prostředků	45,56	9,92	100
venkov	6,83	8,94	100
volné prostranství	5,19	9,11	100

Zdroj: autor

Při lokalizace pomocí mobilních sítí byly hodnoty přesnosti zobrazeny mobilní aplikací MyFamily 5.45. Naměřené hodnoty zobrazuje tabulka 11.

Tabulka 11 Lokalizace pomocí mobilní sítě

Lokalita	Průměrná přesnost [m]	Počet měření
les	239,94	100,00
město	21,74	100,00
uvnitř budov	38,87	100,00
uvnitř dop. prostředků	863,63	35,00
venkov	47,56	100,00
volné prostranství	743,68	100,00

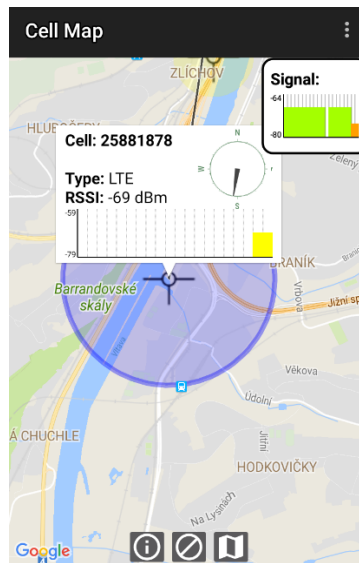
Zdroj: autor

5.3 Demontrace metody Cell ID

Metoda lokalizace Cell ID mobilních zařízení v mobilní síti je popsána v kapitole Metody lokalizace v mobilních sítí. Pomocí dat získaných z mobilní aplikace zde bude demonstrována metoda Cell ID.

Aplikací Cell Map lze získávat informace o BTS ke kterým se připojí chytrý telefon. Po připojení telefonu ke stanici aplikace zobrazí identifikátor vysílače, standard (např. LTE) a sílu signálu RSSI (Receive Signal Strength Indicator). Do paměti pak aplikace запиše kromě těchto údajů ještě zeměpisné souřadnice BTS a datum, kdy byly údaje zaznamenány, viz obrázek 20. Aplikaci lze zadarmo stáhnout na play.google.com, je kompatibilní s operačním systémem Android 2.3.3 a vyšším.

Obrázek 20 Aplikace Cell Map

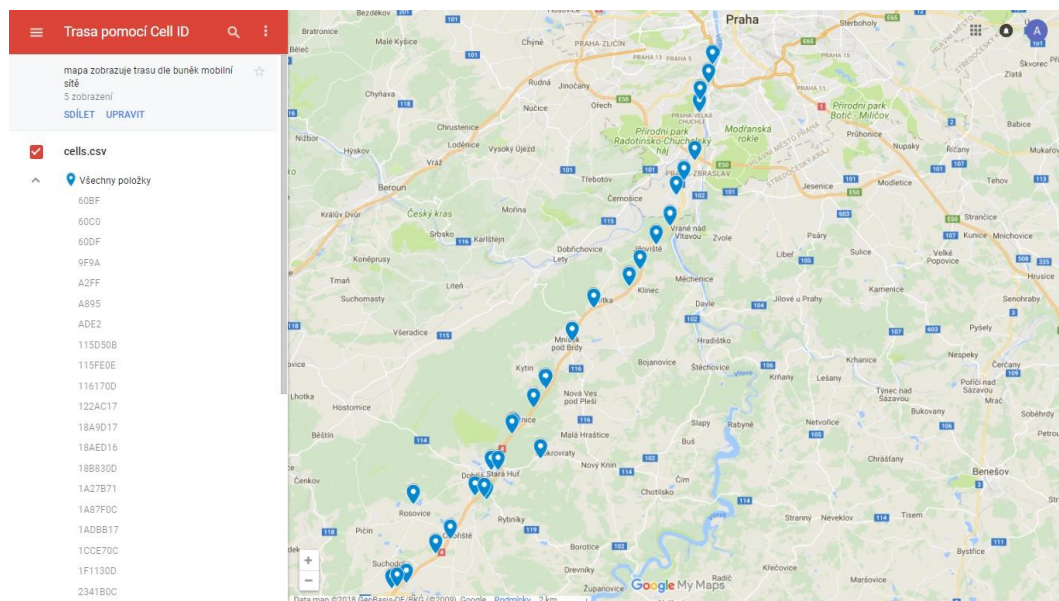


Zdroj: autor

Měření

Na trase 60 km se telefon připojil ke 33 stanicím, ty byly zaznamenány aplikací. Data se exportovala do formátu csv. Díky tomu je možné polohu stanic a přenést je na mapový podklad. Souřadnice byly přeneseny na mapové podklady google.com/maps. Díky tomu můžeme přibližně usuzovat, kde se uživatel pohyboval, viz obrázek 21. Nelze ovšem přesněji určit polohu a nelze ani stanovit přesnost určené polohy.

Obrázek 21 Trasa pomocí Cell ID

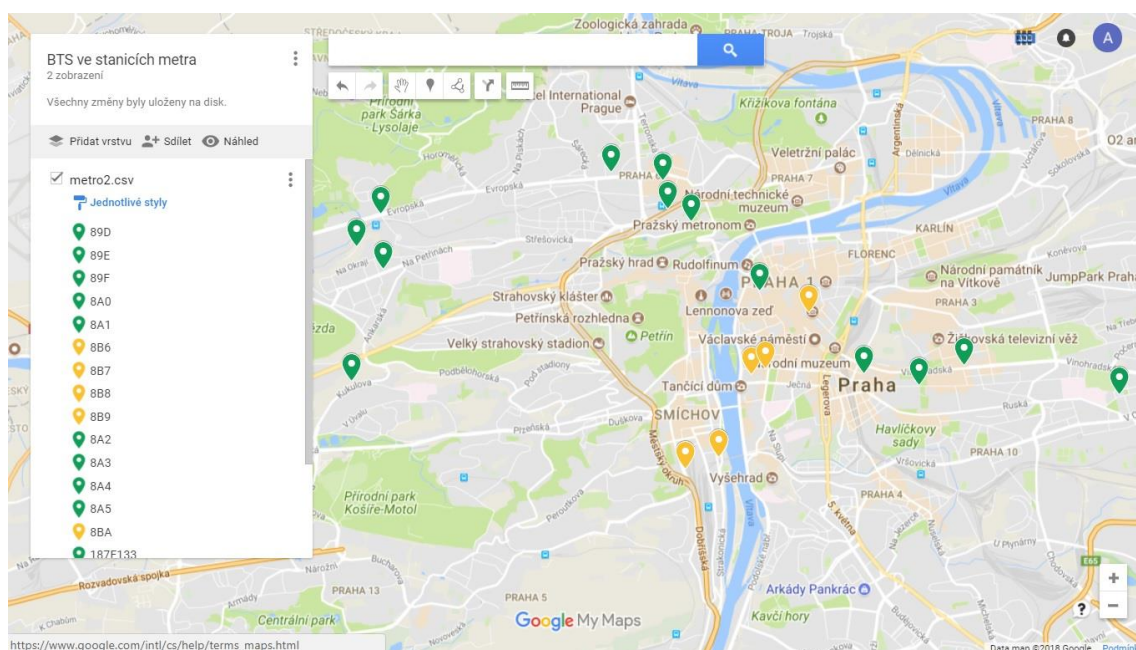


Zdroj: autor

Lokalizace ve stanicích metra

Ve podzemních stanicích metra není dostupný signál GPS. Tento způsob lokalizace zde tedy nelze použít. Je zde však dostupný signál mobilní sítě. Přibližnou polohu lze tedy určit díky metodě Cell ID. V osmnácti stanicích metra byly získány údaje z BTS. Data byla exportována a vynesena na mapový podklad, viz obrázek 22. Lze tedy lokalizovat uživatele mobilního telefonu pohybujícího se v podzemní stanici metra. V tunelech metra ale signál není a uživatele nelze lokalizovat pomocí mobilní sítě ani pomocí GPS.

Obrázek 22 Lokalizace v podzemních stanicích metra



Zdroj: autor

5.4 Srovnání cen lokalizace pomocí osobního lokátoru a chytrého telefonu

Chytré telefony se jeví jako levný a jednoduchý prostředek pro lokalizaci osob. Náklady na lokalizaci pomocí chytrého telefonu budou srovnány s náklady na lokalizaci pomocí osobního lokátoru.

Osobní lokátory obsahují GPS přijímač a GSM modul. Polohu zjišťují pomocí GPS či pomocí mobilní sítě a informace odesílají pomocí datové mobilní sítě nebo formou SMS. Pokud je SIM karta vložena od výrobce, hradí uživatel měsíční poplatek, viz tabulka 12. V případě, že lokátor SIM kartu neobsahuje, je potřeba vložit SIM kartu pro datové přenosy.

