

Základy satelitní navigace

Adam Václavek

Bakalářská práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Adam Václavek
Osobní číslo: A12148
Studijní program: B3902 Inženýrská informatika
Studijní obor: Bezpečnostní technologie, systémy a management
Forma studia: prezenční

Téma práce: Základy satelitní navigace
Téma anglicky: The Fundamentals of Satellite Navigation

Zásady pro vypracování:

1. Vysvětlíte principy určování pozice na povrchu Země.
2. Popište užití satelitních navigačních systémů se zaměřením na bezpečnostní aplikace.
3. Pojednejte o rušivých vlivech určení přesnosti 3D souřadnic.
4. Prostudujte návaznost na klasické geodetické systémy.
5. Ukažte způsoby korekce měřených souřadnic.
6. Navrhněte laboratorní úlohu pro studium bezpečnostních technologií, systémů a managementu.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. SCHMID, Andreas. Advanced Galileo and GPS receiver techniques: enhanced sensitivity and improved accuracy. New York: Nova Science Publishers, c2009, vii, 235 p. ISBN 978-1-61209-808-1.
2. Understanding GPS: principles and applications. 2nd ed. Editor Elliott D Kaplan, C Hegarty. Boston: Artech House, c2006, xvii, 703 s. ISBN 978-1-58053-894-7.
3. MENDIZABAL SAMPER, Jaizki, Roc BERENQUER a Juan MELENDEZ. GPS: dual RF front-end receiver and design, fabrication, and test. 2nd ed. Editor Elliott D Kaplan, C Hegarty. New York: McGraw-Hill, c2009, xiv, 194 p. ISBN 00-715-9869-3.
4. BORRE, K, Roc BERENQUER a Juan MELENDEZ. A software-defined GPS and Galileo receiver: a single-frequency approach. 2nd ed. Editor Elliott D Kaplan, C Hegarty. Boston: Birkhäuser, c2007, xxi, 176 s. ISBN 978-0-8176-4390-4.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

6. února 2015

Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2015

Ve Zlíně dne 6. února 2015

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



L.S.

Ing. Jan Valouch, Ph.D.
ředitel ústavu


Prohlašuji, že

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně


.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

V práci je popsána historie určování polohy a navigace. Navazuje kapitola o metodách určování polohy, popisují se zde klasické i rádiové metody. Práce pojednává o geodetických systémech a jejich návaznosti na navigační systémy . Druhá polovina práce se věnuje obecné strukturě Globálních satelitních navigačních systémů, popisu rušivých vlivů a v poslední části detailně popisuje nově vznikající systém Galileo.

Klíčová slova: Galileo,GPS,GNSS,Souřadnice, Navigace

ABSTRACT

The work describes the history of positioning and navigation. Next chapter is about methods of positioning. There is described classic and radio methods. Thesis deals with the geodetic systems and their relation to the navigation systems. The latter half of thesis is focused on the general structure of global satellite navigation systems, description of dilution of precession and the last part describes in detail the rising Galileo system.

Keywords:Galileo,GPS,GNSS,Coordinate,Navigation

Tímto bych chtěl poděkovat doc. RNDr. Vojtěchu Křesálkovi, CSc. za odborné vedení mé bakalářské práce, cenné rady, doporučení a především za jeho trpělivost a výborný přístup.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	13
1 HISTORIE NAVIGACE A URČOVÁNÍ POLOHY	14
1.1 NAVIGACE POMOCÍ ORIENTAČNÍCH BODŮ	14
1.2 ASTRONOMICKÁ NAVIGACE	14
1.3 NAVIGACE VÝPOČTEM.....	15
1.4 RÁDIOVÁ NAVIGACE	15
1.5 SATELITNÍ NAVIGACE	15
2 METODY URČOVÁNÍ POLOHY	18
2.1 PŘÍMÉ MĚŘENÍ POLOHY	18
2.2 URČOVÁNÍ POLOHY ZA POMOCÍ NEPŘÍMÉHO MĚŘENÍ.....	18
2.2.1 Úhломěrná měření.....	18
2.2.1.1 Magnetická deklinace	19
2.2.2 Dálková měření	19
2.3 URČOVÁNÍ POLOHY POMOCÍ RÁDIOVÝCH VLN.....	20
2.3.1 Rádiové navigační systémy.....	21
2.3.1.1 Úhломěrná metoda.....	21
2.3.1.2 Dopplerovská metoda	22
2.3.1.3 Dálkoměrná metoda.....	22
2.3.1.4 Určování polohy na základě fázových měření.....	22
3 GEODETICKÉ SYTÉMY	23
3.1 KARTÉZSKÉ SOUŘADNICE.....	24
3.1.1 Vztah mezi kartézskými a geodetickými souřadnicemi	24
3.2 GEODETICKÝ SYSTÉM WGS 84	25
4 DRUŽICOVÉ NAVIGAČNÍ SYSTÉMY	26
4.1 STRUKTURA A ZÁKLADNÍ PRINCIPY DRUŽICOVÝCH NAVIGAČNÍCH SYSTÉMŮ	26
4.2 PRINCIPY URČOVÁNÍ POLOHY	27
4.2.1 Dálkoměrná metoda	27
4.3 PŘESNOST URČOVÁNÍ POLOHY SATELITNÍMI NAVIGAČNÍMI SYSTÉMY	28
4.3.1 Vliv polohy satelitů	29
4.3.2 Vliv přesnosti časové základny satelitů	29
4.3.3 Vliv chyby časové základny přijímače	29
4.3.4 Efenerida	29
4.3.5 Vliv rychlosti šíření elektromagnetický vln.....	30
4.3.6 Vliv vícecestného šíření signálu.....	30
4.4 KOREKCE MĚŘENÝCH SOUŘADNIC	30
4.5 KOREKCE	31
4.5.1 DGPS.....	31
4.5.2 Systém EGNOS.....	31
4.5.3 Zjišťování integrity	32
4.6 APLIKACE GNSS.....	33
5 GALILEO	36

