

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta – Katedra fyziky

Družicové systémy GPS a GLONASS

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Michal Šerý

Autor: Lukáš Rod

ROD, L. *Družicové systémy GPS a GLONASS*. [Bakalářská práce.] České Budějovice 2006 – Jihočeská Univerzita , Pedagogická fakulta, katedra fyziky, 58 s.

Klíčová slova: družicové systémy, GPS, GLONASS, GALILEO, signál družice, segmenty systému

ROD, L. *Systems of satellites GPS and GLONASS*. . [Bachelors work] České Budějovice 2006 – University of South Bohemia , Pedagogical faculty, Department of Physics, 58 p.

Keywords: satellite systems, GPS, GLONASS, GALILEO, signal of satellite, segments of systems

Abstrakt :

V odborné veřejnosti se stále častěji diskutuje o projektech GPS, GLONASS a v neposlední řadě o evropském projektu GALILEO. Společným tématem diskusí je význam těchto projektů pro organizace a jednotlivce účastnických zemí ES (Evropské společenství). Hlavní otázkou diskusí je, zda vložené prostředky do projektu nového evropského navigačního systému nejsou zbytečným plýtváním a zda postačují stávající družicové lokalizační systémy.

Úlohou práce je popis základního fungování amerického systému GPS, (ruského GLONASS) a okrajově i nově vznikajícího evropského projektu s názvem GALILEO.

Anotace:

Tato bakalářská práce popisuje globální satelitní navigační systémy a to, americký GPS, sovětský GLONAS a evropský projekt GALILEO.

Popisují historii družicových systémů, strukturu, rozestavění družic, možnosti civilního využití družic v pozemní dopravě, letecké dopravě, železniční dopravě, vodní dopravě, zemědělství, geodézii nebo jako náš denní pomocník s bezpečností .

This bachelors work descript systems of globals navigations satellites and that are Americans GPS, Soviet GLONASS and European project GALILEO.

I descript history of satellites systems, structure, disposition of satellites, posibilites of civil usage of satellites in land-carriage, air traffic, railage, water-carriage, farming, geodesy or like our daily slave with our security.

Prohlašuji že předloženou práci jsem vypracoval samostatně, pouze s použitím uvedené literatury.

20.11.2006, Lukáš Rod

Touto formou děkuji svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Michalu Šerému za cenné rady a připomínky při zpracování mé práce.

1 Úvod.....	7
2 Historie družicových navigačních systémů	15
2.1 Proč GPS.....	15
2.2 Kdy to začalo?	16
2.2 Navigační systémy	18
2.3 Radiové navigační systémy	18
2.4 Klasické družicové polohové systémy (GPS, GLONASS)	19
3 Družicový systém GLONASS	20
3.1 Struktura systému Glonass	20
3.1.1 Rozestavění družic	20
3.2. Systémový čas Glonass.....	24
3.3 Metody zpřesňování diferencí	24
3.3.1 WADS.....	25
3.3.2 RADS.....	25
3.3.3 LADS	25
3.4 Civilní využití Glonass	26
4 Systém GPS	28
4.1 Historie systému GPS	28
4.1.1 První etapa	29
4.1.2 Druhá etapa	30
4.1.3 Třetí etapa	30
4.1.4 Čtvrtá etapa	31
4.2 Struktura systému GPS	33
4.2.1 Kosmický segment.....	33
4.2.2 Řídicí segment	35
4.2.3 Uživatelský segment.....	37
4.3. Signály GPS	38
4.3.1 C/A kód.....	39
4.3.2 P kód	39
4.3.3 Navigační zpráva	40
5 Rozdělení přijímačů GPS.....	42
6 Co ovlivňuje přesnost GPS	44
6.1. Faktory ovlivňující přesnost systému GPS	45
6.1.1 Řízení přístupu k signálům z družic	46
6.1.2 Vliv troposféry a ionosféry	48
6.1.3 Přesnost systému GPS	50
6.2 Princip diferenčního měření.....	51
7 Dostupnost signálů GPS	52
7.1 Integrita signálů	52
7.2 Interference signálů.....	54
8. Aplikace GPS.....	56
8.1 Letecká doprava.....	57
8.2 Geodezie	57
8.3 Pozemní doprava.....	57
8.4 Zemědělství.....	58
8.5 Železnice	58
8.6 Námořní doprava	58
8.7 Životní prostředí	58
8.8 Bezpečnost	58

8.9 Rekreaace.....	59
8.10 Vědecké aplikace	59
9 Evropský Galileo	60
9.1 Financování programu	60
9.2 Fáze programu	61
9.3 Služby co přinese Galileo	62
10 Závěr	64
Použitá literatura	65

1 Úvod

Cílem této práce je popsat globální satelitní navigační systémy a to, americký GPS, sovětský GLONAS a lehce se dotknout i nově vznikajícího evropského projektu GALILEO.

Téma mé bakalářské práce jsem rozdělil do čtyř částí. První díl jsem věnoval hlavně historii družicových systémů. Popsal jsem jak a kdy přišla na svět myšlenka družicového polohovacího systému. Jak se svět rozdělil na dva systémy Spojených států amerických a Sovětského svazu.

V druhé části textu se zabývám již družicovým systémem Glonass vzniklém v tehdejší Sovětské svazu. Zde popisuji strukturu systému, rozestavení družic, metody upřesňování polohy systémem a vysvětluji zde otázku civilního využití družic Glonass. Tato část není moc obsáhlá z důvodu zatím pořád ještě nedostatečných informačních pramenů k tomuto systému.

V třetí části jsem se zaměřil na GPS spravovaný Spojenými státy americkými. Popsal jsem jak obecně vypadá tento družicový systém, historii, v jakých etapách vznikl a k jakým změnám v nich docházelo. Systém je rozdělen z hlediska tří segmentů, které jsou důkladně popsány. Dále se zabývám signálem GPS, jeho kódováním a hlavně s jakou přesností lze s tímto signálem pracovat. Na konci třetí části jsem se snažil rozdělit možnosti aplikací GPS v dnešním životě.

V poslední čtvrté části se zmiňuji o právě nově vznikajícím evropském systému Galileo a to v pořadí jaké jsou hlavní důvody vzniku, kdo jej financuje, v jakých etapách by se mělo postupovat a co přinese evropskému společenství a nejen jemu.

2 Historie družicových navigačních systémů

2.1 Proč GPS

Myšlenka jednoznačného určení polohy libovolného objektu kdekoliv na Zemi není nijak nová. Tyto systémy vznikají již po několik desetiletí avšak poslední desetiletí se začínají velmi rozvíjet a rozšiřovat systémy založené na určování vzdáleností vůči družicím které obíhají Zemi. Tyto systémy umožňují určovat polohu a provádět navigaci za jakéhokoliv počasí, kdykoliv a kdekoliv. Jedinou omezující podmínkou použití je přímá viditelnost na oblohu.

O popularitě a rozšíření přístrojů GPS svědčí i fakt, že každoročně je vyrobeno zhruba 1 500 000 přijímačů využívající technologii GPS. A právě ty jednoduší GPS navigační přístroje se v posledních letech obrovsky rozvíjí a to ať s pomocí novodobých technologií, které přístroje minimalizují objemově a maximalizují funkčnost, spolehlivostí a jednoduchou ovladatelností [1]. Nemalou příčinou a velmi velkou pomocí pro rozvoj této oblasti bylo i rozhodnutí vlády USA ze dne 1.5.2000 o zrušení záměrné chyby (SA) vnášeného do přijímaného signálu, které zvýšilo přesnost pro běžného civilního uživatele z dřívějších 100 metrů na 5-10 metrů.

Začneme tím, co se skrývá pod stále častěji skloňovanou zkratkou GPS. Systém GPS (Global Positioning System), neboli Globální polohový systém je pasivní dálkoměrný systém pro stanovení polohy a času na Zemi i v přilehlém prostoru. Někdy je také nazýván svým druhým názvem NAVSTAR. GPS je schopen poskytovat 24 hodin denně a kdekoliv na zemském povrchu a přilehlém prostoru signály, které přijímače GPS zpracují a určí polohu v prostoru a přesný čas.

1.5.2000 došlo k významným změnám v přesnosti GPS. GPS je radionavigační systém pro civilní a vojenské použití, který je provozován vzdušnými silami USA a řízen vládou USA pomocí IGEB (<http://www.igeb.gov>) (Interagency GPS Executive Board) [2].

Systém je složen ze tří segmentů. Jsou to kosmický, řídicí a uživatelský segment. Podrobněji si je popisujeme v kapitole 3. Kosmický segment je tvořen v současné době 28 tzv. zdravými satelity na šesti oběžných drahách. Družice obíhají ve výšce cca 20 200 km s inklinací 55 stupňů a doba oběhu je přibližně 12 hodin. Tím je zajištěno, že

prakticky všude a v jakýkoliv okamžik jsou nad obzorem minimálně 4 viditelné družice. V praxi těchto viditelných družic může být až 12 [2].

V České republice je běžně k dispozici okolo 7 – 8 družic v daný okamžik. Pro určení polohy v prostoru je nutné přijímat signály ze čtyř družic, protože kromě tří neznámých souřadnic x , y , z je neznámou i čas t (respektive posun času přijímače GPS oproti času UTC GPS satelitů). Jakákoliv další viditelná družice samozřejmě zlepšuje konfiguraci a tím i výsledky měření. Řídící segment je tvořen monitorovacími stanicemi po celém světě (Kwajalein, Diego Garcia, Ascension, Cape Canaveral, Hawaii) a hlavní řídící stanicí (MCS) v Colorado Springs. Monitorovací stanice neustále provádí sběr dat z družic a předávají je do MCS. Zde jsou data zpracovávána a vypočteny přesné údaje o oběžných drahách a korekce času, které jsou zpětně přeneseny pozemními anténami do satelitů. Satelity je pak v rámci navigační zprávy vysílají a jsou přijímány GPS přijímači. [2]

Uživatelský segment je pak tvořen širokou paletou GPS přístrojů, které poskytují údaje o poloze, rychlosti a čase uživatelům v nejrůznějších aplikacích.

2.2 Kdy to začalo?

O možnosti využít družice pro vybudování globálního elektronického navigačního systému se začalo uvažovat koncem 50. let - prakticky ihned po vypuštění první umělé družice Země Sputnik 1. Inspirace přišla s vypuštěním ruského Sputniku v roce 1957, kdy američtí vědci zjistili, že frekvence signálu, který Sputnik vysílal, byla vyšší, když se přiblížil a nižší, když se vzdálil můžeme tedy určit polohu satelitu, proč to neudělat obráceně – ať satelit najde polohu něčeho na zemi [2].

Odtud byl jen krůček k prvnímu rutinně pracujícímu globálnímu navigačnímu systému, pokrývajícemu svými signály celý povrch Země. Uvedlo ho do provozu námořnictvo Spojených států amerických v roce 1964. Jednalo se o družicový navigační systém námořnictva USA známý pod názvem Transit, který sestával z pěti satelitů a dokázal přibližně určit polohu, s obměnou jedenkrát za hodinu následoval složitější navigační systém Omega. [3].

Nevýhodou systému Transit tedy bylo to, že:

- pozorovatel musel zavádět do výpočtů polohy korekce
- výsledné souřadnice byly jen dvourozměrné
- relativně malá přesnost určování polohy
- navigační signály byly dostupné jen občas.

Proto nebylo prakticky možné tento systém využít pro leteckou navigaci (i když některé pokusy byly učiněny). Poslední družice tohoto navigačního systému byla vypuštěna v roce 1988. Systém Transit byl definitivně poslán do výsluhy v roce 1996 po 32 letech služby.

V roce 1972 byl uveden do života další systém, který dostal název Timation a který byl zaměřen na vysílání přesného časového signálu. Tento projekt byl rovněž zdrojem cenných zkušeností pro pozdější projekt GPS. Obdobný vývoj proběhl i v bývalém Sovětském svazu. Koncem šedesátých let byl pro potřeby ponorkového loďstva uveden do provozu dopplerovský navigační systém, označovaný názvem Cyklon [4].

V sedmdesátých letech začaly obě tehdejší světové supervelmoci pracovat na družicových navigačních systémech nové generace. Jednalo se o družicové pasivní dálkoměrné systémy, které by umožňovaly určování polohy v trojrozměrném prostoru spolu s přesným časem a zpřístupnily by tak družicovou navigaci i letectvu. V USA padlo definitivní rozhodnutí o vybudování takového systému 17. prosince 1973. Od svého prvopočátku nesl projekt dva názvy - GPS a NAVSTAR.

Původní představa byla taková, že bude vypuštěno 24 družic na třech oběžných drahách se sklonem 63 stupňů a výškou 20 200 km. Doba oběhu měla být přibližně 12 hodin. Tři oběžné dráhy byly zvoleny proto, aby k zajištění chodu systému stačily tři náhradní družice schopné kdykoliv zaujmout pozici poškozené družice. Tato konstelace měla zajistit kdykoliv viditelnost minimálně šesti a maximálně jedenácti družic. Tím měla být zajištěna maximální robustnost systému [4].

Později byly přijaty dvě změny - sklon oběžných drah byl snížen na 55 stupňů a počet oběžných drah byl zvýšen na šest se čtyřmi družicemi na každé z nich. Počet družic včetně rezervních zůstal 24. V případě potřeby je možné systém doplnit o další družice a zvýšit tak jeho robustnost. Rovněž bývalý Sovětský svaz přistoupil v sedmdesátých letech k vývoji vlastního pasivního dálkoměrného družicového

navigačního systému (nese název GLONASS z ruského Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistema), který využívá prakticky stejné principy, na kterých je postaven systém americký. Má však několik odchylek. Nevyužívá například pravou semisynchronní oběžnou dráhu (tedy 20 200 km), ale dráhu o něco nižší - 19 100 km. Tato výška byla vybrána spolu s anténou se speciální vyzařovací charakteristikou, aby bylo vytvořeno kompletní radionavigační pole kdekoliv až do výšky 2000 km nad zemským povrchem. Díky sklonu oběžné dráhy, který je téměř 65 stupňů (přibližně stejný jaký byl původně projektován pro americký systém) je zajištěno, že dráha družice nad terénem je každých 17 oběhů (co osm dní) stejná [5].

Zatím posledním slovem v oblasti GNSS je připravovaný projekt Evropské unie s názvem Galileo. O jeho realizaci bylo rozhodnuto na přelomu roku 2000 a 2001. Bude se jednat o čistě civilní systém, poskytující služby co nejširšímu okruhu civilních uživatelů.