Tabulka 12 Příklad osobních lokátorů dostupných na českém trhu

Model	Cena (Kč)	Měsíční náklady (Kč)
Helmer LK 505	1 090	datový tarif
Helmer LK 702	1 349	datový tarif
Tractive GPS Tracker	1 449	125
Pomoc v nebezpečí	1 499	450
Carneo Guard Kid	1 690	datový tarif
Helmer LK 703	1 990	datový tarif
Abardeen KT01S	1 999	datový tarif
Helmer LK 503	2 190	datový tarif
Helmer LK 507	2 190	datový tarif
intelioWATCH	2 499	datový tarif
Helmer LK 704	2 590	datový tarif
TRACKIMO Optimum 2G	2 999	100
TCL MOVETIME Smartwatch TPU	2 999	datový tarif
TCL MOVETIME Smartwatch Leather	3 499	datový tarif
Alcatel MOVETIME	3 699	datový tarif

ceny jsou uvedeny včetně DPH

Zdroj: alza.cz

Tabulka 13 Příklad chytrých telefonů nižší třídy

Model	Cena (Kč)
Lenovo A1000 Onyx Black Dual SIM	1 499
Motorola Moto C White	1 777
Acer Liquid Z6E Black Dual SIM	1 790
ALCATEL U5 3G Premium 4047F	1 888
Nokia 8110 4G	1 999
Aligator S5510	1 999
Gigaset GS160	2 290
Cubot R9	2 349
Xiaomi Redmi 4A	2 699
Honor 6A	2 999
Samsung Galaxy J3	2 999
Doogee Mix Lite	3 099
Alcatel 3C	3 199
HUAWEI P9 Lite mini	3 699
ASUS Zenfone 3	3 989

ceny jsou uvedeny včetně DPH

Zdroj: alza.cz

Přehled patnácti chytrých mobilních telefonů vybavených přijímačem GPS ukazuje tabulka 13. Jedná se o chytré telefony nižší třídy běžně dostupné na českém trhu.

Provozní náklady pro lokalizaci u chytrých telefonů představují datový tarif a použití mobilní aplikace. Mobilní aplikace jsou v základní verzi zdarma, ceny placených verzí se pohybují od 22 Kč do 60 Kč měsíčně. Placené verze poskytují více funkcí.

Tabulka 14 Mobilní aplikace pro lokalizace osob

Aplikace	Měsíční cena placené verze (Kč)
Sledování s GPS	60
Rodinný lokátor Life 360	85
Family GPS tracker MyFamily	22
Find my Kids GPS Tracker	60

ceny jsou uvedeny včetně DPH

Zdroj: play.google.com

Pořizovací cena běžných osobních GPS lokátorů dostupných na českém trhu se pohybuje do 1 000 do 3 500 Kč. Provozní náklady pro většinu osobních lokátorů představuje datový tarif SIM karty. Pokud mají SIM kartu vloženou od výrobce, měsíční poplatek se pohybuje ve stovkách korun.

Cena chytrých telefonů vybavených přijímačem GPS dostupných na českém trhu se pohybuje od 1 700 Kč. Provozní náklady pro chytrý telefon použitý pro lokalizaci zahrnují tarif pro datové přenosy a poplatek za mobilní aplikaci. Mobilní aplikace jsou v základní verzi zadarmo. Vyšší placené verze obsahují další funkce a jejich cena se pohybuje v řádu desítek korun měsíčně. Relativně nízké ceně osobních lokátorů se vyrovnají pouze chytré telefony nižší třídy. Lze tedy předpokládat, že lepších výsledků lze dosáhnout spíše dražším lokátorem než nejlevnějším chytrým telefonem.

Všechny zde uvedené ceny jsou včetně DPH.

6 Zhodnocení výsledků

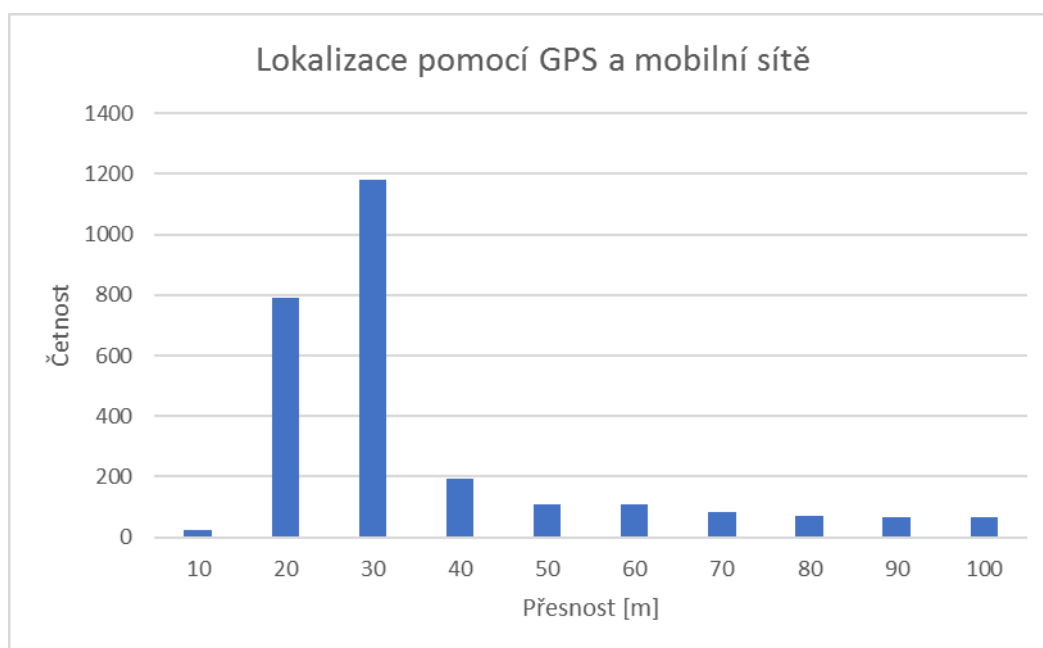
V praktické části práce byly osoby lokalizovány pomocí chytrého telefonu a aplikace MyFamily. Při určování polohy níže uvedenými způsoby vycházely rozdílné hodnoty přesnosti. Lepší představu o naměřených hodnotách lze získat zobrazením hodnot v histogramu, který graficky znázorňuje data pomocí sloupcového grafu se sloupci vyjadřující šířku intervalů. Výška sloupce vyjadřuje četnost sledované veličiny v daném intervalu.

Lokalizace pomocí mobilní aplikace probíhala celkem 120 dní. Poloha osob byla zjištěna celkem 3 706krát. Díky tomu lze usuzovat kvalitu jednotlivých způsobů lokalizace.

Lokalizace osob pomocí GPS a mobilní sítě

Při lokalizaci osob mobilní aplikací pomocí GPS a mobilních sítí se většina hodnot pohybovala okolo 30 metrů. Ostatní hodnoty jsou rozděleny téměř rovnoměrně do sta metrů, viz obrázek 23.

Obrázek 23 Lokalizace pomocí GPS a mobilní sítě

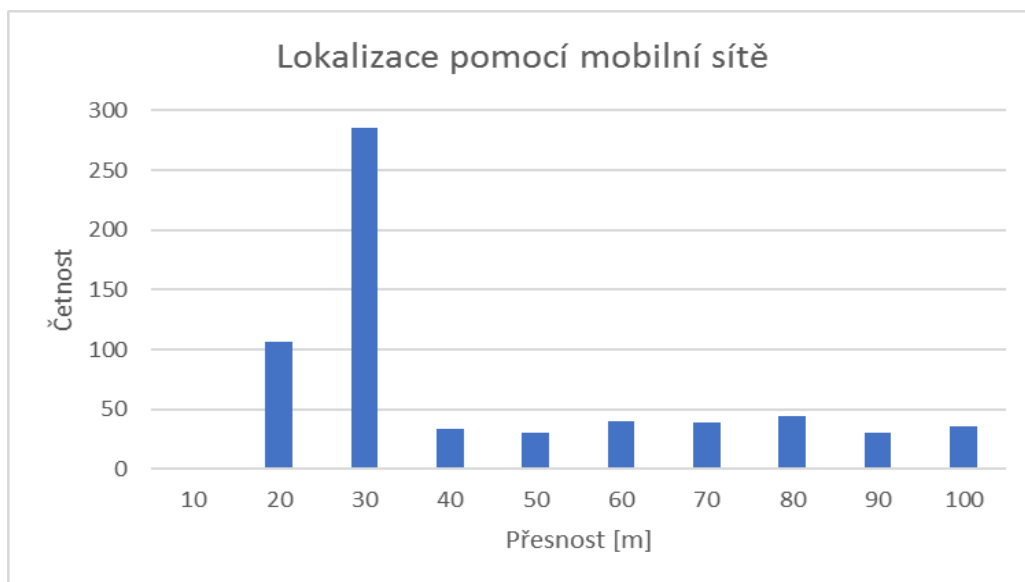


Zdroj: autor

Lokalizace osob pomocí mobilní sítě

Při lokalizaci pouze pomocí mobilní sítě se přesnost zhoršila oproti předchozímu. Jak je vidět na obrázku 24. Nevyskytují se hodnoty pod dvacet metrů.