5.1	MINULOST A BUDOUCNOST SYSTÉMU GALILEO.....	36
5.2	KOSMICKÝ SEGMENT SYSTÉMU GALILEO	37
5.2.1	Vnější komponenty družic	37
5.2.2	Vnitřní komponenty družic	38
5.3	ŘÍDÍCÍ A KONTROLNÍ SEGMENT SYSTÉMU GALILEO.....	39
5.3.1	Globální složka.....	39
5.3.2	Regionální složka	40
5.3.3	Lokální složka	40
5.4	UŽIVATELSKÝ SEGMENT.....	41
5.5	SLUŽBY POSKYTOVANÉ SYSTÉMEM GALILEO.....	41
5.5.1	Open Service	41
5.5.2	Commercial Service	41
5.5.3	Public Regulated Service	41
5.5.4	Search And Rescue service	42
II PRAKTICKÁ ČÁST		43
6	MĚŘENÍ JAKO ZÁKLAD PRO LABORATORNÍ ÚLOHU	45
6.1	MĚŘENÍ-DEN PRVNÍ.....	45
6.1.1	Měření pomocí statické metody	48
6.2	MĚŘENÍ DEN DRUHÝ	51
6.3	NAMĚŘENÁ DATA ZA JASNÉHO POČASÍ.....	51
6.3.1	Měření referenčního bodu	51
6.3.2	Měření ve vzdálenosti 100 cm od referenčního bodu směrem na sever	52
6.3.3	Měření ve vzdálenosti 200 cm od referenčního bodu směrem na sever	52
6.3.4	Měření ve vzdálenosti 300 cm od referenčního bodu směrem na sever	52
6.3.5	Měření ve vzdálenosti 400 cm od referenčního bodu směrem na sever	52
6.3.6	Měření ve vzdálenosti 100 cm od referenčního bodu směrem na jih	52
6.3.7	Měření ve vzdálenosti 200 cm od referenčního bodu směrem na jih	53
6.3.8	Měření ve vzdálenosti 300 cm od referenčního bodu směrem na jih	53
6.3.9	Měření ve vzdálenosti 100 cm od referenčního bodu směrem na východ	53
6.3.10	Měření ve vzdálenosti 200 cm od referenčního bodu směrem na východ	53
6.3.11	Měření ve vzdálenosti 300 cm od referenčního bodu směrem na východ	53
6.3.12	Měření ve vzdálenosti 400 cm od referenčního bodu směrem na východ	53
6.3.13	Měření ve vzdálenosti 100 cm od referenčního bodu směrem na západ	54
6.3.14	Měření ve vzdálenosti 200 cm od referenčního bodu směrem na západ	54
6.3.15	Měření ve vzdálenosti 300 cm od referenčního bodu směrem na západ	54
6.3.16	Měření ve vzdálenosti 400 cm od referenčního bodu směrem na západ	54
6.3.17	Statické měření při nabíjení	54
6.3.18	Kinematické měření:	54
6.3.19	Měření rozdílu souřadnic závislé na výšce přijímače (pod budovou).....	55
6.3.20	Měření rozdílu souřadnic závislé na výšce přijímače (nahore v kanceláři).....	55

6.4	NAMĚŘENÁ DATA ZA ZATAŽENÉHO POČASÍ.....	55
6.4.1	Měření rozdílu souřadnice závisující na výšce přijímače (nahore v kanceláři).....	55
6.4.2	Měření rozdílu souřadnice závisující na výšce přijímače (pod budovou)	55
6.4.3	Měření referenčního bodu	55
6.5	ANALÝZA NAMĚŘENÝCH DAT.....	56
7	NÁVRH LABORATORNÍ ÚLOHY	57
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	61
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ	64
	SEZNAM TABULEK.....	65
	SEZNAM PŘÍLOH.....	66

ÚVOD

Člověk měl vždy potřebu určovat svou polohu. Nejprve se pohyboval pouze v prostoru dvourozměrném, po souši a po vodní hladině, postupem času i v prostoru trojrozměrném, tedy tehdy, kdy začal létat. Potřeboval zjistit, kde se nachází – určit svoji polohu – aby se uměl vrátit po dlouhé cestě zpátky, případně se na tato místa vracet. Později samozřejmě zjistil, že na jeho místa vede více tras, jinak dlouhých, jinak bezpečných, jinak časově náročných a apod. Také přišel na to, že si chce trasy vytyčovat, a také kontrolovat, zda se po své nejlogičtější naplánované trase skutečně pohybuje. Na souši tohle nebyl úplně tak velký problém. V takovémto prostoru se nachází velká spousta orientačních bodů, podle kterých se dá snadno pohybovat. Ovšem na moři už je situace daleko složitější. Zde člověk potreboval (a i nyní potrebuje) určit svou aktuální polohu, díky čemuž potom plánuje svůj další pohyb. Využívá toho, že zná eventuální předpokládané polohy a na základě zjištěného rozdílu rozhoduje o nejlepším pokračování cesty. Po požadované trase se učil vést své dopravní prostředky – pomalu přicházel na umění a využívání navigace. Mohl se efektivně a bezpečně dostat z jednoho místa na druhé – takto se umění navigace označuje. Hojně využíváme primitivní navigaci i dnes a to každý den - po městě, obchodě apod., právě dle orientačních bodů, což si jistě už vůbec takto ani neuvědomujeme.

Prostředky určené pro navigaci jsou jiné, než prostředky pro určování polohy – ty jsou totiž daleko obecnější. Pro určování polohy je ne každý prostředek vhodný a využitelný i pro potřeby navigace. Pro velice přesné určování polohy bodů na zemském povrchu jsou používána přesná geodetická měření a vzhledem ke své časové náročnosti jsou pro potřeby navigace nepoužitelná. Vcelku dobře lze pro potřeby určování polohy používat navigační systémy. Srovnatelnost rychlosti určování polohy s rychlostí pohybu sledovaného mobilního prostředku je zřejmě nejjednodušším kritériem použitelnosti daného prostředku pro navigaci. Pokud se toto k určení polohy významně změní v průběhu doby k tomu určené, je tato metoda určování polohy z pohledu navigace úplně bezcenná a tudíž zbytečná.

Před dávnými časy člověk využíval pro potřeby navigace úhlová měření, a to k bodům na zemském povrchu nebo ke hvězdám. Dnes už se toto dělá úplně jinak – díky nástupu radiových vysílačů využíváme navigační systémy založené na vysílání a příjmu radiových signálů. Radiové vysílače byly zpočátku rozmisťovány pouze po zemském povrchu, později, s vývojem techniky nastoupily umělé družice Země a začaly se přesouvat do vesmíru – jsou to družicové navigační systémy, které se postupně s dobou vyvíjely až do podoby dnešních systémů GPS, GLONASS a GALILEO.

Jako cíl této bakalářské práce jsem si určil seznámení se s moderními navigačními způsoby, a vytvoření laboratorní úlohy pro budoucí studenty oboru Bezpečností technologií, systémů a management.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE NAVIGACE A URČOVÁNÍ POLOHY

První základy primitivní navigace a určování polohy začaly vznikat tehdy, když člověk začal pociťovat potřebu přesouvat se z jednoho místa na druhé. Později člověk potřeboval zaznamenávat významná místa tak, aby se k nim mohl později vrátit. Jak se postupem času vyvíjela civilizace, stoupaly nároky na určování polohy a navigace. Určování polohy pomocí orientačních bodů, které v té době byly přírodního charakteru (hora, velký kámen, vodní tok...), už nebyly dostačující a proto se postupem času začaly vyvíjet stále složitější metody a později i přístroje sloužící k určení přesné polohy na zemi.

