Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Navigační systémy v dopravě

Michal Novotný

Bakalářská práce

2009

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra informatiky v dopravě
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Michal NOVOTNÝ

Studijní program: B3709 Dopravní technologie a spoje

Studijní obor: Aplikovaná informatika v dopravě

Název tématu: Navigační systémy v dopravě

Zásady pro vypracování:

Popis navigačního systému, základní principy.
GPS, GALILEO, GLONASS – porovnání systémů.
Mapové systémy.
RDS – TMC.
Aplikace pro organizaci a řízení dopravy.
Elektronické mýtné.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **minimálně 30 stran**

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

Seznam odborné literatury:

1. **Šotek, K.: Výpočetní technika a informatika v dopravě. DFJP Univerzita Pardubice, 1999, ISBN 80-7194-230-8**
2. **Šotek, K.: Učební texty, STAG, DFJP, Univerzita Pardubice**
3. **WWW stránky**

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Karel Šotek, CSc.**
Katedra softwarových technologií

Datum zadání bakalářské práce: **5. prosince 2008**

Termín odevzdání bakalářské práce: **1. června 2009**

prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.

doc. Ing. Josef Volek, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 5. prosince 2008

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 25. 5. 2009

Michal Novotný

ANOTACE

Bakalářská práce popisuje historický vývoj, základní principy a praktické využití družicových navigačních systémů v dopravě. Pro tyto aplikace vybírá nejvhodnější navigační systém a řeší problémy spojené s jejich implementací. Pozornost je věnována zejména aplikacím pro řízení dopravy a sledování vozidel.

KLÍČOVÁ SLOVA

satelitní navigace, navigační systémy, GPS, Galileo, GLONASS, RDS–TMC

TITLE

Navigation Systems in Transport

ANNOTATION

This bachelor thesis describes the historical development, basic principles and practical use of satellite navigation systems in transport. For these applications selects the best navigation system and solves problems associated with their implementation. Attention is mainly attended to applications for traffic management and tracking of vehicles.

KEYWORDS

satellite navigation, navigation systems, GPS, Galileo, GLONASS, RDS–TMC

OBSAH

ÚVOD **8**

1 NAVIGACE A URČOVÁNÍ POLOHY **9**

1.1 NAVIGACE 9

2 NAVIGAČNÍ SYSTÉMY **10**

2.1 PRINCIPY MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI 10
2.1.1 Kódová měření *10*
2.1.2 Fázová měření *10*
2.1.3 Dopplerovská měření *10*
2.2 PRINCIP VYHODNOCENÍ POLOHY 11
2.3 OBECNÁ STRUKTURA DRUŽICOVÝCH POLOHOVÝCH SYSTÉMŮ 12

3 HISTORIE DRUŽICOVÝCH NAVIGAČNÍCH SYSTÉMŮ **14**

3.1 PŘEDCHŮDCI SOUČASNÝCH SYSTÉMŮ 14
3.2 SOUČASNÉ A BUDOUCÍ SYSTÉMY 14
3.2.1 GPS *14*
3.2.2 GLONASS *15*
3.2.3 Ostatní systémy *15*

4 GPS **16**

4.1 KOSMICKÝ SEGMENT 16
4.2 ŘÍDÍCÍ SEGMENT 17
4.3 UŽIVATELSKÝ SEGMENT 17
4.4 NAVIGAČNÍ ZPRÁVA A SIGNÁL 19
4.5 PŘESNOSTI SIGNÁLU GPS 20
4.5.1 Počet viditelných družic *20*
4.5.2 Vícecestné šíření signálu *20*
4.5.3 Selektivní dostupnost *20*
4.5.4 Geometrické rozmístění družic *21*
4.5.5 Přesnost Efemerid *21*
4.5.6 Atmosférické vlivy - ionosféra, troposféra *21*

5 GLONASS **22**

5.1 KOSMICKÝ SEGMENT 22
5.2 ŘÍDÍCÍ SEGMENT 22
5.3 UŽIVATELSKÝ SEGMENT 23
5.4 VYSÍLANÉ SIGNÁLY 23

6 GALILEO **24**

6.1 KOSMICKÝ SEGMENT 24
6.2 ŘÍDÍCÍ SEGMENT 24
6.3 VYSÍLANÉ SIGNÁLY 24

7 MAPOVÉ SYSTÉMY **27**

7.1 ROZDĚLENÍ MAP 27
7.1.1 Podle použití *27*
7.1.2 Podle formátu uložení *28*
7.2 VZNIK VEKTOROVÝCH MAP 29
7.3 FORMÁT ULOŽENÍ VEKTOROVÝCH MAP 30

8 APLIKACE GNSS SYSTÉMŮ **31**

8.1 SILNIČNÍ DOPRAVA 31
8.2 ŽELEZNIČNÍ APLIKACE 31
8.3 NÁMOŘNÍ A ŘÍČNÍ APLIKACE 31
8.4 APLIKACE V LETECTVÍ 31
8.5 MĚSTSKÁ DOPRAVA 32
8.6 BEZPEČNOST 32
8.7 APLIKACE V ODVĚTVÍ ENERGETICKÉHO PRŮMYSLU 32

8.8 ZEMĚDĚLSTVÍ ... 32
8.9 CIVILNÍ OCHRANA ... 32
8.10 ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ ... 32
8.11 APLIKACE VE STAVEBNICTVÍ ... 32
9 VÝBĚR NAVIGAČNÍHO SYSTÉMU ... 33
9.1 KOSMICKÝ SEGMENT ... 33
9.2 ŘÍDÍCÍ SEGMENT ... 33
9.3 UŽIVATELSKÝ SEGMENT ... 33
9.3.1 Cena přijímače ... 33
9.3.2 Přesnost ... 34
9.3.3 Poskytované služby ... 34
9.3.4 Dostupnost ... 34
9.4 ZÁVĚR ... 35
10 APLIKACE V SILNIČNÍ DOPRAVĚ ... 36
10.1 VÝBĚR MAP ... 36
10.1.1 Praktický test ... 36
10.1.2 Závěr testu ... 37
10.2 NAVIGACE ... 38
11 APLIKACE ZALOŽENÉ NA SLEDOVÁNÍ VOZIDEL ... 39
11.1 PRINCIP ČINNOSTI ... 39
11.2 KONKRÉTNÍ SILNIČNÍ APLIKACE ... 40
11.2.1 Elektronické mýtné ... 40
11.2.2 Fleet management ... 41
11.2.3 SVR ... 43
11.2.4 Ecall ... 44
12 APLIKACE PRO ŘÍZENÍ DOPRAVY ... 45
12.1 RDS-TMC ... 45
12.1.1 Přínosy systému ... 45
12.1.2 Princip činnosti ... 46
12.1.3 Problémy systému v ČR a návrh řešení ... 48
ZÁVĚR ... 51
SEZNAM LITERATURY ... 53
SEZNAM ZKRATEK ... 55
SEZNAM OBRÁZKŮ ... 56
SEZNAM TABULEK ... 57

Úvod

Odpověď na otázku „kde se nacházíme?“ byla vždy důležitá pro přežití lidské populace. Byla také důležitým aspektem při rozšiřování našich horizontů a zvyšování životní úrovně. Již od dob, kdy námořníci mířili svými prvními sextanty na hvězdy, aby zjistili svou polohu a navigovali své lodě do neznámých končin, byli limitováni přesností použitého přístroje a schopnostmi navigátora.

V dnešní době přibyla na obloze nová konstelace „navigačních hvězd“, která nabízí mnohem větší výkonnost a přesnost určení polohy než jakákoli jiná technologie předtím. Konstelace „navigačních hvězd“ je známa pod pojmem méně poetickým, ale zato výstižnějším – globální navigační družicový systém, Global Navigation Satellite System (GNSS). Tento termín je oficiální pro obecné označení navigačních systémů (GPS, GLONASS a v budoucnu Galileo a nebo Compass). Jde o systémy, které mohou být použity pro lokalizace jakéhokoli objektu, kdekoli na zemském povrchu nebo v jeho blízkosti. GNSS systémy, hlavně tedy GPS, již způsobily menší revoluci v našem životním stylu, ale také v oblasti průmyslu. Ohromný potenciál tohoto nástroje je teprve objevován při rostoucích příležitostech na globálním trhu [1].

Cílem bakalářské práce je seznámit čtenáře se základními principy družicových navigačních systémů, poukázat na hlavní nedostatky, porovnat jednotlivé systémy a přiblížit jejich využití v dopravě. Dále budou podrobně popsány silniční aplikace.

Smyslem práce je ověřit funkčnost navigačních systému v praxi a zaměřit se na silniční aplikace pro organizaci a řízení dopravy. U těchto aplikací poukázat na problémy spojené se zavaděním aplikací a navrhovat jejich řešení.

1 Navigace a určování polohy

S rostoucí mobilitou člověka stoupala jeho potřeba určovat, kde se nachází, určovat svou polohu. Později zjistil, že k cíli vede více tras, které si liší délkou, bezpečností, časovou náročností, apod. a že potřebuje tyto trasy nejen vytyčovat, ale hlavně kontrolovat, zda se po zvolené trase skutečně pohybuje. Na souši to bylo vcelku jednoduché, většinou nebyl problém určit orientační body, jako jsou hory, řeky apod. a pohybovat se podle nich. Problém vyvstal na moři, kde orientační body lze hledat velmi těžko. Na moři člověk potřebuje znát svou aktuální polohu a porovnat ji s předpokládanou polohou a na základě zjištěného rozdílu rozhodnout o dalším směru pohybu. Člověk se učil vést svůj dopravní prostředek po požadované trase – učil se umění navigace [2].

1.1 Navigace

Navigací je označováno umění dostat se efektivně a bezpečně z jednoho místa na druhé. Během vývoje navigace se vyvinulo několik základních metod [2].

- navigace podle orientačních bodů
- navigace podle hvězd
- navigace výpočtem
- inerciální navigace
- radiová navigace

2 Navigační systémy

Současné moderní navigační systémy využívají radiovou navigaci, která vychází z fyzikálních zákonitostí šíření radiových vln. Radiové navigační systém jsou tvořeny sítí vysílačů, vysílajících navigační signály a uživatelskými zařízeními, které vyhodnotí polohu na základě přijímaných signálů. U globálních navigačních systémů radiomajáky tvoří družice, které jsou schopny zajistit pokrytí celého povrchu zemského a umožňují určení polohy kdykoliv na Zemi [2].

2.1 Principy měření vzdálenosti

Určit vzdálenost mezi přijímačem a družicí lze provádět několika způsoby [2]:

- Kódová měření
- Fázová měření
- Dopplerovská měření

2.1.1 Kódová měření

Vzdálenost se určuje na základě doby putování signálu od družice k přijímači. Přijímač ze vstupního signálu identifikuje dálkoměrný kód příslušné družice, zjistí čas odeslání a přijetí. Z naměřeného časové rozdílu určí vzdálenost k družici pomocí jednoduchého vztahu.

$di = \Delta t_i . c$ kde c je rychlost šíření radiových vln.

Tato měření jsou jednoduchá, spolehlivá a nejčastěji používaná, ale méně přesná. Časový rozdíl Δt_i je zatížen chybou. Změřená doba průchodu signálu z družice se může od skutečné lišit.

2.1.2 Fázová měření

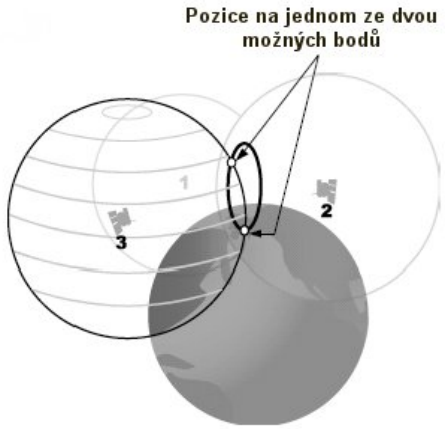
Měření nezpracovávají dálkové kódy, ale přímo nosné vlny. Spočítá se počet vlnových délek nosné vlny nacházejících se mezi přijímačem a družicí. Měření se vyznačuje vysokou přesností a nejednoznačností. Je časově náročné a vyžaduje vhodné podmínky a speciální drahé aparatury, nezbytné okamžité korekce z jiného přijímače, nebo postprocesní vyhodnocení. Použití je především v geodetických a vědeckých aplikacích.

2.1.3 Dopplerovská měření

Se změnou relativní polohy družice vůči přijímači se průběžně mění frekvence přijímaného signálu. Tento frekvenční posun je průběžně měřen a pak lze vypočítat radiální vzdálenost.

2.2 Princip vyhodnocení polohy

Moderní systémy používají pro výpočet polohy princip Trilaterace. Pokud přijímač zná vzdálenost k jedné z družic, hledaný bod leží na plášti koule s poloměrem rovným dané vzdálenosti a střed tvoří daná družice. Pokud je známa vzdálenost k druhému satelitu, hledaný bod se nachází v průniku povrchů obou koulí, což už je jen kružnice. Se třetí koulí se možnost polohy zúží pouze na dva body, ale pouze jeden se nachází na zemském povrchu, takže současné měření vzdáleností ke třem družicím je teoreticky schopné poskytnout přesnou polohu v třírozměrném prostoru [3].



