

Univerzita Pardubice

Fakulta dopravní

Satelitní navigace GPS a její využití při vyhledávání vozidel

Tomáš Khom

Bakalářská práce

2008

SOUHRN

Tato bakalářská práce je věnována satelitní navigaci GPS, se zaměřením na její užití při vyhledávání vozidel.

KLÍČOVÁ SLOVA

GPS, GNSS, GLONASS, družice, Galileo, Sherlog, GPS/GSM systém.

TITLE

Satellite navigation GPS and its usage to search vehicles

ABSTRACT

This bachelor work is applied to Satellite navigation GPS with a view to usage of Satellite navigation GPS to search vehicles.

KEYWORDS

GPS, GNSS, GLONASS, satellite, Galileo, Sherlog, GPS/GSM system.

Poděkování :

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé práce Ing. Ivo Šefčíkovi Ph.D. za cenné rady, vedení při práci, poskytování řady důležitých informací pro vypracování bakalářské práce a hlavně za trpělivost až do poslední chvíle. Dále Martinu „Ziprovi“ Novákovi ze společnosti Secar Bohemia za spolupraci, trpělivý přístup a mnoho důležitých informací a materiálů. A samozřejmě i mé přítelkyni Elišce která mi poskytovala nezbytnou podporu jak při studiu, tak i při psaní této práce.

OBSAH

1 FUNKCE SYSTÉMU GPS.....	- 8 -
1.1 ÚVOD.....	- 8 -
1.1.1 Historie	- 8 -
1.1.2 Časový přehled.....	- 9 -
1.2 STRUKTURA SYSTÉMU.....	- 10 -
1.2.2 Řídící a kontrolní segment	- 13 -
1.2.3 Uživatelský segment.....	- 14 -
1.3 RÁDIOVÉ SIGNÁLY GPS	- 16 -
1.3.1 Modulace a demodulace	- 16 -
1.4 URČOVÁNÍ POLOHY A ČASU	- 18 -
1.4.1 Vztažné soustavy	- 18 -
1.4.2 Kódová měření.....	- 18 -
1.5 PŘESNOST MĚŘENÍ	- 19 -
1.5.1 Efemeridy a družicové hodiny.....	- 21 -
1.5.2 Ionosférická a troposférická refrakce	- 22 -
1.5.3 Vícecestné šíření signálu a přijímač.....	- 23 -
1.5.4 Geometrické rozmístění družic	- 23 -
1.5.5 Selektivní dostupnost (Selective Availability).....	- 24 -
2 VYUŽITÍ GPS V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU.....	- 24 -
2.1 NAVIGACE.....	- 25 -
2.2 ŘÍZENÍ DOPRAVY.....	- 26 -
2.3 ŘÍZENÍ A SLEDOVÁNÍ VOZOVÉHO PARKU	- 26 -
2.4 POHOTOVOSTNÍ A ZÁCHRANNÉ SLUŽBY	- 26 -
2.5 INTELIGENTNÍ SYSTÉMY PRO ASISTENCI PŘI ŘÍZENÍ	- 26 -
2.6 SYSTÉMY VÝBĚRU MÝTNÉHO	- 27 -
2.7 GNSS A ESAFETY	- 27 -
3 VÝHLED DO BUDOUCNA.....	- 28 -
3.1 EVROPSKÝ NAVIGAČNÍ SYSTÉM GALILEO	- 28 -
3.1.1 Služby systému Galileo	- 28 -
3.1.2 Složky systému Galileo.....	- 29 -
Globální složka	- 29 -

Regionální složka.....	- 29 -
Lokální složky.....	- 29 -
3.1.3 Globální složka	- 30 -
Vesmírný segment	- 30 -
Pozemní segment	- 30 -
4 SYSTÉMY PRO VYHLEDÁVÁNÍ VOZIDEL	- 32 -
4.1 SATELITNÍ	- 32 -
4.1.1 Systém pasivní.....	- 32 -
4.1.2 Systém aktivní.....	- 33 -
4.1.3 Systém aktivní rozšířený.....	- 33 -
4.1.4 Výhody systému.....	- 33 -
Okamžitá reakce.....	- 33 -
Okamžité zjištění polohy	- 33 -
Skrytá funkce	- 33 -
4.1.5 Nevýhody systému	- 34 -
Nevýhody plynoucí z technologie GPS	- 34 -
Rušení signálu GPS a GSM	- 34 -
Pasivní zařízení	- 35 -
Žádná vlastní pozemní podpora	- 35 -
4.2 SYSTÉM RÁDIOVÉHO VYHLEDÁVÁNÍ VOZIDEL SHERLOG.....	- 35 -
4.2.1 Pasivní zařízení.....	- 36 -
4.2.2 Aktivní zařízení.....	- 36 -
4.2.3 Hybridní zařízení	- 37 -
4.2.4 Kombinace rádiového vyhledávání a GPS/GSM	- 37 -
5 POROVNÁNÍ SYSTÉMU GPS A SHERLOG.....	- 37 -
6 ZÁVĚR	- 38 -
7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	- 40 -
8 SEZNAM OBRÁZKŮ	- 41 -
9 SEZNAM TABULEK	- 41 -

1 Funkce systému GPS

1.1 Úvod [1]

Globální polohový systém (Global Positioning System, GPS) je v současné době jediný, plně funkční, satelitní navigační systém. Více než dva tucty GPS družic obíhá na střední oběžné dráze (Medium Earth Orbit, MEO) a vysílá signály které umožňují GPS přijímačům určit jejich polohu, rychlost a směr pohybu.

Od té doby, co byla první experimentální GPS družice vypuštěna v roce 1978, se GPS stal nepostradatelným nástrojem pro navigaci po celém světě a také důležitým nástrojem pro tvorbu map a velkým pomocníkem v oblasti zeměměřičství. GPS je navíc velmi přesným referenčním nástrojem při určování času, čehož se využívá při vědeckém zkoumání zemětřesení anebo při synchronizaci telekomunikačních sítí. GPS se stal plně funkčním a dostupným po celém světě 17.ledna 1994, kdy byla poprvé sestava 24 družic kompletní.

Systém byl vyvinut Ministerstvem obrany Spojených Států Amerických (United States Department of Defense) a jeho oficiální název je **NAVSTAR GPS** (**NAV**igation **S**ignal **T**iming **A**nd **R**anging **G**lobal **P**ositioning **S**ystem). Družicová konstelace je udržována a řízena padesátým "vesmírným" oddílem (letkou) vzdušných sil Spojených Států (50th Space Wing of the United States Air Force). I přesto, že údržba systému stojí ročně přibližně 400 milionů dolarů (včetně nákladů na výměnu přestárlých družic), je GPS pro civilní používání zcela zadarmo.

Po technologické a vědecké stránce je GPS pravděpodobně nejdůležitějším praktickým důkazem Einsteinovy obecné teorie relativity.

1.1.1 Historie

Konečná podoba systému GPS je částečně odvozena od podobných pozemních radiových navigačních systémů. Jedním z nich je LORAN, který byl vyvinut počátkem čtyřicátých let 20.století a byl používán již během druhé světové války. Další inspirace pro systém GPS přišla v roce 1957, kdy Sovětský Svaz vypustil **Sputnik**. Tým amerických vědců, vedených Dr. Richardem B. Kershnerem, monitoroval radiové vysílání

Sputniku. Vědci zjistili, že díky Dopplerově efektu frekvence vysílaného signálu byla vyšší když se Sputnik přibližoval, a naopak nižší, když se vzdaloval. Uvědomili si, že při znalosti jejich přesné polohy na Zemi mohli určit přesnou polohu Sputniku na jeho oběžné dráze (při známých parametrech oběžné dráhy Sputniku) pomocí měření frekvenční změny.

První družicový navigační systém **Transit**, který byl používán námořnictvem Spojených Států, byl poprvé úspěšně otestován v roce 1960. Tento systém využíval pět družic a byl schopen určit polohu jednou za hodinu. V roce 1967 Námořnictvo Spojených Států vyvinulo Družici **Timation**, která ve svém vybavení jako první nesla do vesmíru přesné hodiny (na přesném určování času je GPS založen). Pozemní navigační systém **Omega**, založený na porovnávání fází signálu, byl v sedmdesátých letech 20. století prvním celosvětovým radiovým navigačním systémem.

První experimentální GPS družice Bloku I (Block-I GPS) byla vypuštěna v únoru roku 1978. GPS družice byly nejdříve vyráběny společností Rockwell International a v současné době je vyrábí společnost Lockheed Martin.

1.1.2 Časový přehled

- V roce 1983, poté co sovětský stíhací letoun sestřelil korejské civilní letadlo KAL 007 v zakázaném sovětském leteckém prostoru a zahynulo všech 269 lidí na palubě, americký prezident Ronald Reagan oznámil, že GPS systém bude po dokončení přístupný i civilnímu použití.
- V roce 1985 bylo vypuštěno deset dalších experimentálních družic Bloku I.
- 14. února 1989 byla vynesena na oběžnou dráhu moderní družice Bloku II, první svého druhu.
- V roce 1992 byl zrušen Druhý "Vesmírný" oddíl (2nd Space Wing), který do této doby řídil celý systém, a byl nahrazen Padesátým "Vesmírným" oddílem (50th Space Wing).
- Do konce roku 1993 se GPS stal funkčním (zajištěn minimální počet družic pro určení polohy kdekoli na Zemi).
- 17. ledna 1994 bylo poprvé na oběžné dráze 24 družic potřebných pro plnou funkčnost systému.
- V roce 1996 americký prezident Bill Clinton oficiálně uznal důležitost GPS jak pro civilní tak pro armádní sektor a vydal směrnici (policy directive), ve které se

GPS definuje jako systém dvojího využití. Také založil Správní orgán GPS (Interagency GPS Executive Board), pro správu GPS jako národního majetku.

- V roce 1998 viceprezident Al Gore oznámil plán na modernizaci GPS, a to přidáním dvou civilních signálů pro vylepšení přesnosti a spolehlivosti, obzvláště ve vztahu k letecké bezpečnosti.
- 2. května 2000 byla vypnuta "Selective Availability", což umožnilo civilním uživatelům přijímat plnohodnotný signál.
- V roce 2004 americký prezident George W. Bush nahradil Správní orgán GPS jiným orgánem, a to National Space-Based Positioning, Navigation, and Timing Executive byla vypuštěna v říjnu roku 1990.