1.1 Navigace pomocí orientačních bodů

Navigace pomocí této metody je založená na poznávání vyznačených bodů v terénu. Mohou to být majáky, pohoří, jezera, řeky a cokoliv od čeho se očekává, že nebude měnit svou pozici. Doprava pomocí této metody může být realizována například tak, že cesta vede postupně přes určité orientační body. Nevýhoda tohoto způsobu navigace je, že cíl cesty nemusí vždy vést přímo podél orientačního bodu.

1.2 Astronomická navigace

Jako první komplikovanější metoda určení polohy a orientace byla navigace pomocí pozorování hvězd, planet, Měsíce a dalších vesmírných objektů. Velká výhoda této metody byla ta, že šla použít na souši i na moři. Celá tato metoda je založena na tom, že vzájemná poloha hvězd a jejich geometrická konfigurace vypadá rozdílně z různých míst na zemi.

Určování polohy pomocí této metody bylo později mnohem zpřesněno díky změření vzájemných úhlů mezi hvězdami. Pro vyšší přesnost změření úhlů byly postupem času vyvinuty speciální optické přístroje. Naměřené úhly poté byly použity pro určení polohy a to za pomoci předem daných a vypočítaných grafů, které dokázali usnadnit velmi komplikovaný výpočet.

Výpočetní postup byl založen na základní triangulační geometrii. Hvězdy byly orientační body a naměřené úhly, umožnily navigátorovi určit svou polohu pomocí prvků v trojúhelníku.

1.3 Navigace výpočtem

Výchozím bodem pro tuto metodu navigace je poslední určená poloha. Například za pomoci orientačního bodu. Navigátor zakresluje tyto body do mapy v podobě navigační linie, směru pohybu a uražené vzdálenosti. Tato line je pro navigaci velmi důležitá, protože podává představu o teoretické poloze a směru pohybu. Ta se ovšem může od reálné polohy lišit a to díky tomu, že pomůcky nebo prostředky pro určování směru pohybu (gyrokompas, magnetický kompas) nereferují o přesném směru plavby, ale o natočení dopravního prostředku. Za působení povětrnostních podmínek a podmořských proudů, tak směr pohybu může být více i méně odlišný.

1.4 Rádiová navigace

Tato navigace patří k modernějším. Vznikla v polovině minulého století, kdy vědci zjistili, jak měřit vzdálenost pomocí rádiového signálu. Tato metoda je založena na měření času vyslaného signálu směrem k přijímači. Hluběji do této problematiky se dostaneme v dalších kapitolách této práce.

1.5 Satelitní navigace

Pro získání trojrozměrných souřadnic a pokrytí většího území začaly vznikat satelitní rádiové navigační systémy. Počátky satelitní navigace se vážou k začátku 60. let. V této době se námořnictvo Spojených států Amerických rozhodlo vytvořit systém pro navigaci a nesl název Navy Navigation Satellite System. Systém vznikl hlavně kvůli dlouhodobému problému s navigací ponorek a také pro usnadnění navádění balistických střel. Transit (Navy Navigation Satellite System) byl velmi odlišný od dnešního GPS a jeho provoz byl ukončen v roce 1996.

Program TIMATION (TIME/navigation) byl vytvořen v roce 1964 výzkumnou laboratoří Naval Centre for Space Technologies (NCST) a otevřel cestu ke dnešnímu GPS (Global Positioning System). Účelem programu bylo přesné určování času a jeho výsledkem bylo vypuštění prvních dvou satelitů v letech 1967 a 1969. Tyto satelity už fungovaly na principu, na kterém je založeno dnešní GPS. V letech 1974 a 1977 byly na oběžnou dráhu vypuštěny další dva satelity NTS I a NTS II (Navigation Technology Sattelites). Tyto satelity byly první, do kterých byly nainstalovány atomové hodiny, a proto se staly prototypem satelitů GPS. V rámci programu GSP NAVSTAR, jehož vznik

můžeme datovat k roku 1973, byly vypouštěny další družice. Celý systém byl pod kontrolou americké armády a jeho vznik je zobrazen v následující tabulce.

Tab.1 Výsílání satelitů systému GPS[4]

Název	Období	Počet satelitů
Blok 1	1978-1985	10
Blok 2	1989-1990	9
Blok 2 -A	1990-1997	19
Blok 2- R	1997-2004	12
Blok 3	od 2014	32

První velký test GPS byl v roce 1990 až 1991, kdy při válce v perském zálivu 16 satelitů řídilo operaci Pouštní bouře s přesností asi na 30 m.[4]

V roce 1993 se začal systém uvolňovat pro veřejnost. Signál pro civilní využití byl, ale záměrně narušován systematickou chybou, která zde byla umístěna kvůli možnému zneužití proti USA. Přesnost pro civilní přijímače tak byla omezena asi na 100. Po krátkém čase se ukázalo, že tato nepřesnost je příliš vysoká. Vypnutí systematické chyby oznámil americký prezident Bill Clinton 1. května 2000. Důvodem vypnutí byla, jak už zmíněná nevyhovující chyba (například při vykonávání záchranných operací) a také vznik nových technologií, které dokázaly snížit přesnost lokálně. V době válečného konfliktu nebo ohrožení USA by teda americká armáda mohla snížit přesnost jen na určitá území.[4]

Ruská odpověď na americkou GPS byl systém nazvaný GLONASS. Vznikl v bývalém Sovětském svazu a jeho počátky sahají k šedesátým letem. Vypouštění satelitů začalo v roce 1982, ale oficiálně systém začal fungovat až v 24.září 1993. Stejně jako americká GPS, tento systém byl určen výhradně pro armádní účely. Až ke konci roku 1996 vláda schválila civilní používání.[4]

Navstar GPS i GLONASS jsou, jak už bylo řečeno, systémy primárně určené pro vojenské účely. Ani jeden z provozovatelů neposkytuje záruku, že systém bude fungovat pro civilní potřeby i v době válečného konfliktu. Dočasné zhoršení vlastností systému by mohlo mít katastrofální důsledky pro jejich uživatele. Proto v poslední době začal vznikat nový systém. Navigační systém Galileo je primárně navržen pro civilní potřeby a bude také řízen a spravován civilní správou.