2.2 Navigační systémy

Pro potřeby technického zabezpečení pravidelné dopravy, a to především námořní a letecké, bylo nezbytné vyvinout vhodné navigační metody, umožňující vést dopravní prostředky po předem určených trasách. Tyto metody byly zpočátku založeny pouze na přírodních systémech (systémy orientačních bodů na pobřeží, astronomická tělesa apod.), až teprve v posledním století se začaly navigační metody opírat i o různé navigační systémy, založené nejčastěji na šíření radiových vln. Dnes radiová navigace výrazně převažuje nad ostatními druhy navigace.

2.3 Radiové navigační systémy

Za dobu existence radiové navigace byla vybudována celá řada radiových navigačních systémů. V nedávné době se též chybně předpokládalo, že systém GPS může řešit všechny problémy v oblasti navigace jakýchkoliv dopravních prostředků jako jest například automatické přistávání letadel. Nicméně posléze byla provedena řada studií i praktických testů, které ukázaly, že některé parametry systému GPS neumožňují jeho využití jako jediného navigačního systému, s výjimkou navigace pro trasy dálkového přeletu. Proto se stále více mluví o vybudování globálního navigačního

systému, který by tvořily jak družicové, tak i pozemní subsystémy. Díky těmto zjištěním proto došlo i k přehodnocení útlumu existujících pozemních radiových navigačních systémů a k prodloužení životnosti některých systémů. Úvahy jsou nyní vedeny v tom směru, že pozemní radionavigační systémy budou tvořit nezbytné rozšíření systému GPS tak, aby vznikl dostatečný systém, splňující v plném rozsahu i ty nejnáročnější požadavky, definované mezinárodními leteckými organizacemi pro radionavigační systémy.

2.4 Klasické družicové polohové systémy (GPS, GLONASS)

Na počátku sedmdesátých let byla na světě myšlenka vybudovat družicový pasivní dálkoměrný systém, který by umožňoval určování polohy v trojrozměrném prostoru spolu s přesným časem a zpřístupnil by tak družicovou navigaci i letectvu. Definitivní rozhodnutí o vybudování prvního takového systému padlo 17. prosince 1973 ve Spojených státech amerických, kdy byl oficiálně zahájen projekt NAVSTAR – GPS. V osmdesátých letech byl zahájen vývoj i druhého systému, který nese název GLONASS a který začal budovat tehdejší Sovětský svaz. [1]

Tomuto systému bude věnována kapitola 3. Systému GLONASS je zde věnována menší pozornost hned z několika důvodů:

- informace o systému GLONASS nejsou dostupné v takovém rozsahu jako v případě systému GPS
- systém se potýká s vážnými finančními problémy, v důsledku kterých není jeho kosmický segment plně obsazen navigačními družicemi a které by mohly vést až k jeho zániku
- využívání tohoto systému je méně rozšířené.

3 Družicový systém GLONASS

Systém GLONASS je spravován Ruskými kosmickými silami pro potřeby vlády Ruské federace a je k dispozici i civilním uživatelům. GLONASS (angl. **G**lobal **N**avigation **S**atellite **S**ystem rusky **G**lobalnaja **n**avigacionnaja **s**putnikovaja **s**istěma) je pasivní dálkoměrný družicový radiový navigační systém umožňující určování polohy, rychlosti a času v třírozměrném prostoru, kdekoli a kdykoli na Zemi a v přilehlém kosmickém prostoru [6]. Je určen pro:

- řízení a zvýšení bezpečnosti letecké a námořní dopravy
- geodézii a kartografii
- monitorování pozemní dopravy
- synchronizaci času mezi odlehlými místy
- ekologický monitoring
- pro potřeby vyhledávacích a záchranných služeb.

3.1 Struktura systému Glonass

systém Glonass se skládá ze tří částí stejně jako u GPS a to:

- rozestavěných družic
- pozemního řídicího komplexu
- uživatelského segmentu na povrchu Země

3.1.1 Rozestavění družic

Plně obsazená konstelace družic je složena z 24 družic rozmístěných ve třech orbitálních rovinách, vzájemně posunutých o 120 stupňů. Družice jsou na každé oběžné dráze rozmístěny rovnoměrně co 45 stupňů. Pro dosažení lepšího pokrytí signály družic jsou družice v jednotlivých rovinách posunuty o 15 resp. 30 stupňů. Družice obíhají po kruhových oběžných drahách se sklonem 64,8 stupňů ve výšce 19 100 km a s oběžnou dobou 11 hodin a 15 minut. Takovéto uspořádání družic zajišťuje viditelnost minimálně šesti a maximálně jedenácti družic kdykoli a kdekoli na zemském povrchu [6] .

První družice systému GLONASS byla na oběžnou dráhu vynesena 12.10.1982 jako blok 1. Doposud bylo vyneseno celkem 73 družic v 27 blocích. V rámci 2. až 7. bloku

byly vynášeny vždy dvě družice, počínaje 8. blokem vždy tři družice. Poslední blok byl vynesena na oběžnou dráhu 13.10.2000. Družice byly uvedeny do operačního stavu postupně, první k 4.11.2000, druhá k 21.11.2000 a třetí k 5.1.2001. Kolem roku 2001 bylo v konstelaci oficiálně zařazeno 7 „zdravých“ družic). Plně byl kosmický segment obsazen jen v roce 1996, od té doby postupně degraduje a pokud v nejbližší době nedojde k obnovení pravidelného doplňování družic, v průběhu několika let zcela zanikne [6].

Oficiálně byl systém GLONASS uveden do operačního stavu 24. září 1993 dekretem prezidenta Ruské federace. Družice systému GLONASS vykazují neobyčejnou manévrovatelnost. Změnu oběžné dráhy je možné provést v průběhu jen několika dní (v případě systému GPS tento manévr zabere několik týdnů až měsíců).



Obr. č.1 Rozmístění stanic pozemního řídicího komplexu Glonass [6]

3.1.2 Pozemní řídicí komplex

Pozemní řídicí komplex je kompletně situován na území Svazu nezávislých států. Hlavní řídicí centrum se nachází blízko Moskvy, ostatní řídicí a monitorovací stanice jsou umístěny v Ternopolu, St. Petrsburgu, Jenisejsku, Komsomolsku na Amuru a Balkaši . Tyto stanice nepřetržitě monitorují signály všech viditelných družic, provádějí laserové měření vzdálenosti mezi stanicemi a družicemi (každá družice je pro tyto účely vybavena laserovým odražečem) a získaná data přenášejí do hlavního řídicího centra. Zde se tyto údaje zpracovávají, vyhodnocují se přesné parametry oběžných drah družic a korekce družicových hodin a aktualizují se navigační zprávy. Výsledky se přenášejí na stanici pro komunikaci s družicemi, odkud jsou dvakrát denně přenášeny na družice.

Takto uspořádaný kontrolní a řídicí segment je jistou nevýhodou systému GLONASS, neboť každá družice je zhruba 16 hodin denně mimo dosah kontrolního a řídicího segmentu. Tím je ztíženo monitorování stavu družic a snížena je i přesnost určování efemerid [6]. Proto se u příští generace družic GLONASS-M plánuje, že družice budou schopné vzájemné komunikace a tím i monitorování, což umožní zajistit kontrolu integrity systému i podobu, kdy jsou družice mimo přímý dosah pozemního řídicího komplexu.

Signály družic GLONASS jsou vysílány na dvou nosných frekvencích (označovaných opět L1 a L2), které se však (na rozdíl od systému GPS) pro každou družici mírně liší. Platí zde následující vztahy:

$$L1 = 1\,602\text{ MHz} + n \cdot 0,5625\text{ MHz (výkon vysílače 64W)}$$

$$L2 = 1\,246\text{ MHz} + n \cdot 0,4375\text{ MHz (výkon vysílače 10W)}$$

kde n je číslo kmitočtového kanálu.

Původně systém GLONASS používal plný rozsah kmitočtových kanálů (tedy pro každou družici unikátní číslo), avšak vzhledem k problémům s interferencí s blízkým okénkem vyhrazeným pro radioastronomická pozorování bylo rozhodnuto, že bude počet používaných kmitočtových kanálů snížen (vynecháním kanálů 15 až 20) a družice nacházející se na opačných stranách oběžné dráhy (tedy družice, které nemohou být za žádných okolností viditelné současně z jednoho bodu) sdílejí stejný kmitočtový kanál [6].

Časové období	Používané kmitočty (MHz)	Používané kanály
do roku 1998	1602,0 – 1608,8	1 až 12
	1614,4 – 1615,5	22 až 24
1998 – 2005	1602,0 - 1608,8	1 až 12
po roce 2005	1598,1 – 1605,4	-7 až +6

tabulka 1 Přehled přechodu na nové rozdělení kanálů [6]

Družice tohoto systému vysílají dva typy navigačních signálů :

- navigační signál standardní přesnosti (angl. Standard Precision Navigation Signal – SP, resp. Channel of standard Accuracy – CSA), který je přenášen pouze na nosné frekvenci L1 a je obdobou C/A kódu systému GPS jedná se o pseudonáhodnou posloupnost 511 nul a jedniček vysílanou frekvencí 0,511 MHz (sekvence se tedy opakuje co 1 ms všechny družice vysílají stejnou sekvenci) [6].
- navigační signál vysoké přesnosti (angl. High Precision Navigation Signal – HP, resp. Channel of High Accuracy – CHA), který je přenášen na obou nosných frekvencích L1 a L2 a je obdobou P-kódu systému GPS jedná se o pseudonáhodnou posloupnost nul a jedniček vysílanou frekvencí 5,11 MHz, jejíž původní délka 33 554 432 bitů je zkrácena tak, aby se sekvence opakovala co 1 s všechny družice opět vysílají stejnou sekvenci) [6].

Každá družice vysílá současně s navigačním signálem standardní přesnosti navigační zprávu, která obsahuje

- efemeridy družice dané ve formě:
 - přesné polohy družice v daném čase
 - složek vektoru rychlosti družice
 - složek vektoru zrychlení družice
- posun hodin družice vzhledem k systémovému času GLONASS (angl. GLONASS System Time) a k UTC (RF)
- korekce družicového času na čas GLONASS
- kalendářní číslo dne v rámci čtyřleté periody, s počátkem v přestupném roce
- číslo družice v systému
- příznak stavu družice
- almanach GLONASS.

3.2. Systémový čas Glonass

Družice systému GLONASS jsou vybaveny cesiovými atomovými hodinami, jejichž denní chyba nepřekračuje $5 \cdot 10^{-13}$ s. Tato stabilita umožňuje zajistit synchronizaci se systémovým časem GLONASS (angl. GLONASS System Time, GLONASST) s přesností okolo 15 nanosekund. (Korekce hodin jsou přenášeny na družice dvakrát denně.) Systémový čas GLONASS je generován centrální synchronizační jednotkou realizovanou vodíkovými atomovými hodinami, jejichž denní chyba nepřesahuje $5 \cdot 10^{-14}$ s. Posun systémového času GLONASS vůči státnímu etalonu UTC, realizovanému v Hlavním metrologickém centru ruských časových a kmitočtových služeb (VNIIFTRI) v Mendělejevu u Moskvy, by neměl překročit 1 ms, přičemž tento posun by měl být znám s přesností lepší než 1 mikrosekunda. Zcela neznámý je však vztah mezi UTC (RF) a UTC (BIH) odvozovaným na základě mezinárodního atomového času (TAI) v Bureau International de l'Heure v Paříži. Vzhledem k časové škále UTC (USNO) (časovému standardu USA, udržovanému v U.S. Naval Laboratory a sloužícího jako výchozí časová škála pro systém GPS) se posun v letech 1993 a 1994 pohyboval v intervalu ± 2 mikrosekundy [6].

3.3 Metody zpřesňování diferencí

V Rusku se plánuje vybudování jednotného systému šíření diferenčních korekcí, který by pokrýval celé území Ruské federace. Vnitřně by byl členěný do tří úrovní:

- rozsáhlý diferenční systém (WADS)
- regionální diferenční systémy (RADS)
- lokální diferenční systémy (LADS).

3.3.1 WADS

- měl by pokrývat celé území Ruské federace a zajišťovat :

- sběr a zpracování dat přijímaných monitorovacími stanicemi všech tří úrovní, výpočet korekcí regionálního ionosférického modelu, efemerid, družicových hodin a kontrolu integrity
- přenos dat z první úrovně na diferenční stanice druhé a třetí úrovně a přímo k uživatelům
- spolupráci WADS a hlavního řídicího centra GLONASS.

Požadovaný počet stanic pro tuto úroveň je od tří do pěti. Přesnost určování polohy v rámci oblasti o rozloze 1500 až 2000 km by byla od pěti do deseti metrů. Předpokládá se, že pro tyto účely by bylo možné využít přímo Řídicí a monitorovací stanice Pozemního řídicího komplexu systému GLONASS [6].

3.3.2 RADS

- představované specializovanými diferenčními systémy, by byly budovány ve vysoce rozvinutých oblastech s velkým ekonomickým potenciálem a s velkým množstvím potenciálních uživatelů. Mohou být budovány v oblastech s intenzivní dopravou (pozemní, leteckou, říční i námořní, resp. železniční), v oblastech s komplikovanými meteorologickými podmínkami, v oblastech, kde se provádí měřické práce apod. Přesnost určování polohy v rámci oblasti o rozloze 500 km by byla od 3 do 10 metrů.

3.3.3 LADS

- budou budovány v oddělených oblastech a budou představovány speciálními ekonomickými, vědeckými a obrannými aplikacemi. Přesnost určování polohy dosažitelná v oblasti o rozloze několika desítek kilometrů by se měla ohybovat řádově v decimetrech.

3.4 Civilní využití Glonass

7. března 1995 vláda Ruské federace vydala dekret, který definitivně potvrdil dříve daný příslib týkající se možností civilního využívání systému GLONASS. V dekretu se mimo jiné ukládá [6]:

- vytvořit nadrezortní koordinační komisi zabývající se využíváním systému GLONASS domácími i zahraničními civilními uživateli
- vypracovat program využívání systému GLONASS pro civilní účely, zahrnující i vývoj a výrobu civilních přijímačů (v letech 1995-2000) včetně vysílačů diferenčních korekcí
- vypracovat pravidla pro spolupráci ministerstev při využívání systému GLONASS
- ministerstvo dopravy Ruské federace dostalo za úkol vybudovat informační službu systémů GLONASS i GPS s tím, že Koordinační vědecké informační centrum Ruských kosmických sil je zodpovědné za poskytování informací o statusu systému GLONASS
- poskytnout ICAO (International Civil Aviation Organization) a IMO (International Maritime Organization) nezbytné podkladové materiály pro přípravu dohod o využití systému GLONASS jako součásti globálního navigačního systému pro civilní uživatele a o spolupráci s těmito organizacemi při užívání systému GLONASS.