1.2 Struktura systému [2]

Celý systém GPS lze rozdělit do 3 segmentů :

- kosmický
- řídicí
- uživatelský

1.2.1 Kosmický segment

Kosmický segment je tvořen GPS družicemi (v angličtině, v rámci "slovníku" GPS, se lze setkat ještě s označením Space Vehicles, SV). 24 Družic je rovnoměrně rozloženo v šesti oběžných rovinách. Oběžné roviny jsou centrické vzhledem k Zemi. Roviny mají přibližně sklon k rovníku 55° a jsou k sobě posunuty o 60° podél rovníku (posunutí rektascenze výstupních uzlů).

Družice obíhají ve výšce přibližně 20 000 kilometrů (11 000 námořních mil), každá družice oběhne svou dráhu dvakrát za hvězdný den, takže přeletí nad stejným místem na Zemi jednou za den (oběžná doba je rovna 11h a 58 min,to znamená, že pozorovatel na Zemi uvidí družici vycházet (pohybuje se stále po stejné trajektorii) vždy o 4 minuty dříve). Oběžné dráhy jsou navrženy tak, že alespoň šest družic je vždy viditelných téměř z kteréhokoli místa na Zemi.

K lednu 2007 bylo v GPS konstelaci 29 aktivně vysílajících GPS družic. Doplňkové "extra" družice vylepšují přesnost výpočtů GPS přijímačů, protože poskytují

nadbytečná měření. Díky nadbytečnému počtu družic se rozestavení celé konstelace změnilo na nesouměrné, nicméně když několik družic selže, systém zůstává plně funkční (to se týká hlavně spolehlivosti a dostupnosti). [1]

Tabulka 1) Počet družic [2]

Blok	Období	Vypuštěno	Ve službě
I	1978–1985	10+1 ¹	0
II	1989–1990	9	0
IIA	1990–1996	19	13
IIR	1997–2004	12+1 ¹	12
IIR-M	2005–2008	6+2 ²	6
IIIF	2009–	0+10 ²	0
Celkem		58+2 ¹ +12 ²	31

¹Ztraceno při startu nebo selhalo oživení

²V přípravě.

(Poslední změna: 24. duben 2008)

Kosmický segment tvoří původně 24 nyní až 32 družic, které obíhají ve výšce 20 200 km nad povrchem Země na 6 kruhových drahách se sklonem 55°. Dráhy jsou vzájemně posunuty o 60° a na každé dráze je původně 4 nyní 6 pozic pro družice. Oběžná doba je 11h a 58 min, polovina siderického dne. Klíčové části družic NAVSTAR jsou :

- 3 až 4 velmi přesné (10^{-13} s) atomové hodiny rubidiovým dříve také s cesiovým oscilátorem
- antény pro vysílání radiových kódů v pásmu L (2000-1000 MHz)
- antény pro komunikaci s pozemními kontrolními stanicemi v pásmu S (2204,4 MHz)
- antény pro vzájemnou komunikaci družic v pásmu UHF
- detektory kontrolující dodržování zákazu zkoušek nukleárních zbraní

Družice váží asi 2 tuny a na střední oběžné dráze (MEO, Medium Earth Orbit) se pohybuje rychlostí 13 954 km/h.

Družice vysílají na několika kmitočtech, které jsou zvoleny záměrně tak, aby byly minimálně ovlivněny meteorologickými vlivy :

- **L1** (1575,42 MHz), kde je vysílán **C/A kód** je dostupná pro civilní uživatele, dále je šířen vojenský **P(Y) kód**, který je šifrovaný a přístupný pouze pro autorizované uživatele. Družice bloku IIR-M a novější jsou připraveny vysílat vojenský **M kód**.
- **L2** (1227,62 MHz), kde je vysílán vojenský **P(Y) kód**. Družice bloku IIR-M a novější jsou připraveny vysílat vojenský **M kód** a civilní **C kód**.
- **L3** (1381,05 MHz) obsahuje signály, které souvisí s další funkcí systému GPS, odhalováním startů balistických raket, kterými doplňuje družice náležící k *Defense Support Program*, detekci jaderných výbuchů a dalších vysokoenergetických zdrojů v infračerveného záření.
- **L4** (1841,40 MHz) se využívá pro měření ionosferické refrakce. Průchod signálu ionosférou způsobuje zpoždění radiového signálu, která se promítá do chyb při určení polohy. Toto ionosférické zpoždění lze eliminovat, jestliže měříme zpoždění na dvou kmitočtech, nebo získáním korekcí.
- **L5** (1176,45 MHz) se plánuje jako civilní **Safety-of-life (SoL)** signál. Tato frekvence spadá do mezinárodně chráněné oblasti letecké navigace, ve které je malé nebo žádné rušení za všech podmínek. S vypuštěním první družice bloku IIF, který bude poskytovat tento signál se počítá na rok 2009.

Družice jsou několikrát do roka, obvykle plánovaně, odstaveny pro údržbu atomových hodin a korekci dráhy družice. Údržba trvá přibližně 12-24 hodin. Průměrná životnost družice je asi 10 let, obměna kosmického segmentu trvá přibližně 20 let.

Pro popis stavu kosmického segmentu jsou definovány dva stavy implementace :

- **plná operační schopnost** (FOC, Full Operational Capability) - označení stavu, kdy je nejméně 24 družic plně funkčních, podporující novou technologii. Poprvé byl vyhlášen 17. července 1995 po vypuštění a zprovoznění 24 družic Bloku II a IIA.

- **částečná operační schopnost** (IOC, Initial Operational Capability) - označení stavu, kdy je nejméně 18 družic plně funkčních, podporující novou technologii. Poprvé byl vyhlášen 8. prosince 1993 po vypuštění a zprovoznění 18 družic Bloku I, II a IIA.

1.2.2 Řídící a kontrolní segment

Dráhy letu GPS družic jsou sledovány monitorovacími stanicemi v těchto lokalitách: Havajské ostrovy, Kwajalein, Ascension, Diego Garcia a Colorado Springs, Colorado. Sledovací data (tracking information) jsou posílány do hlavní řídicí stanice, která se nachází na Letecké základně Schriever (Schriever Air Force Base) v Colorado Springs, Colorado. Základna je pod velením Leteckých Sil Spojených Států, jmenovitě je spravována Druhou "Vesmírnou řídicí" skupinou (2nd space Operations Squadron, 2nd SOPS). 2nd SOPS pravidelně posílá každé GPS družici aktualizaci navigačních dat (využívá přitom pozemní antény, které jsou součástí zařízení stanic Ascension, Diego Garcia, Kwajalein a Colorado Springs). Tyto aktualizace synchronizují družicové atomové hodiny s přesností do jedné mikrosekundy a upravují družicové efemeridy, které jsou posléze vysílány družicemi. Aktualizace jsou vytvořeny pomocí Kalmanova filtru, který využívá data od pozemních monitorovacích stanic, informace o "vesmírném počasí a další různé zdroje dat. [1]

Segment se skládá z několika částí :

- **velitelství** - Navstar Headquarters na letecké základně Los Angeles v Californii v USA.
- **řídicí středisko** (MSC, Master Control Station), na letecké základně Schriever USAF v Colorado Springs, 2nd Space Operations Sq. Záložní řídicí středisko (BMCS, Backup Master Control Station) umístěné v Gaithersburg (Maryland, USA) přebírá cvičně 4× do roka řízení systému, v nouzi je připravena do 24hodin.
- **3 povelové stanice** (Ground Antenna), které jsou umístěny na základnách USAF: Kwajalein, Diego Garcia, Ascension Island případně i Cape Canaveral.
- **18 monitorovacích stanic** (Monitor Stations), které jsou umístěny na

základnách USAF: Havaj, Colorado Springs, Cape Canaveral, Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein a dále stanice spravující NGA: Fairbanks (Aljaška), Papeete (Tahiti), Washington DC (USA), Quito (Ekvádor), Buenos Aires (Argentina), Hermitage (Anglie), Pretoria (Jižní Afrika), Manama (Bahrain), Osan (Jižní Korea), Adelaide (Austrálie) a Wellington (Nový Zéland).

Řídící a kontrolní segment monitoruje kosmický segment, zasílá povely družicím, provádí jejich manévry a údržbu atomových hodin. Výsledek jejich monitoringu je zveřejňován v navigační zprávě každé družice a jejich platnost je řádově několik hodin :

- data pro model ionosférické refrakce
- predikce dráhy družice, tzv. efemerid
- korekce atomových hodin
- přibližné pozice ostatních družic a jejich zdravotní stav

Řídící a kontrolní segment komunikuje s uživateli také prostřednictvím zpráv *GPS NANU*, kde zveřejňuje plánované odstávky družic, jejich stažení a uvedení do provozu nebo i zpětně informace o nezdravé družici.

Pokud by došlo k zničení pozemních vojenských stanic řídicího a kontrolního segmentu, přechází družice do režimu *AUTONAV*(Autonomous Navigation Mode), ve kterém jsou schopny dále pracovat až 6 měsíců. V tomto režimu spolu družice komunikují a porovnávají vzájemně mezi sebou své efemeridy a stav palubních hodin. Výsledky poskytují uživatelskému segmentu v navigační zprávě. Tento režim však nikdy nenastal, nejsou ani známy výsledky jeho případných testů.