Obrázek 24 Lokalizace pomocí mobilní sítě

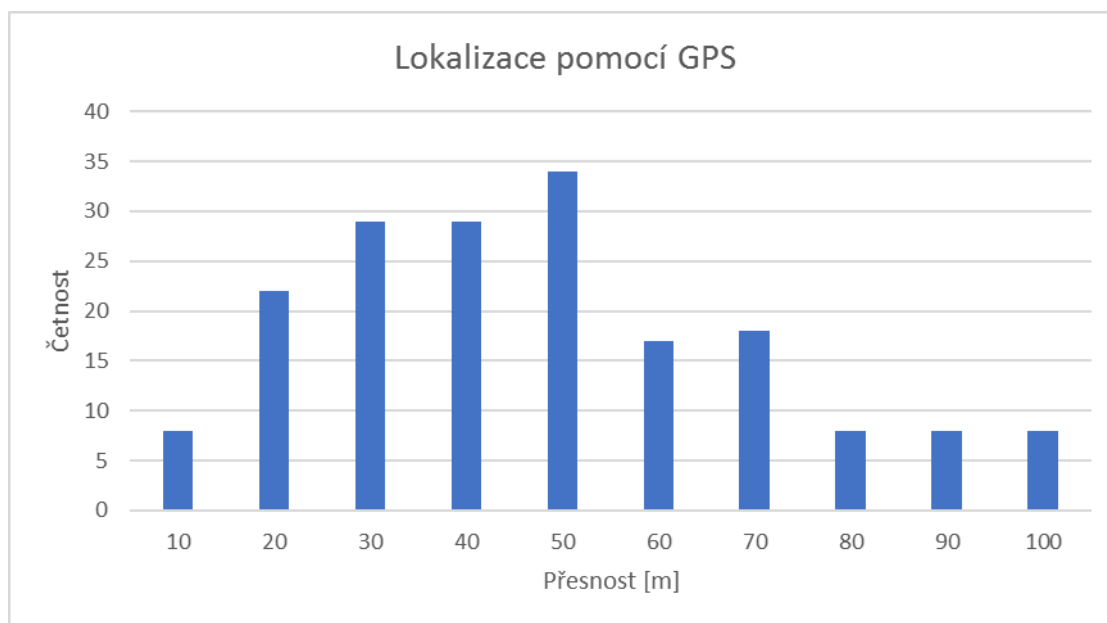


Zdroj: autor

Lokalizace osob pomocí GPS

Při lokalizaci pouze pomocí GPS se nejvíce hodnot nalézá mezi 30 až 50 metry, viz obrázek 25. Toto je způsobeno především tím, že uživatelé se zdržují většinu času uvnitř budov, a dopravních prostředků, kde je výhled na oblohu horší či žádný. Přijímač GPS přijímá slabší signál a menší počet signálů. Běžné ruční přijímače včetně telefonů mohou dosáhnout i přesnosti okolo 5 metrů, zde je ovšem přesnost překvapivě výrazně horší. Lokalizace čistě pomocí GPS se tedy jeví jako nevhodná pro osoby, které tráví většinu času uvnitř budov, dopravních prostředků a místech husté zástavby.

Obrázek 25 Lokalizace pomocí GPS

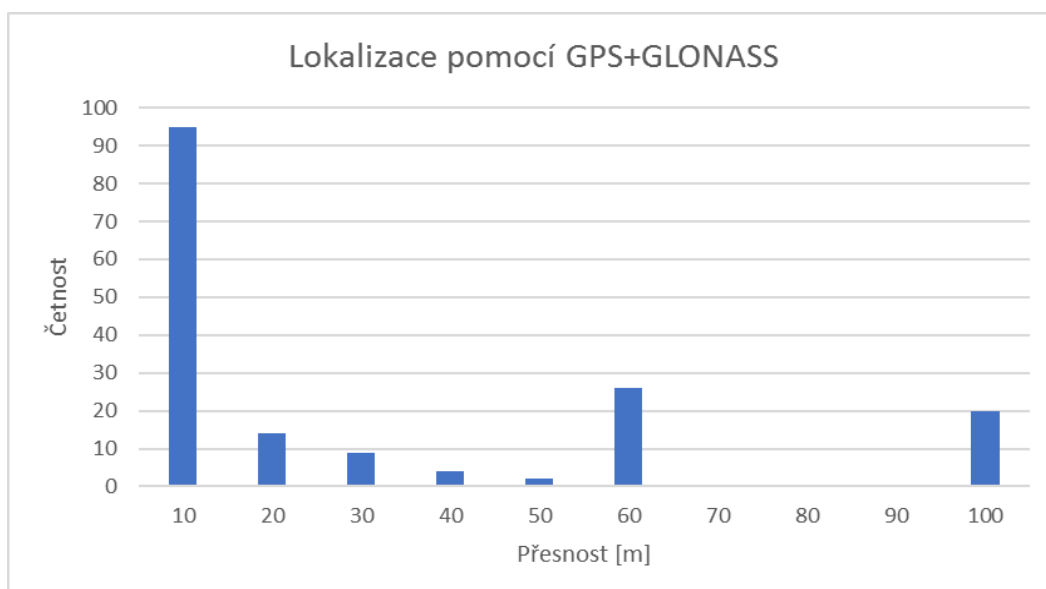


Zdroj: autor

Lokalizace osob pomocí GPS + GLONASS

Při lokalizaci osob pomocí chytrého telefonu využívajícího současně oba systémy GPS a GLONASS bylo dosaženo výborných výsledků, viz obrázek 26. Většina naměřených hodnot se pohybuje okolo deseti metrů. Hybridní přijímače využívající systémy GPS a GLONASS současně mohou být velkým přínosem.

Obrázek 26 Lokalizace pomocí GPS + GLONASS

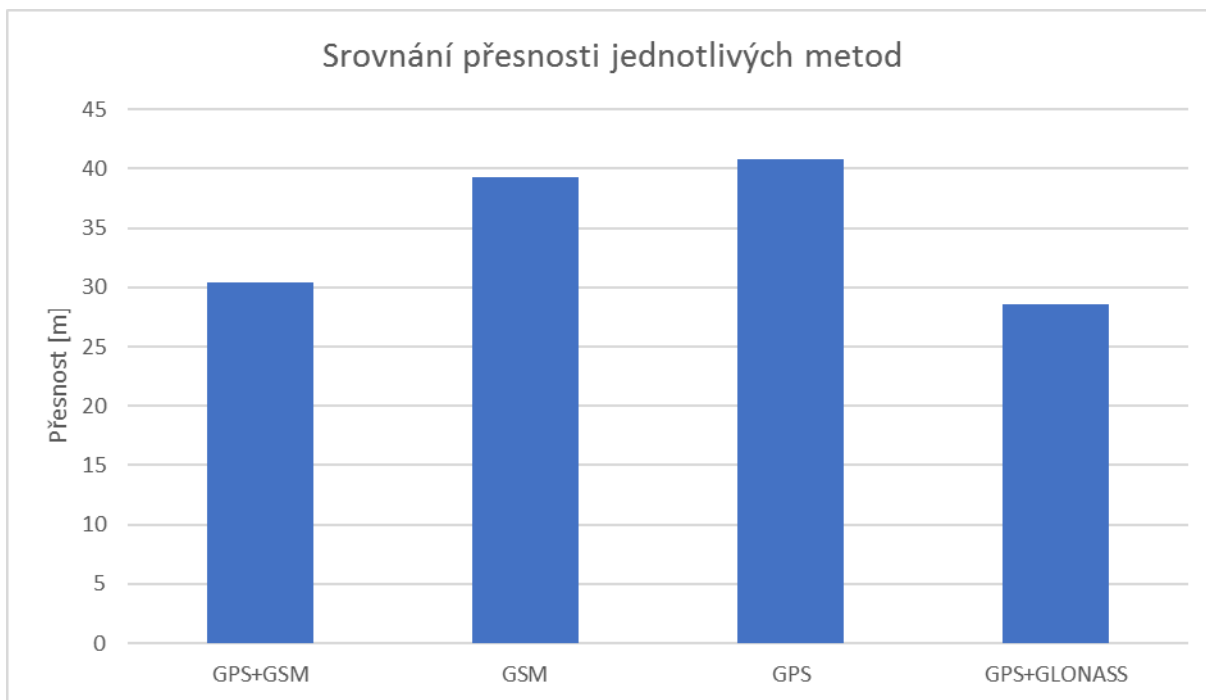


Zdroj: autor

Srovnání jednotlivých způsobů

Při srovnání jednotlivých způsobů lokalizace vidíme největší průměrnou přesnost u GPS + GLONASS, viz obrázek 27. Lepších výsledků tedy dosáhneme integrací více systémů do jednoho přijímače.

Obrázek 27 Srovnání jednotlivých metod lokalizace



Zdroj: autor

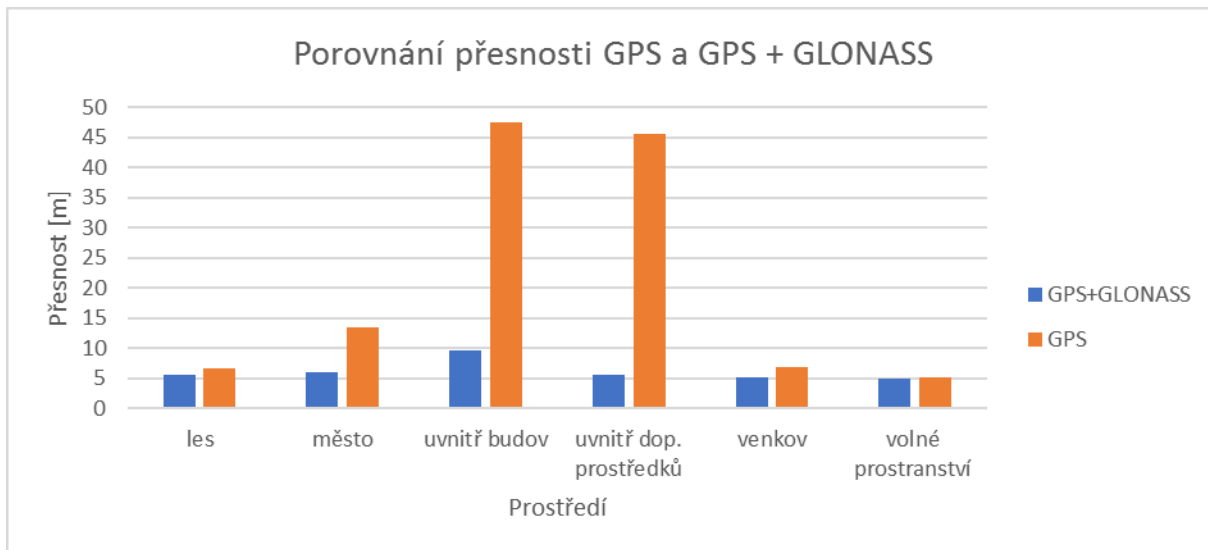
Testování jednotlivých způsobů lokalizace v rozdílných prostředích

V praktické části práce byly jednotlivé způsoby lokalizace pomocí chytrého mobilního telefonu testovány v rozdílných prostředích, aby bylo možno porovnat jejich přesnost, konzistentnost a spolehlivost.