Evropský Globální družicový navigační systém Galileo, měl být původně spuštěn od roku 2010, ale jeho oficiální spuštění se neustále odkládá. Podle posledních informací je

oficiální start systému naplánován na rok 2020. Výstavbu GNSS zařítuje Evropská unie reprezentovaná Evropskou komisí a Evropskou kosmickou agenturou.[4]

Funkční systém bude mít 30 družic, 27 bude aktivních a 3 záložní. Družice budou obíhat na třech po kruhových oběžných drahách na střední oběžné dráze Země a to ve výšce 23 222 km. Každá z rovin bude mít elevační úhel 56° , a to umožní využívat navigační systém bez potíží i v nejnáročnějších podmínkách. Vysoký počet družic zajistí spolehlivou funkci systému i přes to, že některá družice přestane správně pracovat. Systém bude obsahovat 3 záložní družice (1 na každé oběžné dráze). Navigační systém Galileo umožní každému držiteli přijímače signálu určit jeho aktuální polohu s velmi vysokou přesností, v jednotkách metrů.

Systém Galileo má největší potenciál v aplikacích na dopravu (letecká, silniční, železniční, námořní říční a městská.). Dále bude nabízet velmi široké uplatnění i v dalších oblastech, kde zvýší bezpečnost a přesnost.

2 METODY URČOVÁNÍ POLOHY

Určováním polohy rozumíme postupy a technologie, které slouží ke stanovení, co možná nejpřesnější polohy v prostoru. Polohu se dá vyjádřit několika způsoby. Nejčastěji se vyjadřuje za pomoci souřadnic v určeném souřadnicovém systému. Polohu lze snadno určit měřením a to na mapě i v terénu. Existují dvě základní metody měření:

- přímé měření
- nepřímé měření

2.1 Přímé měření polohy

Tato metoda se zakládá na přímém odměření vzdálenosti podél cesty, železniční trasy nebo například podél vodního toku. Přímé měření v rovině je velmi obtížné. K tomuto účelu lze využít moderní přístroje, jako jsou například GPS.

2.2 Určování polohy za pomoci nepřímého měření

Nepřímé měření určuje polohu za pomoci měření jiných veličin, než jsou souřadnice. Používají se následující metody:

- úhломěrná měření
- dálkoměrná měření
- kombinace dálkoměrných a úhломěrných měření

2.2.1 Úhломěrná měření

Tato metoda je jedna z nejrozšířenějších. Metoda spočívá ve změření azimutu z místa, jehož polohu chceme určit k minimálně dvěma bodům, které lze najít na mapě. Lokalizovanými body pak na mapě proložíme přímky, jejichž úhly měřené od severu, přesně odpovídají naměřeným azimutům. Tyto přímky pak reprezentují všechny body, ze kterých je daný orientační bod vidět pod naměřeným azimutem. Poloha hledaného bodu se nachází v průsečíku přímek. Nevýhoda této metody spočívá v chybě určení polohy, která roste se vzdáleností od orientačního bodu.

2.2.1.1 Magnetická deklinace

Deklinací se nazývá úhel, který svírá směr určený magnetickou střílkou se zemským poledníkem v určitém místě na zemském povrchu. Je to dáno tím, že magnetická střílka buzoly ukazuje směr k magnetickému pólu, a tento magnetický pól se neshoduje se zemským pólem, což je místo, kterým prochází pomyslná zemská osa otáčení a z něhož vycházejí poledníky. Úroveň deklinace je na zemském povrchu různá, může mít jak nulovou (žádnou) hodnotu, tak i přes 100°. Rovněž úroveň deklinace na zemském povrchu není rovnoměrně rozvrstvená. Deklinace není ani stálá v čase, s průběhy let se velikost deklinace v určitém místě mění. Chce-li člověk vědět, jaká je v oblasti, kde se nachází, velikost deklinace, měl by se to dozvědět z aktuální mapy. Kvalitní mapy od poctivých výrobců mají v tiráži či legendě k mapě údaj o deklinaci uveden. V podmínkách ČR je deklinace cca 5° a při krátkých pochodech není nutné hodnotu deklinace zohlednit při plánování trasy.[1]

2.2.2 Dálková měření

Dálkoměrný systém je takový, kdy se poloha neznámého bodu určuje za pomoci bodu se známým umístěním. Situaci si můžeme představit takto: V terénu můžeme určit svou polohu za pomoci mapy a dalekohledu, který dokáže změřit vzdálenost od pozorovaného objektu. Dalekohledy, které dokáží změřit, lze rozdělit do dvou kategorií. Optické, využívající různé stupnice umístěné v jednom z okulárů a elektronické,

Při měření vzdálenosti dalekohledem bez laserového generátoru využíváme znalosti z úhломěrných měření. Jako příklad můžeme uvést následující situaci:



Obr. 1 Optické měření [2]

Používáme dalekohled s americkou stupnicí Mildot. Abychom byli schopni změřit vzdálenost, potřebujeme znát rozsah stupnice, výšku objektu, ke kterému měříme

vzdálenost a základní vztah vycházející z pravoúhlého trojúhelníku. V našem případě používáme stupnici, kde vzdálenost dvou teček je 1 miliradián (1 dílec) a rozsah stupnice je 10 dílců. Výška okna je běžně 1,1 metrů. V osnově zabírá 1,2 dílce. Použijeme vztah 1

$$s = \left(\frac{V}{d} \right) * 1000$$

kde s je hledaná vzdálenost v metrech, V je výška předmětu v metrech a d je úhel v dílcích.

Po aplikaci na náš případ:

$$s = \left(\frac{1,1}{1,2} \right) * 1000$$

Vzdálenost naší pozice od okna je 910m.

Laserový dalekohled funguje na principu vyslání infračerveného paprsku směrem k měřenému objektu a zabudovaný počítač vypočítá za pomoci rozdílu času mezi vyslaným a přijatým paprskem a vzdálenost zobrazí na zabudovaném displeji.

Dalekohledem změříme vzdálenost ke dvěma význačným objektům. Tyto objekty vyhledáme na mapě a pomocí kružítka zakreslíme kružnice, které budou odpovídat změřené vzdálenosti a jejich střed se bude nacházet v pozorovaných objektech. Po zakreslení kružnice, vzniknout dva průsečíky, které označují hledanou polohu. Aby nedocházelo k nejasnostem, je potřeba najít třetí objekt a celý postup opakovat. Po zakreslení třetí kružnice, nám vznikne právě jeden průsečík.

2.3 Určování polohy pomocí rádiových vln

K určení polohy na Zemi se dají využít různé fyzikální veličiny a systémy na nich založené. Mimo jiné lze využít i rádiové vlny.