Obrázek 1 – Princip určení polohy (zdroj: [3])

Prakticky čas v přijímači není synchronní s časem družic, a tak vzniká časový posun hodin přijímače ΔT vůči času družic. Tento posun se projeví tak, že vypočítané vzdálenosti se budou lišit o vzdálenost, kterou radiové vlny urazí za čas ΔT.

Pozice uživatele v prostoru je popsána třemi souřadnicemi (X,Y,Z). Poloha se získá řešením 4 rovnic o 4 neznámých.

$$r_i = \sqrt{(X - x_i)^2 + (Y - y_i)^2 + (Z - z_i)^2} - c.\Delta T \quad \text{i=(1,2,3,4)}$$

r_i – naměřená vzdálenost mezi i-tou družicí a přijímačem

X, Y, Z – hledané souřadnice přijímače

x_i, y_i, z_i – souřadnice jednotlivých družic v době měření vzdáleností

c – rychlost světla

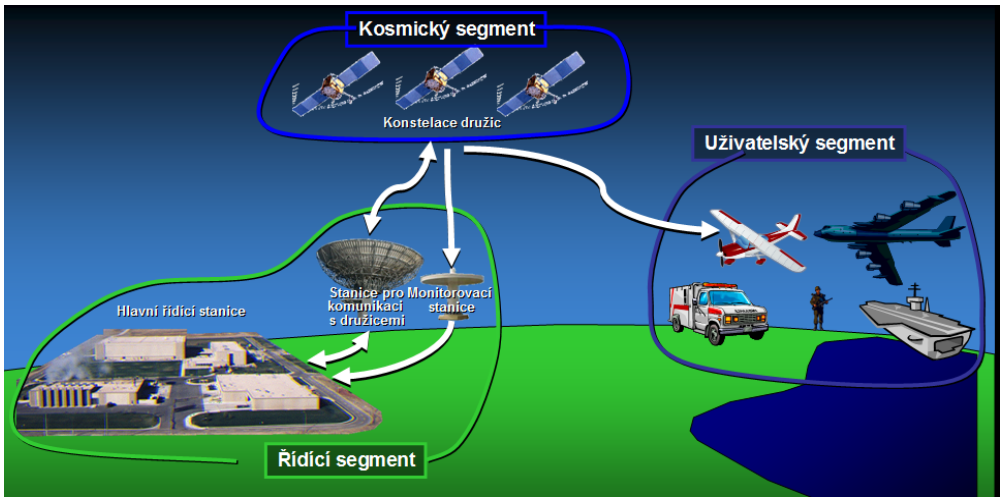
ΔT– posun hodin přijímače oproti času družice

Poloha je určována určovaná v geocentrických souřadnicích, bývá však zpravidla převáděna do geografických souřadnic. Obecně může být poloha převedena do souřadnic prakticky libovolného kartografického zobrazení [2].

2.3 Obecná struktura družicových polohových systémů

Družicové polohové systémy jsou obecně tvořeny třemi základními segmenty [2,4]:

- Kosmický
- Řídící
- Uživatelský



Obrázek 2 – Segmenty družicového polohového systému (zdroj: [4])

Kosmický segment – Soustava umělých družic Země obíhajících po známých, přesně určených oběžných drahách a je definován typem oběžných drah, výškou, sklonem, počtem oběžných drah a počtem rozmístěných družic.

Řídící segment – Síť pozemních řídících a monitorovacích stanic zajišťující provoz kosmického segmentu. Stanice plní řadu úloh:

- monitorování signálů družic
- vyhodnocování chování družic na oběžných drahách a určování parametrů oběžných drah jednotlivých družic
- vyhodnocování chování hodin na družicích a určování korekčních parametrů
- sledování a vyhodnocování stavu družic
- vysílání aktualizovaných parametrů na družice
- manévry družic
- údržba družic
- řízení celého navigačního systému

V řídícím segmentu se zpravidla rozlišují 3 typy stanic:

- Hlavní řídící stanice – Shromažďují data z monitorovacích stanic a centrálně je zpracovávají. Provádění modelování kosmického segmentu, určování parametrů oběžných drah a korekčních parametrů hodin na družicích a výsledky předávají na stanice určení ke komunikaci s družicemi.
- Stanice pro komunikaci s družicemi – Předávají parametry družicím od hlavní řídící stanice
- Monitorovací stanice – Stanice pasivně sledují družice a přijímají jejich data, která předávájí do hlavní řídící stanice.

Uživatelský segment – Uživatelé, kteří jsou vybavení přijímačem pro určení polohy, respektive zařízením umožňujícím, usnadňujícím a rozšiřujícím možnosti využití družicového navigačního systému.

3 Historie družicových navigačních systémů

3.1 Předchůdci současných systémů

Po vypuštění první umělé družice Sputnik 1 se začalo uvažovat o vybudování globálních navigačních systémů. U jejich zrodu stály především armádní zájmy [5]. V roce 1964 námořnictvo Spojených státu uvedlo do provozu navigační systém Transit pracující na principu dopplerovských měření. Systém určoval pouze 2D polohu a nebyl ji schopen měřit neustále. Zaručená viditelnost alespoň jedné družice byla přibližně každou hodinu až hodinu a půl. Původní přesnost byla 500 m, ale díky vylepšování systému se snížila na 200 m. Pro potřeby pomalu pohybujících se lodí nebyla občasná nedostupnost problém. Od roku 1968 byl systém uvolněn pro civilní potřeby. Jeho činnost byla ukončena v roce 1996. V roce 1972 byl uveden další systém Timotion, který zaměřoval vysílání přesného času.

Obdobný vývoj proběhl na území bývalého Sovětského svazu. Koncem šedesátých let vznik navigační systém nazvaný Cyklon na podobném principu jako Transit. Následníky tohoto systému byly vojenský šesti-družicový Parus a civilní čtyř-družicový Cikad, které jsou dodnes provozu a využívány [6,7].

3.2 Současné a budoucí systémy

3.2.1 GPS

Posbírané zkušenosti s předchozími systémy se promítly do vývoje systémů nové generace. Jednalo se o pasivní dálkoměrné systémy, které umožňují určení 3D polohy s přesným časem. Definitivní rozhodnutí o takovémto systému padlo 17. prosince 1973 ve Spojených státech amerických, kdy byl oficiálně zahájen projekt NAVSTRAR GPS [2].

Roku 1978, kdy byla vypuštěna první družice a během dalších let byla vybudována specializovaná pozemní řídicí střediska a celkový počet satelitů se dále zvyšoval až do roku 1995, kdy systém dosáhl plné konstelace družic [6]. Pro civilní složku obyvatelstva je systém GPS volně přístupný od počátku 90. let minulého století. Protože měla satelitní navigace původně sloužit hlavně pro vojenské využití, bylo do roku 2000 zaměřování pro civilní účely záměrně zkreslováno. Přijímaný signál obsahoval systémovou proměnlivou chybu. Tato chyba neměla znemožnit příjem signálu civilistům, ale zamezit zneužití systému pro vojenské účely. Počínaje dnem 1.5.2000 byla chyba z GPS signálu oficiálně odstraněna a přesnost všech civilních přijímačů se zvedla až desetkrát [8], což zapříčinilo prudký rozvoj systému. V roce 2000 byla schválena modernizace celého systému, která byla nazvána GPS III. Projekt

plánuje nové pozemní stanice i družice, další civilní a vojenské signály, zvýšenou dostupnost a přesnost. [9]

3.2.2 GLONASS

V osmdesátých letech se Sovětský pustil do vývoje vlastního systému s názvem GLONASS, jehož hlavním cílem byla podpora leteckých a námořních operací. Obdobně jako u GPS se jednalo o značné vylepšení předchozích generace systémů, v tomto případě Cikady. V roce 1982 odstartovala první družice a v roce 1995 dosáhl systém plné konstelace 24 družic. Bohužel po tomto roce došlo k výraznému úpadku kosmického segmentu kvůli špatné ekonomické situaci, rozkladu vlád v Rusku a nízké životnosti družic. V roce 2001 bylo aktivních pouze 6 družic, proto se ruská vláda rozhodla vyhlásit program na znovu vybudování systému, které by mělo probíhat do roku 2012 [10].

3.2.3 Ostatní systémy

Evropa nechtěla být závislá na vojenských systémech, a tak se v roce 2002 rozhodla vybudovat cistě civilní alternativu k GPS a GLONASS. Projekt byl pojmenován podle slavného italského vědce Galilea Galileiho. Vývoj stále probíhá a s uvedením do provozu se počítá v roce 2014. Čína se rozhodla rozšířit svůj regionální navigační systém Beidou na globální. Bude se jmenovat Compass a provozu by měl být v roce 2015 [11] .

4 GPS

Systému GPS bude věnován největší prostor, protože je v současné době jediný plně funkční systém. Provozovatelem systému je armáda USA. Jedná se o nejrozšířenější systém, pro který jsou na trhu jsou cenově dostupné přijímače. Princip ostatních systému je podobný. Systém GPS je tvořen třemi základními segmenty:

4.1 Kosmický segment

Nominální počet družic je 24, ale v současné době je v provozu 31 družic (24. květen 2009) [12] a z toho je 30 aktivních. Informace o aktuálním stavu družic jsou veřejně přístupné. Družice obíhají ve výšce 20200 km nad povrchem Země v 6 kruhových drahách se sklonem 55° a vysílají navigační signály. V každé dráze jsou umístěny 4 družice pravidelně a 1-2 družice nepravidelně. Družice oběhnou Zemi přibližně za 12 hodin. Takovéto rozložení zajišťuje viditelnost minimálně 4 družic z kterékoliv místa na Zemi 24 [2,9].

Obrázek 3 – Kosmický segment GPS (zdroj: [9])

Klíčové části družic jsou [9]:

- 3 až 4 velmi přesné (10^{-13}s) atomové hodiny
- 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 start balistických raket a jaderných výbuchů
- solární panely a baterie jako zdroj energie

4.2 Řídící segment

Řídící segment je zodpovědný za řízení celého systému GPS a skládá se z [9]:

- velitelství (Navstar Headquarters)
- hlavní řídicí stanicí (MSC – Master Control Station)
- záložní řídící stanice (BMCS – Backup Master Control Station)
- 4 stanicemi pro komunikaci s družicemi (GA – Ground Antena)
- 18 pozemních monitorovacích stanic (MS – Monitor Station)

Velitelství – Je umístěno na letecké základně Los Angeles v Kalifornii.

Hlavní řídící stanice – Je situována na základně Schriever v Colorado Sprinte.

Záložní řídící středisko – Je umístěné v Gaithersburg (Meryland, USA). Záložní stanice přebírá cvičně čtyřikrát do roka řízení systému a v nouzi je připravena do 24 hodin.

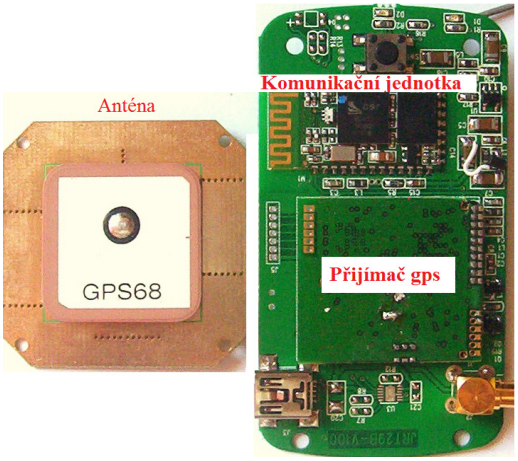
Stanice pro komunikaci s družicemi – Jsou umístěny na základnách USAF: Kwajalein, Diego Garcia, Ascension Island, Cape Canaveral. Slouží k přenášení nově určených parametrů oběžných drah a korekčních parametrů atomových hodin na družice.

Monitorovací stanice – Jsou umístěny na základnách USAF: Hawaii, Colorado Springs, Cape Canaveral, Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein a dále stanice spravující NGA: Fairbanks (Aljaška), Papeete (Tahiti), Washington DC (USA), Quitto (Ekvádor), Buenos Aires (Argentina), Hermitage (Anglie), Pretoria (Jižní Afrika), Manama (Bahrain), Osan (Jižní Korea), Adelaide (Austrálie) a Wellington (Nový Zéland). Stanice jsou rozmístěny tak, aby umožňovaly stálé sledování co největšího počtu družic po nejdelší dobu. Monitorují signály vysílané družicemi kosmického segmentu a přenášejí je do řídících stanic.

4.3 Uživatelský segment

Přijímač GPS se skládá ze čtyř základních částí:

- anténa
- přijímač
- komunikační jednotka
- počítač se softwarem



Obrázek 4 – Přijímač GPS (zdroj: vlastní snímek)

Anténa – Je velmi důležitým prvkem, její výkonnost významně ovlivňuje kvalitu celého GPS přijímače. Antény se liší svoji konstrukcí, z které vyplývají parametry jako je např. citlivost. Na obrázku 4 je vyobrazena integrovaná anténa. Jelikož tyto antény nejsou tak kvalitní, většina přijímačů umožňuje připojit externí anténu a vylepšit příjem.