1.2.3 Uživatelský segment

GPS přijímače uživatelů tvoří uživatelský segment GPS. GPS přijímače se obecně skládají z antény (která je "nalazena" na frekvence vysílané družicemi), procesoru přijímače, a vysoce stabilních hodin (často s pasivní elektronickou součástí zvanou krystal). Také mohou být vybaveny displejem, na kterém se uživateli mohou zobrazit údaje o jeho poloze a rychlosti. U GPS přijímače se často uvádí počet kanálů, které značí počet družic od kterých je přijímač najednou schopen přijímat signály. Původně se

jednalo o 4 až 5 kanálů, ale v současné době se tento počet zvýšil na standardních 12 až 20 kanálů. [1]

Uživatelé pomocí GPS přijímače přijímají signály z jednotlivých družic které jsou v danou chvíli nad obzorem. Na základě přijatých dat (časových značek z jednotlivých družic a znalosti jejich polohy) a předem definovaných parametrů, přijímač vypočítá polohu antény, nadmořskou výšku a zobrazí přesný datum a čas. Komunikace probíhá pouze od družic k uživateli, GPS přijímač je tedy pasivní. Jednoduchý přijímač signálu GPS se skládá z :

- antény
- procesoru
- stabilního oscilátoru
- komunikačního rozhraní

Uživatelé využívající systém GPS můžeme rozdělit do dvou skupin:

- **autorizovaní uživatelé** (vojenský sektor USA a vybrané spojenecké armády) využívající službu *Precise Positioning Service* (PPS) mající k dispozici dekódovací klíče k P(Y) kódu na frekvencích L1 a L2. Tito uživatelé mají zaručenou vyšší přesnost systému. Uplatňují se především v aplikacích :

- podpora velení a vojáků v poli
- doprava
- navádění zbraňových systémů
- vojenská geodézie a mapování
- přesný čas ($<10^{-7}$ s)

- **ostatní uživatelé** (především civilní sektor) mohou využívat *Standard Positioning Service* (SPS) a mají k dispozici C/A kód na frekvencích L1. Přijímače vyrobené v USA nesmějí být exportovány, pokud nemají nastavená omezení výšky do 18km (60,000 ft) a rychlosti do 515 m/s (1,000 knots). Tyto limity vychází z prevence možného zneužití jako systému orientace v prostoru ve zbraních obdobných balistickým raketám nebo střelám s plochou dráhou letu. Typickými profesemi a odvětvími civilních uživatelů jsou:

- doprava (pozemní doprava, letectví, námořnictvo, kosmické lety)
- geologie a geofyzika
- geodézie a geografické informační systémy
- archeologie
- lesnictví a zemědělství
- turistika a zábava
- přesný čas ($<10^{-6}$ s)

1.3 Rádiové signály GPS [4]

Družice systému GPS vysílají rádiové signály, které umožňují uživatelům určovat svou polohu a čas. Původní plán výstavby systému GPS počítal se dvěma různými kódy:

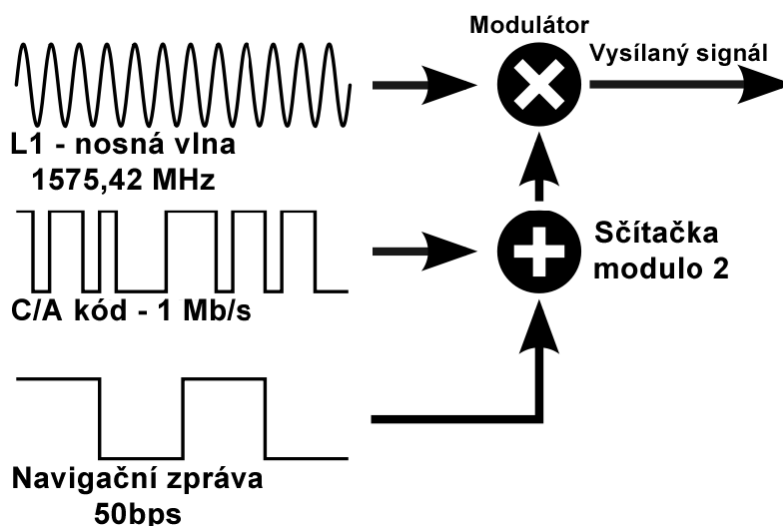
- **C/A kód** (Coarse / Acquisition code), který je veřejně dostupný
- **P kód** (Precision code), který je přístupný jen autorizovaným uživatelům

a v plánované modernizaci GPS III se připravují:

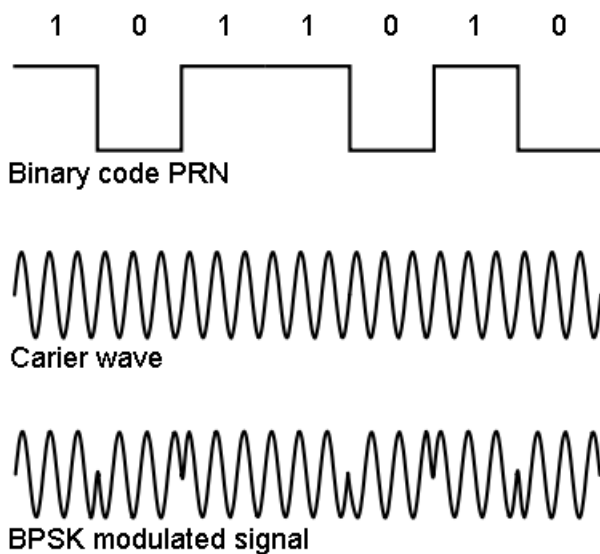
- **C kód** (Civilian code), který bude veřejně dostupný
- **M kód** (Military code), který bude přístupný jen autorizovaným uživatelům

1.3.1 Modulace a demodulace

Obrázek 1) Modulace signálu [5]



Obrázek 2) Fázová modulace na nosnou vlnu metodou BPSK [4]



Pro přenos bitového toku se používá fázová modulace (PM, Phase Modulation) s binárním klíčováním (BPSK, Binary Phase Shift Keying), tj. jedna nosná vlna nese jeden bit, který je zaznačen změnou fáze nosné vlny o 180 stupňů. Pokud jsou na jednu frekvenci modulovány 2 signály, je druhá modulace BPSK posunuta na nosné vlně cca o 80-100 stupňů. Signál každé družice je před vysláním modulován pseudonáhodnou posloupností kódů s hodnotami +1 nebo -1, které nazýváme PRN kód (Pseudo Random Noise Code). Protože všechny družice vysílají na stejném kmitočtu, k oddělení jejich signálů se používá metoda CDMA (Code Division Multiple Access) nazývaná také kódový multiplex, kdy každá družice má svůj jedinečný PRN kód. Vysílaný signál kódem tak rozbit, že vypadá jako šum. Doba trvání bitu nosné vlny je přibližně $1 \mu\text{s} (10^{-9}\text{s})$ a je tedy výrazně menší než doba trvání datového bitu $1-10 \mu\text{s} (1-10 \times 10^{-6}\text{s})$ PRN kódu.

Anténa přijímače zachycuje signál s rozprostřeným spektrem, jehož součástí je také pseudonáhodný generátor s definovanými sekvencemi, který je shodný s generátory na družicích. Použitím DSP (Digitální Signálový Procesor) přijímač provádí korelaci, tj. synchronizaci generátoru v přijímači s generátorem na družici. V přijímači probíhá před vlastní demulací BPSK nejprve přenosobení přijímaného signálu kódem té družice, jejíž signál chceme demodulovat. Přenosobení způsobí, že signál požadované družice se plně obnoví, protože $1 \times 1 = 1$ a $-1 \times -1 = 1$ a tedy druhým násobením se úplně zruší vliv prvního násobení na družici. Signál jiných družic se díky nekorelovanosti neobnoví a protože vypadá jako šum, je následnými obvody jako šum potlačen.

1.4 Určování polohy a času [1]

1.4.1 Vztažné soustavy

Pro charakteristiku Země se jako vztažné těleso využívá geoid, který je ale pro matematický popis nevhodný. Proto používáme jeho aproximaci prvního stupně - koule, nebo druhého stupně - elipsoid. Pro potřeby uživatelů GPS je nejčastěji užívaný kartografický referenční systém WGS84, používající elipsoid s poloosami přibližně 6 378 a 6 356 km, známý také jako pod kódem EPSG:4326. Ale pro jednodušší výpočet se používají kartézské souřadnice systému ECEF se stejnými parametry elipsoidu.

GPS čas je měřen na týdny (week) s maximem 1024, díky čemu dochází k jeho vynulování, což bylo naposledy pro 22. srpen 1999. Další časová značka je pořadí podrámce v navigační zprávě, který nabývá hodnot s maximem 100 800, dále slova podrámce a jeho datové bity, které mají délku 0,02s. Poslední podrobný časový otisk je samotný kód. C/A kód rozděluje čas po bitech dlouhých $\sim 10^{-6}$ s a P kód na $\sim 10^{-7}$ s. Porovnáním vzestupných a sestupných hran PRN kódů modulovaných na nosnou s frekvencí nosné vlny může moderní elektrotechnika změřit rozdíl až na tisícinu času bitu. Za předpokladu přesnosti 1% bitu je to přibližně 10 ns (10^{-8} s) pro C/A kód a 1ns (10^{-9} s) pro P(Y). Protože signál GPS se šíří rychlostí blízkou rychlosti světla blíží se krok měření při 1% délky bitu řádově ~ 3 m u C/A kódu, u P(Y) $\sim 0,3$ m.

1.4.2 Kódová měření

Po přijetí rádiového signálu jsou dekodovány:

1. časové značky při odeslání signálu každé družice (t).
2. polohy každé družice v prostoru, tzv. efemeridy (x,y,z).

Hledáme-li pozici uživatele v prostoru, musíme ji popsat třemi souřadnicemi $ECEF(X,Y,Z)$. Protože čas v přijímači není pro potřeby výpočtu přesný a synchronní, je čas uživatele také proměnná (T). Neznámé jsou tedy (X,Y,Z,T) a proto můžeme sestavit 4 rovnice koule $(X - x_n)^2 + (Y - y_n)^2 + (Z - z_n)^2 = [(T - t_n)c]^2$ o 4 neznámých, kde c je rychlost světla tj. 299 792 458 m/s^[12] a za předpokladu, že známe (x,y,z,t) pro 4 družice ($n = 1,2,3,4$), je řešením rovnice poloha a čas uživatele.

Pro převod do zeměpisných souřadnic a občanského času se využívá definovaných matematických vztahů $ECEF(X, Y, Z, T) \rightarrow WGS84(lat, lon, HAE, UTC)$, kde:

- lat ~ zeměpisná šířka
- lon ~ zeměpisná délka
- HAE ~ výška nad elipsoidem (Height Above Ellipsoid)
- UTC ~ čas (Coordinated Universal Time)

Pro získání výšky *vztažené k hladině moře* (MSL, Mean Sea Level) je třeba opravit výšku HAE o hodnotu separace geoidu. Na území Česka se jedná řádově o hodnoty -40 až -50m. Výpočetní jednotka GPS přijímače již přibližný model obsahuje a opravu provádí automaticky. Uživatel má obvykle k dispozici obě hodnoty výšek HAE i MSL.