2.3.1 Rádiové navigační systémy

Tyto systémy jsou tvořeny sítí vysílačů a uživatelskými přijímači, které na základě vyhodnocování příchozího signálu určují aktuální pozici. Pro určení polohy pomocí rádiového signálu se využívá několika metod:

- úhломěrná metoda
- dopplerovská metoda
- dálkoměrná metoda
- metoda založená na měření fáze nosné vlny

2.3.1.1 Úhломěrná metoda

Úhломěrná metoda je založena na tom, že z místa (bodu) jehož polohu chceme určit, změříme buď azimuty k více radiomajákům, které jsou umístěny na povrchu Země nebo zaměříme elevační úhly ke družicím. Je i možnost měřit elevační úhel k jedné družici, ale musíme je měřit opakovaně a s časovými odstupy.

V prvním případě, tedy za použití radiomajáků, tato metoda funguje na principu, který byl popsán výše v kapitole 2.2.1 Úhломěrná měření. Jediný rozdíl je, že přímky odpovídající naměřeným azimutům, nevynášíme k význačným bodům, ale k radiomajákům. V místě, kde se tyto přímky protnou, se nachází navigační maják. Za použití určitých matematických postupů se dá vypočítat souřadnice.

V případě měření elevačního úhlu ke družicím je celá metoda složitější.

Nejprve musíme vypočítat polohu družice v okamžiku měření elevačního úhlu. Spojnice tohoto bodu se středem zeměkoule (počátkem geocentrického souřadnicového systému, používaného v rámci daného družicového navigačního systému) definuje osu kužele s vrcholem v místě družice, jehož plášť je tvořen všemi přímkami, které procházejí družicí pod naměřeným elevačním úhlem. Zkonstruujeme-li takovéto kužely pro všechna měření a nalezneme-li jejich průsečnice s povrchem zemským, případně s výškovou hladinou v níž se hledaný body nachází, pak se všechny tyto průsečnice protnou právě v hledaném bodě.[3]

Přesnost takového měření se odvíjí od přesnosti měření elevačních úhlů směrovými anténami a ta není příliš vysoká.

2.3.1.2 Dopplerovská metoda

Určování polohy pomocí dopplerovských měření se používá především při měření rádiových signálů vysílaných družicemi. Pro určení polohy se využívá změna frekvence vysílaného signálu pohybujícím se objektem. Pohybující se předmět, v našem případě družice, opakovaně vysílá signál o známé konstantní frekvenci. Tento signál nese časové značky a parametry oběžné dráhy družice. Přijímač je schopen na základě přenášených informací vypočítat polohu družice v době měření. Přijímač je schopen určit 2D i 3D polohu a to za pomoci opakovaného měření vysílaného signálu který nese všechny informace o družici.

V praxi se 2D poloha využívá hlavně v námořnictví.

2.3.1.3 Dálkoměrná metoda

Tato metoda je velmi důležitá, protože na jejím základě fungují družicové navigační systémy jako GPS, GLONASS i postupně vznikající GALILEO. Obecně se poloha neznámého bodu získává na základě vysílaných rádiových vln z vysílače na známém místě a následném měření zpoždění času, za který signál dorazí k přijímači rádiových vln, zkonstruovaného pro tento účel. Poté co signálu dorazí k přijímači, následně se vyhodnotí vzdálenost od vysílače. Pozice, na které se může nacházet přijímač, leží na kružnici se středem v místě vysílače a poloměrem který je roven vzdálenosti přijímače od vysílače. Určíme-li vzdálenost přijímače aspoň ke dvěma vysílačům, můžeme určit jeho polohu v průsečíku dvou kružnic. Kružnice se ale protínají ve dvou bodech, vzniká jistá nejednoznačnost. Abychom mohli rozhodnout, který z průsečíků přesně odpovídá hledané pozici, potřebujeme získat další informace nebo znát určitá kritéria. Například by bylo možné použít třetí vysílač, který by přesně identifikoval polohu přijímače.

2.3.1.4 Určování polohy na základě fázových měření.

Pokud spočítáme počet vlnových délek vlny v okamžiku měření mezi vysílačem a přijímačem, můžeme jednoduchým vynásobením vlny získat skutečnou vzdálenost vysílač - přijímač. Teorie je velmi jednoduchá, ale v praxi je to složitější. Vlnová délka nosné vlny se skládá ze dvou částí. Z celočíselné části, označující se jako neurčitost (ambiguita) a z desetinné části. V praxi není velký problém určit desetinnou část. Problém nastává v celočíselné části. Pro její řešení byla vyvinuta spousta postupů.

3 GEODETICKÉ SYTÉMY

Jak je obecně známo, že tvar země není koule. Popis tvaru Země pro navigační účely určuje geoid. Geoid je matematický model země. Ten vychází z elipsoidu v daném referenčním systému. Geoid lze definovat třemi způsoby: geofyzicky, geograficky a geodeticky. Geodetická definice říká: geoid je tvořen ekvipotenciální plochou, která se co nejvíce přimyká střední klidové hladině moří a oceánů a zároveň prochází daným nulovým bodem. Geoid se vůči referenčnímu elipsoidu může lišit až o 100 m. Geoid určuje na zemském povrchu nadmořskou výšku v daném výškovém směru.

Elipsoid je těleso, které vznikne rotací elipsy okolo osy, okolo jedné z os elipsy. V aplikaci na geodetické souřadné systémy je osa rotace elipsoidu stejná jako je rotační osa Země a orientované elipsy je dána shodou malé poloosy s rotační osou Země.

Rovník a nultý poledník jsou základní referenční body pro určování zeměpisných geodetických souřadnic. Tyto souřadnice přesně určují polohu libovolného bodu na zemském povrchu. Rovník dělí Země na severní polokouli a jižní polokouli. Zeměpisná šířka na severní polokouli je udávána jako kladná a na jižní polokouli je záporná. Udává se ve stupních, a nabývá hodnot $\pm 90^\circ$. Nultý poledník, procházející londýnskou observatoří v Greenwichi, rozděluje zemi na východní a západní. Východní polokoule je referovaná jako kladná a západní jako záporná. Rozsah geodetické délky nabývá hodnot $\pm 180^\circ$.

Vycházíme-li z definice referenčního elipsoidu, jehož střed je střed Země, určujeme:

- Geodetickou (zeměpisnou) šířku φ
- Geodetickou (zeměpisnou) délku λ
- Elipsoidickou výšku H

Geodetická šířka φ je úhel, který svírá rovina nulté rovnoběžky (rovník) s normálou referenční plochy v příslušném bodě na Zemi.

Geodetická délka λ je úhel, který svírá rovina místního poledníku, procházejícího určeným bodem, a rovina nultého (Greenwichského) poledníku.

Elipsoidická výška H je vzdálenost bodu od elipsoidu měřená na kolmici k elipsoidu vedené tímto bodem, která je kladná, je-li směrem nahoru nebo vně elipsoidu. Používá se pouze jako součást trojrozměrného geodetického souřadnicového systému a nikdy samotná.