Na základě tohoto dekretu již proběhlo jednání s ICAO. Ruská federace se zavázala mimo jiné k tomu, že:

- systém bude provozován minimálně po dobu 15 let od dobudování (v roce 1995), tj. do roku 2010
- pokud bude rozhodnuto o ukončení provozu systému GLONASS, bude toto rozhodnutí oznámeno minimálně šest let před datem ukončení provozu
- navigační signál standardní přesnosti bude volně přístupný, bude použitelný bez poplatků, bude umožňovat určování horizontální polohy s přesností do 60 m

- horizontálně a do 75 m vertikálně (s pravděpodobností 0.997) a nebudou na něm zavedeny žádné metody snižování přesnosti.

V roce 1999 vydal prezident Ruské federace dekret, v němž mimo jiné nařizuje vládě, aby [7]:

- udržovala, provozovala a rozvíjela systém GLONASS
- vydala dokument určující zodpovědnost jednotlivých federálních orgánů za údržbu, provozování a rozvoj systému GLONASS jako systému dvojího užití
- ustavit meziresortní koordinační komisi pro systém GLONASS a zajistit její pravidelné financování
- informovat mezinárodní společenství o záměru Ruské federace nabídnout GLONASS jako základ pro budování mezinárodního družicového navigačního systému.

4 Systém GPS

I když má dnes systém GPS rozsáhlé civilní využití, nesmíme zapomínat, že se jedná primárně o vojenský systém, který byl vyvinut a je dodnes spravován ministerstvem obrany USA. Svého času proběhla ve Spojených státech amerických diskuse o jeho budoucím začlenění, a to až na úrovni kongresu USA. Hlavním zájemcem o správu systému GPS bylo sice ministerstvo dopravy USA, nicméně zatím trvá zařazení tohoto systému pod ministerstvo obrany USA a v nejbližší době ani nelze očekávat změny. Počet civilních uživatelů systému GPS lze dnes odhadnout na stovky milionů.

Důvody tohoto nevšedního zájmu jsou shrnuty takto:

- relativně vysoká polohová přesnost, od desítek metrů až po milimetry
- schopnost určovat i rychlost a čas s přesností odpovídající přesnosti polohové dostupnosti signálů kdekoli na Zemi: na povrchu, na moři, ve vzduchu i v blízkém kosmickém prostoru
- standardní polohová služba systému GPS je civilním uživatelům dostupná bez omezení, bez jakýchkoliv poplatků a její nejběžnější využívání je možné i při použití relativně levného zařízení
- je to systém pracující za každého počasí a dostupný 24 hodin denně
- polohu je možné určovat v třírozměrném prostoru. Globální polohový systém byl navržen tak, aby umožňoval všem odpovídajícím způsobem vybaveným uživatelům vysoce přesné určování třírozměrné polohy a rychlosti pohybu a dále získávání přesného časového signálu.

4.1 Historie systému GPS

Jak již bylo zmíněno dříve, historie družicové navigace sahá do počátku šedesátých let, kdy vojenské námořnictvo USA začalo rozvíjet projekt Transit. O něco později se o družicovou navigaci začalo zajímat i letectvo USA. Obě vojenské složky postupovaly ve vývoji těchto systémů odděleně, až teprve počátkem 70. let vydalo ministerstvo obrany Spojených států amerických memorandum, jímž podřídilo další vývoj družicových navigačních systémů vzdušným silám. Původně samostatné projekty obou

vojenských složek byly sloučeny do jediného programu označeného názvem NAVSTAR – GPS. Od 1.7.1973 řídí program společná programová skupina, zřízená při kosmické divizi velitelství systémů vzdušných sil USA na letecké základně v Los Angeles. Členy jsou zástupci letectva, námořnictva, armády, námořní pěchoty, Pobřežní stráž, Obranné mapovací služby, zástupců NATO a Austrálie . V prosinci 1973 obdržela JPO oficiální povolení k zahájení prací na systému NAVSTAR – GPS [8].

Práce probíhaly v několika etapách:

4.1.1 První etapa

První etapa probíhala v letech 1973 – 1979 a byla zaměřena na ověření základních principů činnosti systému GPS. Nejprve byly prováděny pozemní testy zaměřené na ověření možností třírozměrné navigace v reálném čase. Na testovacím polygonu v Arizoně byly umístěny pozemní vysílače, vysílající stejné navigační signály, jako budoucí družice. Nad testovacím polygonem přelétávaly stíhačky vybavené přijímačem a ověřovaly přesnost a spolehlivost navigace. Po té se pokusy přenesly do kosmického prostoru. První družice pro ověření navigační technologie byly realizovány jako rozšíření programu Timotion. První byla nazvána Timotion II, ale později byla přejmenována na NTS- 1. Byla vypuštěna 14. července 1974 a měla poprvé na palubě atomové hodiny: dva rubidiové oscilátory. Druhá a poslední družice této skupiny nazvaná NTS-2 již na své palubě nesla některé komponenty budoucích družic GPS: první cesiové hodiny, generátor dálkoměrného kódu a první kosmický GPS počítač . V průběhu roku 1978 byly vypuštěny první čtyři vývojové navigační družice Blok I, které byly na oběžných drahách rozmístěny tak, aby po omezenou dobu umožňovaly plnohodnotnou třírozměrnou navigaci, a to opět především v oblasti testovacího polygonu v Arizoně. Družice Bloku I byly původně objednány čtyři, později byly doplněny o dvě další a nakonec jich bylo ve vesmíru umístěno jedenáct. Všechny dosáhly operačního stavu. První družice tohoto bloku byla vypuštěna 22. února 1978. Projektovaná životnost družic byla tři roky, ale některé z nich pracovaly ještě po deseti letech. Výhodou těchto družic bylo, že jejich signály byly v plném rozsahu přístupné komukoliv [11].

4.1.2 Druhá etapa

Druhá etapa proběhla v letech 1978 – 1985. V tomto období byla budována řídicí střediska, v roce 1980 byl zahájen vývoj družic Bloku II a byl zahájen vývoj a ke konci i ověřovací testy přijímačů GPS. Prototypy přijímačů byly testovány opět především na testovacím polygonu, ale také při námořních operacích [5].

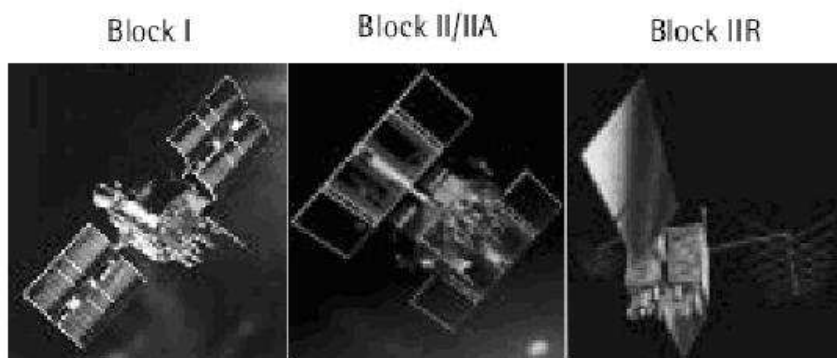
4.1.3 Třetí etapa

Třetí etapa probíhala od roku 1985 do 17. července 1995. V této době byl uzavřen kontrakt na výrobu 29 družic Bloku II. První z nich byla vypuštěna v únoru roku 1989 a operačního stavu dosáhla 10. srpna 1989. Tyto družice nejprve doplňovaly a později i nahrazovaly družice Bloku I. Výkonnost systému se postupně zvyšovala, až bylo počátkem roku 1993 dosaženo stavu, kdy bylo možné provádět třírozměrnou navigaci kdekoliv na Zemi po 24 hodin denně. Desátá až 29. družice Bloku II jsou označovány jako družice Bloku IIA. Vyznačují se dalším zdokonalením a jsou schopné pracovat až 180 dní bez komunikace s řídicím segmentem (např. v důsledku jeho zničení při válečných operacích). V červnu 1989 byl uzavřen kontrakt na vývoj a výrobu dalších družic, označovaných jako Blok IIR. Tyto družice jsou dále zdokonalené, jsou opět schopné autonomního provozu až po 180 dní, navíc jsou schopné mezi sebou komunikovat a určovat svoji vzájemnou vzdálenost. Díky tomu je možné snadněji detekovat anomální stavy družic a signalizovat je uživatelům bez zásahu řídicího segmentu. 8. prosince 1993 bylo dosaženo počátečního operačního stavu, což znamená, že v kosmickém segmentu bylo družicemi osazeno všech plánovaných 24 pozic, všechny družice fungovaly bezchybně, poskytovaly standardní polohovou službu a provozovatel systému oznamoval plánované změny provozního stavu družic civilním uživatelům 48 hodin předem. 3. března 1994 byl splněn předpoklad pro přechod systému GPS do plného operačního stavu – v kosmickém segmentu bylo rozmístěno 24 družic Bloku II/IIA. Tohoto stavu pak bylo dosaženo 17. července 1995 [11].

4.1.4 Čtvrtá etapa

Čtvrtá etapa probíhá od 17. července 1995 do dnes. V podstatě se jedná o období rutinního provozu a využívání systému GPS. V tomto období jsou budovány další doplňkové služby systému GPS, jako jsou systémy pro šíření diferenčních korekcí, rozvíjí se diskuse o možném rozšíření systému tak, aby bylo možné zajistit jeho integritu pro potřeby civilního letectví, diskutuje se o možném rozšíření vysílaných signálů na družicích následujícího Bloku IIF.

Nejmodernější typ družic GPS v současnosti umístěných na oběžné dráze představuje **Blok IIR**. Výroba začala v roce 1997 a poslední družice této typové řady byla vypuštěna 6. listopadu 2004. Firmou Lockheed Martin bylo vyrobeno třináct družic, ale na oběžné dráze jich pracuje jen dvanáct. První družice byla ztracena při neúspěšném startu 17. ledna 1997. Životnost družic Bloku IIR je plánována na 10 let. Největší změny oproti Bloku IIA jsou: opětovné zlepšení odstínění před kosmickým zářením, zvětšení zásob paliva pro raketové motory a přeprogramovatelný palubní počítač. Atomové hodiny jsou v družici troje, všechny s rubidiovým standardem. Nejdůležitější je ale schopnost samostatného fungování družice bez zásahu z pozemního řídicího střediska. Družice Bloku IIR spolu dokáží komunikovat, sledovat svoje pozice a korigovat své dráhy. Tato schopnost však zatím nemůže být využita, protože všechny družice by musely být typu Blok IIR. Zatím je možno u Bloku IIR využít jen schopnost 180ti denního samostatného provozu bez provádění korekcí z pozemního řídicího centra, podobně jako u družic Bloku IIA. Družice Bloku IIR byly na oběžnou dráhu vyneseny raketou Delta II z letecké základny na mysu Canaveral [5].



Obr. č. 2 Družice bloku I, II/IIA, IIR, IIF [11, 5]

	Blok I	Blok II	Blok IIA	Blok IIR
Výrobce	Rockwell Int.	Rockwell Int.	Rockwell Int.	Lockheed Martin
Vypuštění na oběžnou dráhu	II/1978 – X/1985	II/1989 – X/1990	XI/1990 – XI/1997	XI/1997 – XI/2004
Vypuštěno ks	11	9	19	12
Hmotnost (při startu)	759 kg	1 816 kg	1 816 kg	2 032 kg
Plánovaná životnost	4,5 roku	7,3 roku	7,3 roku	10 let
V současnosti v provozu	0	2	16	12
Nosič na oběžnou dráhu	Atlas E, F	Delta II	Delta II	Delta II
Inklinace dráhy letu	63°	55°	55°	55°
Atomové hodiny na palubě	1×Cs, 2×Rb	2×Cs, 2×Rb	2×Cs, 2×Rb	3×Rb
Vysílací frekvence	L1, L2	L1, L2	L1, L2	L1, L2
Funkčnost bez kontaktu s OCS – Operational Control System, kontrolní (pozemní) segment GPS.	3 – 4 dny	14 dní	180 dní	> 180 dní

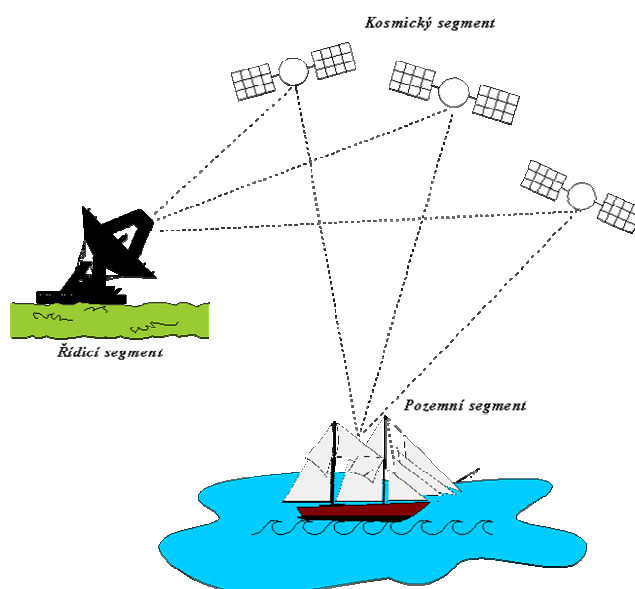
tabulka 2: Podrobnější informace o jednotlivých typech družic [5]

4.2 Struktura systému GPS

Systém GPS je tvořen třemi základními segmenty:

- kosmickým
- řídicím
- uživatelským

Ačkoliv pro správnou funkci systému GPS jsou potřebné všechny tři segmenty, lze je do jisté míry považovat za nezávislé části, které jsou dohromady svázané jen přesným časem. Přesný čas je koneckonců základním stavebním kamenem celého systému.