Přijímač GPS – Zpracovává signály přijaté z antény a následně z nich počítá polohu. Přijímače můžou být jednokanálové a nebo více kanálové. Větší počet kanálů zajistí, že přijímač nemusí postupně přepínat mezi jednotlivými družicemi, ale může jich sledovat více současně, což přináší rychlejší vyhledání družic a rychlejší určení polohy. V současné době již nejlevnější přístroje jsou více než dvanáctikanálové.

Komunikační jednotka – Obstarává přenos dat z přijímače do počítače. Muže se jednat o přenos po kabelu a nebo bezdrátovou technologií (v přijímači na obrázku 4 je využit přenos pomocí Bluetooth)

Počítač se softwarem – Zpracovává získaná data z přijímače. Na počítači je nainstalován program, který vyhodnocuje data z přijímače. Nejčastěji se jedná o kapesní počítač s otevřeným nainstalovaným systémem např. WindowsCE. Aplikace se tak nemusejí programovat na konkrétní zařízení. Zákazník si může koupit pouze přijímač a pokud mu bude přesnost přijímače stačit, tak na něm může provozovat jakoukoliv aplikaci.

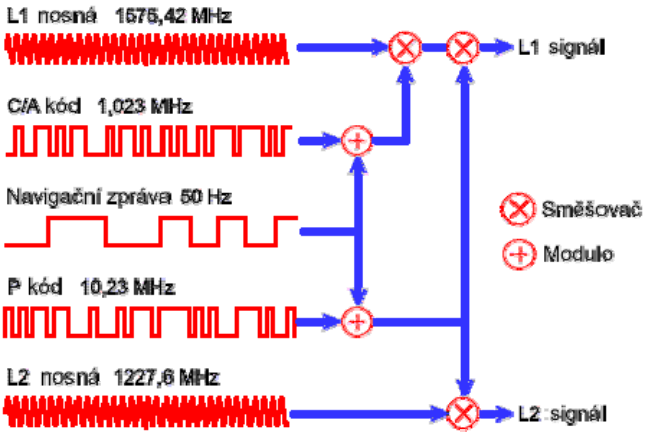
Obrázek 5 – Ukázka GPS přijímačů (zdroj: [4])

4.4 Navigační zpráva a signál

Družice vysílají navigační zprávy. Navigační zpráva obsahuje parametry na jejíchž základě lze vypočítat polohu. Zejména efemeridy (přesná data o poloze družice) a čas odeslání signálu [1,2].

Signál je kombinací nosné vlny, dálkoměrného kódu a navigační zprávy. Pro přenos signálů z družic jsou vyhrazeny dva kmitočty. První s hodnotou 1575,42 Mhz a s označením L1 a druhý pak na 1227,60 Mhz s označením L2. Dálkoměrné signály z jednotlivých družic se odlišují pomocí CDMA multiplexu. Všechny družice vysílají na nosné vlně stejného kmitočtu, ale dálkoměrný kód je pro každou družici jiný.

Signály modulované nosnou frekvencí L1 se označují jako **standardní polohové služby**. Frekvence L2 je vyhrazena pro **přesnou polohovou službu**. Na kanálu L1 se používá kód C/A (Coarse Acquisition) a současně i kód P (Precision code). L2 je modulovaná pouze P kódem. Každá z družic vysílá současně na obou kanálech, ale běžné přijímače pracují pouze s kanálem L1. Druhý kanál L2 se používá současně s L1 pro velmi přesná měření. **C/A kód** je veřejně dostupný a **P kód** je přístupný jen autorizovaným uživatelům [14].



Obrázek 6 – Struktura signálu GPS (zdroj: [14])

V plánované modernizaci GPS III se připravuj nové kódy. Tyto nové kódy mají za úkol zpřesnit určení polohy a rozšířit poskytované služby [13].

- 2005-2012 – druhý civilní signál L2C a vojenské signály L1M a L2M
- 2008-2014 – třetí civilní signál L5 - Safety of Life
- 2013-2021 – civilní signál L1C

4.5 Přesnosti signálu GPS

Vypočítaná poloha není nikdy přesná, protože změřená vzdálenost je zatížená chybou. Většina GPS přijímačů umožňuje sledovat, kde se v danou dobu jaký satelit nachází a podle toho lze některé chyby eliminovat. Patří mezi ně:

4.5.1 Počet viditelných družic

Pro výpočet 3D souřadnic musí přijímač vidět minimálně 4 družice. Příjem z menšího počtu znemožňuje výpočet polohy, vyšší počet naopak určení polohy zpřesňuje. Přijímač musí mít na družice přímý výhled, jinak od nich žádná data nezíská. Z tohoto důvodu jakýkoliv předmět ve výhledu degraduje kvalitu získané pozice. Ve městě či v lese je obecně přesnost horší než v otevřené krajině. Tuto chybu lze eliminovat přenesením přijímače na otevřené prostranství a nebo alespoň k oknu.

4.5.2 Vícecestné šíření signálu

Pokud je anténa přijímače částečně zastíněna nebo jsou v blízkosti odrazivé materiály, existuje možnost, že přijímá také signály odražené od okolních objektů (budovy, vodní plochy, vozidla, apod.) a tedy opožděné. Vliv této chyby nelze poznat přímo, ale uživatel může sám usoudit, jestli se nachází v okolí odrazivých objektů. Chybu lze eliminovat vhodně nastavenou anténou.

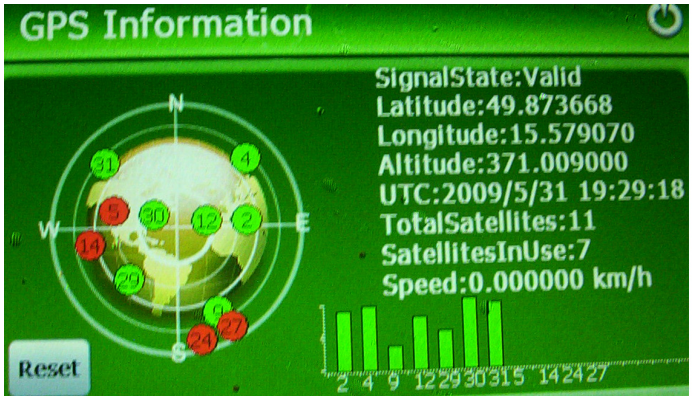
4.5.3 Selektivní dostupnost

Od 25. března roku 1990 byla do veřejného C/A signálu záměrně zanášena umělá chyba, která měla za následek zhoršení přesnosti až o 100 m. Toto opatření mělo zabránit možnému zneužití. Chybu bylo možno výrazně potlačit diferenčním měřením. Naštěstí 1. května 2000 byla chyba zrušena a přesnost kódového měření se zvýšila na desítky metrů [8]. Selektivní dostupnost je stále součástí systému a teoreticky muže být kdykoliv zapnuta, ale v praxi je tato možnost vyloučena z politických důvodů. V GPS III už se s implementací selektivní dostupnosti nepočítá [13].

Některé chyby eliminovat nelze, mezi ně patří:

4.5.4 Geometrické rozmístění družic

Pokud jsou družice soustředěny v malé oblasti, pak je výpočet polohy méně přesný. Kvalitu upořádání družic lze matematicky vyjádřit a obecně se nazývá DOP. Nižší hodnota znamená, že uspořádání poskytuje vyšší přesnost a naopak pokud je hodnota vysoká je uspořádání nevhodné. Tento údaj umí vypočítat přijímač GPS.



Obrázek 7 – Geometrie rozmístění družic (zdroj: vlastní snímek)

Nejlepší je mít aktivní satelity co nejvíce nad sebou (blízko středu) s tím, že by každý z nich by měl být v jiném kvadrantu. Je tedy vhodné, aby satelity byly rovnoměrně rozmístěné po obloze. Pokud je satelit na okraji (horizontu) při posílání signálu dochází k lomu (zkreslení signálu).

Některé chyby jsou eliminovány přímo systémem GPS. Patří mezi ně:

4.5.5 Přesnost Efemerid

Efemeridy jsou data o poloze družic. Jsou vytvářeny hlavním řídícím střediskem GPS, které je průběžně počítá na základě sledování drah družic. Chyba efemerid způsobí chybný výpočet polohy družice, a tím i chybné určení polohy přijímačem.

4.5.6 Atmosférické vlivy - ionosféra, troposféra

Signál prochází ionosférou a troposférou, které ovlivňují radiové signály. Vliv ionosféry lze zčásti eliminovat díky implementaci základního modelu ionosféry v přijímači a nebo použitím dvoufrekvenčního přijímače. Obdobný vliv má troposféra. Její stav ovlivňují především lokální meteorologické vlivy. Tyto vlivy lze matematicky popsat a vypočítaný matematický model lze zahrnout do výpočtu polohy [2,9].

5 GLONASS

Provozovatelem systému je ministerstvo obrany Ruské federace [10].

5.1 Kosmický segment

Kosmický segment podle specifikace má 21 aktivních družic a 3 aktivních zálohy. 21 družic garantuje kontinuální viditelnost 4 družic na 97 % povrchu zemského povrchu a 24 družic garantuje kontinuální viditelnost minimálně 5 družic na 99 % zemského povrchu. Družice obíhají výšce 19 100 km nad povrchem Země ve 3 kruhových drahách se sklonem 65°. Oběžná doba je 11 h 15 min. V současné době je v provozu 19 aktivních družic (20.5.2009), ale tyto družice mají za úkol vyplnit dobu do vypouštění nové generace družic GLONASS-K [10].

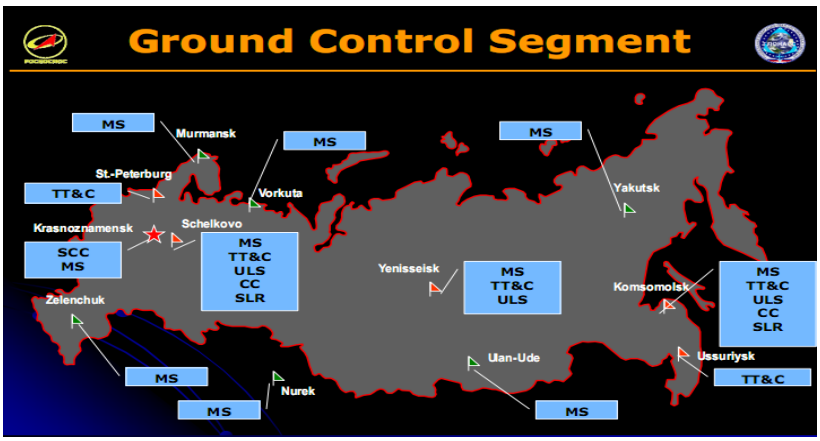
V kosmickém segmentu jsou v současné době umístěny družice dvou generací GLONASS (Uragan) a GLONASS-M (Uragan-M). Zásadní problém těchto družic je krátká životnost (3 Roky u Urgan a 7 let u Urgan-M), což se projevuje ve zvýšené potřebě obnovovat družice. Obnovování je finančně velmi náročné, proto se jedná o závažný problém, který již způsobil úpadek systému. Tyto problémy by měly vyřešit nové družice Uragan-K a GLONASS-KM (Uragan-KM) s poloviční hmotností a větší životností (12 a víc let) [1].

5.2 Řídící segment

Veškeré stanice jsou umístěné na ruském území. Hlavní řídící středisko je situováno blízko Moskvy, ostatní řídící a monitorovací stanice jsou rozmístěny na ruském území. Řídící segment se skládá z [2,10]:

- řídícího střediska
- 3 rozšířených stanic
- 5 povelových stanic
- 10 monitorovacích stanic

řídicí středisko - Krasnoznamensk SCC, MS
rozšířené stanice - Schelkovo (MS, TT&C, ULS, CC, SLR), Jenisejsk (MS, TT&C, ULS), Komsomolsk na Amuru (MS, TT&C, ULS, CC, SLR)
povelové stanice - Petrohrad, Ussuriysk a výše uvedené
monitorovací stanice - Murmansk, Vorkuta, Jakutsk, Ulan-Ude, Nurek, Zelenchuk a výše uvedené



Obrázek 8 – Kosmický segment systému GLONASS (zdroj: [10])

5.3 Uživatelský segment

Uživatelský segment je malý, protože byl zanedbán vývoj přijímačů .V letech 2002-2011 se plánují rozsáhlé investice do oblasti vývoje a výroby uživatelských zařízení.