Nadmořská výška je svislá vzdálenost (výškový rozdíl) určitého místa na zemi vzhledem ke hladině moře. Udává se v metrech nad mořem (m.n.m)

Pro určení zeměpisných souřadnic určitého bodu na zemi se vychází z kartézských souřadnic. Při výpočtu polohy bodu měřením navigačních signálů se nejdříve určí zeměpisné kartézské souřadnice tohoto bodu. Získané souřadnice se přepočítávají do geodetických souřadnic v příslušném referenčním souřadném systému.

3.1 Kartézské souřadnice

Počátek souřadného systému je umístěn přesně ve středu Země. Osa z je v severním směru osy rotace, osu x určuje polopřímka vedená ze středu Země směrem k průsečíku nultého poledníku a rovníku na povrchu Země. Osa y je polopřímkou od středu Země k průsečíku rovníku a devadesátého poledníku na východní polokouli ($\lambda = +90^\circ$) na povrchu Země.

3.1.1 Vztah mezi kartézskými a geodetickými souřadnicemi

Mezi kartézskými a geodetickými souřadnicemi pro polohu bodu P platí následující transformační vztahy:

$$X_p = (N_p + H_p) \cos \varphi_p \cos \lambda_p$$

$$Y_p = (N_p + H_p) \cos \varphi_p \sin \lambda_p$$

$$Z_p = [(1 - e^2)N_p + H_p] \sin \varphi_p$$

kde e je excentricita referenčního elipsoidu

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$$

N_p je příčný poloměr křivosti elipsoidu závisící na zeměpisné šířce dané polohy :

$$N_p = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi_p}}$$

Parametry a a b určují hlavní a vedlejší poloosu elipsoidu, často se uvádí vztah mezi hlavní a vedlejší poloosou jako zploštění f

$$f = \frac{a - b}{a}$$

3.2 Geodetický systém WGS 84

World Geodetic System 1984 (zkratka WGS 84 je světově uznávaný geodetický standard vydaný ministerstvem obrany USA roku 1984. Tento souřadnicový systém definuje, referenční elipsoid a geoid pro geodézii a navigaci. Nahrazuje dřívější systémy WGS 60, WGS 66 a WGS 72. [4]

V tomto systému pracuje systém určování polohy GPS a u armád NATO je standardizovaným geodetickým systémem armád NATO. Je realizovaný na základě modifikace Námořního navigačního družicového systému (Navy Navigation Satellite System, NNSS) a zároveň je WGS 84 konvenčním terestrickým systémem (CTRS). Modifikace spočívá v tom, že se počátek souřadnicové soustavy musí posunout, musí rotovat a musí změnit měřítko dopplerovského systému NSWC 92-2 tak, aby systém byl geocentrický a referenční nultý poledník byl identický se základním poledníkem definovaným Bureau International de l'Heure (BIH). WGS 84 má svůj souřadnicový systém. Je jím pravotočivá kartézská soustava souřadnic, jejíž střed je v těžišti Země (včetně moří a atmosféry) s přesností asi 2m. Kladná osa „y“ je kolmá na kladné osy x,y,z“, a to ve směru doleva (90° východní délky a 0° šířky). Kladná osa „z“ směřuje k severnímu pólu a kladná osa x směřuje k průsečíku nultého poledníku a rovníku. Takhle tvoří pravotočivou soustavu souřadnic. WGS 84 je pevně spojený se zemským tělesem a je globálním geocentrickým geodetickým referenčním systémem.

4 DRUŽICOVÉ NAVIGAČNÍ SYSTÉMY

Globální družicové navigační systémy jsou schopny poskytnout uživateli trojrozměrné určení polohy na základě rádiových signálů přenášených z družic. Všechny družicové systémy mají stanovený počet družic tak, aby zajistil dostatečné pokrytí pro celý svět. Většina dnešních navigačních systémů používá 20 až 30 umělých družic, které obíhají Zemi ve výšce zhruba 20 000 km. Nejpoužívanější a také nejznámější navigační systém je americký GPS – NAVSTAR, dále ruský GLONASS. Pro jejich nedostatky vzniká nový evropský systém GALILEO

4.1 Struktura a základní principy družicových navigačních systémů

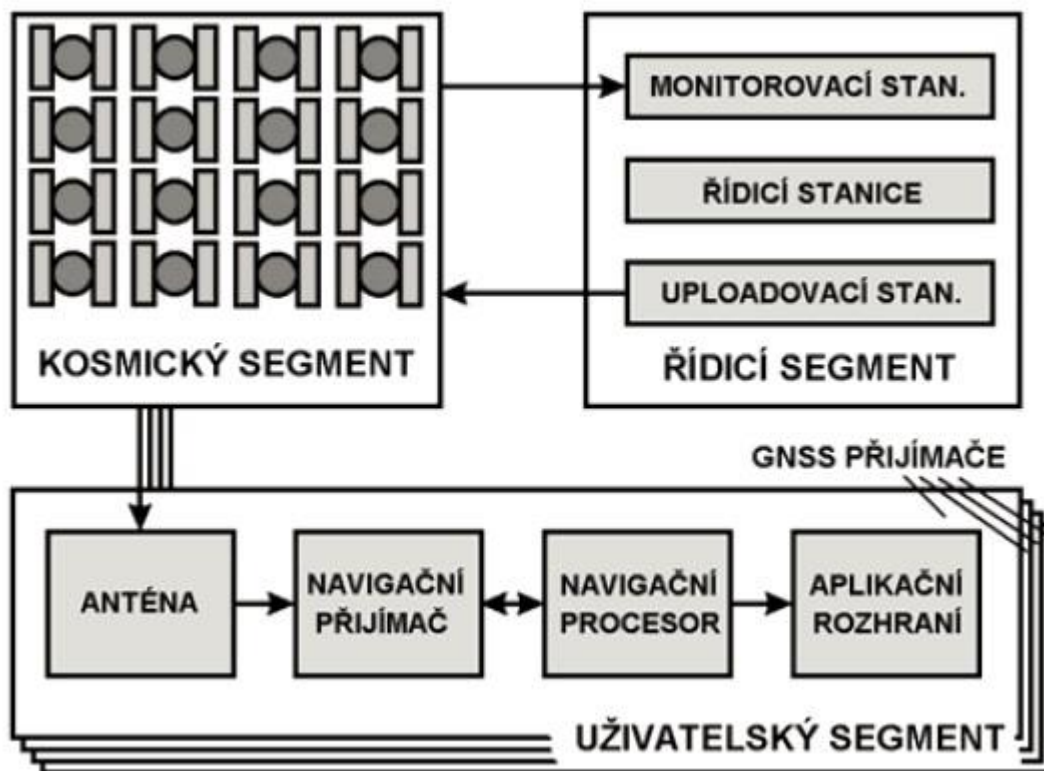
Každý družicový polohový systém (GPS, GLONASS, GALILEO a další...) je tvořen třemi základními segmenty:

- kosmický segment
- řídicí segment
- uživatelský segment

Obíhající družice tvoří kosmický segment s vhodným postavením pro co možná nejlepší pokrytí Země s minimální odchylkou určení polohových souřadnic uživatelským přijímačem.