Obr. č. 3 Struktura systému GPS [6]

4.2.1 Kosmický segment

Kosmický segment je tvořen soustavou družic, rozmístěných systematicky na oběžných drahách a vysílajících navigační signály. Plná konstelace kosmického segmentu systému GPS sestává z 24 družic: 21 navigačních a tří aktivních záložních družic. Kromě toho by měly být další čtyři záložní družice připravené v pohotovosti na Zemi tak, aby je bylo možné umístit na oběžné dráze a uvést do plného provozu do 48 hodin. Oběžné dráhy mají stálou polohu vůči Zemi. Oběžná doba družic je přibližně 12 hodin (přesněji 11 hodin a 58 minut – polovina siderického dne). Konstelace je tvořena šesti oběžnými drahami se čtyřmi družicemi na každé z nich a sklon oběžné

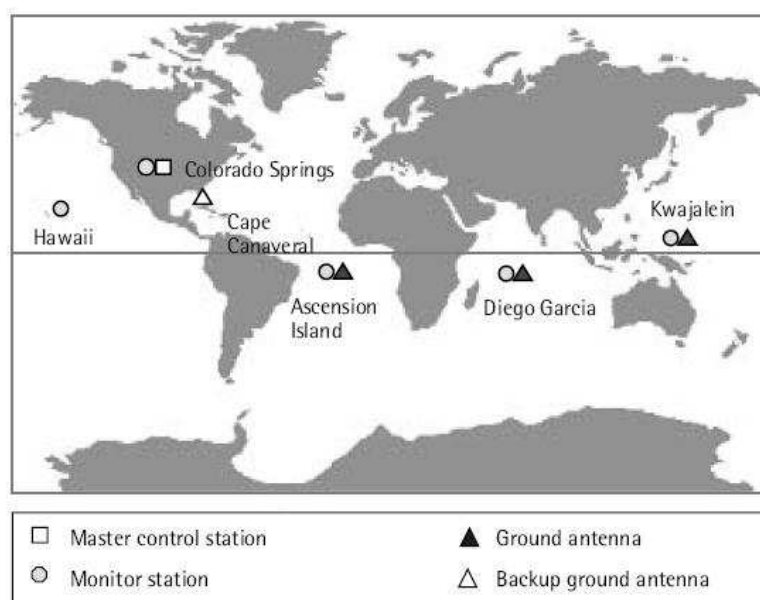
dráhy je okolo 55 stupňů vzhledem k rovníku. Toto uspořádání garantuje, že na kterémkoliv místě na Zemi jsou trvale dostupné signály z minimálně čtyř družic po celých 24 hodin. Ve většině případů je však viditelných více družic, v ideálním případě až 12. Díky kruhové oběžné dráze a relativně velké oběžné výšce je systém dlouhodobě velice stabilní a případné změny oběžných drah se dobře modelují, na rozdíl od družic umístěných na nízkých oběžných drahách. Dalo by se říci, že družice systému GPS se vyskytují v nadhlavníku pouze v pásu mezi přibližně 60 stupni severní a jižní šířky. Pokud se pohybujeme dále směrem k pólům, jsou družice systému GPS stále dostupné, ale postupně se zhoršuje jejich geometrie při měření [6]. Družice po vypuštění pracují skoro nepřetržitě, s výjimkou malých přestávek vynucených potřebou provádění periodické údržby. Jedna z takovýchto odstávek je například údržba césiových hodin, které vyžadují periodicky, přibližně dvakrát za rok, dopumpování plynové trubice, pro zajištění správného chodu. Tato operace trvá průměrně 18 hodin a po tuto dobu je družice označena jako nezdravá.

Dále je zapotřebí provést jednou do roka korekci oběžné dráhy družic z důvodu zachování plánovaného rozmístění družic v konstelaci. Každá družice totiž má tendenci postupně se vzdalovat z vyhrazené polohy na oběžné dráze. Důvodem jsou například změny gravitačního pole Země apod. Družice jsou v průběhu tohoto manévru odstavené v průměru po dobu 12 hodin.

V současné době je v kosmickém segmentu umístěno celkem 28 družic a všechny vysílají navigační signály, což znamená, že se již nevyužívá mechanismu aktivních záloh. Tento počet aktivních družic by mohl budit zdání výrazně zvýšené robustnosti systému GPS, nicméně je faktem, že až příliš mnoho z nich (15) se nachází ve stavu, kdy jsou již poškozeny všechny redundantní systémy a první další porucha bude znamenat vyřazení družice z provozu. Nejspíš i z tohoto důvodu bylo v poslední době rozhodnuto o snížení počtu družic Bloku IIF a urychlení zavedení nové generace družic Bloku III.

4.2.2 Řídicí segment

Řídicí segment je zodpovědný za řízení celého globálního polohového systému. Z uživatelského hlediska je jeho hlavním úkolem aktualizovat údaje obsažené v navigačních zprávách vysílaných jednotlivými družicemi kosmického segmentu. Řídicí segment je tvořen soustavou pěti pozemních monitorovacích stanic umístěných na velkých vojenských základnách americké armády (Havaj, Kwajalein, Diego García, Ascension a Colorado Springs). V Coloradu na letecké základně Schriver (Schriver Air Force Base) nacházející se v Colorado Springs je umístěna i hlavní řídicí stanice (angl. Master Control Station – MCS). Kromě toho řídicí segment zahrnuje ještě tři stanice pro komunikaci s družicemi (angl. ground antenna), které jsou umístěné na vojenských základnách Kwajalein, Diego García a Ascension a které umožňují vysílat na družice údaje o jejich oběžných drahách, nastavovat hodiny, aktualizovat navigační zprávy a které umožňují také ovládání družic. V případě poruchy některé z těchto stanic je možné využívat i středisko na Cap Canaveral, sloužícím jinak jen pro přípravu družic na vypuštění [8]. Každá družice může obdržet aktualizované údaje i několikrát denně. Na obr. 4 je mapa rozmístění těchto stanic (vyznačují je červené trojúhelníky). Pozemní monitorovací stanice jsou bezobslužné, jsou řízené dálkově z hlavní řídicí stanice.



Obr. č. 4 Mapa rozmístění pozemních monitorovacích stanic, antén a záložních antén [9]

V podstatě se jedná o velice přesné GPS přijímače, doplněné o vlastní atomové hodiny. Tyto přijímače jsou schopné sledovat všechny aktuálně viditelné družice (až 11 družic současně). Veškerá prováděná měření jsou dvoufrekvenční. Tyto stanice neprovádějí prakticky žádné zpracovávání přijatých dat, pouze určují prosté zdánlivé vzdálenosti k družicím a ty spolu s přijatými navigačními zprávami přenášejí do hlavní řídicí stanice [6]. Zde jsou na základě přijatých výsledků měření vypočítány přesné údaje oběžných drah (tzv. efemeridy) a korekce atomových hodin pro jednotlivé družice a přeneseny na stanice pro komunikaci s družicemi, které minimálně jednou denně vysílají efemeridy a údaje o nastavení hodin na jednotlivé družice. Tyto družice pak vysílají prostřednictvím radiových signálů efemeridy svých oběžných drah a přesný čas do GPS přijímačů. Přesnost určení oběžných drah družic na hlavní řídicí stanici se pohybuje kolem 1.5 metru [10]. (Parametry oběžných drah družic jsou nezávisle určovány i jinými organizacemi, často na bázi fázových měření. Příkladem může být International GPS Service (IGS), která je schopná do čtrnácti dnů produkovat parametry oběžných drah družic s přesností až 3 cm [18]).

Uvádí se, že v případě vojenského útoku je systém GPS vcelku málo zranitelný. Hlavní řídicí stanice je umístěna v opevněném bunkru ve Skalistých horách a má speciální ochranu.

Družice jsou od Bloku II chráněny před elektromagnetickým impulsem vyvolaným kosmickým jaderným výbuchem. Navíc jsou tyto družice schopné dlouhodobého autonomního provozu. Snadno zranitelné proto jsou jen stanice pro komunikaci s družicemi, přesněji jejich antény. Monitorovací stanice umožňují sledovat družice GPS jen po zhruba 90 % času. Zbylou dobu jsou družice mimo dosah řídicího segmentu .

4.2.3 Uživatelský segment

Uživatelský segment se skládá z GPS přijímačů, uživatelů a vyhodnocovacích nástrojů a postupů. GPS přijímače provedou na základě přijatých signálů z družic předběžné výpočty polohy, rychlosti a času. Pro výpočet všech čtyř souřadnic (x, y, z, t) je zapotřebí přijímat signály alespoň ze čtyř družic. Tyto přijímače jsou používány pro navigaci, určování polohy, měřictví, určování přesného času, ale i pro jiné účely:

- Navigace ve třírozměrném prostoru je základní úlohou GPS. Navigační přijímače jsou vyrobeny pro letadla, lodě, pozemní vozidla, pro kosmická tělesa a také v ručním provedení.
- Přesné určování polohy je možné při použití referenčních přijímačů umístěných na místech o známé poloze, které pak umožňují získat korekce pro opravu výpočtů z mobilních stanic. Příkladem užití pak mohou být měřické práce, vytyčování geodetických sítí, měření spojená s tektonikou litosférických desek apod.
- Dalším možným použitím GPS je poskytování přesného časového signálu a případně i kmitočtového standardu. Speciální k tomuto účelu vyvinuté GPS přijímače pak umožňují pro potřeby astronomických observatoří, telekomunikačních zařízení a laboratoří všeho druhu nastavit přesný čas a případně i přesnou frekvenci. GPS signály je možné použít i k výzkumným účelům, například pro studium parametrů atmosféry.

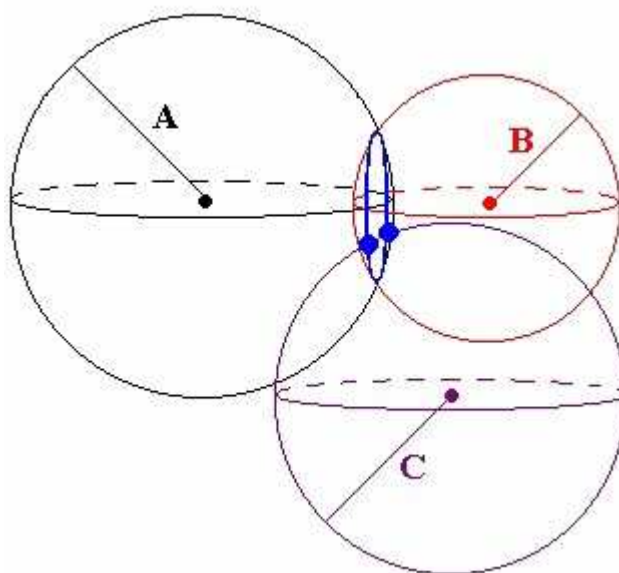
-více viz kapitola 7.

Jak určí GPS polohu?

Samotný princip určení polohy je docela jednoduchý. Přijímač si nejprve vypočte vzdálenost, která jej dělí od několika okolních družic, a to z doby cesty signálu a z rychlosti světla včetně započítání vlivů atmosféry. Princip přesného určení polohy je naznačen na obrázku níže. Pokud tedy zná přijímač zatím jen vzdálenost k jedné z družic, předpokládá dle pravidel geometrie, že sám leží někde na plášti koule s poloměrem rovným dané vzdálenosti, jejíž střed tvoří daná družice, na obrázku např. koule A. Pokud ale zná vzdálenost i k jinému satelitu, např. B, může vypočíst průnik

povrchů koule, což je už jen kružnice. Se třetí koulí se možnost polohy zúží pouze na dva body, přičemž jeden z nich leží buď vysoko v prostoru nebo hluboko v Zemi a může se škrtnout [12].

Tomuto postupu se říká trilaterace. V praxi je situace oproti modelovému příkladu složitější, protože s měřením a počítáním vzdáleností vznikají nepřesnosti. Proto se k určení polohy používá vždy nejméně čtyř družic. Chyby mohou vzniknout jednak odchýlením se od skutečné hodnoty rychlosti šíření signálu atmosférou, ale také samotnou družicí, pokud pošle nesprávné či nepřesné údaje. Aby se tomu zamezilo, má každá z družic své vlastní přesné atomové hodiny. Na správnou polohu družic dohlíží také pozemní řídicí systém, který polohu a pohyb družic sleduje a koriguje.



Oraz.č. 5 Princip Trilaterace [12]

4.3. Signály GPS

Signál GPS je velice slabý. Jeho úroveň se v blízkosti Země pohybuje v řádech deset na minus šestnáctou wattů. Jen pro přibližnou představu, v literatuře se taková energie přirovnává k úrovni světelného záření žárovky 25 W pozorovaného ze vzdálenosti 11 000 mil. Takový slabý signál je utopen hluboko v lokálním elektromagnetickém rušení, což ale není na závadu díky systému rozprostřeného spektra, jež dovoluje restaurovat i podobně zarušený signál. Tato koncepce má svůj původ v období studené války, kdy se USA snažily systém skrýt před tehdejšími ruskými protivníkem. Další důvod je také omezený přísun elektrické energie, kterou družice

čerpají ze solárních panelů. Nevýhodou pro uživatele je však to, že přijímač GPS si žádá nejlépe přímou viditelnost na oblohu. Slabý signál je špatně dostupný v budovách a podléhá atmosférickým vlivům [12].

4.3.1 C/A kód

C/A kód vzniká kombinací výstupů ze dvou registrů tak, že výsledná hodnota je výsledkem jejich binárního součtu. Je modulován pouze na nosné vlně L1 a není nikterak šifrován, což umožňuje jeho příjem i neautorizovaným uživatelům. (Autorizovaný uživatel – má přístup k vojenským kódům GPS. Jde především o ozbrojené složky USA a jejich spojenců. V „bezpečných“ zemích je přístup k vojenským kódům povolen i pro civilní geodetické účely) Horizontální přesnost určení polohy pomocí C/A kódu se pohybuje v řádech jednotek metrů. C/A kód je 1023 bitů dlouhý a je vysílán frekvencí 1 023 MHz, tzn., že je opakován každou tisícínou sekundy [8].