5.4 Vysílané signály

Přenos dat z více družic k jednotlivým uživatelům je řešen frekvenční modulací FDMA. Každá družice používají pro přenos signálu nosnou vlnu s jiným kmitočtem. Kmitočty jsou zvoleny v pásmech s minimálním vlivem meteorologickým vlivům. Takové řešení je složitější a nákladnější na konstrukci přijímače, ale jeho výhoda spočítá v tom, že příjem není tak náchylný na interference mezi kanály. Signály jsou vysílány na dvou nosných frekvencí označovány opět L1 a L2. Na každé frekvenci se nacházejí 2 kódy:

- Sp – navigační kód standardní přesností
- Hp – navigační kód vysoké přesnosti

Plánované družice Uragan-K Uragan-Mk rozšíří systém o 3. frekvenci s HP a SP kódem. Bude přidán nový kód L5R typu Safety of Life a další L1CR civilní signál. Oba tyto signály budou založené na kódovém multiplexu CDMA pro zajištění kompatibility s jiným GNSS [15].

6 Galileo

Navigační systém Galileo je plánovaný civilní evropský GNSS, který by měl být obdobou amerického GPS a ruskému GLONASS. Provozovatelem je konsorcium EU. Spuštění Galilea je stále oddalováno. Původně měl být provozuschopný od roku 2010, ale podle nových plánů je nejbližší rok spuštění 2014 [1].

6.1 Kosmický segment

Segment bude tvořen 30 družicemi obíhajících ve 3 třech oběžných rovinách se sklonem 56° k rovině rovníku. Každá rovina bude obsahovat devět aktivních družic, které budou rovnoměrně rozloženy po 40°, a jednu neaktivní náhradní družici, která v případě selhání nahradí kteroukoli aktivní družici. Výška oběžné dráhy 23 222 km a má tu vlastnost, že vždy po deseti dnech se opakuje stejné rozmístění družic kolem Země. Během těchto deseti dnů každá družice oběhne sedmnáctkrát Zemi [1].

Vysoko položená oběžná dráha poskytuje lepší dostupnost družic, zejména ve výškách.

6.2 Řídící segment

Jádrem systému Galileo budou tři (dvě záložní) řídící centra. První se začalo stavět 7. listopadu 2006 v německém Oberpfaffenhofenu a stavba dalších stanic je v přípravě [1]. Ostatní stanice pro komunikaci a družicemi a monitorovacístanice budou rozmístěny na území Evropy.

6.3 Vysílané signály

Galileo používá stejně jako GPS kódový multiplex CDMA. Satelity využívají 4 frekvenční pásma v rozmezí od 1.1 do 1.6 GHz. Jedná se o frekvenční pásmo obzvláště vhodné pro mobilní navigaci a komunikační služby.

Díky tomu, že každá družice bude vysílat 10 různých navigačních signálů, Galileo bude moci nabídnout pět různých druhů služeb. Patří mezi ně [1]:

- Základní služba (OS – Open service)
- Komerční služba (CS – Commercial service)
- Veřejně regulované služba (PRS – Public regulated service)
- Služby „kritické" z hlediska bezpečnosti (SoL – Safety of life services)
- Vyhledávací a záchranné služba (SAR – Search and rescue service)

Základní služba – Bude pro každého zdarma. Přesnost bude srovnatelná s přesností současného C/A kódu GPS. Tato služba se pravděpodobně nejvíce prosadí v automobilové navigaci.

Komerční služba – Bude šifrovaná a zpoplatněna. Přístup bude kontrolován na úrovni přijímače, do něhož bude potřeba přístupový klíč. Služba navíc poskytne:

- Ručení za službu
- Přesná časová poloha
- Poskytování ionosférických modelu
- Lokální diferenciální korekce

Veřejně regulovaná služba – 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. PRS by měla být kdykoli provozuschopná a to za jakékoli situace, včetně během období krize. Hlavní výhodou PRS je robustnost signálu, který je odolný proti rušení anebo falešným signálům (simulující signál od Galileo družice). Využívat ji budou ozbrojené složky a dopravci, u kterých by ztráta přesnosti mohla ohrozit lidské životy (řízení letového provozu, apod.) .

Služby „kritické" z hlediska bezpečnosti – Je vylepšenou verzí Základní služby. Poskytuje aktuální varování uživatelům, pokud jsou překročeny určité limity přesnosti polohy. Předpokládá se, že pro tuto službu bude poskytnuta záruka.

Vyhledávací a záchranné služby – Jsou služby, které Galileu umožňují přijímat nouzový signál vysílaný loděmi, letadly či osobami, jež se dostaly do kritické situace. Jeden z 30 satelitů systému určí polohu a signál odešle k některému za záchranných center v Evropě. To potom zajistí vyslání potřebné pomoci. V některých případech bude Galileo schopen vyslat signál zpět, aby se dotyční dozvěděli, že je pomoc na cestě.

Tabulka 1 – Přesnost služeb Galileo (zdroj: [1])

	Základní služba (OS)	**Komerční služba (CS)**		**Veřejně regulovaná služba (PRS)**		**Služba kritická z hlediska bezpečnosti (SoL)**
Pokrytí	Globální	Globální	Lokální	Globální	Lokální	Globální
Přesnost horizontální (h) vertikální (v)	h = 4 m v = 8 m (dvoufrekvenční přijímače) h = 15 m v = 35 m (jednofrekvenční přijímače)	< 1 m (dvoufrekvenční přijímače)	< 10 cm (lokálně zlepšené signály)	h = 6,5 m v = 12 m	1 m (lokálně zlepšené signály)	4 - 6 m (dvoufrekvenční přijímače)
Dostupnost	99.8%	99.8%		99-99,9%		99.8%
Integrita	Ne	Ano (placená služba)		Ano		Ano

7 Mapové systémy

Mapy tvoří základ všech aplikací, protože samotná navigace k nalezení správné cesty nestačí a je třeba mít k dispozici kvalitní mapové poklady. Nejdůležitějším ukazatelem kvality jsou precizně zpracované navigační atributy, aktuálnost a velikost pokrytého území.

Algoritmus pro nalezení správné cesty využívá pouze mapu a její navigační atributy, a proto je právě mapa nejdůležitější část navigačního systému. Pokud jsou atributy nepřesné, může se stát, že cesta bude vypočítá chybně např. jednosměrnou ulicí, neexistující silnicí, apod. Chybný výpočet může mít fatální následky. Při běžném použití nic nehrozí, řidič svůj vůz otočí a pojede jinudy, ale v ohrožení života záchranná služba nemá na takové věci čas a potřebuje být vedena správně a rychle k cíli.

7.1 Rozdělení map

Mapy používané navigačními systémy lze rozdělit do několika skupin [16]:

7.1.1 Podle použití

- Automobilové mapy - pro osobní dopravu, pro nákladní dopravu
- Turistické mapy
- Ostatní GPS mapy

Turistické mapy – Jsou dobrým pomocníkem do přírody pro turisty. Jsou koncipovány tak, že dokáží podobně vykreslit všechny značené turistické cesty a pomáhají v orientaci neznámém prostředí.

Mapy pro osobní dopravu – V dnešní době jsou jedny z nejvyužívanějších mapových podkladů. Navigace do automobilů nyní zažívá obrovský rozmach. Mapa obsahuje kompletní informace o silniční síti, které potřebuje řidič vědět.

Mapy pro nákladní dopravu – Oproti mapě pro osobní dopravu mají doplněné atributy o fyzikálních omezeních silničních komunikací. Zejména se jedná o průjezdní výšku, šířku a délku, nosnost a informace o dopravních omezeních pro nákladní dopravu vyplývajících z místních předpisů, varování před stoupáním, klesáním a zatáčkami, zájmové body potřebné pro nákladní dopravu. Aby mapy fungovaly správně, je třeba navigační software, který ve svých výpočtech bude tyto atributy využívat.

Ostatní mapy – jsou specifické mapy, které se využívají v širokém množství dalších odvětví jako je například železniční, lodní, letecká doprava, horolezectví, atd.

7.1.2 Podle formátu uložení

- Rastrové
- Vektorové
- Hybridní

Rastrové – Jedná se o obrázek, který se velmi podobá klasickým tištěným mapám. Jednotlivé body rastu mají přiřazeny informaci o pozičních souřadnicích. Tato mapa oproti vektorovým poskytuje velké množství detailů, ale také má vysoké nároky na výpočetní výkon a paměť (rastrový obrázek je oproti vektorovému veliký). Tento druh se k navigaci moc nepoužívá z několika důvodů.

Nesnadná editace – U vektorových map jsou silnice, domy, obce apod. položky uloženy v databázi, kterou lze snadno editovat, ale v rastrových mapách jde jen o hluk pixelů.

Nemožnost provádět úlohy síťové analýzy – Pouze po vektorových mapách je možné plánovat trasu tz. optimalizovat ji křižovatku po křižovatce.

Velikost – Mapy mají vysoké paměťové nároky, protože rastrový obrázek je oproti vektorovému veliký.

Vektorové – Každý objekt je v nich popsán matematicky. Ve vektorové mapě je tímto způsobem znázorněny veškeré cesty, stezky, vrstevnice, libovolné čáry, plochy a body. Vektorové objekty mohou být v mapě vybírány, přidávány či mazány. Zobrazení je vždy kvalitní, bez ohledu na zvolené měřítko. Navigační přístroj totiž pokaždé obraz počítá znovu, a protože jsou všechny objekty definovány rovnicemi, křivky lze za každých okolností vykreslit úplně hladké. Tam, kde rastrová mapa při postupné změně měřítka už jen zvětšuje a rozmazává pixely, vektorová mapa stále kreslí pěkný kruh. Mapy poskytují možnost provádět úlohy síťové analýzy.

Hybridní – Jedná se o rastrovou mapu doplněnou o vektorové vrstvu, kde přitom na obrazovce zůstává rastrová mapa.

Vektorové mapy se používají v silniční navigaci, kdežto v turistické navigaci převládají rastrové mapy.

7.2 Vznik vektorových map

Výroba map je finančně velmi náročná, a proto výrobci navigačních přístrojů nevytvářejí mapy samy, ale nakupují je od firem, které se tím zabývají. Takovéto firmy poskytnou mapy a následné aktualizace za poplatek. Mezi ty největší patří společnost Navteq a Teleatlas. Proces výroby mapy je následující [17]:

1. Získání výchozích podkladů
2. Ověření v terénu
3. Zpětná vazba
4. Zpět na začátek

1) Získání výchozích podkladů

Data se získávají z různých zdrojů, v největší míře od provozovatelů silniční sítě daného státu a dosud ještě nezpracovaná území od dalších dodavatelů. Jedná se o soukromé firmy u nichž si velcí výrobci nechávají data zpracovávat na zakázku. Tímto způsobem lze vcelku rychle a snadno zmapovat velkou oblast, ale na druhou stranu tato data nemusí být vždy zcela v souladu se současným reálným stavem v terénu.

2) Ověření v terénu

Získané podklady pro vytvoření mapy nestačí, protože zdroje mají rozdílnou kvalitu a na jejich správnost se nelze vždy spolehnout a poskytnuté podklady neobsahují navigační atributy.

Z těchto důvodů je třeba zaměstnanců, kteří udržují a kontrolují kvalitu zdrojů a přímo v mapované oblasti, projedou každou silnici a zaznamenají atributy s ní spojené. Pro takovéto mapování silniční sítě se používají speciálně vybavená vozidla obsahující technické zařízení, pomocí kterých lze okamžitě data zpracovat a nebo uložit pro pozdější zpracování. Jedná se o přijímače GPS, kamery, dálkoměry, laserovými skenery a další výpočetní techniku.

3) Zpětná vazba

Ne vždy se vše podaří bezchybně zaznamenat, a proto koncový uživatelé mohou na internetu nebo přímo v navigačním přístroji najít dané lokality a zpozorované chyby v příslušné aplikaci pro hlášení chyb opravit. Aby byla oprava přijata. musí být hlášena od více uživatelů se stejným problémem. Ze strany výrobců je to dobrý tah, protože ověření v terénu a doplnění navigačních atributu je stojí nejvíce peněž, a tak mohou značně ušetřit.

Celý proces se pořád opakuje, protože v reálném životě objekty neustále vznikají, zanikají a přemisťují svou polohu. Pro získání aktualizované mapy zpravidla není třeba vyměňovat celý navigační přístroj, ale stačí vyměnit mapu, tedy za poplatek zaktualizovat na novější verzi.

7.3 Formát uložení vektorových map

Silniční sít lze znázornit jako orientovaným graf. Graf je soustava bodů a jejich spojnic, přičemž body se označují jako vrcholy a spojnice mezi nimi jako hrany. Orientovaný proto, že ne každý úsek lze projet oběma směry z důvodu existence jednosměrných ulic a dalších omezení. Křižovatky odpovídají vrcholům grafu a silnice mezi nimi hranám. Takovýto graf lze převést do digitální podoby, tedy srozumitelné formy pro navigační přístroj. Vzhledem k tomu, že atributů je velké množství, jsou mapy ukládány do relačních databází. Společnost Navteq uvádí, že jejich databáze obsahuje 8 hlavních kategorií a celkově je nich uloženo přibližně 300 atributů.