Pro výpočet používáme pouze družice, které jsou nad obzorem výše než limitní hodnota, běžně 5°-10°. Toto opatření se nazývá **elevační maska** a používá se proto, že radiový signál nízko nad obzorem delší dráhou více ovlivňuje atmosféra než družice ve vyšších pozicích a má náchylnost k vícecestnému šíření a signál.

V případě příjmu signálu z **více než 4 družic** je poloha váženým průměrem, tak aby výhodná geometrická poloha družice a kvalitní radiový signál hráli významnější roli, čímž může být výsledek výrazně stabilnější a přesnější. V Česku je nejčtenější viditelnost 8 družic (medián), minimum pak 6, maximum 12 družic, při elevační masce 10° v roce 2008^[13]. Pokud jsou ve výpočtu **jen 3 družice**, je určena poloha pouze na povrchu elipsoidu ($lat, lon, HAE = 0, UTC$), často označovaná jako neplnohodnotná navigace 2D.

Výsledek výpočtu předává přijímač dále ke zpracování pomocí standardizovaných formátů zpráv (NMEA, RINEX, SiRF) skrze komunikačním rozhraním (Bluetooth, sériový port).

1.5 Přesnost měření [1]

Chyba získání polohy je náhodná veličina, jejíž velikost nelze popsat nijakým statistickým modelem. Pro získání pozice GPS přijímačem je potřeba znát aktuální čas, pozice satelitů a měřené zpoždění signálu. Přesnost je primární závislá na pozici satelitu a zpoždění signálu.

Měření zpoždění probíhá následovně: Přijímač porovnává bitovou sekvenci ze satelitu

s vnitřní generovanou verzí. Porovnáním vzestupných a sestupných hran této posloupnosti může moderní elektrotechnika změřit rozdíl až na 1 % času bitu, což je zhruba 10 nanosekund pro C/A kód. Protože signál GPS se šíří rychlostí blízkou rychlosti světla je tato chyba zhruba 3 m. Toto je nejmenší možná chyba C/A signálu.

Pozici lze zpřesnit použitím P (Y) kódu, který je rychlejší (nižší čas na bit), což umožňuje zlepšit přesnost až na 30 cm, při uvažování 1 % rozdílu. Tyto elektronické chyby nejsou jediné, které je třeba uvažovat, další níže uvedené redukují přesnost civilních přijímačů na typickou hodnotu zhruba 15 metrů. Také snižují přesnost P (Y) kódu.

Tabulka 2) Vliv chyb na pozici [5]

Zdroj	Efekt
Ionosférické efekty	± 5m
Efekty efemeridy	± 2,5m
Chyby hodin satelitu	± 2m
Vícenásobný příjem	± 1m
Troposférické efekty	± 0,5m
Numerické chyby	± 1m

Přesnost výpočtu polohy přijímače podléhá vlivům, které vnáší do výpočtu chyby a jsou náhodné veličiny. Velikost chyby popisujeme statistickým parametrem *efektivní hodnota chyby* (RMS, Root Mean Square), což je odmocnina z průměru kvadrátu chyby.

$$RMS = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{chyba^2}{n}} = E(X^2)$$

Přesnost výpočtu polohy kódového měření ovlivňují zejména :

Tabulka 3) Dílčí parametry RMS [2]

Příčina	Velikost RMS při GDOP=1
Efemeridy družic	$\pm 2,1$ m
Družicové hodiny	$\pm 2,1$ m
Ionosférická refrakce	$\pm 4,0$ m
Troposférické refrakce	$\pm 0,7$ m
Vícecestné šíření signálu	$\pm 1,4$ m
Přijímač	$\pm 0,5$ m

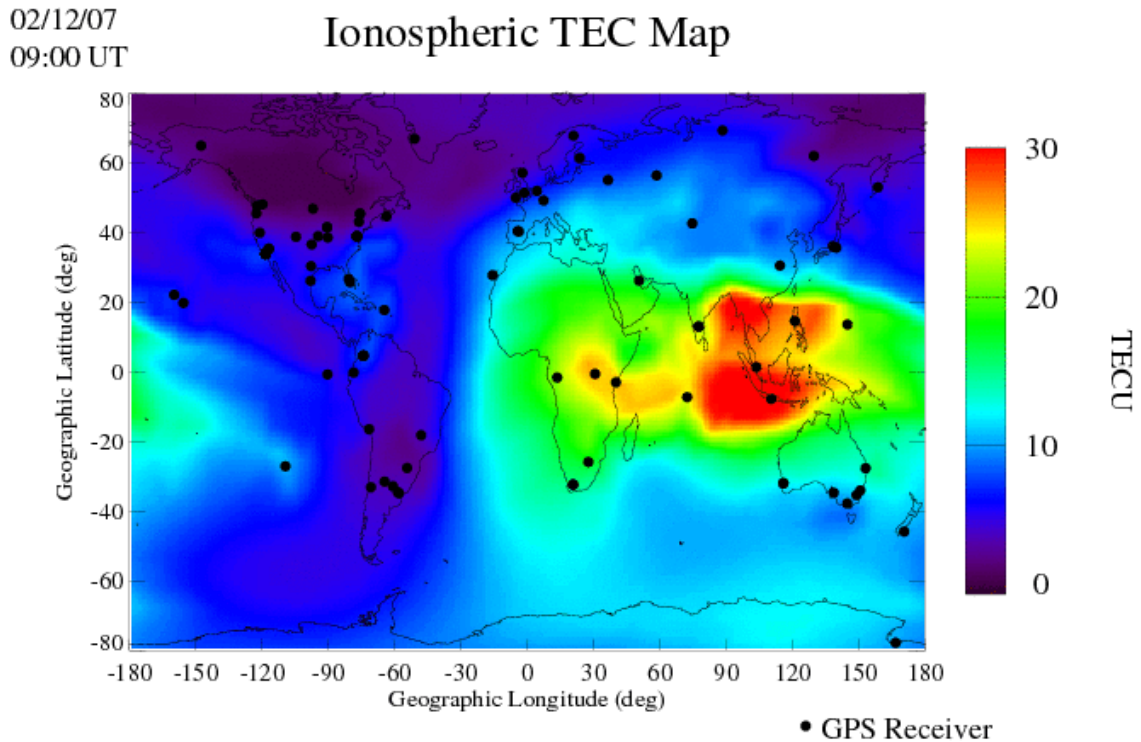
1.5.1 Efemeridy a družicové hodiny

Efemeridy jsou predikované polohy družic na oběžných drahách. Protože se pohybují po kruhových drahách velkou rychlostí a ve velké vzdálenosti od země, jsou jejich dráhy stabilní a dobře matematicky popsatelné. Přesto se vlivem kolísání tíhových sil, atmosféry a sluneční aktivity jejich dráha mírně mění. Předpoklad vývoje trajektorie je popsán v navigační zprávě.

Družice také obsahují rubidiové nebo cesiové hodiny. Jsou velmi stabilní, ale pro výpočet je třeba synchronních hodin na všech družicích. Předpoklad vývoje potřebných korekcí pro hodiny je popsán v navigační zprávě.

1.5.2 Ionosférická a troposférická refrakce

Obrázek 3) Ukázka modelu ionosférické refrakce [2]



Radiový signál vysílaný z družice se ve vzdálenosti 500-20200km od povrchu šíří téměř vakuem. Ionosféra, která se nachází v rozmezí 50-500km nad povrchem země, obsahuje velké množství volných elektronů a iontů, které způsobují refrakci (lom) radiového signálu, tedy jeho delší dráhu a zpoždění. Stav ionosféry ovlivňuje aktivita slunce, globální meteorologické vlivy, roční období, fáze dne. V přijímačích je implementován základní model, který tyto změny zohledňuje a v navigační zpráva obsahuje vstupní parametry pro jeho výpočet. Pro autorizované uživatele je tato chyba výrazně menší v důsledku využívání signálu na obou kmitočtech, protože změna rychlosti radiového signálu ionosférou je frekvenčně závislá.

Obdobný vliv má troposféra, která se nachází od 0-15km. Její stav ovlivňují především lokální meteorologické vlivy jako je teplota, tlak, vlhkost. Její možnost predikce je pro globální systém minimální a eliminuje se lokálními systémy doplňující systém GPS.

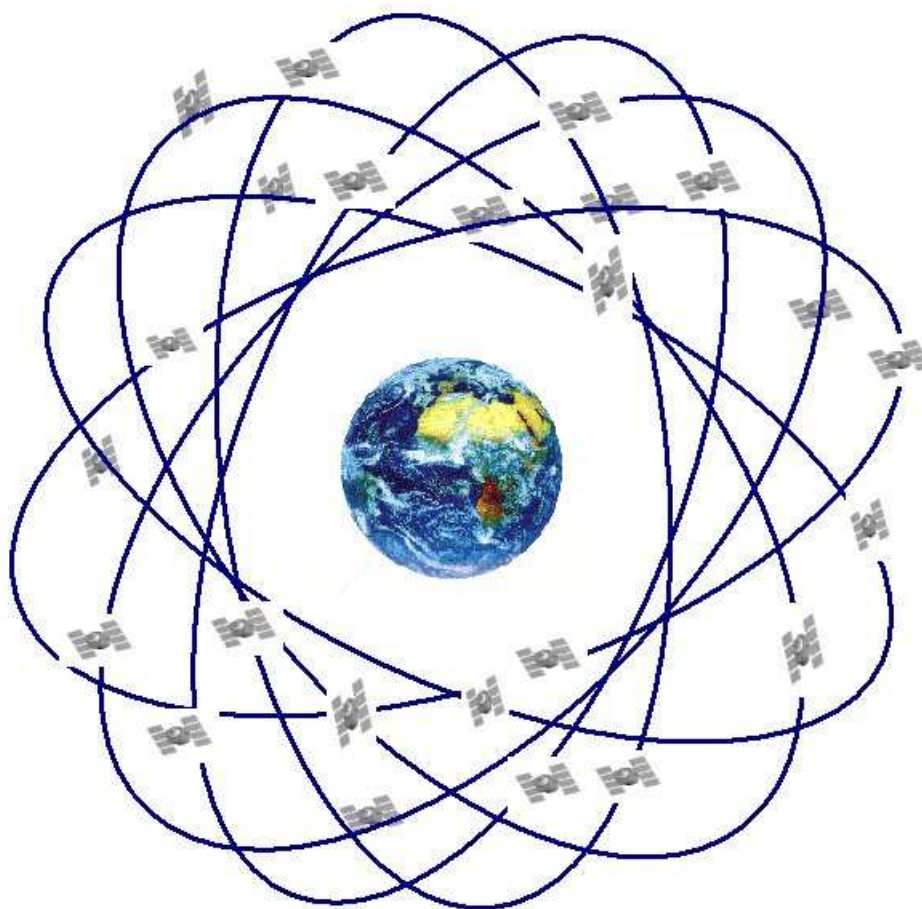
1.5.3 Vícecestné šíření signálu a přijímač