Při porovnání průměrné přesnosti GPS a hybridního přijímače GPS + GLONASS je patrné, že hybridní přijímač dosahuje výrazně lepších výsledků. Přesnost GPS je výrazně nekonzistentní v prostředí města s hustou zástavbou, uvnitř budov a uvnitř dopravních prostředků. V těchto prostředích je výhled na oblohu malý nebo žádný. Přijímaný signál je slabší, počet signálů je také menší. V těchto podmínkách nelze dosáhnout lepší přesnosti. Přesnost hybridního přijímače GPS + GLONASS je konzistentní. V ideálním prostředí, volném prostranství s výborným výhledem na oblohu se neprojevil rozdíl. V ideálním prostředí lze výborného

výsledku dosáhnout použitím pouze GPS. Hybridní přijímače se uplatní hlavně v nevhodných prostředích a mohou být velkým přínosem.

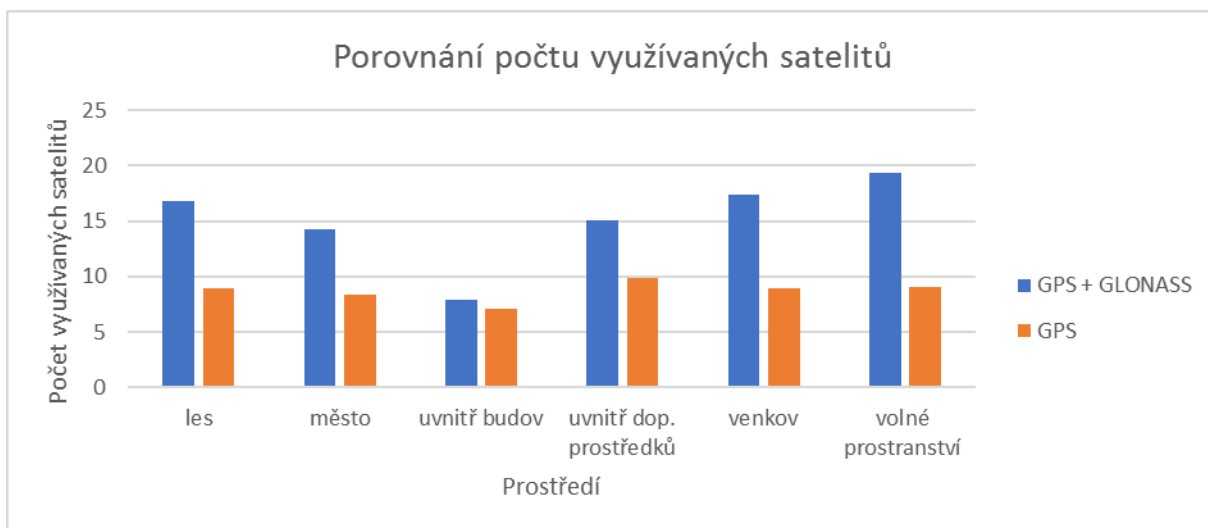
Obrázek 28 Porovnání přesnosti GPS a GPS + GLONASS



Zdroj: autor

Přesnost polohy závisí krom jiného na počtu využitých satelitů. V grafu je vidět, že hybridní přijímač ve všech prostředích může využít větší počet satelitů. To je přínosem při špatném výhledu na oblohu a špatné konstelaci družic.

Obrázek 29 Porovnání počtu využívaných satelitů

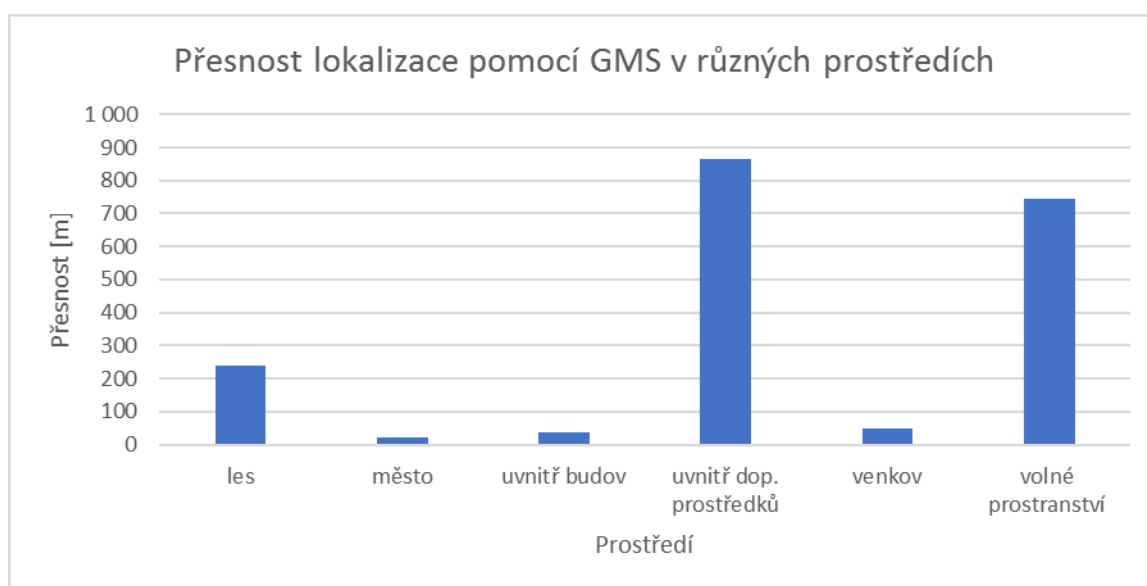


Zdroj: autor

Přesnost lokalizace pomocí mobilních sítí v různých prostředích

Porovnání průměrné přesnosti při lokalizaci pomocí mobilních sítí je vidět na grafu. Tato metoda se jeví jako značně nekonzistentní a méně přesná. Její výhodou oproti GPS a GLONASS je spolehlivost v prostředích bez výhledu na oblohu. U této metody nezáleží, jestli se osoba nachází uvnitř budov nebo vně, pokud budovy nejsou z nevhodného materiálu, který nepropouští rádiové vlny. Lokalizace tímto způsobem je možná všude tam kde je signál mobilních sítí.

Obrázek 30 Přesnost lokalizace pomocí mobilních sítí v různých prostředí



Zdroj: autor

Porovnání kvality jednotlivých způsobů lokalizace

Na základě rozsáhlého měření je možno porovnávat kvalitu jednotlivých způsobů lokalizace, a to především jejich přesnost, rychlost, konzistentnost, spolehlivost a spotřebu baterie.

GPS

Lokalizace pomocí GPS je přesný způsob lokalizace. Při ideálních podmínkách při výborném výhledu na oblohu je velice přesná, kolem 5 metrů. Většina uživatelů se však nepohybuje v takovém prostředí. Spolehlivost je horší oproti mobilním sítím. V prostředích se špatným výhledem na oblohu a slabým signálem je možné, že poloha nelze určit vůbec. Rychlost A-GPS (asistované GPS) je překvapivě vysoká. Určení první polohy proběhne většinou v řádu jednotek, nejvýše desítek sekund. Rychlost samotné GPS je horší. Určení první polohy při

studeném stratu (pokud přijímač nebyl zapnutý nebo nebyl delší dobu používán) může být až 12 minut. Obvykle trvá v řádu minut. Konzistentnost tohoto způsobu zhoršuje hlavně horší přesnost v prostředí se špatným výhledem na oblohu. Lokalizace pomocí GPS se u chytrého mobilního telefonu výrazně projeví ve spotřebě elektrické energie. Velký interval aktualizace polohy, např. 5 minut, povede k rychlému vybíjení baterie. U toho způsobu lokalizace je tedy vhodnější delší interval, řádově jedna hodina.

GPS + GLONASS

Při lokalizaci chytrými telefony s hybridním přijímačem využívajícím A-GPS a GLONASS zároveň bylo dosaženo výborných výsledků. Přesnost oproti samotnému GPS byla vždy lepší nebo stejná. Rychlost určení polohy je velká díky A-GPS. Určení první polohy probíhalo v řádu jednotek, nejvýše desítek vteřin. Konzistentnost byla mnohem lepší než u samotného GPS. Spolehlivost je opět lepší oproti samotnému GPS. Největší rozdíly byly v prostředích se špatným výhledem na oblohu a slabým signálem. Zde se hybridní přijímače GPS + GLONASS jeví jako velký přínos, přesnost je zde výrazně vyšší, počet využívaných satelitů je až dvojnásobný. Spotřeba baterie je také vysoká, stejně jako u samotného GPS.