Tabulka 2 – Ukázka atributů mapy (zdroj: [17])

GEOMETRIE	topologie, hrany, body, tvar bodů
NAVIGAČNÍ ÚDAJE	kategorie silnic, překážky, jednosměrné ulice, omezení otáčení, rychlostní limity
ÚDAJE O ULICÍCH	jména ulic, čísla popisná
ADMINISTRATIVNÍ ÚDAJE	země, stát, město, settlement, province, PSČ
MODEL GEOGRAFICKÉ SKUTEČNOSTI	železnice, řeky, jezera, golfová hřiště, nákupní centra, lesy
BODY ZÁJMU	hotely, restaurace, turistické atrakce, letiště
LOKALIZAČNÍ TABULKY TMC	RDS-TMC tabulky od národních dodavatelů
POŽADAKY ZÁKAZNÍKŮ	individuální požadavky zákazníků

8 Aplikace GNSS systémů

Všechna odvětví vyspělých státu světa jsou ovlivněna vývojem technologie družicové navigace. Trh s těmito produkty a službami roste ročně o 25 %. Očekává se že v roce 2020 budou v provozu asi 3 miliardy přijímačů družicové navigace. Aplikace se uplatňují v široké řadě odvětví nejen v dopravě nebo telekomunikacích, ale také v jiných oblastech jako je geodézie, zemědělství, vědecký výzkum, turistika a další [1].

8.1 Silniční doprava

- Navigace
- Řízení dopravy
- Řízení a sledování vozového parku
- Systémy pro výběr mýtného
- Inteligentní systémy pro asistenci při řízení
- eSafety

8.2 Železniční aplikace

- Řízení železniční dopravy
- Řízení a sledování vozového parku a sledování pohybu na železnici
- Informování cestujících
- Optimalizace spotřeby energie
- Vyhodnocování stavu tratě

8.3 Námořní a říční aplikace

- Navigace lodí
- Mapování a vodní stavitelství
- Vyhledávací a záchranná služba
- Komerční námořní využití

8.4 Aplikace v letectví

- Komerční letecká doprava
- Monitorování a řízení pohybu objektů po letištní ploše
- Rekreační létání
- Helikoptéry

8.5 Městská doprava

- Navigační systémy do automobilů
- Řízení a studování vozového parku
- Informace pro cestující
- Vozidla taxislužeb a půjčovny aut

8.6 Bezpečnost

- Bezpečnost na silnicích
- Bezpečnost na železnici
- Bezpečnost v letecké dopravě
- Bezpečnost v námořní dopravě

8.7 Aplikace v odvětví energetického průmyslu

- Mapování energetické infrastruktury
- Zakládání těžebních plošin a seismické průzkumy na lodí

8.8 Zemědělství

- Chemické postřiky
- Sledování výkonnosti plodin
- Výměna hospodářské půdy s sledování dobytka

8.9 Civilní ochrana

- Sledování předpovědi katastrof
- Operace humanitárních pomocí

8.10 Životní prostředí

- Monitorování životního prostředí
- Přírodní vědy
- Ochrana životního prostředí

8.11 Aplikace ve stavebnictví

- Sledování staveb
- Řízení chodu staveniště a logistika
- Údržba cest a železniční sítě

9 Výběr navigačního systému

Navigační systémy lze mezi sebou srovnat podle jednotlivých segmentů.

9.1 Kosmický segment

GLONASS se stále potýká s životností a poruchovostí družic. Současná generace má životnost (3-7 let), budoucí má mít 12 let. Tento parametr je důležitý z hlediska finanční nákladnosti celého systému. Vyrobení a následné vypuštění družice stojí nemalé peníze a celý proces trvá půl roku. V minulosti tyto problémy způsobily úpadek systému a není vyloučeno, že se situace bude opakovat. Takovýto systém je pro uživatele neperspektivní a nemá smyl na něm stavět jakékoliv aplikace. Naopak družice systému GPS mají životnost více než 15 let a s poruchovostí jsou na tom podstatně lépe něž družice systému GLONASS. U Galilea jsou družice ve fázi testování, ale předpokládá se, že životnost a poruchovost bude ještě lepší něž u GPS.

9.2 Řídící segment

GPS má rozmístěné monitorovací stanice po celém světě, což mu dává možnost se okamžitě spojit s jakoukoliv družicí. Naopak GLONASS má řídící segment kompletně rozmístěný na Ruském území, tím je snížena monitorovací schopnost stavu družic a přesnost určování efemerid. Při takovémto rozestavení je každá družice až 16 hodin nedostupná [2]. Nové družice by měli již tento problém odstranit vzájemnou komunikací mezi sebou. U Galilea se počítá s umístěním stanic v Evropě. Díky tomu, že družice budou spolu umět komunikovat již od začátku, problém s nedostupností nehrozí.

9.3 Uživatelský segment

9.3.1 Cena přijímače

Přechod z GPS na GPS/Galileo bude snadný. Jednoduchou technickou úpravou bude možné přijímat oba signály. Galileo používá stejné modulace signálu CDMA jako GPS, akorát používá jiné kódy. Cena se prakticky nezvýší.

Spojení GPS/Galileo/GLONASS bude složitější, protože GLONASS používá FDMA multiplex a ten je značně odlišný. Výrobci přístrojů, tak musí integrovat do jedné krabičky dva přijímače. Takovéto řešení razantně zvyšuje cenu.

9.3.2 Přesnost

Přesnost nezašifrovaných kódu u Systému GPS a Galileo je prakticky totožná 3-8 m horizontálně a 5-16 m vertikálně. U systému GLONASS je podstatně nižší a to 57-70 m horizontálně, 75 m vertikálně.

Přesnost šifrovaných signálů u systému GPS a Galileo je také podobná a to 1-3 m horizontálně a 1-4 m vertikálně. U systému GLONASS je přesnost zašifrovaného signálu utajena.

9.3.3 Poskytované služby

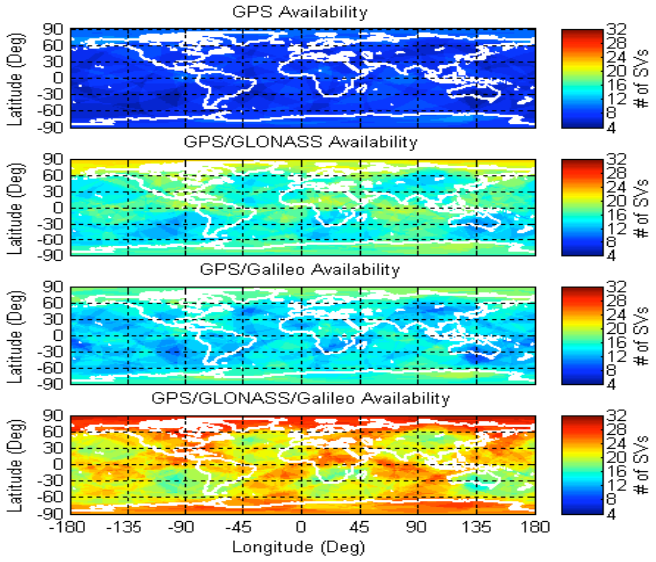
Galileo ze všech systémů bude poskytovat nejvíce služeb a zakládá na placených službách u nich se počítá se zárukou, což ostatní neplánují. Jako jediný systém zaručuje dostupnost signálu při jakékoliv krizové situaci.

9.3.4 Dostupnost

Dostupnost jednotlivých systému byla již popsána, ale tyto systémy mohou vzájemně spolupracovat a výrazně tím zlepšit dostupnost viditelných satelitů a přesnost polohy. Záleží jenom na přijímači, jestli bude schopen přijímat signál z více systémů.

Kombinace systému GPS/Galileo a GPS/GLONASS poskytuje podobnou dostupnost družic. Nicméně kombinace GPS/Galileo poskytuje průměrně o 6 viditelných družic více než GPS/GLONASS

Možná je kombinace všech tří systémů GPS/Galileo/GLONASS. Tato kombinace poskytuje velkou dostupnost satelitů. Takovéto řešení lze použít všude tam, kde je požadována neustálá dostupnost satelitního signálu.



Obrázek 9 – Viditelnost družic při spojování jednotlivých systémů (zdroj: [4])

9.4 Závěr

Systémy GPS a GLONASS jsou vybudovány jako vojenské systémy a mohou být kdykoliv vypnuty, takže když Spojené státy a nebo Rusko válčí, může mít zbytek světa smůlu. Poslední takový případ nastal, když Američané útočili na Irák. Naopak Galileo je od začátku budován jako civilní systém a v případě vojenského konfliktu nebude vypnuto, proto je nejvhodnější systém pro veškeré aplikace. Bohužel systém není dostupný, a proto současné aplikace musí stavět na GPS a nebo GLONASS.

Z výsledků mého pozorování plyne, že by aplikace by měly umožňovat přijímat signál z více systémů. Takovéto řešení poskytuje větší počet viditelných družic a přesnější určení polohy. V případě výpadku jednoho ze systémů uživatel prakticky nic nepozná a stále bude moci přijímat. Nejvýhodnější je systém GPS s doplněnou kompatibilitou s Galileo. Takovéto spojení poskytuje větší viditelnost družic než spojení GPS/GLONASS a neprodražuje cenu přijímače. Se systémem GLONASS nemá smysl zvažovat jakoukoliv kompatibilitu z důvodu nejisté budoucnosti, drahých přijímačů, malé přesnosti.

10 Aplikace v silniční dopravě

Aplikace systémů GNSS 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 „plať 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 [10].

Obecně při zavádění aplikací je důležité uvažovat o volbě navigačního systému, výběru mapových podkladů, na jakém funkčním principu mají být postavené, finanční náročnost a řešit další problémy spojené s jejich zaváděním. Možné problémy a návrhy jejich řešení jsou popsány u konkrétních aplikací.

10.1 Výběr map

Pro veškeré silniční aplikace bych volil vektorové mapy od velkých dodavatelů. Jako prvotní informace může sloužit údaj o pokrytí daného území. Protože většina výrobců chce prodat svůj produkt, údaje o aktuálním pokrytí poskytuje zdarma a nebo za symbolický poplatek. Uživatel si tak může konkrétní místo prohlédnout webových stránkách výrobce, a tak získat přehled o aktuálním pokrytí mapy.

Situace bohužel není tak jednoduchá, protože zpravidla se jedná pouze o obrázkovou ukázku z které nelze vyčíst navigační atributy. Protože zjištění atributů z monitoru není možné, je třeba hledat informace jinde. Běžnému uživateli nezbývá nic jiného, než čerpat ze zkušeností ostatních uživatelů, kteří danou mapu již zakoupili a používají ji.

10.1.1 Praktický test

Srovnání mapových podkladů jsem provedl v automobilové navigaci. Do navigačního přístroje jsem nahrál nejaktuálnější dostupné mapy a jízdou testoval jejich kvality.

Situace v ČR

Navteq má perfektně pokrytou silniční síť do nejmenší silničky, ale ukázalo se, že tyto mapy nejlepší nejsou, protože to nejdůležitější schází, a to kvalitně zpracované navigační atributy. Silnice mají špatně zařazené kategorie, rychlostní limity neodpovídají skutečnosti, chybějí názvy ulic, čísla popisné a nově vystavěné kruhové objezdy. Takže je sice skvělé, že pokrytí je skoro úplné, ale pokud se nemohu spolehnout na takové základní věci jako jsou jednosměrné ulice, je to k ničemu. Jelikož algoritmus pro výpočet trasy pracuje s těmito údaji,

tak při testování nebylo výjimkou, že mě navigace vedla po pěších zónách, polními cestami a dokonce mostem pro chodce. Vypadá to, že výrobce chtěl ušetřit a zanedbal mapování v terénu a mapové podklady získal ze zdroje, který poskytl pouze základní informace o geometrii silniční sítě.

Teleatlas nemá tak dopodrobna zpracovanou silniční síť, ale o to přesnější. Pří jízdě s těmito mapami se nevyskytly zásadní problémy a navigace mě vedle jasně a správně do cíle. Teleatlas má ohromnou výhodu, že je vlastněn jedním z největších výrobců navigací, firmou Tomtom. Obrovská komunita (20mil. uživatelů) neustále opravuje a zpřesňuje mapy přímo ve svých navigačních zařízeních.

Situace v ostatních státech

Ostatní státy jsem neměl možnost projet, a proto mapy byly sledovány přes internet pomocí webových aplikací výrobců.

Západní Evropu mají oba výrobci celoplošně pokrytou perfektně do nejmenších detailů, kdežto směrem od ČŘ na východ se situace od západní Evropy značně odlišuje. Na Slovensku Teleatlasu spousta silnic chybí, některá města nejsou ani propojena, což Navteq má propojena všechna, naopak situace v Maďarsku je přesně opačná.

Obrázek 10 – Nepřesnosti v mapách (zdroj: vlastní snímek)

10.1.2 Závěr testu

Strategie pokrývání obou výrobců se viditelně liší. Navteq se soustředí na celý velký region, jednotlivé země pokrývá najednou a pomalu. Teleatlas se místo toho soustředí na jeden stát a další spíše ignoruje a přesouvá se postupně. Za hlavní důvod nekvalitního pokrytí

ve východní Evropě považuji menší poptávku po mapách, ale i neochotu zákazníků si mapy kupovat. Maďarská společnost, která vyrábí navigační software IGO uvádí, že až polovina domácích uživatelů si mapy stahuje nelegálně.