Soustava monitorovacích stanic, měřící polohu satelitů, obsah a kvalitu signálu, tvoří druhý ze základních segmentů, tzv. řídicí. Tyto monitorovací stanice jsou rozmístovány po celém světě tak, aby každá družice mohla být neustále monitorovaná. Přijatá, neboli naměřená data z monitorovacích stanic jsou ihned přenášena do řídicí stanice. Řídicí stanicí můžeme chápat, jako samostatnou jednotku nebo systém záložních stanic. V řídicí stanici dochází k výpočtu parametrů celého kosmického segmentu a následně ke korekci dat, které jsou vysílány družicemi k uživatelskému signálu. Opravená data jsou uploadována k jednotlivým satelitům, pomocí vysílacích stanic, které často bývají součástí objektu, kde se nachází monitorovací stanice.

Uživatelský segment je obecně tvořen technickým zařízením, která uživateli umožňují, usnadňují nebo rozšiřují možnost využití družicového navigačního systému.



Obr. 2 Obecná architektura GNSS [2]

4.2 Principy určování polohy

Při určování polohy zpracováním signálů lze aplikovat několik metod, které již byly popsány v kapitole 2.3. Nyní se podíváme podrobněji na Dálkoměrnou metodu, protože je základem pro dnešní družicové navigační systémy.

4.2.1 Dálkoměrná metoda

V případě družicových systému, určení polohy funguje na principu změření vzdálenosti mezi družicí a uživatelským přijímačem. Uživatelský přijímač určuje svoji polohu na Zemi a udává je v souřadnicích $P(x, y, z)$. To se děje pomocí výpočtu, který je založen na radiovém měření vzdálenosti. Aktuální poloha satelitů se udává v souřadnicích (x_i, y_i, z_i) , a vysílá se v podobě navigační zprávy. Vzdálenost od satelitů se měří na základě rychlosti šíření radiových vln a znalosti doby, za kterou signál ze satelitu doputuje k přijímači.

Prakticky to znamená, že satelit se známou polohou začne vysílat rádiový signál a v čase t_0 a přijímač zachytí začátek signálu v čase t_1 . Za tuto dobu urazí signál pseudovzdálenost d_i .

Pro změření pseudovzdálenosti se používá měření zpoždění signálu na trase družice – uživatelský přijímač :

$$d_i = \tau_{di} \cdot C \quad (2)$$

d_i je vzdálenost mezi družicí a uživatelským rozhraním (pseudovzdálenost), τ_{di} reprezentuje změření zpoždění navigačního signálu (rozdíl času t_1-t_0) a C je rychlost šíření elektromagnetické vlny, tedy rychlost světla.

Tato vzdálenost je zároveň poloměrem koule, jejíž povrch je množina bodů, které splňují podmínku stejné vzdálenosti od satelitu č.1. K určení přesné polohy přijímače je nutné znát polohu minimálně tří satelitů.

Určíme-li (x, y, z) jako souřadnice přijímače a (x_i, y_i, z_i) jako souřadnice i -tého satelitu, můžeme polohu uživatele (x, y, z) v daném kartézském systému určit řešením soustavy tří rovnic pro tři neznáme. Tento výpočet je ekvivalentní k výpočtu průsečíku tří kulových ploch.

$$d_i = \left(\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} \right)$$

4.3 Přesnost určování polohy satelitními navigačními systémy

Stejně jako u všech jiných systému, najdeme i u družicových satelitních navigačních systémů několik vlivů, které zhoršují jeho funkčnost. Na přesnost určování polohy, má vliv několik činitelů. Tyto vlivy lze zařadit do některé ze tří skupin. Skupiny se dělí podle toho, kde se generuje chyba. Kosmický segment tvoří první skupinu. Vyskytují se zde chyby ve vysílaných informacích. Druhá skupinu tvoří přenosové cesty od satelitů k přijímači. Třetí skupina chyb se dá přiřadit k samotnému přijímači. Chyby vytvořené v první skupině, tedy v Kosmickém segmentu ovlivní činnost všech přijímačů. Chyby vzniklé na přenosových cestách ovlivní funkci přijímačů v dané oblasti a třetí kategorie ovlivňuje všechny přijímače stejného typu.

Základní principy znepřesňující určení polohy:

1. Poloha satelitů
2. Přesnost časové základny satelitu
3. Přesnost a stálost časové základny přijímače
4. Efeneridy – přesnost přenášené lokalizace satelitů

5. Rychlost šíření elektromagnetických vln
6. Chyby vzniklé za působení multipathu (vícecestné šíření vlivem odrazu signálu)

4.3.1 Vliv polohy satelitů

Na tento negativní vliv můžeme nahlížet ze dvou různých pohledů. První pohled je situace, kdy je přijímač umístěn ve volném prostranství a není nijak ovlivňován blízkým okolím. Jedná-li se o tento případ, hovoříme o chybě vzniklé obecnou konstelací satelitů. Z obecné znalosti víme, že satelity nejsou geostacionární a obíhají zemi po oběžných drahách. To má za následek to, že se vůči určitému místu na Zemi mění uspořádání viditelných satelitů. Pokud budou dva satelity blízko nadhlavníku (bod na obloze přímo nad pozorovatelem), potom je průnik množiny stejných vzdáleností od nich velmi neostrý a výrazně se projeví chyba pseudovzdálenosti (vzdálenost přijímače od satelitu), a to se projeví ve velké chybě v určování horizontálních souřadnic (šířka a délka). Stejně tak poloha satelitu nízko nad obzorem negativně ovlivní určení nadmořské výšky. Obecně se tento vliv označuje zkratkou DOP (Dilution of Precision).

4.3.2 Vliv přesnosti časové základny satelitů

Na přesnosti a stálosti časové základny satelitů závisí přesnost měření pseudovzdálenosti. Chyba časové základny v řádech ns představuje chybu pseudovzdálenosti v řádech metrů. I přesto, že satelity používají atomové hodiny, dochází k nevyhnutelným chybám hodinového taktu, které jsou časově závislé a nelze je zanedbávat. Z tohoto důvodu jsou časové základny všech satelitů monitorovány a odchylky jsou vyhodnocovány. Korekční informace časové základny jsou součástí příslušné navigační zprávy.