4.3.2 P kód

P kód je modulován na obou nosných vlnách L1, L2 a je určen pouze pro autorizované uživatele. Dvě frekvence používané k měření umožňují odstranění ionosférických a troposférických refrakcí, což zajišťuje velmi přesné určení polohy – geodetické přístroje GPS pracují s přesností v řádech milimetrů. Stejně jako C/A není P kód šifrován. Je vytvářen kombinací bitových sekvencí dvou registrů. První sekvence je opakována každou 1,5 s a vzhledem k frekvenci 10,23 MHz, má délku $1,5345 \times 10^7$ bitů, druhá sekvence je o 37 bitů delší. Jejich kombinací vzniká kód o délce $2,3547 \times 10^{14}$ bitů, což určuje dobu opakování P kódu na přibližně 266,4 dne. Celá délka kódu je rozdělena na 37 částí. Každé družici je na jeden týden přidělena jedna z částí P kódu, čímž je docíleno rozdílných PRNPRN Code – Pseudorandom Noise Code, pseudonáhodný fázový šum (kód). Moduluje nosnou vlnu signálu GPS, pro každou družici je unikátní. Představiteli PRN kódu jsou například kódy C/A nebo P(Y). družic. Vždy o sobotní půlnoci, kdy pro GPS začíná nový týden, dochází zároveň i ke změně vysílané části kódu. V případě fungování režimu A-SA-S – AntiSpoofing, způsob ochrany vojenského P kódu GPS před případným podvržením nebo zneužitím nepřítelem. Bez použití režimu A-S není P kód nijak šifrován a není tak zaručena jeho stoprocentní autentičnost a integrita. Z tohoto důvodu je režim A-S je neustále zapnut a místo P kódu je vysílán šifrovaný Y kód. Klíčem k jeho rozluštění je W kód,

podporovaný pouze v autorizovaných přístrojích, které z Y a W kódů vytvoří P kód použitelný pro navigaci je P kód šifrován pomocí Y kódu (proto se také někdy označuje jako P(Y) kód), který vzniká jako součet P a W kódů. P kód tedy získáme pouze v případě, známe-li tajný W kód. S tím však pracují pouze vojenské přijímače [8].

4.3.3 Navigační zpráva

Posledním typem kódu vysílaného družicemi je navigační zpráva. Obsahuje informace o telemetrii, dráze jednotlivých družic a nejrůznější korekční data. Je vysílána frekvencí 50 Hz, její délka je 1 500 bitů a skládá se z pěti částí (subframů), každé po 300 bitech. Jednotlivé subframy jsou tvořeny desítkou třicetibitových slov. První v každém subramu je telemetrické slovo TLM, nesoucí synchronizační vzor a diagnostické zprávy. Za ním následuje slovo HOW (hand-over word), které kromě identifikačních údajů subramu a nejrůznějších indikátorů nese i časovou hodnotu TOW (time of week) platnou pro začátek dalšího subramu. Hodnota TOW představuje počet časových úseků dlouhých 1,5 s uplynulých od začátku týdne GPS. Další slova jsou určena především pro navigační data, ale najdeme zde i nejrůznější vojenská data, kontrolní údaje, data o stavu družic, informace o stavu ionosféry a další údaje.

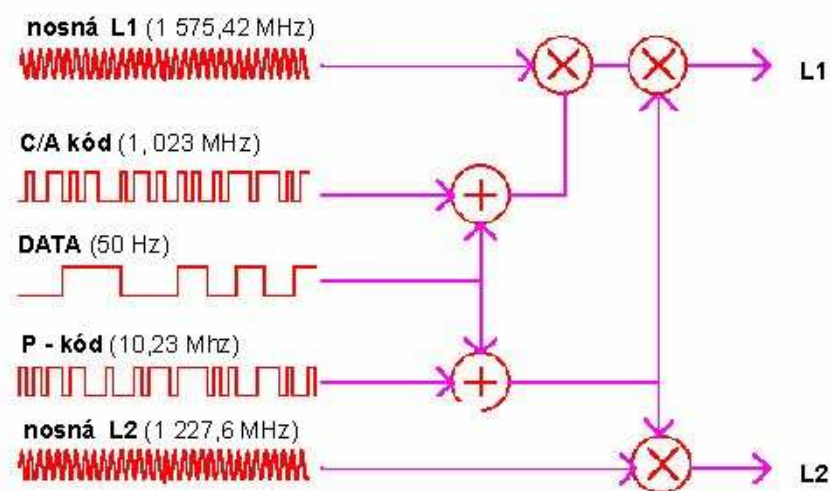
Systém GPS pracuje pouze jednosměrně, tedy družice vysílají a pozemské stanice přijímají. Pro přenos signálů družic jsou vyhrazeny dva kmitočty: první s hodnotou 1575,42 MHz a s označením L1 a druhý pak na 1227,60 MHz s označením L2. Signál je modulován kódovou posloupností, podle ní přijímač jednotlivé satelity dokáže rozlišit. Na kanálu L1 se používá kód C/A (Coarse Acquisition) a současně i kód P. Kódová posloupnost P-code se používá pro vojenské účely a pomocí ní je také zakódován kanál L2. 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 [8].



Obr.č. 6, Struktura navigační zprávy [8]

Jak vzniká signál pro oba kanály GPS je naznačeno na předchozím obrázku. Kódová posloupnost C/A popř. P datový signál nejprve rozprostře a takto upravený signál se pak modulací posune na nosnou vlnu o patřičné frekvenci. Na obrázku vedle je pak naznačeno, jaká data a v jakých časových intervalech se v systému GPS vysílají. Jedna zpráva se dělí do 25 rámců o celkovém trvání 12,5 min. Rámec o celkové délce 1 500 bitů (30 sekund) se skládá z pěti subrámců délky 300 bitů. Data se vysílají rychlostí 50 Hz [12].

Každý satelit posílá také zprávu o své poloze vyjádřenou tzv. efemeridou, což je astronomické přesné určení polohy kosmického tělesa v určitém čase, přesný údaj o čase, dále odhad zpoždění signálu v ionosféře a ještě celou řadu dalších údajů. Mimoto vysílají satelity tzv. almanach, což je vlastně databáze dalších satelitních stanic. Tuto databázi si přijímač GPS uloží do paměti ihned po přihlášení a dále si ji aktualizuje. V databázi jsou uloženy kódy okolních satelitů a i jejich přibližná poloha, z níž si přijímač umí odhadnout, kdy se zhruba mohou objevit na horizontu. Několik nejbližších kódů si pak přijímač ponechá jako aktuální a každý přijatý signál GPS s nimi porovnává. Činí tak prostřednictvím matematické operace zvané autokorelace a posouváním posloupností o jednotlivé bity vpřed či vzad. Pokud se signál nějaké družice shoduje s uloženým kódem, přijímač se na něj takzvaně zamkne. Princip je naznačen na obrázku níže. Při synchronizaci obou signálů pak přijímač dokáže spočítat dobu cesty signálu od družice [12].



Obr. č. 7 Vznik signálu GPS [12]

5 Rozdělení přijímačů GPS

Přijímač GPS je uživatelské zařízení, které přijímá a zpracovává signály GPS a na výstupu poskytuje polohu, čas, rychlost pohybu a mnohé další informace. Přijímač GPS tvoří tři základní součásti :

- anténa
- navigační přijímač
- navigační počítač

Anténa je velice důležitou součástí přijímače GPS, její výkonové parametry významně ovlivňují celkový výkon přijímače. Dnes je možné pořídit širokou škálu antén od nejlevnějších, vhodných pro malé ruční přijímače, až po špičkové antény pro velice přesná geodetická měření. Antény se liší svojí konstrukcí a z ní vyplývajících parametrů, jako je citlivost, odolnost proti rušivým signálům (vznikajícím například díky vícecestnému šíření signálů, interferenci apod.), stabilita tzv. fázového středu antény, která je důležitá především u vysoce kvalitních antén určených pro přesná měření, směrovost apod.

Navigační přijímač zpracovává signály přijaté anténou a vybírá z nich signály vysílané jednotlivými družicemi. Jejich zpracováním získává zdánlivé vzdálenosti k těmto družicím a data tvořící jejich navigační zprávy [13]. Navigační přijímač tvoří:

- vstupní jednotka
- časová základna, která navigační přijímač řídí (krystalem řízené hodiny)
- jeden nebo více měřicích přijímačů (někdy též označovaných jako vstupní kanály).
- Podle počtu vstupních kanálů dělíme přijímače na:
 - jednokanálové
 - vícekanálové
 - hybridní.

Jednokanálové přijímače jsou vybavené jen jedním měřicím přijímačem, takže při sledování více družic musí přijímač GPS postupně přepínat tento vstupní kanál na jednotlivé družice. Měření probíhá tak, že měřicí přijímač identifikuje ve vstupním signálu dálkoměrný kód požadované družice, provede nezbytné měření a pokračuje s další družicí. Jakmile provede měření na poslední dostupné družici, předá výsledky ke zpracování do navigačního počítače a ten určí polohu přijímače. Pokud probíhá přepínání mezi družicemi dostatečně rychle, je schopen současně s kódovým měřením vyhodnocovat i navigační zprávy jednotlivých družic. V opačném případě potřebuje přijímač ještě jeden kanál právě pro příjem navigačních zpráv [6].

Vícekanálové přijímače mají dostatečný počet měřicích přijímačů (pět, šest i více) tak, aby mohly současně sledovat všechny dostupné družice. V podstatě se jedná o přijímače, poskytující nejlepší služby i za ztížených podmínek. Tyto přijímače umožňují:

- rychleji vyhledat družice a začít určovat polohu přijímače
- mnohem přesněji určovat polohu přijímače, a to zvláště za pohybu
- průběžně určovat polohu i pod hustou vegetací.

Tím, že vícekanálové přijímače sledují simultánně všechny dostupné družice, mohou snadno v případě výpadku signálu některé z nich (například v důsledku zastínění stromem při pohybu v terénu) snadno použít pro určování polohy jinou kombinaci dostupných družic. Tím se jejich určování polohy stává stabilnějším. Další výhodou je, že měření prováděná na všech dostupných signálech družic probíhají ve stejném čase, což zvláště u velice dynamických aplikací (např. navigace stíhacích letounů) výrazně zvyšuje přesnost určování polohy.

Hybridní přijímače představují určitý kompromis mezi oběma výše jmenovanými, kdy přijímač je sice vybaven více vstupními kanály (dvěma, třemi), ale jejich počet je nedostačující pro sledování všech dostupných družic a proto musí být každý vstupní kanál opět přepínán mezi několika družicemi. Počet družic připadajících na jeden kanál je však nižší než v prvním případě.

Navigační počítač zpracovává data získaná měřicími přijímači a vyhodnocuje z nich aktuální polohu přijímače, aktuální čas GPS, případně rychlost pohybu přijímače a provádí další požadovaná zpracování, jako je transformace polohy do požadovaného souřadnicového systému, zavádění diferenčních korekcí apod [6].

6 Co ovlivňuje přesnost GPS

Požadavky na přesnost GPS jsou definovány v tzv. Federálním radionavigačním plánu a jsou rozlišeny na dvě základní úrovně poskytovaných služeb:

- standardní polohová služba
- přesná polohová služba.

Standardní polohovou službu mohou využívat uživatelé po celém světě bezplatně a bez omezení. Většina přijímačů je schopna signály vysílané v rámci této služby přijímat. Správce a provozovatel tohoto systému má možnost kdykoliv záměrně snížit přesnost těchto signálů zapojením tzv. selektivní dostupnosti, nicméně ani při aktivní selektivní dostupnosti nesmí chyba určování polohy překročit níže uvedené limity [6].

Požadavky na přesnost jsou definovány takto (pro pravděpodobnost 95 %):

- horizontální přesnost do 100 m (do 300 m pro pravděpodobnost 99.99 %)
- vertikální přesnost do 156 metrů
- přesnost času do 167 nanosekund.

Přesnou polohovou službu mohou využívat autorizovaní uživatelé, kteří vlastní na základě povolení kryptografické zařízení a odpovídající klíče a mají speciálně vybavené přijímače. Mezi tyto uživatele patří samozřejmě americká armáda a spřátelené armády, určité vládní agentury a vybraní civilní uživatelé, kteří získali speciální povolení vlády USA. Při udělování tohoto povolení jsou zvažovány následující podmínky [6]:

- národní zájmy USA
- schopnost uživatele zajistit utajení
- nemožnost použití jiného způsobu měření.

Požadavky na přesnost jsou definovány takto (opět pro pravděpodobnost 95 %):

- horizontální přesnost do 17.8 m
- vertikální přesnost do 27.7 metrů
- přesnost času do 100 nanosekund.

6.1. Faktory ovlivňující přesnost systému GPS

Přesnost polohy určené přijímačem GPS se může snadno pohybovat od několika desítek metrů do několika centimetrů v závislosti na použitém zařízení, použitém způsobu měření a zpracování výsledků měření, na aktuálním stavu atmosféry a na aktuální politice ministerstva obrany USA (kódování a úmyslné znepřesnění signálů) apod.

Přesnost určování polohy a času pomocí systému GPS ovlivňují následující faktory:

- řízení přístupu k signálům z družic
- vliv troposféry a ionosféry
- stav družic
- poměr signálu a šumu
- přesnost určení efemerid
- počet viditelných družic
- chyba hodin přijímače
- přesnost hodin na družicích
- pečlivost přípravy plánu měření
- vícecestné šíření
- způsob a rychlost měření a vyhodnocování.
- typ přijímače
- rozsah přesnosti měření
- geometrické uspořádání viditelných družic

6.1.1 Řízení přístupu k signálům z družic

GPS byl původně vyvíjen jako především vojenský navigační systém a proto bylo od počátku rozhodnuto, že do něj musí být zabudovány mechanismy umožňující jeho znepřístupnění neautorizovaným uživatelům. Takovéto mechanismy byly vytvořeny dva:

- selektivní dostupnost (angl. Selective Availability – SA)
- tzv. Anti-Spoofing – A-S)

1) Selektivní dostupnost

Selektivní dostupností se nazývá záměrné zavádění proměnlivých chyb do signálů vysílaných družicemi systému GPS, které má za následek zhoršení přesnosti určování polohy až k horní povolené mezi pro standardní pohovou službu (tj. do 100 m horizontálně). Tohoto efektu je možné dosáhnout dvěma způsoby [6]:

- Zaváděním předem definovaných proměnlivých chyb do efemerid vysílaných družicemi, takže neautorizovaní uživatelé pak počítají polohy družic a časové opravy jejich hodin chybně. Výsledkem tohoto zásahu jsou pomalu se měnící chyby v určení polohy družice.
- Zaváděním fluktuací frekvence hodin na družicích. Tento zásah má za následek mnohem rychlejší vývoj chyb a je zřejmý především z výpočtů rychlostí. Každý z těchto způsobů zhoršení přesnosti měření může být použit samostatně, nebo může být použita i jejich kombinace s různým poměrem vlivu.