V automobilové navigaci je řešení jednoduché. Z mého pozorování vyplývá, že pro kvalitní pokrytí je nutná kombinace map od různých dodavatelů. Bohužel, dnešní praxe je taková, že výrobce navigačních přístrojů koupí balík celé Evropy od jednoho dodavatele. Nákup takového balíčku je cenově výhodnější, než nakupování zemí jednotlivě. Lepší výrobci navigačních přístrojů informace o dodavatelích map udávají a uživatel snadno pozná, jestli jsou mapy od různých dodavatelů.

V případě realizací velkých aplikací (elektronické mýto, sledovaní vozidel, apod.) je situace jednodušší. Dodavatelé map poskytují kompletní vzorky požadované lokality, takže realizátoři projektů si můžou mapy důkladně prohlédnout, a podle toho správně vybrat.

10.2 Navigace

Navigace (tzv. route guidance) v automobilech využívající GNSS systémů se díky klesajícím cenám stala běžnou součástí výbavy automobilu. Účelem těchto navigací je výpočet optimální cesty v reálném čase.

Přijímač zjistí polohu a zobrazí ji na mapě. Uživatel určí cíl cesty zadáním názvu obce nebo ulice a navigační přístroj vypočítá průjezdní trasu dle požadovaných parametrů (např. nejrychlejší trasa, nejkratší trasa, apod.). Poté je již řidič navigován tak, že nadcházející manévr má zvýrazněn na mapě na displeje a také je interpretován hlasově. Pokud sjede z vypočítané trasy, navigace trasu během okamžiku cestu přepočítá.

Obrázek 11 – Automobilová navigace (zdroj: [3])

11 Aplikace založené na sledování vozidel

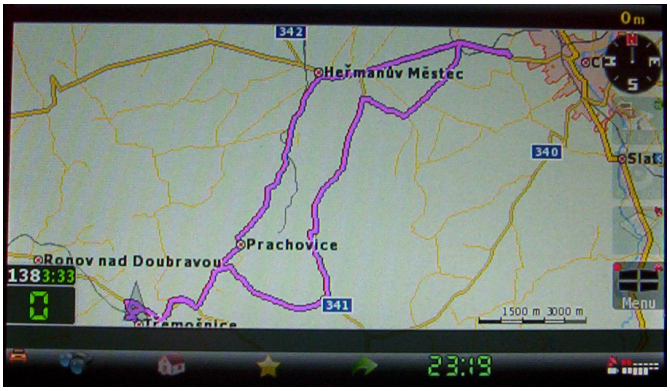
11.1 Princip činnosti

Jedná se o jedno z nejpoužívanější využití GNSS. Sledování vozidel má velmi široké využití v různých oblastí – osobní dopravě, nákladní dopravě, zdravotnictví, zabezpečení automobilu, údržbě komunikací a vodárenství atd. [1].

Pro sledování vozidel je potřeba, aby řídící systém aplikace znal polohy sledovaných vozidel. Současné i budoucí GNSS systémy jsou pouze pasivními, proto nemůžou od objektů přijímat data, ale pouze jim je odesílat. Existují 2 způsoby jak přenést potřebné informace:

- Pasivní (offline)
- Aktivní (online)

Pasivní systém (offline) – Je nejlevnější a nejjednodušší řešení. Systém skládá z přijímače z GNSS a paměťového modulu. Jednotka během jízdy zaznamenává souřadnice, čas a rychlost projížděné trasy do vnitřní paměti přístroje a nebo na paměťovou kartu. Množství zaznamenaných údajů závisí pouze na kapacitě paměti přijímače. Uložená data lze zobrazit přímo v jednotce, tedy pokud je vybavena displejem a nebo vložením paměťového modulu do jiného počítače. Z detailních údajů lze generovat výstupy v různých formátech a využít pro vizuální analýzu trasy, kompletní evidence knihy jízd, apod.



Obrázek 12 – Zobrazení ujeté trasy offline způsobem (zdroj: vlastní snímek)

Aktivní systém (online) – Systém umožňuje sledovat vozidla v reálném čase. Jedná se tedy o spojení pasivního systému (který umožňuje výpočet polohy) a komunikačního prostředku – obvykle komunikačního modulu v síti GSM. Aktivní systém je schopen průběžně zasílat informace o pozici na dispečink a tím podávat okamžitou informaci o pohybu objektu. Přenos údajů je zpravidla realizován přes GPRS, sms a nebo lze využít družicové datové sítě.

Porovnání systémů z hlediska aktuálnosti dat

Údaje získané pasivním přenosem dat, nikdy nejsou a ani nemohou být aktuální, vždy dochází ke zpoždění. U on-line připojení jsou data k dispozici okamžitě v kterémkoliv místě.

Porovnání systémů z hlediska využití

Off-line způsob sledování nemůže být primárně sledování vozu, ale spíše je vhodný např. ke zprůhlednění nákladů spojených s provozem vozidla.

U online připojení uživatel má plnou kontrolu nad veškerými daty z vozidla bez nutnosti přístupu k němu. To poskytuje široké možnosti využití.

Jelikož pasivní systém nenabízí možnost dalšího technického rozvoje, proto moderní aplikace stavějí na aktivním systému.

11.2 Konkrétní silniční aplikace

Všechny sledovací aplikace pracují na stejném principu přenosu informace o poloze vozidla, liší se pouze použitém koncovém softwaru a dobou aktivací jednotky.

- Elektronické mýtné
- Fleet management
- SVR
- eCall

11.2.1 Elektronické mýtné

V posledních letech došlo k prudkému rozvoji systémů výběru mýtného. Některé země již zavedly systémy výběru využívající GNSS. 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 [1].

Elektronické mýto považuji za nejperspektivnější aplikaci GNSS. Tato aplikace přináší velké množství peněz a jeho zavedení ve městech podstatně zlepšuje životní podmínky pro

obyvatelstvo. Ve většině velkých oblastí už není téměř žádný a nebo jenom velmi malý potenciál pro osobni automobilovou dopravu. Města jsou přeplněná automobily, chybí parkovací místa, hluk a znečištění negativně ovlivňuje život obyvatel. Například v Singapuru došlo po zavedení mýta ke snížení špičkových (nárazových) časů dopravy o 45 % a počtu automobilů o 70 % [19]. V druhé řadě mýto poskytuje přesné informace v reálném čase jiným systémům, zejména systémům pro řízení dopravního provozu a informování řidičů reálném čase.

Výnosnost je opravdu vysoká, mýtné v Česku bylo zavedeno 1. ledna 2007. Platit ho musí vozidla o hmotnosti 12 a více tun. Za dva roky činí celkový výnos 11,7 miliardy korun. Je ovšem nutné od toho odpočítat náklady na výstavbu mýtných bran a technologického zázemí, jež činily 5,2 miliardy Kč a navíc Kapsch ročně od státu dostává jednu miliardu korun za služby spojené s údržbou a provozem mýtného systému [20].

11.2.2 Fleet management

Sledování vozidel a řízení vozového parku pomocí on-line nebo off-line systému sledování. Systém se skládá z mobilní jednotky pro sběr dat instalované do vozidel a serverová aplikace, které organizuje a řídí vozový park [21].

Přenos dat z mobilních jednotek do serverové části aplikace může být realizován různými způsoby. Nejrozšířenější je využití GPRS technologie mobilních operátorů. V některých aplikacích lze použít i offline způsob (přímé nahrání dat).

Při použití pasivního systému sledování lze jako mobilní jednotku použít:

- Běžný automobilový navigační přístroj, PDA vybavené přijímačem GPS s funkcí zaznamenávání trasy, apod.
- Jednoúčelové jednotky

Běžné automobilové přístroje jsou vhodné všude tam, kde nejsou potřeba údaje o provozních vlastnostech řidičů, provozních vlastnostech vozidla a automatická detekce jízdy. Je tedy na řidiči jestli si přístroj zapne. Cena zařízení se pohybuje kolem 3000 Kč bez softwaru. Pro prohlížení tras na mapě je třeba dokoupit dodatečný software. Plná verze programu Garmin mapsource s mapou celé Evropy stojí 6000 Kč. A cena dokonalejšího programu, který umí zpracovat knihu jízd se pohybuje od 1000 Kč do 15000 Kč (závisí na počtu vozidel).

Jednoúčelová jednotka je napevno zabudována ve vozidle, spojena s anténou GPS a spínací skřínkou vozidla. Jednotka registruje každou jízdu od zapnutí klíčku (začátek jízdy) po jeho vypnutí (konec jízdy). U dražších zle identifikovat řidiče pomocí čipů a nebo pomocí připojené klávesnice zadávat doplňující informace (řidič, účel jízdy, PHM litry a Kč a další volitelné kategorie). Základní cena zařízení bez příslušenství se pohybuje kolem 14000 Kč.

Při online způsobu připojení lze použít stejné jednotky jako v off-line připojení, ale musí být doplněny o GSM modul.

Srovnání pořizovacích nákladů

Počáteční pořizovací náklady u obou typů připojení téměř totožné.

Srovnání provozních nákladů

U pasivního systému jsou náklady na provoz nulové, protože předání dat probíhá ručně a není třeba platit poplatek za přenos. U on-line připojení se musí platit poplatek za přenesená data mobilnímu operátorovi.

Pro ověření skutečných nákladu jsem použil běžnou automobilovou navigační jednotku s displejem. Zařízení lze koupit prakticky v každém obchodě s elektronikou za příznivou cenu kolem 3000 Kč. Navigace byla vybavena navigačním softwarem IGO8 – jedná se o nejrozšířenější software, který výrobci instalují do svých zařízení. Zařízení je dodáváno s paměťovou kartou o velikosti 2 GB. Po odečtení místa, které zabírá navigační software s mapami celé Evropy, zbývá ukládací prostor 1GB. Zaznamenal jsem 100km trasu s intervalem logování 1s a zjistil, že na její uložení je třeba 45kb místa. Po dosazení údajů do jednoduché trojčleny vychází, že do 1GB lze zaznamenat údaje o více něž 2 mil. kilometrech. Vzhledem k tomu, že kapacita karty je prakticky neomezená, není nutné investovat další peníze do nákupu přídavných karet. Tedy náklady spojené s provozem v off-line režimu jsou nulové.

V online režimu přenosu dat si mobilní operátoři účtují 0,05 Kč/KB pokud jde o domácí přenos a 0,2 Kč/KB pokud se jedná o přenos ze zahraničí. Za přenos 100 km trasy bych doma zaplatil 2,25 Kč a v zahraničí 9 korun. Kdyby měla firma 20 vozidel a každé s nich by denně najelo 500 km, celkové měsíční náklady by v domácích podmínkách činily téměř 7000 Kč a v zahraničí 27000 Kč. Ušetřit se dá zvýšením intervalu dotazování. Při intervalu dotazování každou minutu klesne velikost odesílaného souboru a náklady se podstatně sníží. V takovém případě odeslání 100 km trasy bude stát 0,04 Kč v domácím prostředí a zahraničním 0,15 Kč.

Měsíční náklady by činily v domácích podmínkách 120 Kč a 450kč v zahraničí. Záleží na dopravci jak často potřebuje údaje o svých vozidlech.

Výběr systému

Ke sledování vozidel ve své firmě bych volil aktivní přenos informací. Protože možnosti aktivního systému výrazně překračují možnosti pasivního. Pořizovací náklady jsou totožné a při snížení intervalu dotazování na polohu lze dosáhnou přijatelných měsíčních nákladů.

11.2.3 SVR

Aplikace, které vyhledá ukradené vozidlo. Používá výhradně online způsob přenosu. V České republice se touto problematikou zabývá mnoho firem. Mezi ty nejznámější patří Sherlog a AutoLocator

Systém lze rozdělit podle doby aktivace jednotky na [23]:

- Manuální
- Automatická

Manuální aktivace – Jednotka se aktivuje až když majitel vozidla nahlásí krádež. Výhodou jsou nižší pořizovací a provozní náklady. U firmy AutoLocator je pořizovací cena 12500 Kč a 4000 Kč ročně za provoz služby. Nevýhodou je, že pokud majitel nahlásí krádež pozdě, vozidlo může být již rozebráno a nebo schované v budově, kam signál GPS nepronikne.

Automatická aktivace – Jakýkoli pokus o vloupání do vozu je okamžitě automaticky oznámen přímo majiteli vozu a do centrály provozovatele služby. Vůz je lokalizován a sledován pomocí satelitů ihned od okamžiku narušení. Pořizovací cena je 19000 Kč a 5000 Kč ročně za provoz služby. Provozovatel služby okamžitě na mapě vidí pohyb vozidla a snadno pozná do které budovy se zloděj schoval.

Výběr systému

SVR služby využívají majitelé drahých automobilů, a proto by neměli šetřit a pořídit si službu s automatickou aktivací, jejíž vyšší cena je zanedbatelná ve srovnání s cenou ukradeného vozidla.