Pokud je anténa přijímače částečně zastíněna, existuje možnost, že přijímá také signály odražené a tedy opožděné. Velikost této chyby je závislá na vlastnostech okolí a míře zastínění. Lze ji eliminovat vhodně polarizovanou anténou, protože signál po odrazu mění původní polarizaci, nebo nastavením elevační masky na oblast, odkud není možný příjem signálu. Další technikou je filtrace *Narrow correlator spacing*.

Konstrukce přijímače dříve výrazně ovlivňovala měření díky malému počtu kanálů, snížené přesnosti u 8-bitových procesorů, malé citlivosti na vstupu. Dnes má vliv především metodika výpočtu, kdy jsou do algoritmu vnášeny předpoklady podle způsobu využití přijímače (doprava, letectví, turistika) a vlastnosti antény, její konstrukce a umístění.

1.5.4 Geometrické rozmístění družic

Obrázek 4) Rozmístění satelitů na oběžné dráze [6]



Chybu měření výrazně ovlivňuje rozmístění družic na hemisféře a obecně se nazývá **DOP** (Dilution of Precision, rozptyl přesnosti). Souhrnný GDOP z intervalu 1-50 nabývá v našich zeměpisných šířkách a nadmořských výškách hodnot 1-4 a je zastoupen dílčími DOP:

- Horizontální - HDOP
- Vertikální - VDOP
- Prostorový - PDOP $PDOP = \sqrt{HDOP^2 + VDOP^2}$
- Časový - TDOP
- Geometrický - GDOP $GDOP = \sqrt{TDOP^2 + HDOP^2 + VDOP^2}$

Zatímco hodnota HDOP se mění se zeměpisnou polohou jen málo, mění se hodnota VDOP se zeměpisnou šířkou. V zeměpisné šířce $\pm 56^\circ$ dosahuje svého minima a s dalším zvyšováním zeměpisné šířky pak výrazně roste. Tento nárůst chyby ve vyšších zeměpisných šířkách je způsoben tím, že po překročení zeměpisné šířky, která je rovna inklinaci dráhy, již družice nedosahují nadhlavníku a kulminují ve stále nižších elevacích. Třídimenzionální chyba určení polohy prakticky sleduje průběh dominantní chyby výšky.

V českých zemích lze očekávat průměrné hodnoty PDOP = 1,9, přičemž min(PDOP) = 1,35 a max(PDOP) = 3,6.

1.5.5 Selektivní dostupnost (Selective Availability)

Od 25. března 1990 byla do C/A kódu radiového signálu zanášena umělá chyba. Toto opatření pod názvem **Selective Availability** (SA) mělo zabránit zneužití např. možnosti navádět balistické rakety, pomocí nepřesných efemerid a časových značek. SA způsobovalo chybu 45 m horizontálně (95% RMS). Tuto chybu bylo možno výrazně potlačit diferenčním měřením nebo dlouhodobým statickým měřením.

Protože USA vyvinuly systém, jak lokálně rušit signál GPS, bylo SA 1. května 2000 zrušeno a přesnost kódového měření polohy se tak zvýšila na první desítku metrů.

2 Využití GPS v automobilovém průmyslu [3]

Aplikace systémů GNSS (Global Navigation Satellite System - globální navigační družicový systém - obecný název zahrnující systémy GPS, GLONASS, GALILEO a

další, sloužící k určování polohy bodů) v oblasti silniční dopravy se týkají řady funkcí od telematických a navigačních zařízení a elektronického výběru mýtného (**Electronic Fee Collection - EFC**) na dálnicích nebo ve městech až po bezpečnostní aplikace a pojištění „plat' podle užití“ (pay-per-use). Téměř všech 240 milionů vozidel, které jsou v provozu na území Evropské unie, by mohlo využívat výhod moderních navigačních systémů. Očekává se že mnohé překážky řešené v současnosti v oblasti „inteligentních dopravních systémů“ pomůže překonat systém Galileo.

Sektor silniční dopravy je jedním z největších potenciálních trhů s Galileo aplikacemi. V roce 2010 bude na světě více než 670 milionů aut, 33 milionů autobusů a kamiónů a 200 milionů menších komerčních vozidel. Přijímače družicové navigace jsou v současné době běžně instalovány do nových aut a jsou hlavním nástrojem, který poskytuje nově dostupné služby pro uživatele „v pohybu“. Tyto služby jsou: elektronické účtování, dopravní informace v reálném čase, tísňová volání, navigace (route guidance), řízení a sledování vozového parku (fleet management) a inteligentní systémy pro asistenci při řízení (**Advanced Driving Assistance Systéme - ADAS**). Systém Galileo ve městech všem uživatelům poskytne zvýšené pokrytí družicového signálu díky snížení efektu stínění budov (tzv. shadowing). Následuje výčet některých praktických využití GNSS aplikací (anebo jen Galileo) v silniční dopravě:

2.1 Navigace

Navigace (tzv. route guidance) v automobilech využívající GNSS systémů je již součástí běžné výbavy nabízené výrobcí aut. Většina těchto systémů je založena na družicových navigačních systémech a palubních senzorech (měřič vzdálenosti a gyroskopy), pomocí nichž se dá spočítat optimální cesta v reálném čase. GPS nenabízí dostatečné pokrytí v obydlených oblastech, takže se v městských zástavbách kombinuje s dalšími systémy. Galileo se svými 30 družicemi zvýší pokrytí i přesnost GNSS systémů, a tak výrobci budou používat levnější přístroje pro vyplnění „navigačních mezer“ (navigation gaps), což jsou například tunely nebo úzké ulice. Díky lokalizaci umožněné tímto navigačním (guidance) systémem může být nabídnuto mnoho přídatných služeb, jako například: tísňová volání spolu s automatickým přenosem polohy, asistence při odtahu vozidla spolu se sdělením o poloze auta a dalšími informacemi, jako např. povaha selhání vozidla, anebo sledování vozidla po krádeži (v EU je každý rok ukradeno přes 500 000 vozidel).

2.2 Řízení dopravy

Sledování a řízení plynulosti dopravy bude výrazně jednodušší, pokud bude většina aut vybavena přijímači satelitní navigace a navigačními (guidance) systémy. Například sníží-li se výrazně průměrná rychlost aut vybavených přijímači Galileo, je to pro řídicí centrum znamení, že vzniká dopravní zácpa. Dispečink pak může navrhnout dalším blížícím se automobilům alternativní cestu. Několik studií prokázalo, že cestovní čas se díky zásahům řídicího centra může zkrátit o 10 až 20 procent.

2.3 Řízení a sledování vozového parku

Řízení a sledování vozového parku (v anglickém originále fleet management) autobusů, taxi a autodopravců je složitý, ale stěžejní úkol pro operátory. Společnosti po celé Evropě již vybavily více než 500 000 vozidel přístroji, které informují o jejich poloze řídicí centra. Galileo bude ručit za kontinuitu služby, neboli za její funkčnost bez přerušení 24 hodin denně. Operátoři budou moci informovat cestující o očekávaném času příjezdu dalšího autobusu, pokud díky GNSS systémům, budou znát jeho aktuální polohu.

2.4 Pohotovostní a záchranné služby

Velmi důležitou aplikací systému Galileo bude sledování a řízení pohotovostních a záchranných vozidel. Tato služba společně s aktuálními informacemi o dopravě umožní ambulancím (v Evropě jich je kolem 60 000) vybaveným přijímačem Galileo a komunikačním kanálem dostat se do místa určení mnohem rychleji.

Více než 50% tísňových volání je v současné době uskutečněno z mobilních telefonů. Galileo přijímače integrované do mobilních telefonů (jak je plánováno v evropském projektu E-112) významně zkrátí „záchranný řetěz“, čímž se zkrátí doba zásahu a zachrání se více životů.

2.5 Inteligentní systémy pro asistenci při řízení

Inteligentní systémy pro asistenci při řízení (v anglickém jazyce **Advanced Driving Assistance Systems, ADAS**) plně využívají možností vozidla ke zvýšení jeho pohyblivosti a bezpečnosti. Galileo přijímač bude poskytovat důležitá doplňková data systému ADAS o stavu okolního prostředí vozidla. ADAS díky tomu bude varovat řidiče

o hrozícím nebezpečí anebo převezme celkovou nebo částečnou kontrolu nad vozidlem. Například může být snížena rychlost automobilu, pokud se za snížené viditelnosti blíží nepřiměřenou rychlostí k prudké zatáčce. Tato funkce může být zprovozněna jedině při nepřetržitém přísunu přesných polohových dat garantovaných systémem Galileo. Očekává se, že v roce 2020 bude polovina aut v Evropě vybavena systémem ADAS.