Aktivace SA měla za následek výrazné zvětšení chyb v určování polohy, rychlosti i času. Zatímco normálně se udává přesnost určení polohy pomocí přístrojů pracujících s C/A kódem a bez použití diferenčních korekcí okolo 30 metrů, pak po zavedení selektivní dostupnosti klesla přesnost za stejných podmínek na 100 m.

Důvodem zavedení selektivní dostupnosti bylo zajištění národní bezpečnosti Spojených států amerických zabráněním zneužití systému GPS pro potřeby teroristických skupin a nepřátel USA. Příkladem může být válka v Perském zálivu, kdy Irák využíval systém GPS pro určování polohy stanovišť raket SCUD odpalovaných na Izrael. Výhodou pro nepřítele v té době bylo, že z důvodu nedostatku vojenských přijímačů GPS byly bojující jednotky spojeneckých vojsk vybaveny civilními přijímači a na dobu války byl vliv selektivní dostupnost minimalizován tak, aby bylo možné určovat polohu jednotek s potřebnou přesností [15].

Při znalosti speciálního dešifrovacího kódu lze v přijímači SA potlačit. Tento kód mají k dispozici tzv. autorizovaní uživatelé, ke kterým patří kromě armády USA i spojenecké armády a některé americké civilní agentury. Všichni tito uživatelé mohou pomocí tohoto kódu eliminovat jednak vliv SA a jednak i anti-spoofing. Těmto uživatelům je tedy v plném rozsahu přístupná přesná polohová služba .

Velmi zlomovým datem pro další rozvoj systému je bezesporu 1. květen 2000, kdy Americký prezident Bill Clinton ukončil o půlnoci na 2. května úmyslné snižování přesnosti signálů chybou SA. Znamenalo to, že uživatelé již mohou určovat svoji polohu až desetkrát přesněji, než mohli předtím. Spojené státy tímto až do roku 2006 přerušily užívání selektivní dostupnosti s každoročním posouzením jejího nasazení.

Zatímco okamžitá přesnost měření se pohybovala v řádu desítek metrů (např. provozovatel zaručuje, že 95% měření nemělo překročit odchylku 100 metrů v horizontální složce), dnes jsou to jednotky metrů (95 % měření by nemělo překročit hodnotu 21 m). S využitím diferenčního měření se lze dostat při několikaminutových statických observacích na každém bodě do oblasti decimetrů, v horizontální složce do 5 metrů) [16].

Vypnutím SA nastala doslova k exploze aplikací geoinformačních technologií a teprve poté se ukazuje masovému trhu skutečný potenciál geoinformačních technologií, především ve vztahu ke službám závislým na reálné poloze a jiným mobilním aplikacím analýz prostorových dat apod.

2) Anti-Spoofing

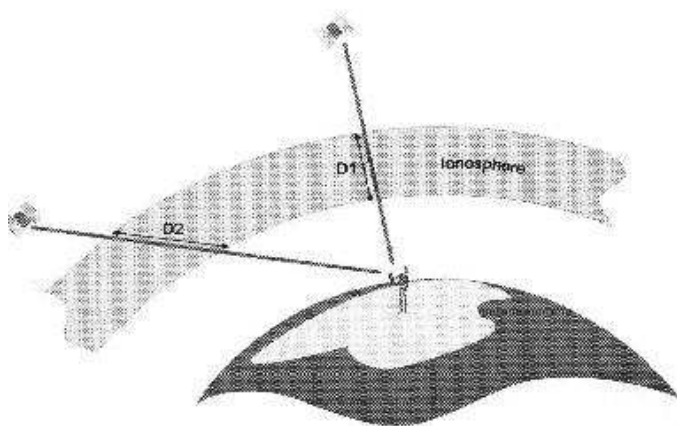
V případě války se počítá s tím, že by nepřítel mohl začít vysílat klamné signály, které by napodobovaly navigační signály družic GPS, ale měly by samozřejmě buďto zcela chybný obsah, nebo by cíleně ovlivňovaly určování polohy ve shodě se svými taktickými záměry.

Tomuto se říká v angličtině spoofing. A-S byl aktivován dne 31.1.1994 a od té doby je P-kód prakticky nedostupný. Aktivace Anti-Spoofingu (A-S) znamená, že je průběžně šifrován P-kód (pak hovoříme o Y-kódu). Tím je výrazně omezena možnost manipulace se signály systému GPS ze strany nepřítele. Ke ztrátě přesnosti dochází v důsledku tohoto opatření proto, že v rámci civilních aplikací v podstatě odpadne možnost využití P-kódu. Tím nelze v reálném čase určovat zpoždění signálů při průchodu ionosférou. Navíc P-kód není náchylný na šumy a je i odolnější proti interferencím a tím je jeho ztráta citelnější [6].

6.1.2 Vliv troposféry a ionosféry

Když prochází družicový signál ionosférou, může se zpomalit a posunout podobně, jako když světlo prochází skleněnou deskou. Atmosférická refrakce je závislá na změně rychlosti signálu v důsledku větší hustoty vzduchu (rychlost světla je konstantní pouze ve vakuu). Ionosféra nepůsobí konstantně na signál. Je zde několik vlivů, které refrakci ovlivňují.

- a) Výška družic nad obzorem.- Signál z nízko letící družice je ovlivněn více než signál z družice letící blízko zenitu. Je zřejmé, že se musí zvětšit vzdálenost, když signál prochází atmosférou [17].



Obr. č 8 Vliv výšky družice na velikosti refrakci [17]

- b) Hustota ionosféry je závislá na slunci. – V noci je vliv ionosféry velmi malý. Ve dne roste vliv Slunce na ionosféru a zpomaluje signál. Hodnota hustoty ionosféry je závislá na sluneční aktivitě, která má jedenáctiletý cyklus. V roce 2000 probíhalo její maximum. Vedle toho se také může nahodile vyskytovat sluneční bouře a také působit na ionosféru [17].

Ionosférická refrakce se může potlačit dvěma metodami [17]:

- první metoda odstraňuje průměrné snížení rychlosti světla při průchodu ionosférou. Tento korekční faktor může být aplikován pouze na průměrný stav ionosféry, které se však v čase mění. Tato metoda není optimálním řešením pro snížení vlivu ionosférické refrakce.
 - druhá metoda se používá u „dvoufrekvenčních GPS přijímačů“. Takový přijímač měří na frekvencích L1 a L2. Je známo, že rádiový signál při průchodu ionosférou je zpomalen nepřímo úměrně své frekvenci. Proto když jsou přijaté signály srovnány, můžeme udělat přesný odhad jejich zpoždění. Je třeba zdůraznit, že to je možné pouze u dvoufrekvenčních přijímačů a že většina přijímačů pro navigační využití jsou jednofrekvenční.
- c) Také vodní pára působí na GPS signál. Vodní pára obsažená v atmosféře působí také na GPS signál. Tento vliv, který vyvolává chybu v poloze, může být snížen užitím atmosférických modelů

6.1.3 Přesnost systému GPS

Všechna měření s využitím systému GPS, ať už se jedná o kódová nebo fázová měření, případně měření dopplerovská, jsou zatížena celou řadou náhodných i systematických chyb. Výsledná chyba měření je dána součtem velikostí jednotlivých chyb. Dosažení požadované úrovně přesnosti je snad nejběžnějším požadavkem na navigační systém. Tento parametr popisuje, jak dobře se naměřená hodnota (například poloha) shoduje se správnou hodnotou (např. polohou určenou geodeticky). Jako chybu měření pak označujeme rozdíl mezi naměřenou a správnou hodnotou. Pokud provedeme sérii opakovaných měření stejné hodnoty a spočítáme průměr z naměřených hodnot, pak by v ideálním případě měl být výsledek roven správné hodnotě. Pokud tomu tak není, říkáme, že je měření zatíženo systematickou chybou. Velikost této odchylky pak charakterizuje míru nepřesnosti měření. Jako v kterémkoliv jiném měřicím systému, tak i v systému GPS existují meze přesnosti, s kterou je možné provádět měření. Tyto meze jsou dány konstrukčním řešením, fyzikálními zákony a způsobem použití [6].

Systém GPS umožňuje určovat polohu s přesností sahající řádově od stovek metrů až po milimetry v závislosti na použitém technickém vybavení, metodě měření, vlastnostech prostředí, kterým se šíří signály z družic, způsobu vyhodnocování měření apod.

Každé měření je zatíženo určitými chybami. Uživatelé se pak snaží tyto chyby z výsledků odstranit. To lze provést dvěma způsoby:

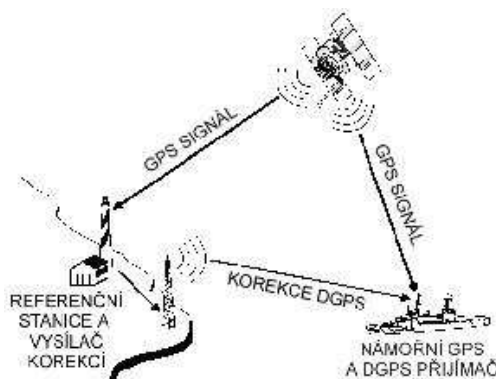
- přímým odečtením chyb z měření. Tyto korekce jsou prováděny pomocí (často velice složitých) matematických modelů vzniku a chování těchto chyb (např. korekce hodin družic, pravidelná korekce efemerid, korekce vlivu ionosféry apod.)
- použitím vhodné metodiky měření, která umožní eliminovat některé chyby, aniž bychom je museli přesně matematicky popisovat (např. diferenční měření).

6.2 Princip diferenčního měření

Technologie DGPS je založena na principu relativního měření dvou GPS přijímačů. Jeden z přijímačů, označovaný jako báze nebo referenční stanice je po celou dobu umístěn na souřadnicově přesně určeném bodě, s druhým přijímačem se provádějí vlastní měření. Protože bazová stanice zná své přesné souřadnice, může některé chyby GPS účinně redukovat. Báze může při měření porovnávat právě vypočtenou vzdálenost z GPS měření k družici se vzdáleností vypočtenou ze známé pozice. Takto může kontinuálně určovat rozdíly vzdáleností ke všem viditelným družicím a tyto rozdíly označované jako diferenční korekce zavádět do měření mobilní jednotky. Diferenční korekce mohou být do měření mobilní jednotky zaváděny buď přímo okamžitě nebo dodatečným zpracováním, tzv. postprocessingem. DGPS měření v reálném čase vyžaduje přenosové zařízení (např. radiomodem), existuje možnost využít veřejně poskytovaných korekcí zpravidla od komerčních subjektů. Pak stačí zakoupit dekodér korekcí a zaplatit poplatek za příjem korekcí na určité časové období. Dodatečné zpracování korekcí se používá především v oblasti mapování a sběru polohových dat, kdy není vyžadována znalost zpřesněné polohové informace v reálném čase. Uživatel potřebuje speciální software, který umožňuje přesnost měření dále zvýšit např. eliminací nejméně kvalitních měření na bodě [11].

Aby byly diferenční korekce účinné, musí být co nejvíce aktuální – jejich stáří v případě přenosu v reálném čase by nemělo přesáhnout řád prvních desítek vteřin, limitující je taktéž mezní vzdálenost báze-mobilní jednotka (cca do 200 kilometrů).

Přesnost diferenčního měření záleží na řadě faktorech – na použitém GPS přijímači, zda se měří okamžitě v reálném čase nebo s krátkými statickými observacemi na každém bodě, atd. Obecně se udává v rozpětí 1-5 metrů, v nejlepších případech se lze dostat i na hranici 0,75 metru (střední polohová chyba).



Obr. č. 9 Princip diferenčního měření [11]

7 Dostupnost signálů GPS

Dostupností se rozumí schopnost poskytovat požadované signály, funkce a služby v zadané oblasti na počátku zamýšlených operací. Ve většině případů se dostupnost systému rovná dostupnosti signálů a je vyjadřována procentem času, po který jsou signály dostupné pro použití. Dostupnost může být samozřejmě ovlivněna nejen technickými parametry systému GPS (jako je například vysílací výkon), ale i vlivy prostředí, jako jsou anomální atmosférické podmínky, interference signálů, apod. Pro standardní polohovou službu systému GPS je stanoveno, že bude dostupná přinejmenším po 99.85 % času. Tato hodnota je stanovena jako globální průměr za celý povrch Země. To znamená, že mohou existovat oblasti (s relativně větší rozlohou), kde je tato služba dostupná po 100 % času, zatímco v jiných oblastech (s relativně menší rozlohou) může být dostupnost výrazně horší. Vše samozřejmě platí za předpokladu otevřeného terénu s dobrou viditelností celé oblohy [11].

Vedle technických parametrů systému GPS je dostupnost signálů dána i dalšími faktory. Signály vysílané družicemi GPS se šíří přímočaře a nemohou dost dobře pronikat vodou, zeminou, horninami, stěnami a jinými překážkami. Z tohoto důvodu nelze systém GPS používat pod vodou a v podzemí, podstatně horších výsledků se dosahuje při měření v hustém porostu a velké komplikace přináší měření v hustě zastavěných oblastech (např. historická jádra měst s úzkými uličkami). V těchto případech je dostupnost signálů systému GPS výrazně snížena až nulová. Dalším faktorem, který může výrazně ovlivnit reálnou dostupnost signálů, je i kvalita přijímače. Některé přijímače jsou například schopné měřit i v hustě zalesněném terénu (i když méně přesně), ale jiné v těchto podmínkách vůbec nepracují.

7.1 Integrita signálů

Integritou navigačního systému myslíme jeho věrohodnost, důvěryhodnost, spolehlivost. Systém může být na začátku operace dostupný a navíc můžeme předpovědět jeho kontinuitu na úrovni proklamované přesnosti. Avšak co se stane v případě, že se něco neočekávaně porouchá? Pokud by to vedlo k neakceptovatelnému zhoršení přesnosti navigace, měl by systém tuto skutečnost indikovat a dát uživateli

varovný signál. Integrita charakterizuje schopnost navigačního systému poskytnout toto včasné varování v případě, že nedokáže dodržet stanovenou přesnost.

Systém GPS při zajišťování své integrity spoléhá jednak na samokontroly zabudované přímo do družic, jednak na monitorování systému pozemním segmentem a jednak na kontrolu signálů přímo uživateli. Má tedy k dispozici jak interní, tak i externí (na systému nezávislé) mechanismy kontroly integrity systému.