11.2.4 Ecall

Projekt Evropské komise, který má umožnit rychlou pomoc motoristům, kteří se stali účastníky dopravní nehody, a to kdekoliv na území Evropské unie [23].

V případě havárie automobilu systém eCall zavolá pohotovostní služby, které jsou dostupné po celé Evropě na jednotném evropském čísle tísňového volání 112 a ohlásí přesnou polohu vozidla. Záměrem je, že vozidlo by automaticky přivolalo ambulance a záchranáře, což by pomohlo těžce zraněným lidem, kteří si nemohou sami zavolat. Podle zjištění výzkumu, na jehož financování se podílí Evropská komise, by systém mohl potenciálně zachránit ročně 2500 lidských životů [25].

Problémy systému a jejich řešení

Zásadní problém prosazení tohoto systému je jeho pořizovací ceně. V současné době již existují takovéto služby, ale většinou je poskytují společnosti zabývající se sledováním vozidel, jako přídavek ze svým službám a nejde je koupit samostatně. Potom pořizovací náklady sloupají vysoko k 25000 Kč.

Při realizaci služby Ecall by jednotka měla stát asi 10000 Kč při koupi nového automobilu. V této ceně nejsou započítány náklady na provoz sítě provoz GSM sítě. Takovou cenu řidiči budou považovat za vysokou a systém by se tak nerozšířil. Podle mého názoru by výrazně pomohlo dotování jednotek veřejným sektorem.

12 Aplikace pro řízení dopravy

Systém pro řízení dopravy reaguje pomocí definované báze pravidel na nestandardní stavy dopravní situace a navrhuje jejich řešení pomocí předem připravených postupů, tzv. řídících scénářů. Pro danou dopravní situaci obsahuje řídící scénář dílčí pokyny, kterými je možné vzniklou situaci řešit (například provedení změny nastavení ZPI tabule). Aby systém mohl situaci řešit je potřeba získat informaci o tom, že nestandardní stav skutečně nastal. Takovouto informaci do systému mohou zanést agendové systémy (Policie ČR, HZS ČR, silniční správní úřady, správci komunikací, obecní policie a dále zdravotnická záchranná služba, provozovatelé sítí atd.) a nebo zdrojem můžou být telematické aplikace (kamerový systém, elektronické mýto, systémy sledování charakteristik dopravního proudu a tvorby kolon, liniové řízení provozu atd.).

Získanou informaci řídící systém zpracuje, přenese a výsledné řešení zobrazí na zobrazovacím zařízení (ZPI tabule, monitor počítače, apod.). K přenosu informace lze použít vysílání RDS-TMC, internet a nebo GSM technologii. Při použití systému RDS-TMC řešení vypočítá přímo navigační přístroj a následně jej zobrazí.

12.1 RDS-TMC

Jedna z důležitých částí aplikace pro řízení dopravy je služba poskytování dopravních a cestovních informací řidiči před a během jízdy prostřednictvím standardního VKV-FM vysílání. Technologie je součástí dopravně informačního systému a slouží pro přenos předzpracovaných dopravních informací do vozidla, kde se tyto údaje dále zpracují a poskytnou řidiči.

Výhoda systému je, že dopravní informace jsou vysílány nepřetržitě a řidiči jsou hlášeny pouze ty události související s jeho trasou, a tak řidiči poskytují možnost optimalizovat svoji trasu [26].

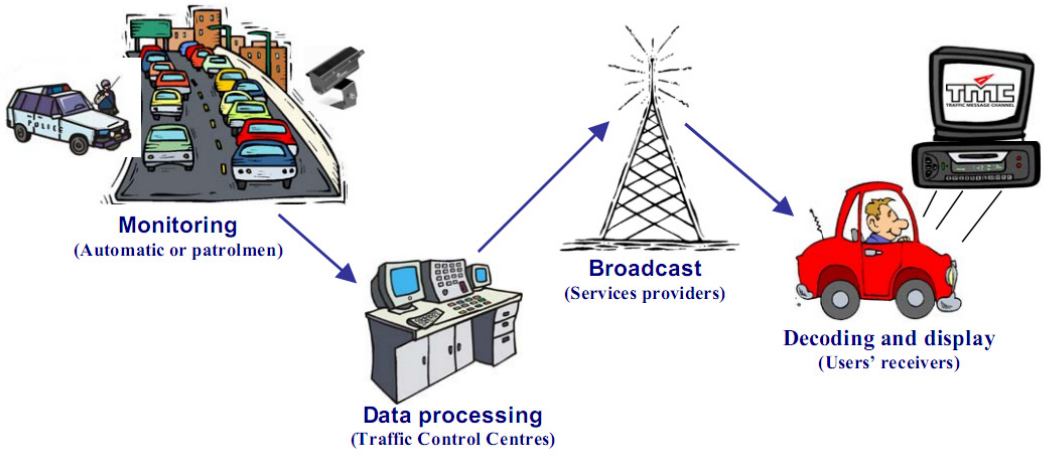
12.1.1 Přínosy systému

Dle provedených tuzemských i zahraničních studií následující [25]:

- významné zvýšení komfortu jízdy, a to nejen v rámci státu
- zvýšení plynulosti jízdy a to vhodnou volbou trasy či optimalizací rychlosti
- pozitivní vliv na ekologické zatížení silniční dopravou
- snižuje spotřebu pohonných hmot, počet dopravních kongescí a nehod
- pozitivní vliv na zdraví účastníků provozu, kteří jsou ušetřeni stresových situací

12.1.2 Princip činnosti

1. Získání zprávy (monitoring)
2. Kódování zprávy (data processing)
3. Vysílání (broadcast)
4. Zpracování a prezentace řidiči (decoding and display)



Obrázek 13 – Schéma principu činnosti RDS-TMC (zdroj: vlastní snímek)

1) Získání informací

Informace o dopravní události jsou získány z různých zdrojů viz. bod 3).

2) Kódování zprávy

Informace jsou klíčovány dle speciálního jazykově nezávislého protokolu ALERT-C obsahujícího standardizovaný seznam dopravních událostí a lokalit na silniční síti a dále šířeny k uživateli jako tichá součást vysílání. Cílem protokolu ALERT-C je definovat jednotné prostředí pro šíření dynamických dopravních informací na úrovni evropského regionu. Při kódování a dekódování dopravní informace dle systému ALERT-C dochází k převodu určení místa dopravní události na 16ti bitové číslo vyjadřující „adresu“ tohoto místa v tzv. lokalizační tabulce a naopak. Tato tabulka obsahující hierarchicky setříděná a provázaná místa na dopravní síti a musí být identická na straně vysílače kodéru i přijímače. Totéž se provádí při kódování dopravní situace. Na straně vysílače i přijímače existuje tabulka všech možných událostí a při vlastním přenosu dopravní informace systémem RDS-TMC se použijí pouze zástupné kódy míst a události. Takový systém tedy klade nízké požadavky na přenosovou kapacitu.

Struktura zprávy

Základem pro určení závažnosti a relevance dopravní události pro konkrétního uživatele jsou následující charakteristiky [26]:

- Místo – lokalita, případně úsek či oblast, kde se událost stala;
- Událost –- stručný popis, co se stalo, co se děje;
- Doba trvání – předpokládaný časový úsek, po který bude událost negativně ovlivňovat provoz na komunikaci;
- Směr a rozsah – udává, ve kterém směru na dané komunikace je problém a rozsah události v rámci lokalizační tabulky;
- Doporučení objížďky – informace, zda se doporučuje řidiči daný problém objet.

3) Vysílání

Vysílání zaštiťuje poskytovatel služby TMC, který je napojen na centrum distribuující dopravní informace. Toto centrum generuje jazykově nezávislé dopravní zprávy v souladu s příslušnými protokoly a předává je rozhlasové společnosti, která zajistí jejich vysílají systémem RDS.

V České Republice provozuje tuto službu Český rozhlas. Český rozhlas vysílá na 3 kanálech [27]:

- ČRo1
- ČRo3
- ČRo Regína

ČRo 1 – Dopravní informace jsou zpracovávány společností Global Assistance a technologicky vše zajišťuje firma Telelasist. Informace především pocházejí od řidičů zpravodajů Českého rozhlasu a agentů 007 z Impulsu. Informace od řidičů je rychlá, aktuální, ale ne vždy zcela přesná a ověřená a zejména nezachycuje vývoj v místě události, okamžik odstranění problému a obnovu provozu.

ČRo 3 – Informace pocházejí z Jednotného systému dopravních informací pro ČR, kam je předávají Policie ČR, Hasiči, záchranka, Správci komunikací, silniční správní úřady, telematické aplikace, řidiči atd. Tento projekt společně realizují Ministerstvo dopravy ČR, Ministerstvo vnitra ČR a Ředitelství silnic a dálnic ČR. Takováto služba by měla být rychlejší a přesnější než služba založený na informacích o řidičích.

ČRo Regína – Vysílá pouze v Praze. Dopravní informace mají pouze pražskou působnost a zajišťuje je Dopravní informační centrum Praha, které bylo vytvořeno Technickou správou komunikací hlavního města Prahy ve spolupráci s Ústavem dopravního inženýrství hlavního města Prahy a několika soukromými společnostmi.

4) Zpracování a prezentace řidiči

Navigační systém vozidla obdrží zprávu o určité události na dopravní síti, tato událost je prezentována pouze v případě, že se týká jeho trasy, nebo když se jedná o zprávu výjimečné důležitosti ovlivňující všechny motoristy bez ohledu na to, kde se nacházejí. Způsob prezentace řidiči závisí na schopnostech koncového zařízení. Většinou jde o palubní navigační systém či moderní autorádio. Větší míru informace poskytuje zobrazení zprávy v grafickém prostředí tj. na mapě zobrazené na displeji navigační jednotky.

12.1.3 Problémy systému v ČR a návrh řešení

Současný systém nefunguje vždy správně a potýká se s mnoha problémy. Mezi ty nejvážnější patří

1) Správnost a aktuálnost zdrojů
2) Nekvalitní lokalizační tabulky
3) Vysílání

1) Správnost a aktuálnost zdrojů

Jako zdroj dopravních informací lze použít:

- informací od řidičů
- informací agentových systému
- telematických systémů

Informace od řidičů – Nemůžou být vždy zcela správné a přesné, na informacích od řidičů nelze systém stavět. Takovéto informace se mohou objevit, ale spíše by měly sloužit k urychlení vyšetření dopravní události některým z agendových systému.

Agendové systémy – (Policie ČR, HZS ČR, silniční správní úřady, správci komunikací, obecní policie a dále zdravotnická záchranná služba, provozovatelé sítí atd.). Agendové systémy poskytují kvalitní a rychlé informace, ale bohužel v současnosti předání informací mezi jednotlivými složkami záležení na jejich vzájemné dohodě. Neexistuje zákonem daná

povinnost sbírat, zpracovávat a šířit dopravní informace, není žádný postih za jejich neposkytnutí.

Telematické aplikace – (kamerový systém, elektronické mýto, systémy sledování charakteristik dopravního proudu a tvorby kolon, liniové řízení provozu atd.) poskytují nejlepší dopravní informace. Pokud jsou tyto systémy v funkční tak informují o události vždy.

2) Vysílání

Koncepce služeb RDS–TMC v ČR je plně v kompetenci Českého rozhlasu (případně dalších rozhlasových stanic). Jen na provozovatelích rozhlasového vysílání a sítě vysílačů záleží, jaká služba a kde se bude vysílat.

Tyto problémy by vyřešilo schválení zákona, který by definoval povinnosti a hlavně odpovědnost za poskytované služby.

3) Nekvalitní lokalizační tabulky

Dopravní události se v systému RDS-TMC popisují pomocí tzv. lokalizačních tabulek. Tabulky jsou neviditelná databáze nad mapou území. Tabulky v ČR mapu dokonale nekopírují, spojují jen nejdůležitější silnice a ulice. Když je na komunikaci ohlášena dopravní událost, kterou lokalizační tabulky nepokrývají, problematické místo se do RDS–TMC vůbec nedostane. Dálnice, silnice první třídy a nejdůležitější ulice ve městech jsou v současných tabulkách pokryty.

Dalším omezujícím faktorem je, že rastr lokalizačních tabulek, nedovolí konkrétně lokalizovat dopravní událost. Tabulka začíná a končí křižovatkou, což např. na dálnici znamená až 12 km úsek.

Problém s tabulkami vyvstává i při jejich přípravě. Současný model je, že regionální agentura CEDA zhotoví tabulky a distribuuje je dál, tedy hlavně výrobcům navigací. Tabulky jsou nezávislá databáze, která je za určitých licenčních podmínek a uhrazení manipulačního poplatku volně dostupná. Díky tomuto řešení vzniká prostor pro jejich široké využití, protože jsou poskytovány v určitém standartu a samostatně, a tedy nejsou vázány na určité navigační přístroje.

Výhoda výše popsaného modelů spočívá v tom, že se nemusí čekat, až se velcí výrobci rozhodnou udělat lokalizační tabulky, a proto se v ČŘ udělaly tabulky dříve než v jiných zemích Evropy. Další výhodou je, že nehrozí existence více verzí tabulek, takže událost bude zobrazena na různých navigačních přístrojích stejně.