Mobilní síť

Přesnost lokalizace pomocí mobilní sítě je horší. V prostředích s nízkou hustotou BTS to jsou stovky metrů až kilometry. Tento způsob lokalizace je značně nekonzistentní. Určení polohy trvá obvykle desítky vteřin až několik minut při využívání metod E-OTD a OTDOA. Metodou Cell ID je určení polohy okamžité, telefon je stále připojen k některému vysílači a zná tedy jeho identifikátory. Zjištění souřadnic a vykreslení na mapový podklad je u Cell ID rychlé. Výhodou toho způsobu lokalizace je velká spolehlivost a velice nízká spotřeba baterie. Po bodu měření se uživatelům nestávalo, že by se ocitli mimo signál mobilní sítě, kromě tunelů metra. Vliv na spotřebu baterie byl zcela minimální.

Neplších výsledků dosáhne integrací více metod. Ideální lokátor bude polohu určovat pomocí GPS, GLONASS, Galileo a mobilních sítí. Takovými přijímači jsou v současné době vybaveny pouze nejdražší chytré telefony.

Zhodnocení chytrého telefonu jako prostředku pro lokalizaci osob

Při lokalizaci osob pomocí mobilního telefonu nemusí osoby nosit u sebe další zařízení, konkrétně GPS lokátor. Předpokládáme, že uživatelé u sebe budou nosit telefon většinu dne a zapnutý. Samotné aplikace pro GSM tracking nijak výrazně uživatele neomezuji a neobtěžují, běží na pozadí a po správném nastavení nevyžadují žádný další zásah.

Nevýhodou chytrých mobilních telefonů oproti GPS osobním lokátorům je hlavně menší výdrž baterie. Nejsou primárně konstruovány jako lokátory. Pokud je baterie vybitá, polohu určit nelze. Ztráta či krádež mobilního telefonu je navíc pravděpodobnější než ztráta GPS lokátoru nebo lokátoru ve formě hodinek či přívěsku. Chytré telefony nebudou vhodné pro menší děti a pro seniory.

Výhodou chytrých mobilních telefonů je schopnost určit svoji polohu pomocí více způsobů, a to pomocí A-GPS, GLONASS, mobilních sítí, Wi-Fi a Bluetooth. Mohou tak přesněji určit polohu v místech špatného signálu GPS.

Osobní lokátory ve většině případů využívají pouze GPS a mobilní síť. Výhody osobních lokátorů jsou hlavně větší výdrž baterie a odolné provedení. Pro děti jsou speciálně určené lokátory ve formě hodinek, pro seniory existují speciální telefony s jednodušším ovládáním a modulem GPS určeným pro jejich lokalizaci.

Hodnocení mobilní aplikace MyFamily z pohledu uživatele

Aplikace je uživatelsky příjemná a v češtině. Funguje překvapivě rychle a snadno. Instalace proběhla během několika minut bez komplikací. Ovládání aplikace je jednoduché a intuitivní. Reklama ve verzi zdarma nepůsobí rušivě. Po shlédnutí krátkého videa se reklama přestane zobrazovat na 14 dní.

Problémy s určením polohy nastaly v dopravních prostředcích, a uvnitř budov. To je dáno možnostmi technologie GPS (popsáno v kapitole Omezení GPS). Uvnitř budov se zhoršuje přesnost určení polohy a výjimečně nebylo možné polohu určit vůbec. Bez datových přenosů není možné, jednak odeslat informace dalším uživatelům a ani není možné zobrazit vlastní polohu. Aplikace také neumí využívat off-line mapové podklady. Praktické by bylo, kdyby aplikace uměla exportovat naměřená data do různých formátů, např. gpx nebo csv, data by se pak mohla dále zpracovávat.

Přes některá omezení se mobilní aplikace jeví jako praktický a jednoduchý způsob monitoringu osob. Telefon s datovými přenosy a přijímačem GPS vlastní již mnoho lidí.

7 Závěr

V diplomové práci byl vytvořen přehled řešené problematiky. Byly rozebrány jednotlivé typy monitoringu a lokalizace osob. V praktické části bylo provedeno testování jednotlivých metod lokalizace. Na základě teoretických poznatků a výsledků praktické části práce byla porovnána kvalita jednotlivých metod. Byly tím splněny dílčí cíle práce. Diplomová práce pomůže čtenáři k porozumění problematice monitoringu a lokalizace osob.

V praktické části práce byly lokalizovány osoby pomocí mobilních telefonů aplikací GPS Tracker My Family. Toto měření probíhalo celkem 120 dní, přičemž byla více jak 3 000krát určena poloha osob. Poloha byla určována pomocí rozdílných způsobů, a to pomocí mobilních sítí, GPS, mobilních sítí a GPS zároveň a pomocí GPS a GLOANSS zároveň. Díky tomu je možné určit kvalitu, výhody a nevýhody jednotlivých možností lokalizace.

U jednotlivých systému pro lokalizaci závisí jejich přesnost na prostředí, ve kterém se přijímač pohybuje. Proto byla lokalizace pomocí GPS, GPS + GLONASS a mobilních sítí testována v prostředí města, venkova, uvnitř budov, uvnitř dopravních prostředků, na volném prostranství a v lese pomocí mobilních telefonů. Díky naměřeným výsledkům byla porovnána přesnost, konzistentnost, rychlost a spolehlivost jednotlivých metod. Dále byla demonstrována metoda Cell ID pro lokalizaci v mobilních sítích a byly porovnány náklady na lokalizaci osoby pomocí běžně dostupných osobních lokátorů a mobilních telefonů.

GPS lze považovat za přesný způsob lokalizace osob, jeho spolehlivost je horší oproti lokalizaci v mobilních sítích. Přesnost a spolehlivost klesají v místech se špatným výhledem na oblohu, což se jeví jako největší slabina toho systému.

Při lokalizaci pomocí mobilního telefonu s hybridním přijímačem využívajícího GPS a GLONASS zároveň bylo dosaženo výborných výsledků. Hybridní přijímač dosahuje vyšší přesnosti, spolehlivosti a konzistentnosti. Rozdíly se projeví hlavně v místech se špatným či žádným výhledem na oblohu. Tento způsob lokalizace může být velkým přínosem.

Lokalizace pomocí mobilních sítí je méně přesný a nekonzistentní, avšak spolehlivý způsob lokalizace.

Osobní lokátory jsou cenově dostupné a jejich nízké ceně se vyrovnají pouze chytré mobilní telefony nižší řady. Provozní náklady při použití lokátorů a chytrých telefonů jsou srovnatelné.

8 Seznam použitých zdrojů

- [1] HANOUSEK, Karel. *Radiolokace a radionavigace*. Dotisk 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 2001. ISBN 80-214-1620-3.
- [2] REKTORYS, Karel. *Přehled užití matematiky*. 3., nezměň. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1973. Česká matice technická (SNTL).
- [3] *CELLULAR TECHNOLOGY* [online]. [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: [Http://scis.nova.edu](http://scis.nova.edu)
- [4] Heterogeneous LTE Networks and Inter-Cell Interference Coordination. *Nomor* [online]. [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: http://www.nomor.de/uploads/a4/81/a4815c4dc585be33c81f0ec7a15deed7/2010-12-WhitePaper_LTE_HetNet_ICIC.pdf
- [5] SMITH, D. a P. KEY. *Teletraffic Engineering in a Competitive World: Teletraffic Science and Engineering*. 1. Amsterdam Netherlands: Elsevier Science, 1999. ISBN 978-0-44450-268-1.
- [6] LEE, William C. Y. *Mobile Cellular Telecommunications Systems*. 1. USA: McGraw-Hill Inc., 1989. ISBN 978-0-07037-030-2.
- [7] Malcolm W, Matthias K. Weber a Siegmund M. Redl. *GSM and Personal Communications Handbook: Artech House Mobile Communications*. 1. USA: Artech House Publishers, 1998. ISBN 978-0-89006-957-8.
- [8] Malcolm W, Matthias K. Weber a Siegmund M. Redl. *An Introduction to GSM: Artech House Mobile Communication Series*. 1. USA: Artech House Publishers, 1995. ISBN 978-0-89006-785-7.
- [9] Jak se vyznat v mobilních datových sítích:: (GSM, GPRS, EDGE). *Businessvize* [online]. [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <http://www.businessvize.cz/datove-prenosy-a-site/jak-se-vyznat-v-mobilnich-datovych-sitich-gsm-gprs-edge>
- [10] *Co je to GPRS a jak funguje?* [online]. 2005 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <http://www.internetprovsechny.cz/co-je-to-gprs-a-jak-funguje/>
- [11] *Základní informace: Jak funguje GPRS?* [online]. 2005 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <http://www.insys-icom.cz/icom/cz/knowledge-base/cellular/gprs-basics>
- [12] LUTONSKÝ, Marek. Co je to EDGE? Stručně a jasně. *Mobilmania* [online]. 2003 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <https://www.mobilmania.cz/clanky/co-je-to-edge-strucne-a-jasne/sc-3-a-1105934/default.aspx>
- [13] MATĚNA, Vojtěch. *Čo by ste mali vedieť o EDGE* [online]. [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <https://www.zive.sk/clanok/19014/co-by-ste-mali-vediet-o-edge/>