Kontrolní mechanismy, zabudované přímo v družicích. Každá družice systému GPS sama monitoruje svoji činnost s cílem detekovat výskyt některých anomálií, jako jsou chyby v navigačních datech, selhání selektivní dostupnosti a anti-spoofingu a některé typy selhání družicových hodin. Pokud je detekován výskyt některé z těchto chyb, je o tom uživatel informován do šesti sekund. K chybě v navigačních datech, případně k selhání selektivní dostupnosti může dojít v důsledku modifikace paměti družice těžkými ionty kosmického záření. Družice je v takovém případě schopná do šesti sekund obnovit svoji správnou činnost [6].

Kontrolní mechanismy, realizované hlavní řídicí stanicí. Kosmický segment systému GPS je neustále monitorovaný řídicím segmentem. Všechna data jsou přenášena do hlavní řídicí stanice umístěné na letecké základně Schriever v Coloradu, USA, kde je každých 15 minut prováděna kontrola naměřených zdánlivých vzdáleností. Za určitých okolností může dojít k tomu, že je chyba detekována až po 29 minutách. Proto bylo v roce 1995 v hlavní řídicí stanici instalováno nové programové vybavení, které provádí kontroly zdánlivých vzdáleností každých šest sekund. Pokud je detekována anomálie, systém vyhlásí poplach. K reakci na něj dojde do jedné minuty. Je-li anomálie potvrzena, vyšle obsluha na družici jednoduchý příkaz, který nastaví číslo PRN na 37 – nepoužívanou hodnotu. Tato procedura je známa pod označením SATZAP a její provedení trvá maximálně pět minut. Celkově je za ideálních podmínek (dobrá viditelnost družice z některé z monitorovacích stanic a samozřejmě fungování všech monitorovacích stanic) možné vyřešit problém s integritou systému GPS do deseti minut po detekování anomálie. Následně je na družici vyslána nová navigační zpráva s nastaveným příznakem nezdravé družice a po té je na družici nastaveno původní PRN číslo. Kromě toho hlavní řídicí stanice ještě vydá zprávu NANU, která informuje uživatele o výpadku družice [6]. Bylo zjištěno, že některé GPS přijímače nevyhovují této specifikaci a jsou schopné pracovat se signály a navigační zprávou vysílanými družicí která je označena jako nezdravá.

7.2 Interference signálů

Interference, ač může významně ovlivnit výkonnost systému GPS, jedná se o jev lokální. Provozovatel systému GPS se snaží vytvořit takové podmínky, aby minimalizoval náhodný vznik interference například tím, že prosadil, aby byly frekvence systému GPS přidělené pro výhradní užití, tzn. že žádný jiný provozovatel jakéhokoliv systému nesmí těchto frekvencí použít. Úmyslné interferenci se samozřejmě nedá předejít žádným způsobem.

K interferenci signálů obvykle dojde tehdy, když přijímač přijímá současně dva signály, které se liší jen minimálně svou frekvencí, respektive fází. Obvykle způsobuje, že přijímač není schopen zpracovat užitečný signál. Interference představuje pro komunikační a navigační systémy velký problém. Nejinak je tomu i v případě systému GPS.

Možnými zdroji interference mohou být :

- emise ležící ve stejném kmitočtovém pásmu
- širokopásmový šum
- emise z blízkého kmitočtového pásma
- harmonické vlny
- záměrné rušení.

Emise ležící ve stejném kmitočtovém pásmu – zdroje potenciálních signálů způsobujících interferenci leží ve stejném kmitočtovém pásmu, ve kterém pracuje náš vysílač a přijímač. K této situaci může obvykle dojít tak, že stejné kmitočtové pásmo užívá více uživatelů, a to ať už legálně, nebo nelegálně. Jak již bylo řečeno, v případě kmitočtových pásem systému GPS se vláda USA snaží dosáhnout toho, aby frekvence využívané systémem GPS byly určeny výhradně k tomuto účelu. Důležitost splnění této podmínky lze dokumentovat na příkladu švýcarské letecké navigační služby Swisscontrol, která nahlásila zdroj interference, vysílající v pásmu vyhrazeném pro systém GPS, který způsobil problémy GPS přijímači umístěnému na letadle přibližujícím se k letišti v Luganu. Zdroj byl identifikován v sousední zemi [6].

Širokopásmový šum může pocházet z elektrických zařízení, jako jsou zapalovací systémy a obloukové svářečky, nebo velké elektromotory, jsou-li dostatečně výkonné. Tento signál se může dostat do přijímače buďto anténou, nebo přes napájení, případně datovou linkou. Emise z blízkého kmitočtového pásma – Některé signály, ač jsou vysílány zcela legálně na frekvencích, které jsou velice blízké signálům systému GPS,

mohou interferovat s těmito signály především při použití levnějších přijímačů, které mají díky snaze o snížení ceny nedostatečně odfiltrovaný vstup z antény. Například jedna loď hlásila, že její přijímač, pracující pouze s C/A kódem, přestal v přístavu Stavanger v Norsku pracovat. Problém byl způsoben mikrovlnným datovým kanálem, jehož vysílač pracoval na frekvenci 1533,005 MHz (tedy velice blízko frekvenci nosné L1, která je 1572,42 MHz) a byl umístěn asi 1 km od přístavu. Žádný další přijímač GPS, testovaný ve stejném místě, však nevykázal jakékoliv problémy způsobené zmíněným vysílačem. Harmonické vlny – Bylo hlášeno již několik případů, kdy problém způsobil signál vysílaný na frekvenci hodně vzdálené od kmitočtových pásem systému GPS, které však obsahovaly rušivou složku, zasahující právě do některého z těchto pásem [6].

Například byl hlášený případ, kdy přijímač GPS umístěný na letadle byl vyřazen z provozu díky interferenci se signálem, vysílaným dálkoměrem, pracujícím na frekvenci 1050 MHz. Signál této frekvence však byl odvozen kmitočtovým násobičem ze základní frekvence 525 MHz. Bohužel kmitočtový násobič současně produkoval i třetí harmonickou s frekvencí 1575 MHz s dostatečně velkým výkonem, schopným vyřadit z činnosti přijímač GPS. Byly otestovány tři různé přijímače a všechny byly vyřazeny z provozu. Záměrné rušení – úmyslná interference se signály systému GPS je označováno jako záměrné rušení (angl. jamming). Doposud nebyl zaznamenán případ záměrného rušení [6], snad s výjimkou testování za přesně definovaných podmínek pro potřeby vědeckých výzkumů. Systém GPS je na tom z hlediska citlivosti na interferenci o něco hůře, než systém GLONASS. Protože všechny družice vysílají na stejné frekvenci, je pravděpodobné, že interference zcela ochromí celý přijímač. V případě systému GLONASS je jistá naděje, že v případě, že je rušivý signál úzkopásmový, dojde k vyřazení signálů jen jedné nebo několika málo družic, avšak přijímač bude schopen dále určovat svoji polohu.

8. Aplikace GPS

Při vzniku GPS se jednalo o armádní projekt, takže jeho největší využití je v armádě. Používá se k navigaci letadel, lodí, vozidel a další pozemní vojenské techniky. Dále se používá k označování cílů, pro navádění raket a bomb.

Pro civilní obyvatelstvo je systém GPS rozšířen jako navigační přístroje nejčastěji do automobilů. Systém GPS je možno připojit k notebookům, PDA nebo i mobilním telefonům. Dále je hodně kvalitního softwaru pro GPS. Z důvodu jeho přesnosti je hodně používán pro orientaci například ve velkých městech, kde mapy obsahují i podrobný seznam ulic. GPS přijímače jsou taky schopné vyhodnotit jakým směrem a rychlostí se přijímač pohybuje. Jaká je jeho nadmořská výška atd. Ve vědeckých oblastech GPS slouží například k zaznamenávání pohybu ledovců, ke sledování migrace zvířat. Navigační systém může sloužit také pro ochranu cenných věcí, například památek, do kterých se moduly GPS zabudují [4].

Plánuje se použití GPS v budoucích automobilech jako například omezovače rychlosti. Podle polohy vozu se změní maximální povolená rychlost vozidla.

Systém GPS má dnes již široké využití jak v sektoru vojenském, pro který byl původně koncipován, tak i v sektoru civilním kde hlavně v poslední době zaznamenal široké uplatnění. Ve vojenské sféře jsou GPS přijímače ve stíhacích letadlech, tancích, vrtulnících, terénních vozidlech a ve výbavách vojáků. Dále existují vojenské přijímače signálu používané pro umístování cílů, navádění letecké podpory a navigaci tzv. chytrých zbraní.

V civilním sektoru má GPS uplatnění např. v letectví, v geodézii, v zemědělství, v námořní i pozemní dopravě, v kosmonautice aj., ale i pro běžné zákazníky pro které je GPS moderní „hračkou“ pro dospělé. S GPS je možné zaměřit místo, kde jste v neznámém městě zaparkovali auto, je možné vytvořit si svou vlastní schematickou mapku okolí pro použití např. tisk či web. Je možné vypočítat výměru parcely tak, že ji obejdete, či objedete autem.

Uživatel nemusí stále komunikovat se satelitem, a proto může GPS používat neomezený počet uživatelů.

8.1 Letecká doprava

V civilním letectví je satelitní navigace vyžívána snad nejintenzivněji ze všech oborů. Při letecké navigaci je pomocí GPS přijímačů používáno satelitů jako přesných referenčních bodů, aby bylo triangulací možno určit přesnou polohu na Zemi nebo v její blízkosti. V dopravních letadlech zatím není možno použít systém GPS pro navigaci ve všech fázích letu, stále ještě mají prioritu pozemní navigační zařízení. Vzhledem k technickému pokroku a nesporných výhodách satelitní navigace není daleko doba, kdy se GPS v civilním uplatní v ještě mnohem širším měřítku, než je tomu nyní. Při zajištění dostatečné spolehlivosti budou za několik málo let klasické přístroje, kterými jsou letouny vybaveny, tvořit pouze kontrolní, nebo záložní zdroje informací a hlavním zdrojem bude přístroj GPS.

8.2 Geodezie

Družicová navigace může být využívána v základních zeměměřičských úkolech jako je vyměření trasy či plánování infrastruktury v urbanistických centrech.

Dále vyhledání trigonometrických, polygonových a jiných bodů, zjednodušení a zrychlení práce při vytvoření místopisu, přebírání např. trasy u liniové stavby apod. S touto technologií mohou dva lidé vyměřit desítky bodů během jediné hodiny.

8.3 Pozemní doprava

Vlastnosti satelitního systému ve spojení s jinými komunikačními a počítačovými systémy řízení jsou velmi užitečné pro propojení několika druhů dopravy. Bude to jako přidání nového rozměru v podobě automatických lokalizací a navigace jednotlivých vozidel.

To umožní automatické vybírání poplatků na dálnicích, přepravní společnosti budou schopny efektivněji plánovat přepravu zboží a široká veřejnost bude na základě všeobecně dostupných informací lépe plánovat a provádět své osobní cesty.

To vše bude možno realizovat v rámci integrovaného dopravního systému.

Již dnes je GPS používán pro navigaci po silnicích a cestách, statistiku maximální a průměrné rychlosti, možnost ukládání trasy se zpětnou navigací, ukládání vlastních bodů a tras aj.

8.4 Zemědělství

Používání satelitní navigace GPS u zemědělců v rámci přesného zemědělství k monitorování aplikace hnojiv a pesticidů, není sice zatím příliš rozšířené avšak v některých zemích není ani takovéto nasazení této technologie výjimkou.. Poskytuje informace o tom jak a kde orat a sklízet, pomáhá označovat oblasti nákazy či plevelu. Dále slouží pro možnost kontroly výměry pozemků např. při zavlažování, sklizni a podobných službách, které se platí podle rozměru obhospodařované půdy.

8.5 Železnice

Mnoho železničních systémů je realizováno na jednokolejných tratích, proto je důležité znát polohu jednotlivých vlaků. To proto, aby se předešlo kolizím, byla známa hustota provozu a snížila se zpoždění způsobené čekáním na povolení k použití trati. Existují technologie umožňující plně automatizovaný provoz vlaků za použití diferenciálních GPS, digitálních map a inertních jednotek.

8.6 Námořní doprava

Družicová navigace umožňuje navigaci na moři s modely obsahující podrobné námořní mapy, nebo ve spolupráci s klasickou mapou, funkce navigace plavby zpět po projeté trase, podmořská vyměřování, umístování bójí, určování nebezpečných míst či funkci alarmu pro případ utržení kotvy. Rybářské společnosti využívají GPS k určení poloh hejn ryb či k mapování jejich migrace.

8.7 Životní prostředí

GPS pomáhá k zaměření oblastí výskytu živelných katastrof a předvídat jejich další vývoj jako např. lesní požáry, záplavy či ropné skvrny. Dokáže také mapovat přírodní anomálie jako hurikány, tsunami apod. A nejen tím pomáhá zachraňovat lidské životy a majetek.

8.8 Bezpečnost

Lokalizace pomocí GPS je používána především záchrannou službou a dalšími složkami veřejných služeb. Určení polohy v oblasti veřejné bezpečnosti představuje další velký krok v efektivním nasazení záchranných týmů. Možnost spolehlivě

identifikovat polohy policejních aut, hasičů, ambulancí a ostatních dopravních prostředků vytváří nový a dokonalejší systém.

8.9 Rekreace

Satelitní navigace má široké uplatnění v oblasti trávení volného času.

V turistice a cykloturistice umožňuje navigaci v neznámém terénu v kombinaci s mapou i bez ní, statistika o prošlé trase, času, rychlosti apod., možnost zaznamenání trasy a zajímavých míst.

Rybářům pomáhá zaznamenat místa na vodní ploše, kde je možné pravidelně vnadit a chytat ryby, ve spojení se sonarem lze mapovat rybí hejna a jejich pohyb.

Při potápění lze zaměřit zajímavé lokality se zpětnou navigací s přesností na několik metrů. Za použití satelitní navigace dokonce můžeme relaxovat v klidu doma bez obav o to kde se právě nachází naše dítě. Pouze ho stačí vybavit přijímačem satelitního signálu v podobě náramkových hodinek a jeho polohu můžeme sledovat pomocí Internetu či mobilního telefonu, kde se informace zobrazí v podobě SMS zprávy.