2.6 Systémy výběru mýtného

V posledních letech došlo k prudkému rozvoji systémů výběru mýtného. Některé země již zavedly systémy výběru využívající GNSS systémy na bázi ujetých kilometrů, konkrétně pro těžká nákladní vozidla na dálnicích. Také se již využívají systémy výběru poplatků ve městech při přetížení dopravní sítě. Směrnice Rady ES 2004/52 vyžaduje, aby všechny nové systémy EFC využívaly jednu nebo více z následujících technologií: družicovou navigaci, síť mobilních telefonů - GSM, vyhrazené spojení krátkého dosahu (DSRC) anebo kombinaci těchto technologií. GNSS systémy se doporučují pro použití do systémů zpoplatňování v EU díky tomu, že jsou nezávislé na jakékoli infrastruktuře a služby na nich založené jsou svou podstatou snadno rozšiřitelné. Mýtné systémy založené na GNSS systémech umožňují vytvářet různé cenové programy a poskytovat služby vycházející z inteligentních dopravních systémů. Jsou využitelné také pro řízení dopravního provozu a v systémech pro informování řidičů a cestujících, které pracují v reálném čase.

Mýtné systémy založené na systému Galileo nevyžadují nákladné investice do zařízení podél zpoplatňovaných cest. Odpadají také dopravní zácpy v blízkosti výběrčích míst. Nová technologie navíc umožní účinnější řízení výběru mýtného. V případech sporů při účtování poplatků bude možné využít archivu pohybu daného vozidla.

2.7 GNSS a eSafety

Iniciativa „e-Safety“, která v sobě mimo jiné zahrnuje řadu aplikací využitelných pro přesné určení polohy vozidla, se opírá o zavedení normy s celoevropskou působností pro tísňové volání z vozidla. Prioritou iniciativy je snížení reakce zahájení záchranných prací o 40 až 50 %, což by mohlo zachránit 2 500 lidských životů. Zcela zřejmým přínosem systému Galileo k tomuto úsilí bude jeho schopnost určit vozidlům záchranných složek spěchajícím na místo nehody daný směr jízdy. Tzn. poskytnout jim informaci

prvořadě důležitosti, a to na základě identifikace pruhu dálnice, na které se stala nehoda. Komerční služby pojistného „placeného podle užití“ (pay-per-use) jsou již na trhu dostupné. Tyto služby jsou založeny na družicové navigaci ve spojení s komunikací prostřednictvím mobilních telefonů. Pojišťovny nabízející tyto služby uplatňují sazby v závislosti na vypočtených vzdálenostech nebo poskytují finanční motivace pro omezené využívání vozidla.

3 Výhled do budoucna [8]

3.1 Evropský navigační systém Galileo

3.1.1 Služby systému Galileo

Systém Galileo bude nezávislý, globální, evropský, satelitní navigační systém, který bude zajišťovat uživatelům vybavených přijímači (kompatibilních s Galileo) mnoho garantovaných služeb.

Postupně budou poskytovány sloučené služby GPS/EGNOS/Galileo, a to po vypuštění prvních čtyř družic (v rámci Ověřovací fáze, In-Orbit Validation phase) do konce roku 2008.

Systém Galileo bude globálně zajišťovat navigaci a Vyhledávací a záchranné služby (Search And Rescue services - SAR).

Následující služby budou poskytovány celosvětově a nezávisle na ostatních systémech, a to využíváním pouze Galileo signálů z družic:

- **Základní služba** (Open Service - **OS**) vychází z kombinace základních signálů, je poskytována zdarma a poskytuje určení polohy a času srovnatelné kvality s ostatními GNSS systémy.
- **Služba "kritická" z hlediska bezpečnosti** (Safety of Life service - **SoL**) je vylepšenou verzí Základní služby. Poskytuje aktuální varování uživateli, pokud jsou překročeny určité limity přesnosti polohy (tzv. integrita). Předpokládá se, že pro tuto službu bude poskytována záruka.
- **Komerční služba** (Commercial Service - **CS**) poskytuje přístup k dalším dvěma signálům, které zvyšují množství přenesených dat a zvyšují přesnost určení polohy. Zmíněné signály jsou kódovány. I pro tuto službu se předpokládá poskytnutí záruky.

- **Veřejně regulovaná služba** (Public Regulated Service - **PRS**) bude zajišťovat určení polohy a času s kontrolovanou licencí "vyvoleným" uživatelům vyžadující vysokou kontinuitu (spojitost) služby. Přístup k této službě bude kontrolován (zákazníky budou např. policie nebo armáda). V rámci této služby budou poskytovány dva PRS navigační signály se zašifrovanými kódy (měřícími vzdálenost) a daty.

Galileo družice budou součástí mezinárodního systému COSPAS-SARSAT. Proto se jako pátá služba Galileo uvádí **Vyhledávací a záchranná služba** (Search And Rescue service - **SAR**), i když jde o službu zajištěnou převážně výše zmíněným systémem. Galileo družice budou důležitou součástí tzv. MEOSAR systému (**M**edium **E**arth **O**rbital **S**earch and **R**escue system, vyhledávací záchranný systém využívající družice na střední oběžné dráze). Družice budou schopny přijímat nouzové signály z lodí, letadel nebo dokonce od osob a okamžitě je posílat do národních záchranných center. Záchranná centra tak získají přesné určení polohy místa nehody (neštěstí). Alespoň jedna družice Galileo bude viditelná z jakéhokoli bodu na Zemi, takže nouzový poplach bude vyhlášen téměř v reálném čase. V některých případech může být vysílači odeslána zpětná zpráva (tento "feedback" bude zajišťován pouze družicemi Galileo).

3.1.2 Složky systému Galileo

Systém Galileo se bude skládat z globální, regionální a několika lokálních složek.

Globální složka

Bude jádrem celého systému a bude tvořena satelity a nezbytným pozemním segmentem (popsaný níže).

Regionální složka

Měla by se skládat z mnoha Externích Regionálních Integrovaných Systémů (External Region Integrity Systems, ERIS), vytvořené a provozované soukromými společnostmi, státy nebo skupinami států mimo území EU. Tyto systémy budou zajišťovat hlášení o integritě systému nezávisle na hlášení systému Galileo, aby např. uspokojily požadavky vztahující se ke garancím systému těch daných států nebo institucí.

Lokální složky

Měly by sloužit pro vylepšení lokálního příjmu signálu Galileo, jako například zajištění navigačního signálu v oblastech kde signály z družic nemohou být přijaty. Tyto lokální složky budou vytvořeny a provozovány soukromými společnostmi.

3.1.3 Globální složka

Globální složka systému Galileo bude tvořena vesmírným segmentem, tedy družicemi systému Galileo. Každý satelit bude vysílat navigační časové signály spolu s navigačními daty, které budou obsahovat nejen korekce hodin a efemerid nezbytné pro navigaci, ale také signály o integritě, které tak zajistí globální "službu" vylepšující vlastnosti celého systému. Vesmírný segment bude doplněn pozemním segmentem, který se bude skládat ze dvou kontrolních center a globální sítě vysílajících a přijímajících stanic.

Vesmírný segment

Vesmírný segment systému Galileo bude tvořen třiceti družicemi ve Walkerově konstelaci ve třech oběžných rovinách se sklonem 56° k rovině rovníku. Každá rovina bude obsahovat devět aktivních družic, které budou v oběžné rovině rovnoměrně rozloženy po 40° , a jednu neaktivní náhradní družici, která v případě selhání nahradí kteroukoli aktivní družici. Výška oběžné dráhy 23 222 km má tu vlastnost, že vždy po deseti dnech se opakuje stejné rozmístění družic kolem Země. Během těchto deseti dnů každá družice oběhne sedmáctkrát Zemi.

Výška oběžné dráhy družic byla zvolena tak, aby se co nejvíce eliminovaly vlivy poruchového gravitačního pole. Věří se, že po počáteční optimalizaci oběžné dráhy nebude po celou dobu životnosti potřeba žádných usměrňovacích manévřů. Zvolená výška oběžné dráhy také zajišťuje vysokou viditelnost družic.

Tolerance odklonění jednotlivých družic od "ideálních" oběžných drah je podmíněna potřebou udržet neměnnou konstelaci. Povolené odchylky jsou takové, že každá družice by se měla pohybovat ve vzdálenosti $\pm 2^\circ$ vzhledem k sousedním družicím ve stejné oběžné rovině a taktéž ne více jak $\pm 2^\circ$ daleko od roviny dráhy.

V případě poruchy jedné z družic může být problém vyřešen tak, že se náhradní „čekající“ družice přemístí na místo porouchané družice. Tento manévr může být uskutečněn během několika dní, což je o dost rychlejší než vypuštění nové družice (v řádu několika měsíců).

Družice byly navrhnuty tak, aby byly kompatibilní s množstvím kosmických dopravních systémů, a také aby se daly vypouštět po dvou a více kusech.

Pozemní segment

Jádrem pozemního segmentu budou dvě řídicí centra. Každé řídicí centrum se bude starat o kontrolní a řídicí funkce podporované specializovaným pozemním

kontrolním systémem (Ground Control System, GSC) a "letové" funkce, podporované specializovaným pozemním „letovým“ segmentem (Ground Mission Segment, GMS). GSC se bude zabývat údržbou polohy družic, zatímco GMS bude mít na starost kontrolu navigační funkce celého navigačního systému. GSC bude využívat globální síť pěti TTC stanic ke komunikaci s každou družicí, a to podle schématu kombinující pravidelné, plánované kontakty spolu s dlouhotrvajícími testy a kontakty nahodilými.

TT&C (Tracking, Telemetry and Command) stanice budou disponovat velkou třináctimetrovou anténou vysílající v frekvenčním pásmu 2 GHz (určené pro vesmírné operace). Během normální funkčnosti se bude výlučně využívat spread-spectrum modulace (podobná použité pro TDRSS a ARTEMIS), která zajistí robustní funkčnost bez interference. Pokud ale navigační systém nebude funkční (během začátku projektu, ranných operací na oběžné dráze a během nepředvídatelných událostí), jiným (než ESA) TT&C stanicím bude povoleno využívat tuto TT&C modulaci.

Ground Mission Segment (GMS) bude využívat globální síť třiceti snímacích stanic Galileo (Galileo Sensor Stations, GSS) pro kontinuální monitorování navigačních signálů všech satelitů. Toto monitorování bude umožněno také díky komunikačním sítím používající komerční družice a kabelové spoje, ve kterých bude každé vedení pro jistotu zdvojené. Hlavním prvkem GSS bude referenční přijímač.