- [14] *Jak se vyznat v mobilních datových sítích: (UMTS, HSDPA, HSUPA, HSPA+, LTE)* [online]. 2010 [cit. 2018-03-06]. Dostupné z: <http://www.businessvize.cz/datove-prenosy-a-site/jak-se-vyznat-v-mobilnich-datovych-sitich-umts-hsdpa-hsupa-hspa-lte>
- [15] ZANDL, Patrick. *3G není jen UMTS: - přehled standardů sítí 3G* [online]. 7. ledna 2004 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: [Dostupné z: https://mobil.idnes.cz/3g-neni-jen-umts-prehled-standardu-siti-3g-ffq-/mob_tech.aspx?c=A040106_5249508_mob_tech](https://mobil.idnes.cz/3g-neni-jen-umts-prehled-standardu-siti-3g-ffq-/mob_tech.aspx?c=A040106_5249508_mob_tech)
- [16] DOLEJŠ, Jan. LTE – vše, co potřebujete vědět o nejrychlejším mobilním internetu. *Svět Androida* [online]. 19.12.2014 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <https://www.svetandroida.cz/lte-internet-201412>
- [17] Operátoři si po aukci přehazují LTE frekvence. *E15* [online]. ČTK, 14. dubna 2017 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <http://e-svet.e15.cz/it-byznys/operatori-si-po-aukci-prehazuji-lte-frekvence-1331266>
- [18] ZAHŘÁDKA, Jiří. LTE děsí americké letectvo. Prý mu ruší GPS. *PC Tuning* [online]. 23.2.2011 [cit. 2018-03-06]. Dostupné z: <https://pctuning.tyden.cz/component/content/article/1-aktualni-zpravy/20252-lte-desi-americke-letectvo-pry-mu-rusi-gps>
- [19] ČTÚ chystá sérii opatření pro případy rušení televizního příjmu. *Parabola* [online]. 15.01.2014 [cit. 2018-02-06]. Dostupné z: <https://www.parabola.cz/clanky/5200/ctu-chysta-serii-opatreni-pro-pripady-ruseni-televizniho-prijmu/>
- [20] SGSN. *TELECOM ABC* [online]. 2005 [cit. 2018-03-24]. Dostupné z: <http://www.telecomabc.com/s/sgsn.html>
- [21] KAPOUN, Vladimír. *Přístupové a transportní sítě*. Brno: Vysoké učení technické, 1999. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1465-0.
- [22] HANUS, Stanislav. *Bezdrátové a mobilní komunikace*. Brno: Vysoké učení technické, 2001. ISBN 80-214-1833-8.
- [23] SVOBODA, Jaroslav a Jiří CHOD. *Telekomunikační technika: průřezová učebnice pro odborná učiliště a střední školy*. Praha, 1999. ISBN 80-901-9367-6.
- [24] ORLICH, M. Základní lokalizační metody v GSM. *Access Server* [online]. České vysoké učení technické v Praze, 28. 02. 2006 [cit. 2018-03-24]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2006022801>
- [25] Jak se zjišťuje poloha mobilního telefonu?. *Mobil iDnes* [online]. MAFRA, 23. července 2001 [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: https://mobil.idnes.cz/jak-se-zjistuje-poloha-mobilniho-telefonu-fi3-/mob_tech.aspx?c=A010719_0036942_mob_tech
- [26] Lokalizace polohy mobilní stanice. *Mobil iDnes* [online]. MAFRA, 8. června 1997 [cit. 2018-02-21]. Dostupné z: https://mobil.idnes.cz/lokalizace-polohy-mobilni-stanice-d5i-/mob_tech.aspx?c=970608_0003866_mob_tech

- [27] Lokalizace kombinující výhody systémů GPS a GSM: telekomunikace-elektronika-multimédia. *Sdělovací technika*. Praha: Sdělovací technika, 2011, **59**(11). ISSN 0036-9942.
- [28] FRANĚK, Ondřej. *Lokalizace volajícího při tísňovém volání z mobilního telefonu: Moderní pohled na zdravotnické operační středisko* [online]. 22. července 2003 [cit. 2018-02-22]. Dostupné z: https://www.zachrannasluzba.cz/odborna/0306_lokmt.htm
- [29] SLÍŽEK, David. Mobilní operátoři předali orgánům údaje o lidech v 214 705 případech. *Lupa* [online]. 21. 4. 2015 [cit. 2018-02-23]. Dostupné z: <https://www.lupa.cz/clanky/mobilni-operatori-predali-uradum-udaje-o-lidech-v-214-705-pripadech/>
- [30] PETERKA, Jiří. Uchovávat provozní a lokalizační údaje už EU nenařizuje. My v tom ale pokračujeme. *Lupa* [online]. 28. 4. 2014 [cit. 2018-02-23]. Dostupné z: <https://www.lupa.cz/clanky/eu-uz-nenarizuje-uchovavat-provozni-a-lokalizacni-udaje-my-v-tom-ale-pokracujeme/>
- [31] SLÍŽEK, David. O pětinu víc. Mobilní operátoři předali loni úřadům údaje o lidech v 253 380 případech. *Lupa* [online]. 26. 2. 2018 [cit. 2018-02-23]. Dostupné z: <https://www.lupa.cz/aktuality/o-petinu-vic-mobilni-operatori-predali-organum-udaje-o-lidech-v-253-380-pripadech/>
- [32] SLÍŽEK, David. Mobilní operátoři úřadům předali dvakrát víc údajů o lidech než o rok dříve. *Lupa* [online]. 9. 3. 2017 [cit. 2018-02-23]. Dostupné z: <https://www.lupa.cz/aktuality/mobilni-operatori-uradum-predali-dvakrat-vic-udaju-o-lidech-nez-o-rok-drive/>
- [33] Vodafone byl v Česku loni požádán o více než 7 tisíc odposlechů. *Lupa* [online]. 6. 6. 2014 [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <https://www.lupa.cz/clanky/vodafone-byl-v-cesku-loni-pozadan-o-vice-nez-7-tisic-odposlechu/>
- [34] VYLEŤAL, Martin. Loni poskytli mobilní operátoři provozní a lokalizační údaje ve 170 tisících případech. *Lupa* [online]. 19. 3. 2014 [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <https://www.lupa.cz/clanky/loni-poskytli-mobilni-operatori-provozni-a-lokalizacni-udaje-ve-170-tisicich-pripadech/>
- [35] PETERKA, Jiří. Chcete své provozní a lokalizační údaje? Připravte si nejméně 1600 Kč. *Lupa* [online]. 11. 8. 2014 [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <https://www.lupa.cz/clanky/chcete-sve-provozni-a-lokalizacni-udaje-pripravte-si-nejmene-1600-kc/>
- [36] Lokalizace mobilních telefonů lidí v nouzi - konec falešných telefonátů. *Securitymagazin*[online]. 10.01.2015 [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: <https://www.securitymagazin.cz/technologie/lokalizace-mobilnich-telefonu-lidi-v-nouzi-konec-falesnych-telefonatu-1404043574.html>

- [37] KOČOVSKÝ, Marek. Mobil záchranářům ukáže, kde je zraněný, a odhalí falešné volání. *IDnes* [online]. 11. července 2015 [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: https://praha.idnes.cz/zachranka-najde-zraneného-podle-mobilu-dyl-/praha-zpravy.aspx?c=A150710_2176110_praha-zpravy_nub
- [38] Výpočet pokrytí. *ČTU* [online]. [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: <http://lte.ctu.cz/pokryti/vypocet-pokryti>
- [39] HRDINA, Zdeněk, František VEJRAŽKA a Petr PÁNEK. *Rádiové určování polohy: (družicový systém GPS)*. Dot. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-01-01386-3.
- [40] HOJGR, Radek a Jan STANKOVIČ. *GPS: praktická uživatelská příručka*. Brno: Computer Press, 2007. ISBN 978-80-251-1734-7.
- [41] MERVART, Leoš. *Globální polohový systém*. Praha: České vysoké učení technické, 1994. ISBN 80-01-01221-2.
- [42] MERVART, Leoš. *Základy GPS*. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-01-00959
- [43] KRAHULÍK, M. Diferenciální metody zpřesňování satelitní lokalizace. *Acess server* [online]. České vysoké učení technické v Praze, 28.02.2006 [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?nazevclanku=diferencialni-metody-zpresnovani-satelitni-lokalizace&cislocclanku=2006010202>
- [44] VAN DIGGELEN, Frank Stephen Tromp. *A-GPS: assisted GPS, GNSS, and SBAS*. Boston: Artech House, c2009. GNSS technology and applications series. ISBN 978-1-59693-374-3.
- [45] KURUC, Jiří. Pořádek ve zkratkách: co znamená A-GPS?. *Navigovat* [online]. 1. dubna 2010 [cit. 2018-02-27]. Dostupné z: <https://navigovat.mobilmania.cz/clanky/poradek-ve-zkratkach-co-znamená-a-gps/sc-265-a-1314495/default.aspx>
- [46] PETROVSKI, Ivan G. *GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou for mobile devices*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. ISBN 978-1-107-03584-3.
- [47] BHATTA, B. *Global navigation satellite systems: insights into GPS, GLONASS, Galileo, Compass, and others*. Hyderabad, India: BS Publications, 2011. ISBN 978-041-5665-605.
- [48] Čínský navigační systém Beidou / Compass. *Český kosmický portál* [online]. Odbor ITS, kosmických aktivit [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: <http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/gnss-mimo-evropu/cinsky-beidou---compass/>
- [49] BEIDOU GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM. *INFORMATION AND ANALYSIS CENTER FOR POSITIONING, NAVIGATION AND TIMING* [online]. [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <https://www.glonass-iac.ru/en/guide/beidou.php>