Nevýhoda tohoto řešení je, že lokální dodavatel zpočátku nedostával přiměřeně zaplaceno, a proto jsou v tabulkách jsou značné mezery. Další nevýhoda spočívá v tom, že tabulky nejsou součástí kupované mapy od velkých dodavatelů map, a tak je na každém výrobci, jestli začlení aktuální verzi do svých aktualizací map, a protože někteří nejsou tak pružní, nové lokalizační tabulky začleňují s více než ročním odstupem.

Řešení se zdá být jednoduché. Stát by měl uvolnit finanční zdroje na kompletní dodělání těchto tabulek, protože je to v jeho zájmu a nebo by mohly přispět výrobci i prodejci navigací. Jako druhá alternativa se nabízí přenechání tvorby tabulek velkým dodavatelům map, kteří mají potřebné finance a vybavení. Ostatně lokalizační tabulky jsou vrstva nad jejich mapami.

Závěr

Úvodní část bakalářské práce byla zaměřena na vysvětlení hlavních principů z oblasti globálních navigačních systémů a v další části jsem sledoval jejich vývoj. Evropa nechtěla být závislá na cizím systému, a tak započala vývoj svého systému jménem Galileo. Následně se Spojené státy začaly bát ztráty své dominance v oblasti satelitní navigace, a proto započaly modernizaci svého systému. Rusko také nechtělo zůstat pozadu a rozhodlo se znovu vybudovat svůj skomírající systém a připojila se i Čína s vlastním navigačním systémem. Z této situace profitují koncový uživatelé, kteří mají možnost volby.

Z výsledků porovnání navigačních systému doporučuji veškeré aplikace stavět na systému GPS/Galileo. Při vzájemném spojení těchto dvou systémů je pokrytí naprosto dostačující, a proto kompatibilita se systémem GLONASS, která výrazně prodražuje přístroj, není nutná. Z mého pohledu GLONASS nemá šanci na jakékoliv rozšíření, dokonce i Rusové odmítají používat svůj systém a většina vlastní přijímače GPS.

Současné a budoucí aplikace by měly být založeny na přijímačích, které mají už teď zajištěnou kompatibilitu GPS/Galileo. Nynější kompatibilita zajistí, že se nebudou muset měnit dosavadní jednotky, až bude Galileo dostupné, a tak by si Galileo mohlo budovat uživatelskou základnu už nyní. Tyto přijímače již existují, přičemž cena u dostupných modelů je o něco málo vyšší. Bohužel takových přístrojů je zatím menšina, ale výrobci je jistě brzy uvedou na trh, ve snaze předčit konkurenci.

Při pořizování automobilové navigace a dalších aplikací je třeba znát podrobnosti o nabízených službách a na základně ceny zvolit správnou variantu. Pokud aplikace vyžaduje mapové poklady je třeba věnovat výběru značnou pozornost.

Pro rozvoj silničních aplikací k řízení provozu je potřeba přijmout nové zákony, které by usnadňovaly jejich provoz. Jako první by se měl vybudovat systém elektronického mýtného, protože elektronické mýtné je ohromný zdroj příjmů. Tyto příjmy lze použít na vybudování aplikací k zajištění bezpečnosti a plynulosti provozu. V druhé řadě elektronické mýto poskytuje důležité informace o vozidlech. Tyto informace jsou základem pro rozhodování informačních a řídících systémů, které umožňují přímo řídit a nebo usměrňovat rozhodování účastníků provozu. Například systém RDS–TMC byl uveden v ČŘ do provozu před postavením elektronického mýta a stále se potýká s nedostatkem financí a kvalitního obsahu. Nyní po zavedení mýta jsou informace přesnější a pomalu se na ně dá spolehnout.

Při zavádění aplikací pro řízení dopravy je třeba přednostně vybudovat právě kvalitní systém RDS–TMC. Systém může oslovit co nejvíce lidí a poskytuje nejpřehlednější

informace. Informační světelné cedule jsou sice univerzálnější a nekladou na řidiče žádné finanční požadavky, ale díky jejich nákladné výstavbě mohou být pouze na několika vybraných místech a nemohou pokrývat celou silniční síť. Naopak systém RDS–TMC takové omezení nemá a dopravní informace mohou být poskytovány na celé silniční síti, pokud je pokrytá lokalizačními tabulkami a FM vysíláním. Rozvoji systému by pomohla reklamní kampaň, protože navigační přístroje vlastní velký počet lidí, ale většina z nich už netuší, že jejich přijímač umí pracovávat dopravní informace.

Seznam literatury

[1] KOLÁŘ , Jan, ŠUNKEVIČ , Martin. *Globální družicový navigační systém Galileo.* Praha: CITT Praha Akademie kosmických technologií oblast Galileo, GMES, 2008. 100 s.

[2] RAPANT, Petr. *Družicové polohové systémy*. Ostrava : VŠB-TU, 2002. 202 s. Dostupný z WWW: <http://gis.vsb.cz/dokumenty/dns-gps/at_download/file>. ISBN 80-248-0.

[3] *Jak funguje GPS*. Svět hardware [online]. 21.6.2006 [cit. 2009-016-25]. Dostupný z WWW: <http://www.svethardware.cz/art_doc7B651FBD154DE90CC12573C500329D3A.html>.

[4] DANIELS, Charlie. *GLOBAL POSITIONING SYSTEM* [online]. National Coordination office, 2008 [cit. 2009-04-23]. Dostupný z WWW: <http://www.uschamber.com/NR/rdonlyres/CharlieDanielsNCO.ppt>.

[5] *První satelitní navigaci zkonstruovali Rusové, byl to Sputnik* [online]. 3.4.2007 [cit. 2009-05-01]. Dostupný z WWW:<http://mobil.idnes.cz/prvni-satelitni-navigaci-zkonstruovali-rusove-byl-to-sputnik-p7h-navigace.asp?c=A070323_002445_navigace_jm>.

[6] BOUMA, Ondřej. *Historie a výboj satelitních navigačních systémů* [online]. 15.4.2003 [cit.2009-01-05]. Dostupný z WWW: <http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2003/xbouma.htm>.

[7] *Globální polohovací a navigační satelitní systémy* [online]. 2006 [cit. 2009-02-23]. Dostupný z WWW: <http://geologie.vsb.cz/geoinformatika/kap09.htm>.

[8] *Gps navigace* [online]. 2003 [cit. 2009-01-05]. Dostupný z WWW: <http://gps.navigace.tomtom.garmin.geosat.mio.sweb.cz/>.

[9] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Global Positioning System* [online]. c2009 [citováno 1. 05. 2009]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Global_Positioning_System&oldid=401167

[10] VOJTEK, David. *Glonální navigační a polohové systémy Systém GLONASS* [online]. 26.4.2009 [cit. 2009-05-05]. Dostupný z WWW: <http://gis.vsb.cz/vojtek/content/gnps_p/files/pres/GNPS_11_podklady.pdf>.

[11] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Globální družicový polohový systém* [online]. c2009 [citováno 1. 06. 2009]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Glob%C3%A1ln%C3%AD_dru%C5%BEicov%C3%BD_polohov%C3%BD_syst%C3%A9m&oldid=3852675>

[12] *GPS Constellation Active Nanu Status*. NAVSTAR Navigation Center. [online]. 2008, 24.5.2009 [cit. 2009-05-24]. Dostupný z WWW: <http://www.navcen.uscg.gov/navinfo/Gps/ActiveNanu.aspx>.

[13] *Selective Availability* [online]. 2007 [cit. 2009-02-23]. Dostupný z WWW: <http://pnt.gov/public/sa/>.

[14] *Transmitted GPS Signals* [online]. 19.4.2009 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW: <http://www.kowoma.de/en/gps/signals.htm>.

[15] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: GLONASS* [online]. c2009 [citováno 1. 06. 2009]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=GLONASS&oldid=3763163>.

[16] LUTONSKÝ, Marek. *Rastrovou, nebo vektorovou mapu?*. [online]. 23.9.2008 [cit. 2009-01-25]. Dostupný z WWW: <http://navigovat.mobilmania.cz/Clanky/AR.asp?ARI=113991>.

[17] Navteq. *NAVTEQ Digital Map Overview* [online]. 2007 [cit. 2009-03-21]. Dostupný z WWW: <http://developer.navteq.com/getDocument.do?docId=4882>.

[18] RAGA, YervaVeera, JADHAV DV, Ajay, MENDOZA, Fernando. *Comparison of Positioning Systems* (GPS, GLONASS, and Galileo) [online]. 2007 [cit. 2009-05-06]. Dostupný z WWW: <epps.utdallas.edu/mgis/ClassFiles/gisc6383/TechAssess_2007/GPSCompare.ppt >.

[19] Kapsch Telematic Services spol. s r. o.. *Trendy v elektronickém mýtném Elektronické mýto v České republice* [online]. 31.1.2007 [cit. 2009-03-25]. Dostupný z WWW: <www.britishchamber.cz/images/5697_presentation_KAPSCH_1.ppt>.

[20] *Mýtné loni vyneslo 6,14 miliardy korun* [online]. 5.1.2009 [cit. 2009-01-10]. Dostupný z WWW: <www.komora.cz/hk-cr-top-02-sede/hospodarska-komora-cr/press/2//mytne-loni-vyneslo-6-14-miliardy-korun.aspx>.

[21] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Fleet management [online]*. c2009 [citováno 1. 06. 2009]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Fleet_management&oldid=3555032>.

[22] *Zavádění inteligetních systémů řízení dopravy* [online]. 08.04.2009 [cit. 2009-05-01]. Dostupný z WWW: <http://www.asb-portal.cz/2009/04/08/stavebnictvi/inzenyrske-stavby/zavadeni-inteligetnich-systemu-rizeni-dopravy.html>.

[23] AutoLocator. *Zabezpečení proti krádeži - nabídka modelů* [online]. 2008 [cit. 2009-01-05]. Dostupný z WWW: <http://www.autolocator.cz/nabidka_modelu_zabezpeceni.php>.

[24] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: ECall* [online]. c2009 [citováno 1. 06. 2009]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=ECall&oldid=3564647>.

[25] Vláda České republiky. *Inteligentní systém pro vozidla eCall bude zachraňovat lidské životy* [online]. 11.2.2008 [cit. 2009-01-02]. Dostupný z WWW: <http://www.vlada.cz/scripts/detail.php?id=31241>.

[26] *Výhody systému RDS-TMC* [online]. 2006 [cit. 2009-04-24]. Dostupný z WWW: <http://www.rds-tmc.cz/cz/o_rds_tmc.html>.

[27] *Nav N Go iGO 8: Co všechno dovede s TMC dopravními informacemi?*. [online]. 5.1.2009 [cit. 2009-05-01]. Dostupný z WWW:<http://mio-treo.info/viewtopic.php?f=23&t=2299>.

Seznam zkratek

BMCS	Backup Master Control Station
C/A	Coarse/Acquisition code
CC	Central Clock
CDMA	Code Division Multiple Access
CEDA	Central European Data Agency
CS	Commercial service
DSRC	Dedicated Short Range Communication
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GLONASS	Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistěma
GMS	Global System for Mobile communications
GNSS	Global navigation satellite system
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning Systém
HP	High precision
MCS	Master Control Station
MS	Monitor Station
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency
OS	Open service
P	Precision code
PRS	Pulic regulated service
RDS–TMC	Radio Data System – Traffic Message Channel
SA	Selective Availability
SAR	Search and rescue services
SCC	System Control Center
SLR	Satellite Laser Ranging
SoL	Safety of Life service
SP	Standard precision
SVR	Stolen Vehicle Recovery
TT&C	Telemetry, Tracking and Command/Communication
ULS	Uplink Station
ZPI	Zařízení pro provozní informace

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Princip určení polohy (zdroj: [3]) 11
Obrázek 2 – Segmenty družicového polohového systému (zdroj: [4]) 12
Obrázek 3 – Kosmický segment GPS (zdroj: [9]) 16
Obrázek 4 – Přijímač GPS (zdroj: vlastní snímek) 18
Obrázek 5 – Ukázka GPS přijímačů (zdroj: [4]) 19
Obrázek 6 – Struktura signálu GPS (zdroj: [14]) 19
Obrázek 7 – Geometrie rozmístění družic (zdroj: vlastní snímek) 21
Obrázek 8 – Kosmický segment systému GLONASS (zdroj: [10]) 23
Obrázek 9 – Viditelnost družic při spojování jednotlivých systémů (zdroj: [4]) 34
Obrázek 10 – Nepřesnosti v mapách (zdroj: vlastní snímek) 37
Obrázek 11 – Automobilová navigace (zdroj: [3]) 38
Obrázek 12 – Zobrazení ujeté trasy offline způsobem (zdroj: vlastní snímek) 39
Obrázek 13 – Schéma principu činnosti RDS–TMC (zdroj: vlastní snímek) 46

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Přesnost služeb Galileo (zdroj: [1]) 26
Tabulka 2 – Ukázka atributů mapy (zdroj: [17]) 30