8.10 Vědecké aplikace

GPS je vhodným nástrojem rovněž pro potřeby vědeckého bádání. Asi nejznámější oblastí tohoto typu jsou studie pohybu ker zemské kůry až do rozměrů kontinentů. Jinou oblastí je sledování vlastností atmosféry (ionosféry i troposféry), sledování vlivu atmosféry na šíření signálů GPS, monitorování pohybu svahů při sesuvech půdy, monitorování deformací velkých konstrukcí, jako jsou velké mosty, přehrady, výškové budovy apod.

9 Evropský Galileo

Protože Evropa nechtěla zůstat pozadu, přišla s vlastním řešením pojmenovaným Galileo. Systém Galileo, který má být plně funkční v roce 2008 a spravovaný na rozdíl od GPS civilním sektorem, bude mít 30 satelitů (z toho 3 záložní), 2 řídicí stanice a dalších 15 pozemních stanic. Měl by umožnit běžným aplikacím určení polohy s přesností cca 1 m. Celkové investiční náklady by měly být 3,6 mld Euro, roční provozní náklady od r. 2008 se odhadují na 220 miliónů Euro [19]. Navigaci v brzké době nalezneme také v mobilních telefonech pod označením AGPS (Assisted GPS), který se od klasické GPS bude lišit v několika drobnostech. AGPS přijímač bude vlastně mobilní telefon s integrovanou GPS anténou. GPS přijímač ovšem nebude načítat almanach z družice, ale poskytne mu je telefon skrze GSM síť. Kromě něj navíc telefon předá GPS přijímači přepočítaná data pro korektory (slouží k zjištění doby letu signálu z GPS do telefonu). Na základě polohy vysílačů GSM signálu se zjistí přibližná zeměpisná poloha telefonu a podle toho se mu zašlou informace o GPS družicích a další data. Díky nim pak není potřeba získávat signál minimálně ze čtyř družic, ale jen ze tří – zbytek dodá mobilní operátor.

Evropský program GALILEO je společnou iniciativou Evropské komise a Evropské kosmické agentury. Projekt byl zahájen dne 19.7. 1999.

Evropská komise - Generální ředitelství pro dopravu a energetiku (EC DG TREN) nese politickou odpovědnost za projekt a stanovuje klíčové požadavky na systém. Také poskytuje právní, institucionální, certifikační a standardizační podporu.

9.1 Financování programu

Program GALILEO je financován z rozpočtu EU pro Trans-evropské dopravní síť (TEN-T) a z rozpočtu Evropské kosmické agentury. Do tohoto programu bude investovat také soukromý sektor. Je tak využit způsob investování, tzv. PPP - Public Private Partnership, který spočívá v partnerství mezi veřejným a soukromým sektorem.

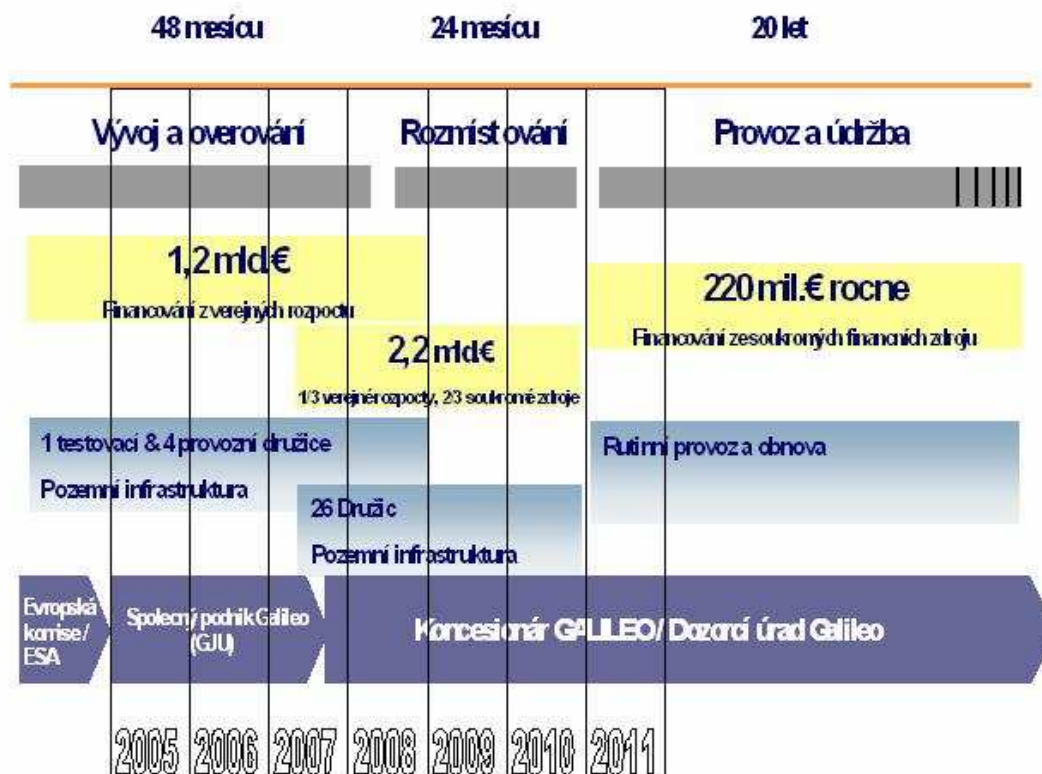
9.2 Fáze programu

Pro zajištění vývojové fáze programu byl v r. 2003 zřízen "Společný podnik GALILEO" (GJU - Galileo Joint Undertaking), jehož cílem je dokončení vývojové fáze programu (2002-2005).

Pro provozování systému ve čtvrté fázi udělí GJU v průběhu roku 2006 koncesi spojeným konsorciím EURELY a iNavSat (oficiální název: Sloučené konsorcium). Koncesionář bude podléhat kontrole Evropské úřadu pro dohled nad GNSS, zda dodržuje podmínky stanovené v koncesní smlouvě. Úřad je právnickou osobou a dohled nad jeho činností bude vykonávat Správní rada, do které nominují jednotlivé členské státy EU svého zástupce.

Společný podnik GALILEO by měl svou činnost ukončit společně s ukončením fáze vývoje a ověřování. Následně by měl jeho další činnost převzít Evropský úřad pro dohled nad GNSS. V důsledku časového zpoždění výzkumné a ověřovací fáze a z důvodu zmírnění navyšování financí z důvodů prodloužení výzkumu je navrženo zrušení GJU do konce roku 2006 a přesunutí veškeré agendy GJU na Evropský úřad pro dohled nad GNSS. V průběhu roku se plánuje postupné předávání všech činností GJU a ke konci roku by měl být Úřad pro dohled nad GNSS schopen vykonávat své i získané činnosti samostatně [20].

Ve čtvrté fázi, kdy správu programu GALILEO převezme koncesionář, je financování podpořeno z několika zdrojů. Hlavním zdrojem je především prodej komerčních služeb systému GALILEO. V druhé řadě by měl koncesionář získávat výnosy z licencí a práv duševního vlastnictví v souvislosti s různými komponenty systému. Třetím zdrojem financování by měla být Evropská investiční banka, která bude poskytovat dlouhodobé úvěry s určitým bezúročným obdobím. V případě čtvrtého zdroje jsou některé třetí země připraveny na základě uzavřených mezinárodních smluv finančně přispívat do programu GALILEO [20].



Obr. č. 10 Časový harmonogram evropského programu Galileo [20]

9.3 Služby co přinese Galileo

Galileo přinese tři druhy kvality služeb [22].

- Open Service (OS) bude pro každého zdarma. Jeho signály budou využívat 2 pásma: 1164–1214 MHz a 1563–1591 MHz. Přijímače budou mít horizontální přesnost lepší než 4 m a vertikální lepší než 8 m (nebo horizontálně pod 15 m a vertikálně pod 35 m při použití jednoho pásma). Protože bylo dosaženo dohody o kompatibilitě s americkým systémem, budoucí přijímače navíc budou zároveň využívat i GPS.
- Šifrovaný Commercial Service (CS) bude zpoplatněn a poskytne přesnost lepší než 1 m. V kombinaci s pozemními stanicemi může dosáhnout přesnosti až 10 cm. Bude využívat tři pásma - dvě použitá OS a navíc 1260–1300 MHz.
- Šifrované Public Regulated Service (PRS) a Safety of Life Service (SoL) poskytnou přesnost podobnou CS. Budou však odolnější proti rušení a budou schopny detekovat problémy do 10 sekund. Využívat je budou ozbrojené

složky a dopravci, u kterých by ztráta přesnosti mohla ohrozit lidské životy (řízení letového provozu...).

Kromě uvedených navigačních služeb budou družice systému Galileo poskytovat i služby nouzové lokalizace v rámci celosvětové družicové záchranné služby Sarsat/Kospas. Oproti ní družice oznámí trosečníkovi, že jeho signály byly zachyceny a lokalizovány [20].

10 Závěr

Pro orientaci na cestách je možné použít mnoho metod: někdo věří své intuici, jiný si cestu pamatuje, další spoléhá na mapy, kompas, lišejníky, mravence a jiné pomůcky. Existují však zařízení, která navigaci usnadní na maximální možnou míru: přijímače satelitního navigačního systému GPS. Z prvotně vojenského a ryze profesního určení se tento systém stále více dostává mezi prostý lid. Původně vojenský navigační systém prošel úspěšnou zkouškou ve válce v Perském zálivu. Jeho pomoc byla natolik přínosná, že bylo rozhodnuto o jeho dalším rozvoji a bezplatném uvolnění pro mírové využití civilním uživatelům, tedy každému z nás. Od té doby GPS technologie obohatila řadu oborů a změnila náš pohled na navigaci. Díky stále masovějšímu nasazování do stále nových oborů a aplikací se GPS stává součástí našeho běžného života.

Oba dva hlavní globální satelitní navigační systémy GPS i Galileo (ale i ruský systém GLONAS) jsou si navzájem velmi podobné. Nicméně evropský systém jakožto nejnovější může z ostatních velmi úspěšně vycházet, poučit se z chyb předchůdců a díky použití nových technologií výrazně zvýšit přesnost určení polohy. Zatímco americký GPS a ruský GLONAS jsou původně čistě vojenské systémy později z části (tedy kontrolované a se sníženou přesností) uvolněné, oproti tomu evropský systém Galileo vzniká jako civilní. Galileo navíc neposkytuje pouze jednu možnou přesnost jako například GPS, ale hned několik úrovní přesnosti a až na nejnižší volnou verzi zaručuje danou přesnost a velmi rychlé informování o případných vzniklých výchylkách. GPS má v zásadě úrovně pouze dvě – přesnou vojenskou, běžnému uživateli nicméně nedostupnou a volnou, u které není přesnost nikterak zaručena, ba dokonce je její přesnost záměrně snižována (válka v Iráku). Úspěšný start první navigační družice systému Galileo z kosmodromu Bajkonur konečně zahájil éru postupného spouštění tohoto systému do reálného provozu a jen čas ukáže, jak úspěšně se evropský projekt Galileo uplatní v dopravě a ostatních cílových odvětvích.

Budování a provozování systému Galileo bude mít ještě jeden zajímavý efekt: významně ovlivní tvorbu volných pracovních míst v Evropě. Předpokládá se, že vývoj a výstavba systému přinese okolo 20 000 pracovních příležitostí, provozování bude znamenat 2 000 stálých pracovních míst a nové aplikace povedou až už přímo nebo nepřímo k vytvoření 100 000 pracovních míst.

Použitá literatura

- [1] Bergmann, Jak funguje GPS (2. část), článek na serveru
<http://www.komunikatory.cz>
- [2] Co je GPS?, <http://www.pegas2000.cz>
- [3] del.infe, GPS a GPS navigace – nezbytnost za 400 milionů ročně,
<http://www.samuraj.cz/samuraj/clanek/133--gps-a-gps-navigace---nezbytnost-za-400-milionu-rocne.html>
- [4] Ing. Miroslav Terč, Využití GPS ve sledovacích a navigačních systémech automobilů , SOŠ Automobilní a SOÚ Automobilní Ústí nad Orlicí , Metodická příručka
- [5] Jiří Kvapil, Kosmický segment GPS a jeho budoucnost,
http://www.aldebaran.cz/bulletin/2005_02_gps.php
- [6] Petr Rapant, Družicové polohové systémy, Vysokoškolské skriptum, VŠB-TU Ostrava, 2002
- [7]: Jelcin B., The Decree of the President of the Russian Federation. 1999.
<http://mx.iki.rssi.ru/SFCSIC/38rp-e.html>,
- [8] Control Segment. 1998. http://www.aldebaran.cz/bulletin/2005_02_gps.php
- [9] Ahmed El-Rabbany, Introduction to GPS: the Global Positioning System
- [10] Nelson, R. A., The Global Positioning System. A National Resource. 1999,
http://www.atcourses.com/global_positioning_system.htm,
- [11] GPS pro každého Picodas Praha spol. s.r.o.
- [12] Jaroslav Snášel, Už vím jak pracuje navigační systém GPS,
<http://navigovat.mobilmania.cz/clanky/Ar.asp?ARI=111127&CHID=2&EXPS=&EXPA=>
- [13] Hrdina, Z., Pánek, P., Vejražka, F., Rádiové určování polohy, Vysokoškolské skriptum, ČVUT Praha, 1996
- [14] Global Positioning System, <http://cs.wikipedia.org/wiki/GPS>
- [15] Troy E, An Introduction to GPS systém. <http://www.sss-mag.com/apps.html>,
- [16] Jiří Černý, Zrušení záměrné chyby SA,
http://www.kalimera.cz/zruseni_zamerne_chyby_sa.html

- [17] Prof. Ing. Jan Schenk, Globální polohové systémy v geodézii, CSc.VŠB TU Ostrava 2003
- [18] chipx - reboot.cz, Družicová navigace GPS, <http://www.id2.cz/popisy/gps.html> ,
- [19] vesmir.info, Evropský navigační systém Galileo má první družici, <http://www.vesmir.info/druzice/evropsky-navigacni-system-galileo-ma-prvni-druzici.htm>
- [20] Evropský program GALILEO, Internetový server ministerstva dopravy ČR, <http://www.mdcr.cz/cs/ITS-a-Dopravni-telematika/Galileo/Evropsky-program-GALILEO/>
- [21] Babčaník Jan, Jak funguje GPS? , <http://www.hw.cz/Teorie-a-praxe/ART1634-Jak-funguje-GPS.html>
- [20] Navigační systém Galileo, článek na internetovém serveru <http://cs.wikipedia.org>, http://cs.wikipedia.org/wiki/Naviga%C4%8Dn%C3%AD_syst%C3%A9m_Galileo