- [50] STEINER, Ivo a Jiří ČERNÝ. *GPS od A do Z*. 4., aktualiz. vyd. Praha: eNav, 2006. ISBN 80-239-7516-1.
- [51] KANDLEROVÁ, Kateřina. Jak správně vést knihu jízd?. *Pohoda* [online]. 25. 11. 2015 [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: <https://portal.pohoda.cz/pro-podnikatele/uz-podnikam/jak-spravne-vest-knihu-jizd/>
- [52] Příklady sledování. *GPS dozor* [online]. 2018 [cit. 2018-03-03]. Dostupné z: <https://www.gpsdozor.cz/priklady-gps-sledovani>
- [53] *GPS autopiloty v zemědělství: sborník z konference : v Praze, 22.10.2009*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, Katedra zemědělských strojů, 2009. ISBN 978-80-213-1993-6.
- [54] Sanitky v Plzeňském kraji budou vybaveny GPS navigací. *IDnes* [online]. ČTK, 12. listopadu 2008 [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: https://mobil.idnes.cz/sanitky-v-plzenskem-kraji-budou-vybaveny-gps-navigaci-ppb-/navigace.aspx?c=A081110_214317_navigace_kor
- [55] KORBEL, Luboš a Michal HRON. Díky GPS v kabině sypačů zjistíte aktuální stav silnic na internetu *iDnes* [online]. MAFRA, 13. ledna 2010 [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: https://mobil.idnes.cz/diky-gps-v-kabine-sypacu-zjistite-aktualni-stav-silnic-na-internetu-11t-/navigace.aspx?c=A100111_233014_navigace_kor
- [56] Přístroje na sledování lidí chce čím dál víc rodičů, chtějí tak uhlídat své děti. *IDnes*[online]. MAFRA, 2. prosince 2010 [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: https://ekonomika.idnes.cz/pristroje-na-sledovani-lidi-chce-cim-dal-vic-rodicu-chteji-tak-uhlidat-sve-deti-1x6-/ekonomika.aspx?c=A101201_194408_ekonomika_abr
- [57] Jak ochránit své blízké prostřednictvím GPS monitoringu?. *Security Magazin* [online]. Security Media [cit. 2018-02-14]. Dostupné z: <https://www.securitymagazin.cz/technologie/jak-ochranit-sve-blizke-prostrednictvim-gps-monitoringu-1404058777.html>
- [58] *Paby* [online]. Broadway, Long Beach, USA: Paby, 2017 [cit. 2018-01-21]. Dostupné z: <http://www.paby.com/>
- [59] HRUŠKA, Ondřej. SMART Beacons: chytré elektronické majáky. *DPS Elektronika od A do*[online]. ASICentrum spol., 2015 [cit. 2018-01-01]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/soucastky/id:8572/bluetooth-smart-beacons-chytre-elektronicke-majaky>
- [60] KOCERA, Ivo. Smart Beacons kromě obchodů zamíří i do logistiky. *Svět chytře* [online]. 18.12.2017 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.svetchytře.cz/firmy-chytře/smart-beacons-krome-obchodu-zamiri-i-do-logistiky/>
- [61] *Low-Energy Proximity Beacon* [online]. EM MICROELECTRONIC, 2015 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: http://www.emmicroelectronic.com/sites/default/files/public/products/datasheets/embc01_ds.pdf

- [62] What is Indoor Positioning Systems?. *Senion* [online]. 2017 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <https://senion.com/indoor-positioning-system/#difference>
- [63] NAKAD, Zahi S. a Samer S. SAAB. A Standalone RFID Indoor Positioning System. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS* [online]. 5.5.2011,(5) [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Samer_Saab2/publication/224153238_A_Standalone_RFID_Indoor_Positioning_System_Using_Passive_Tags/links/0c960536bae690da36000000.pdf
- [64] GU, Yanying, Anthony LO a Ignas NIEMEGERERS. A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks. *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS*[online]. 2009, (1) [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.469.7668&rep=rep1&type=pdf>
- [65] Obecně o RFID technologii. *Eprin* [online]. Brno [cit. 2018-01-01]. Dostupné z: <https://www.eprin.cz/rfid-technologie.html>
- [66] Jak fungují RFID čtečky. *Esp* [online]. ESP holding [cit. 2018-01-01]. Dostupné z: <http://esp.cz/cs/blog/funguji-rfid-ctecky>
- [67] RFID. *Cosmotron* [online]. Cosmotron Bohemia [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: <http://www.cosmotron.cz/produkty/rfid>
- [68] RTLS - Real Time Location System. *Eprin* [online]. [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://www.eprin.cz/rtls.html>
- [69] REAL-TIME LOCATION SYSTEM IN INDUSTRY. *Sewio* [online]. Sewio Networks [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: <https://www.sewio.net/rtls-in-logistics/>
- [70] ZANDL, Patrick. *Bezdrátové sítě WiFi: praktický průvodce*. Brno: Computer Press, 2003. ISBN 80-722-6632-2.
- [71] BRAY, Hiawatha. *Od kompasu k GPS: jste zde, dějiny a budoucnost toho, jak se nacházíme*. Praha: Matfyzpress, 2017. Popularizace. ISBN 978-80-7378-336-5.
- [72] NYGRÝN, Pavel. Najděte se i bez GPS. *Navigovat* [online]. 14. 12. 2010 [cit. 2018-01-22]. Dostupné z: <https://navigovat.mobilmania.cz/clanky/najdete-se-i-bez-gps/sc-265-a-1315155/default.aspx>
- [73] Where is Geolocation of an IP Address?. *IP location* [online]. [cit. 2018-01-24]. Dostupné z: <https://www.iplocation.net/>

Seznam obrázků

Obrázek 1 princip trilaterace	10
Obrázek 2 Síť mobilních buněk.....	11
Obrázek 3 Jednoduché schéma BTS	15
Obrázek 4 Zobrazení BTS na mapovém podkladu pomocí aplikace Cell ID	16
Obrázek 5 Všesměrový a sektorový vysílač se vzdáleností TA	17
Obrázek 6 Princip metody UL-TOA	18
Obrázek 7 Konstelace družic GPS.....	22
Obrázek 8 Přijímač Garmin GPSMAP 64st PRO	23
Obrázek 9 Princip A-GPS	26
Obrázek 10 Externí anténa GPS GA 25MCX	29
Obrázek 11 Lokátor Abardeen KT01S ve formě hodinek.....	32
Obrázek 12 Provedení BLE Proximity Beacon EMBC01.....	33
Obrázek 13 Mapa Metropolitního muzea umění, New York, USA	35
Obrázek 14 Princip RFID	36
Obrázek 15 Příklad tagů a kotvy RTLS	37
Obrázek 16 Ukázka lokalizace pomocí IP adresy	38
Obrázek 17 Údaje zobrazené aplikací	42
Obrázek 18 Zobrazení historie	42
Obrázek 19 Aplikace GPS Test.....	47
Obrázek 20 Aplikace Cell Map	49
Obrázek 21 Trasa pomocí Cell ID.....	49
Obrázek 22 Lokalizace v podzemních stanicích metra	50
Obrázek 23 Lokalizace pomocí GPS a mobilní sítě	53
Obrázek 24 Lokalizace pomocí mobilní sítě	54
Obrázek 25 Lokalizace pomocí GPS.....	55
Obrázek 26 Lokalizace pomocí GPS + GLONASS	55
Obrázek 27 Srovnání jednotlivých metod lokalizace	56
Obrázek 28 Porovnání přesnosti GPS a GPS + GLONASS.....	57
Obrázek 29 Porovnání počtu využívaných satelitů	57
Obrázek 30 Přesnost lokalizace pomocí mobilních sítí v různých prostředí.....	58

Seznam tabulek

Tabulka 1 Pokrytí buňky v závislosti na frekvenci pro síť CDMA.....	12
Tabulka 2 Počet případů poskytnutých údajů.....	19
Tabulka 3 Pokrytí ČR pásmem 800 MHz	20
Tabulka 4 Parametry majáku Proximity Beacon EMBC01.....	34
Tabulka 5 Lokalizace pomocí GPS a mobilních sítí	43
Tabulka 6 Lokalizace pomocí mobilních sítí	44
Tabulka 7 Lokalizace pomocí GPS	44
Tabulka 8 Lokalizace pomocí GPS + GLONASS	45
Tabulka 9 Lokalizace pomocí GPS+GLONASS	47
Tabulka 10 Lokalizace pomocí GPS	48
Tabulka 11 Lokalizace pomocí mobilní sítě.....	48
Tabulka 12 Příklad osobních lokátorů dostupných na českém trhu	51
Tabulka 13 Příklad chytrých telefonů nižší třídy	51
Tabulka 14 Mobilní aplikace pro lokalizace osob.....	52