GMS bude s Galileo družicemi komunikovat pomocí globální sítě "přenosových stanic" (Mission Up-Link Stations, ULS) instalovaných na pěti místech po celém světě (každá stanice bude mít k dispozici několik třímetrových antén). ULS bude vysílat na frekvenci 5 GHz (Radionavigation Satellite Earth-to-space band) .

GMS bude používat GSS síť pro dva na sobě nezávislé úkoly. Prvním úkolem bude určování polohy družice a synchronizace času (Orbitography Determination and Time Synchronisation, OD&TS), což bude znamenat každých deset minut zajišťovat dávkové zpracování pozorování všech družic a počítat přesné dráhové a hodinové korekce pro každou družici (spolu s prognózou očekávaných variací, tzv."SISA" - signal-in-space Accuracy, platných pro několik hodin dopředu). Výsledky těchto výpočtů budou přeneseny do konkrétní družice každých 100 minut pomocí signálu z ULS.

Druhé využití GSS sítě je pro přenášení dat o stavu integrity systému (Integrity Processing function, IPF). Tato služba bude zajišťovat okamžité observace všech družic GSS stanicemi pro ověřování integrity signálu družic. Výsledky těchto výpočtů (pro celkovou konstelaci) budou vysílány do vybraných družic a jimi také vysílány, takže uživatel (paltící si službu SoL) vždy dostane alespoň dvě "zprávy o integritě" (Integrity messages).

"Zprávy o integritě" se budou skládat ze dvou částí. První je tzv. "Integrity flag", která pouze varuje, že družicový signál pravděpodobně přesahuje nastavený max. práh přesnosti. Tato "vlajka" bude generována a vícekrát vysílána s krajní naléhavostí tak, že čas mezi výskytem vadného stavu ovlivňující přesnost vysílače a "vlajkou" (tzv. Time-to-Alert) nebude více než 6 vteřin. Druhou částí "Integrity messages" budou tzv. "Integrity Tables" (tabulky o statutu integrity jednotlivých družic), které budou pravidelně vysílány, aby "noví" uživatelé nebo uživatelé co byli dočasně mimo signál věděli o správném statutu všech družic.

OD&TS tedy monitoruje dlouhodobější změny "orbitálních" parametrů (mění se díky gravitačním a jiným vlivům), zatímco IPF monitoruje krátkodobé "defekty" systému způsobené náhlými poruchami. Globální složka systému Galileo bude zahrnovat také sadu testovacích uživatelských přijímačů.

4 Systémy pro vyhledávání vozidel

4.1 Satelitní

Zařízení využívá satelitní síť navigačního systému GPS (Global Positioning System). Díky GPS lze určit polohu automobilu s přesností +/-10m kdekoli na zeměkouli. Tato síť pracuje nepřetržitě a nezávisle na počasí.

Pokud se do automobilu začne dobývat zloděj, je-li vůz nakládán na odtahovku, je-li odpojena baterie apod., dojde okamžitě k „tichému poplachu“ – vůz pomocí GSM modulu vyšle hlášení o napadení včetně přesného údaje o poloze. Je-li vozidlo skutečně odcizeno, lze nejen dohledat jeho polohu v digitální mapě ale dokonce i sledovat trasu jeho jízdy „v přímém přenosu“ na počítači operátora Pultu centrální ochrany. [9]

Většina modelů je navíc doplněna o dodatečný imobilizační okruh – řidič se musí „identifikovat“ čipovým klíčem. Bez přihlášení nelze vozidlo nastartovat.

4.1.1 Systém pasivní

Nahlášení krádeže musí zajistit majitel na Pult centrální ochrany dané společnosti. Poloha (stojícího či jedoucího) vozu je poté okamžitě lokalizována pomocí satelitů s přesností +/-10m. PCO pak navádí zásahovou jednotku Policie ČR až do zajištění vozidla. K výhodám patří i jednoduchá a levná montáž.

4.1.2 Systém aktivní

Jakýkoli pokus o vloupání do vozu je okamžitě automaticky oznámen přímo majiteli vozu i Pultu centrální ochrany. Zařízení zaznamená pohyb uvnitř vozu, odpojení autobaterie i pokus o naložení vozu na odtahovku. Nezávislý imobilizační okruh znemožňuje pachateli nastartovat. Vůz je lokalizován a sledován pomocí satelitů ihned od okamžiku narušení.

4.1.3 Systém aktivní rozšířený

Jeho zabezpečovací funkce jsou navíc rozšířeny o funkce ochraňující zdraví a životy posádky – je vybaven automatickým i manuálním hlášením havárie. Pult centrální ochrany přijme hlášení a zajistí, díky přesnému satelitnímu určení polohy havarovaného vozu, příjezd záchranky a policie v nejkratší možné době

4.1.4 Výhody systému

Okamžitá reakce

Na rozdíl od běžných zabezpečení GPS/GSM zařízení oznámí pokus o krádež přímo majiteli a Pultu centrální ochrany a to prakticky ihned. Zásah proti pachateli tak může proběhnout včas – dříve než se mu podaří ukradený vůz zprovoznit nebo naložit na odtah. Pokud je majitel v bezprostřední blízkosti vozu, může vyplašit třeba zloděje zavazadel.

Okamžité zjištění polohy

Po přijetí signálu o narušení je vůz zaměřen s přesností +/-10m kdekoli v Evropě. Pokud není v bezprostředním dosahu bezpečnostních složek a pachateli se podaří vůz zprovoznit nebo ho naložit, je přesná poloha vozu průběžně sledována. Policejní zásahová jednotka je pak operátorem naváděna přesně na trasu odcizeného vozu.

Skrytá funkce

Na rozdíl od jiných zabezpečení o GPS/GSM zařízení instalovaném ve vozidle pachatel nic netuší. Proto se ani nesnaží najít ho a zlikvidovat v okamžiku krádeže. Jakmile totiž pachatel jednou překoná zámky a další mechanické zabezpečení, nebo naloží li vůz na odtah, majitel se se svým vozem pravděpodobně neshledá. GPS/GSM

zařízení však stále funguje a hlásí svoji polohu. Díky okamžitému zásahu je pak vůz zajištěn.

4.1.5 Nevýhody systému

Nevýhody plynoucí z technologie GPS

GPS přijímače mají pouze jednu, ale zato dost podstatnou nevýhodu : jsou velmi závislé na dobrém výhledu na oblohu. Ani s dražším přístrojem nezachytíte signál družic, pokud se budete nacházet v hlubokém údolí, uzavřené místnosti, hustém lese, či na úzké ulici, obklopeni vysokými domy, natož pak v podzemních garážích. Z toho také plyne nebezpečí pasivního systému, který pokud je probuzen právě na místě bez signálu nemůže dost dobře určit svou polohu, na rozdíl od radiové technologie, nebo systému kombinujícího v sobě i určení polohy s pomocí GSM signálu.

Rušení signálu GPS a GSM

V dnešní době jsou na trhu běžně k dostání rušičky signálu GSM. Rušička slouží k zarušení frekvencí GSM a tím ke znemožnění komunikace mobilních telefonů a datových přenosů GPRS v obou pásmech GSM. Přenosná rušička je vybavena dvěma anténami s kruhovou vyzařovací charakteristikou. Rušící signál je vysílán všesměrově a ideálním umístěním je střed prostoru, který chceme rušičkou obsáhnout, v našem případě vozidlo. Celkový vysílací výkon přenosné rušičky je vyšší než 1000 mW a pokrývá oblast v okruhu 12 – 40 m. Rušička je určena pro rušení provozu mobilních telefonů a modemů GPRS zejména v menších prostorách, jako jsou kanceláře a byty, ale přímo vybízí k použití při odcizování vozidel vybavených GPS/GSM technologií. [11]

Její cena se pohybuje již od 10000 Kč, což je i pro běžného zloděje aut směšná částka. A vezmeme-li v úvahu rozměry často se blížící krabičky cigaret musí nám být jasné, kde je největší odbytí těchto relativně dokonalých VF zařízení s původně bohubilým posláním.

Zákony v ČR použití rušiček zakazují, ale na stránkách prodejců se často setkáváme s texty jako :

UPOZORNĚNÍ !!!

Zdroj : [11]

Zařízení pro rušení GSM, UMTS, CDMA, sítí WI-FI nebylo schváleno pro provoz v ČR a jeho použití může být v rozporu s platnými právními předpisy !!!

V případě, že by si jej uživatel chtěl provozovat v rámci ČR, musel by provést všechna nezbytná technická opatření k tomu, aby tento signál, který ruší GSM a ostatní sítě, nepronikal nikam mimo jeho vlastní objekt, který chce mít bez GSM signálu a jiných signálů, což v praxi znamená provést stavební úpravy zamezující pronikání radiových vln.

Subjekt, který se rozhodne používat rušičku GSM i jiné rušičky tak, že znemožní příjem signálu jiné osobě, nebo instituci, se vystavuje riziku vysokých pokut, ev. trestnímu stíhání.

!!! Pracujeme diskrétně a nechceme vědět kdo jste a proč to potřebujete !!!

Neneseme žádnou odpovědnost za případné zneužití této techniky!

Pasivní zařízení

Obrovskou nevýhodou pasivního zařízení je nutnost majitele ohlásit ztrátu vozidla a to v co možná nejkratším čase. Pokud je například vozidlo odcizeno večer a ztráta nahlášena ráno, je velká pravděpodobnost, že vozidlo bude již například v dílně, nebo v garáži mimo dosah signálu GPS.

Žádná vlastní pozemní podpora

U vyhledávacích systémů pracujících na GPS/GSM technologii zpravidla končí úloha provozovatele u předání informací o poloze vozidla policii a to v ideálním případě aktuální, ale při použití rušičky pouze poslední známé polohy a to v kombinaci s pouze pasivním systémem vede často ke ztrátě vozidla.