9 Seznam příloh

Data získaná metodou Cell ID	I
Použité mobilní aplikace	III
Vybraná technická data použitých mobilních telefonů	V

Přílohy

Příloha 1: Data získaná metodou Cell ID

Trasa pomocí metody Cell ID, obsah souboru csv

Id, Type, Strength, Lat, Lon, Seen

60BF, EDGE, -77, 49.783883, 14.186273, 2018-03-01T13:33:38.000+0100
60C0, EDGE, -105, 49.767301, 14.169557, 2018-03-01T13:34:11.000+0100
60DF, EDGE, -109, 49.791370, 14.235663, 2018-03-01T13:34:11.000+0100
9F9A, EDGE, -107, 49.808394, 14.209108, 2018-03-01T13:34:11.000+0100
A2FF, EDGE, -87, 49.761803, 14.107999, 2018-03-01T13:34:11.000+0100
A895, EDGE, -89, 49.764514, 14.181469, 2018-03-01T13:34:11.000+0100
ADE2, EDGE, -105, 49.707213, 14.086088, 2018-03-01T13:34:11.000+0100
115D50B, LTE, -77, 49.902528, 14.324970, 2018-03-01T13:21:31.000+0100
115FE0E, LTE, -97, 49.888386, 14.288523, 2018-03-01T13:23:38.000+0100
116170D, LTE, -87, 49.836355, 14.240522, 2018-03-01T13:27:39.000+0100
122AC17, LTE, -93, 49.867048, 14.266951, 2018-03-01T13:25:38.000+0100
18A9D17, LTE, -85, 50.014460, 14.395493, 2018-03-01T13:09:28.000+0100
18AED16, LTE, -69, 50.033440, 14.404935, 2018-03-01T13:07:01.000+0100
18B830D, LTE, -75, 50.022709, 14.396239, 2018-03-01T13:08:10.000+0100
1A27B71, LTE, null, 50.045672, 14.408761, 2018-03-01T13:05:04.000+0100
1A87F0C, LTE, -101, 49.961318, 14.372175, 2018-03-01T13:14:58.000+0100
1ADBB17, LTE, null, 50.088729, 14.432722, 2018-02-27T16:43:22.000+0100
1CCE70C, LTE, -75, 49.929401, 14.351757, 2018-03-01T13:17:47.000+0100
1F1130D, LTE, -75, 49.970700, 14.379952, 2018-03-01T13:13:45.000+0100
2341B0C, LTE, -105, 49.941713, 14.365607, 2018-03-01T13:16:27.000+0100
236CD15, LTE, -87, 49.983840, 14.390538, 2018-03-01T13:12:35.000+0100
24C030B, LTE, null, 50.131462, 14.378735, 2018-03-01T09:25:08.000+0100
24C0315, LTE, -83, 50.131135, 14.377538, 2018-03-01T09:59:33.000+0100
46DFD0B, LTE, -89, 49.766133, 14.179152, 2018-03-01T13:35:33.000+0100
46DFD0C, LTE, -91, 49.739108, 14.145251, 2018-03-01T13:36:44.000+0100
46E250C, LTE, -79, 49.783789, 14.192908, 2018-03-01T13:31:54.000+0100
46E2F0B, LTE, -93, 49.824550, 14.229187, 2018-03-01T13:28:59.000+0100
46E2F0C, LTE, -91, 49.807046, 14.207203, 2018-03-01T13:30:12.000+0100
46EB10D, LTE, -93, 49.711023, 14.100570, 2018-03-01T13:43:44.000+0100
46EB10E, LTE, -79, 49.729577, 14.130366, 2018-03-01T13:37:41.000+0100

470AF0D, LTE, -83, 49.648500, 14.044477, 2018-03-02T15:19:36.000+0100
475E10B, LTE, -85, 49.708245, 14.091291, 2018-03-01T13:40:54.000+0100
C25F210, HSPA, -77, 49.913383, 14.335498, 2018-03-01T13:19:38.000+0100

Lokalizace ve stanicích metra obsah souboru csv

Id, Type, Strength, Lat, Lon, Seen

89D, EDGE, -57, 50.100935, 14.389893, 2018-03-05T10:35:32.000+0100
89E, EDGE, null, 50.099868, 14.399592, 2018-03-05T10:47:48.000+0100
89F, EDGE, -59, 50.096528, 14.400579, 2018-03-05T10:53:11.000+0100
8A0, EDGE, -61, 50.095000, 14.404892, 2018-03-05T10:58:23.000+0100
8A1, EDGE, -59, 50.086780, 14.417620, 2018-03-05T11:03:48.000+0100
8B6, EDGE, -67, 50.065486, 14.403861, 2018-03-05T11:24:13.000+0100
8B7, EDGE, -71, 50.066914, 14.409938, 2018-03-05T11:19:22.000+0100
8B8, EDGE, -71, 50.076854, 14.416028, 2018-03-05T11:14:31.000+0100
8B9, EDGE, -65, 50.077553, 14.418717, 2018-03-05T11:08:21.000+0100
8A2, EDGE, null, 50.076915, 14.437058, 2018-03-15T11:49:52.000+0100
8A3, EDGE, -83, 50.075509, 14.447190, 2018-03-15T12:02:19.000+0100
8A4, EDGE, null, 50.077926, 14.455662, 2018-03-15T12:02:58.000+0100
8A5, EDGE, -71, 50.074384, 14.484732, 2018-03-15T12:08:50.000+0100
8BA, EDGE, null, 50.084183, 14.426730, 2018-03-14T14:46:21.000+0100
187D715, LTE, -79, 50.069096, 14.403810, 2018-03-15T12:30:03.000+0100
187F133, LTE, null, 50.076031, 14.341725, 2018-03-15T11:26:38.000+0100
187F134, LTE, null, 50.089372, 14.347582, 2018-03-15T11:19:25.000+0100
187F135, LTE, null, 50.092055, 14.342613, 2018-03-15T11:12:18.000+0100
187F136, LTE, null, 50.095944, 14.347102, 2018-03-15T11:05:51.000+0100

Příloha 2: Použité mobilní aplikace

Aplikace Family GPS tracker My Family

verze 5.45

Velikost 11 MB

Od vývojáře PrTM

Stránky výrobce <https://bestmyfamily.com>

Aplikace vyžaduje tato oprávnění:

- nákupy v aplikaci.

Poloha:

- přibližná poloha (pomocí sítě),
- přesná poloha (pomocí GPS a sítě).

Telefon:

- čtení stavu a identity telefonu.

Fotky/média/soubory.

- čtení obsahu v úložišti USB,
- úprava nebo mazání obsahu v úložišti USB,

Úložiště:

- čtení obsahu v úložišti USB,
- úprava nebo mazání obsahu v úložišti USB,

Fotoaparát:

- pořizování fotografií a videí.

Mikrofon:

- nahrávání zvuku,
- Informace o připojení Wi-Fi,
- zobrazení připojení Wi-Fi,
- ID zařízení a informace o hovorech,
- čtení stavu a identity telefonu.

Jiné:

- přijímat data z internetu,
- zobrazování síťových připojení,
- připojení k síti Wi-Fi a odpojení od sítě Wi-Fi,
- úplný přístup k síti,
- změna nastavení zvuku,

- spuštění při startu,
- vykreslení přes další aplikace,
- ovládání vibrací,
- zabránění přechodu zařízení do režimu spánku,
- změna nastavení systému,
- instalace zástupce,
- čtení konfigurace služeb Google.

Aplikace Cell Map

Od vývojáře Ear to Eak Oak

Velikost 2,3 MB

Aktuální verze 1.6.3

Vyžaduje Android 2.3.3 a vyšší

Stránky výrobce <https://eartoearoak.com>

Tato aplikace má přístup k: Místo, Fotky/média/soubory, Úložiště

Aplikace GPS Test

Velikost 2,0M

Vyžaduje Android 4.0 a vyšší

Od vývojáře Chartcross Limited

Tato aplikace má přístup k: místo.

Stránky výrobce <https://www.facebook.com/GpsTest/>

Příloha 3: Vybraná technická data použitých mobilních telefonů

STK Hero X

Operačním systémem Android 5.1 Lollipop

Standardy mobilních telefonů: GSM, LTE, UMTS

Podporované frekvence LTE [MHz]: 800, 1800, 2100, 2600

Podporované frekvence 3G [MHz]: 850, 900, 1900, 2100

Podporované frekvence GSM [MHz]: 850, 900, 1800, 1900

GNSS: A-GPS

Výrobce: STK

Kód výrobce: STK/HEROX2WH2

EAN: 5055377834265

Stránky výrobce: stklife.com

LG L Fino D295

Operační systém Android 4.4 KitKat

Podporované frekvence 3G [MHz]: 850, 900, 1900, 2100

Podporované frekvence GSM [MHz]: GSM 850, 900, 1800, 1900

GNSS: A-GPS

Výrobce: LG

Kód výrobce: LGD295.ACZEKT

EAN: 8806084976529

Stránky výrobce: cz.lge.com

HUAWEI P9 lite 2017

Operačním systémem Android 7.0

Podporované frekvence LTE [MHz]: 800, 900, 1800, 2100, 2600

GNSS: A-GPS, GLONASS

Výrobce: Huawei

Kód výrobce: SP-P9L17DSGOM

EAN: 6901443168538

Stránky výrobce: <https://consumer.huawei.com>