4.2 Systém rádiového vyhledávání vozidel Sherlog

Rádiové vyhledávání

Základní stavební kámen systému SHERLOG Security Car tvoří rádiové vyhledávání. Na celém území ČR tvoří soustavu rádiové sítě více než 100 anténních zaměřovacích bodů, každý z nich je schopen pokrýt oblast v okruhu 30 až 80 kilometrů. Pracuje na principu radiolokačního zaměření miniaturního zdroje signálu. Pro zaměření se používá síť radiových zaměřovačů pokrývajících celé území ČR. Pro přesné zaměření

jsou používána vyhledávací vozidla a vyhledávací letadla. Přesnost zaměření je absolutní i v podzemních a krytých prostorách. [10]

Vyhledávání na bázi GSM

Podpůrná a záložní technologie systému rádiového vyhledávání. Lokalizace je prováděna na základě informací předávaných poskytovatelem sítě GSM. Dosahová přesnost zaměření (100 m až 5 km) je dostatečná pro navedení vyhledávacího vozidla rádiového vyhledávání.

Lokalizace na základě GPS

Založena na příjmu signálů z nízko letících družic. Na základě těchto signálů přijímač vypočítá svoji vlastní polohu na zemském povrchu. Přesnost zaměření je v ideálních podmínkách desítky metrů. To však neplatí, když je vozidlo umístěno v krytém objektu. V takovém případě přebírají funkce lokalizace systémy na bázi GSM a rádiového vyhledávání.

4.2.1 Pasivní zařízení

Samotné zařízení je v autě a nedá se prakticky odhalit, hlavně proto, že není uživatelem nijak ovládáno. Nevýhodou je, že může být aktivováno, až když majitel nahlásí odcizení vozu. Protože 99 % odcizených aut skončí v krytém objektu, kde setrvávají i několik dní, ve většině případů je dostatek času k lokalizaci místa a zadržení vozidla ve spolupráci s policií.

4.2.2 Aktivní zařízení

Systém vhodný především pro toho, kdo ponechává vozidlo delší dobu bez dozoru (pravidelné parkování na ulici, atd.). Systém obsahuje speciální řídicí jednotku, která pracuje jako imobilizér a zároveň vyhodnocuje neoprávněný pohyb vozidla. Toto řešení umožňuje identifikovat oprávněného uživatele pomocí speciálního bezkontaktního transponderu ve formě přívěsku ke klíčům nebo ve formě kreditní karty. V případě neautorizovaného pohybu vozidla je vyslán tísňový signál, který vyhodnocuje centrální operační středisko a okamžitě reaguje na vzniklou situaci.

4.2.3 Hybridní zařízení

Spojuje v sobě inteligenci předchozího systému a praktickou nezjistitelnost systému pasivního. Dosahuje se tak vlastností, díky nimž se pracovníkům SECAR Bohemia (Sherlog) ve spolupráci s Policií ČR daří zadržet kromě odcizeného vozidla i pachatele. Tento systém je nejvíce doporučován do vozů, na jejichž krádeže se specializují organizované skupiny.

4.2.4 Kombinace rádiového vyhledávání a GPS/GSM

Na rostoucí poptávku po ochraně aut v zahraničí byl vyvinut satelitní systém GPS/GSM kombinovaný a radiolokační technologií. Výhodou této technologie je působnost po celé Evropě. Protože nelze zabránit snadnému vyrušení systému GPS/GSM, SECAR Bohemia (Sherlog)- zatím jako jediná v Evropě - kombinuje tuto technologii s rádiovým systémem. Výsledkem je spolehlivý, pro pachatele prakticky nepřekonatelný systém.

5 Porovnání systému GPS a Sherlog

Firem, které tyto vyhledávací systémy provozují, je u nás několik. Jak mezi nimi vybírat? Nejdůležitější je, zda zajišťují danou službu komplexně. To znamená, že mají k dispozici i upravená vyhledávací vozidla a leteckou techniku. Jen za těchto podmínek můžou být stejně rychlí jako zloděj.

Sto dvacet odcizených vozů v loňském roce, 96ti procentní úspěšnost společnosti SECAR v jejich navrácení majitelům. Vyhledávací akce bývají ukončeny velice brzo - v převážné většině případů do dvou hodin, ale spíše do jedné hodiny. Díky této rychlosti zůstávají auta většinou i nepoškozená. Někdy je totiž neuvěřitelné, jak potvrzují i v SECAR Bohemia, s jakou rychlostí jsou zloději schopni vozidla znehodnotit. Doslova je rozřezat, aby se dostali k atraktivním náhradním dílům, které jsou na černém trhu velmi žádané. [10]

Je to i prevence proti pokusům dostat auto za hranice, kde na ně čekají různí překupníci. Zájem mají v Bělorusku, na Ukrajině a v balkánských zemích. [10]

V současné době má společnost SECAR Bohemia přes dvacet tisíc klientů. V oboru patří mezi největší v Evropě. Ještě donedávna její systémy pořizovali majitelé vozidel v cenách jednoho a více miliónů korun. V poslední době se však spektrum zájmu rozšiřuje i směrem dolů - k vlastníkům aut od 400 000 korun. A přibývá jich dost také z řad majitelů octavií i fabií. Jejich pádným důvodem pro taková rozhodnutí je právě skutečnost, že v případě krádeže dostanou své auto rychle zpět a nepoškozené. Nebo bude odcizení bezprostředně zabráněno, Na našem trhu jsou ještě další firmy, které se zabývají rádiovým a satelitním vyhledáváním odcizených vozidel. Jsou to např. Altea Czech (Praha), Duel Service Europe (Kamenice u Prahy), Autoawacs Bohemia (Pardubice) a nejnověji i firma MARBO CZ. Ta ve spolupráci s Alteou pod značkou DEFEND uvádí systém, v němž se propojuje mechanické a satelitní zabezpečení vozů. Ve většině případů uvedené firmy spolupracují výhradně s policií pouze nahlášením odcizeného vozidla.

[10]

6 Závěr

Loni odcizili zloději v Česku přes 24 000 aut. Objasněnost těchto krádeží byla pouze sedmnáctiprocentní. I když proti krádežím aut existují různé mechanické systémy jako blokování řadicí páky, pískování skel či alarmy a imobilizéry, velkou jistotu, že se majitel v případě odcizení setká se svým vozem, nedávají. Jinak to může být, rozhodne-li se vlastník zabezpečit automobil radiovým a satelitním systémem. Je to dražší, ale naděje na nalezení ukradeného vozu je skoro stoprocentní. Proto na tyto systémy dávají pojišťovny výraznější slevy z pojistného.

Celkově by se výhody systému zabezpečení vozidel s pomocí technologie GPS/GSM s ohledem na to, co jsem popsal výše, daly shrnout do následujících bodů :

Výhody systému

- Okamžitá reakce
- Okamžité zjištění polohy
- Skrytá funkce

Nevýhody systému

- Nevýhody plynoucí z technologie GPS
- Rušení signálu GPS a GSM

- Pasivní zařízení
- Žádná vlastní pozemní podpora

U radiolokační technologie jsou všechny výhody stejné a nevýhody nám odpadají, až na nevýhodu plynoucí z pasivního systému, která je způsobena zapojením lidského faktoru do systému.

To jsou všechno argumenty hovořící jednoznačně pro radiolokační systém nejlépe ještě kombinovaný s GPS/GSM technologií, to u nás nabízí pouze společnost Secar Bohemia v podobě produktu Sherlog Neo Satellite a ještě je zde možnost rozšíření systému o elektronickou knihu jízd Sherlog Trace. Všechno samozřejmě závisí na našich finančních možnostech a na ceně vozidla, ale pokud chceme mít jistotu, že nám vozidlo nebude odcizeno, je tento systém to nejlepší, co v dnešní době existuje na našem trhu a i v Evropě.

7 Seznam použité literatury

- [1] Galileo v České republice / Americký družicový navigační systém NAVSTAR GPS [online] 2008. Dostupné z : < <http://www.czechspace.cz/cs/galileo/aktuality-GPS-Glonass/GPS> >
- [2] Wikipedia.org / Global Positioning System [online] 2008. Dostupné z : < <http://cs.wikipedia.org/wiki/GPS> >
- [3] Galileo v České republice / Aplikace v silniční dopravě, *Martin Šunkevič* [online] 2008. Dostupné z : < <http://www.czechspace.cz/galileo/aplikace/silnicni> >
- [4] Wikipedia.org / Rádiové signály GPS [online] 2008. Dostupné z : < http://cs.wikipedia.org/wiki/R%C3%A1diov%C3%A9_sign%C3%A1ly_GPS >
- [5] GPS navigace na FPGA / Diplomová práce [online] 2008. Dostupné z : < https://dip.felk.cvut.cz/browse/pdfcache/ukot1_2008dipl.pdf >
- [6] GPS guides for newbies / Fórum [online] 2008. Dostupné z : < <http://www.kemenonline.com/forum2/viewtopic.php?p=63&sid=d90f956a06bd8f93b65b21cb8928e6c1> >
- [7] Kosmický segment GPS a jeho budoucnost, *Jiří Kvapil* [online] 2005. Dostupné z : < http://www.aldebaran.cz/bulletin/2005_02_gps.php >
- [8] Galileo v České republice / Služby systému Galileo, *Martin Šunkevič* [online] 2008. Dostupné z : < <http://www.czechspace.cz/cs/galileo/technologie/sluzby> >
- [9] Autolocator.cz / Jak systém funguje [online] 2008. Dostupné z : < http://www.autolocator.cz/funkce_zabezpeceni.php >
- [10] Reklamní a Servisní materiály / Secar Bohemia (Sherlog) 2008
- [11] Rušička GSM / Katalog [online] 2008. Dostupné z : < http://www.detekce.com/rusicka_GSM_mobilnich_telefonu_odposlech.htm >
- [12] Černý,J., Steiner,I.: GPS od A do Z. Ben 2006, ISBN 80-239-7516-1
- [13] Rapant,P.: Družicové polohové systémy, TU Ostrava, 2002

[14] Hrdina,Z., Pánek,P., Vejražka,F.: Družicový systém GPS, ČVUT Praha, 1995

8 Seznam obrázků

Obrázek 1)	Modulace signálu	15
Obrázek 2)	Fázová modulace na nosnou vlnu metodou BPSK	15
Obrázek 3)	Ukázka modelu ionosférické refrakce	21
Obrázek 4)	Rozmístění satelitů na oběžné dráze	22

9 Seznam tabulek

Tabulka 1)	Počet družic	9
Tabulka 2)	Vliv chyb na pozici	19
Tabulka 3)	Dílčí parametry RMS	20