4.3.3 Vliv chyby časové základny přijímače

Chyba časové základny přijímače má stejný vliv jako chyba časové základny satelitu. Z cenových důvodů se obvykle realizuje krystalovým oscilátorem. Pro vlastní měření je důležitá spíše stabilita základny, nikoli absolutní hodnota časového údaje.

4.3.4 Efemerida

Poloha satelitů je monitorována kontrolními stanicemi, data jsou zpracována a přenášena na každý satelit a údaje o poloze a parametry pro předpověď polohy jsou opět součástí navigační zprávy. Chyba polohy satelitu jednak závisí na přesnosti výpočtu, neboť výpočet

je prováděn vždy s jistou konečnou přesností a jednak má i nepředpověditelnou složku chyby vzniklé z důvodů časové prodlevy sledování pohybu satelitů a vysílání efemeridů.

4.3.5 Vliv rychlosti šíření elektromagnetický vln

Rychlost šíření elektromagnetických vln v atmosféře je proměnlivá a to zejména v ionosféře vlivem proměnlivé sluneční aktivity. Signál je při průchodu ionosférou zpožděn v důsledku proměnného indexu lomu – dochází k ohybu dráhy, a tím se prodlužuje doba šíření. Tento jev funguje na osvětlené straně Země a vedle intenzity slunečního záření je závislý i na denní době. Zpoždění průchodu radiového signálu ionosférou je závislé na kmitočtu. Chyba určování pseudovzdáleností vlivem ionosféry může dosáhnout hodnot v rozsahu 50 – 150m pro satelit blízko horizontu z pohledu přijímače. Součástí navigační zprávy je korekční hodnota zpoždění pro ionosféru, která však koriguje cca 50% chyby. Dobře lze chybu eliminovat u přijímačů, které přijímají dva kmitočty, kdy se korekce počítá z rozdílu času mezi signály obou kmitočtů.

Vliv troposféry se uplatňuje podle vlhkosti a tlaku vzduchu a může být v rozsahu od 2 do 20m. Na rozdíl od ionosféry je zpoždění v troposféře kmitočtově nezávislé a korekce se přibližně řeší matematickým modelem atmosféry.

4.3.6 Vliv vícecestného šíření signálu

Signály GNSS se mohou odrážet od pevných ale i pohyblivých objektů - zejména staveb a terénních nerovností, vozidel, letadel. Odražené signály snižují přesnost měření. Důsledkem toho je delší dráha signálu a tím i chyba v měření pseudovzdálenosti. Odražený signál může být obecně slabší než přímý signál, ale stejně tak i silnější, nachází-li se přijímač ve stínu ve směru od zdroje signálu

4.4 Korekce měřených souřadnic

Výše popsané vlivy negativně ovlivňují kvalitu a přesnost měřených souřadnic. Aby souřadnice byly co nejpřesnější je potřeba definovat jejich korekce.

4.5 Korekce

Předešlá kapitola informovala o vlivech působících na přesnost navigačních signálů. Globální navigační systémy nemohou vždy splnit požadavky na přesnost pro specifické aplikace. Velmi často je Globální navigační družicový systém doplňován o tzv. podpůrné systémy. Tyto systémy mohou být dvojího charakteru. Mohou být na lokální úrovni, kdy se jedná o zpřesnění navigačních služeb pro specifickou oblast (přístav, letiště...). Nebo se jedná o globální úroveň, která se stará o velmi rozsáhlé území (stát, kontinent). Základem všech takových systémů jsou diferenční metody a kontrola integrity. Chyby měření se týkají všech GNSS systémů bez výjimky.

4.5.1 DGPS

Pro minimalizaci chyby při navigaci je řešení vysílání korekčního signálu. Předpokladem pro tento vysílaný korekční signál je referenční stanice se známou polohou. Tato poloha se měří velmi dlouho, aby bylo zajištěno opravdu přesné určení její polohy. Taková referenční stanice vyhodnocuje odchylky měření v systému GPS od skutečného stavu své polohy a počítá korekce. Tato metoda se nazývá diferenční GPS (DGPS). Při vyšším počtu referenčních stanic s ne příliš velkou vzdáleností od sebe, řádové desítky kilometrů, je možné uskutečnit síťové výpočty korekcí a interpolovat virtuální referenční stanici v blízkosti uživatele.

Vypočítaná korekce se odesílá uživatelům pomocí NTRIP. NTRIP je caster s protokolem RTCM. Přesnost je realizována pomocí několika variant: síť Internet, pomocí mobilních sítí GSM, dlouhovlnného vysílání. Pokud má uživatel přijímač uzpůsobený k příjmu DGPS a je v blízkosti referenční stanice, může svá měřená data zpřesnit. Pokud není možné přijímat korekční zprávy online, u profesionálních přijímačů je možné provést korekci z archivovaných dat.

4.5.2 Systém EGNOS

Systém EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) je evropský projekt, který formou diferenciálního signálu poskytuje korekce k signálu GPS. Korekce jsou poskytovány pro celou Evropu. EGNOS byl původně vytvořen pro korekce americké GPS, ale později byl kompatibilní i k ruskému GLONASSU. Po uvedení GALILEA do funkčního stavu, bude schopen počítat korekce i pro tento evropský navigační systém.

EGNOS je složen ze 40. monitorovacích stanic. Stanice jsou rozmístěny na území Evropy a v několika okolních státech. Tyto stanice neustále kontrolují signály a data vysílaná družicemi. Výsledky jejich monitoringu jsou předávány do řídicích center. Zde se tato data upravují a vyhodnocuje se stav družic (Přesnost atomových hodin, rozmístění družic...) a také se zde sestavuje aktuální model inosféry. Korekce se předávají uploadovacím stanicím, které tato data vysílají k příslušné geostacionární družici. Tyto družice vysílají data zpátky k uživatelským přijímačům, které využijí korekce ke zpřesnění měřené polohy.

U moderních přístrojů, všech cenových kategorií, jsou algoritmy pro tyto korekce impletovány. Většinou je nutné, tyto korekce povolit. Obvykle se bývá položka v nastavení označená SBAS nebo u amerických přístrojů WAAS(například přístroj Garmin). Toto nastavení je nutné povolovat kvůli zvýšené spotřeba el. energie při zapnutí korekci.

4.5.3 Zjišťování integrity

Integrita systému je zpravidla narušena tehdy, dojde-li k závadě na některé z družic nebo i části řídicího systému. Dojde-li k poruše družice, která bude zjištěna řídicím centrem, bude tato informace vyslána v podobě navigační zprávy. Ta ovšem může k přijímači dorazit později a do té doby bude uživatel přijímat chybná data.

Pro zjišťování integrity systémů se dají použít dvě základní metody. Metoda autonomní prověrky integrity a Globální metoda zajištění integrity.

Při aplikaci první metody, počítač v přijímači sestavuje kombinace 4 viditelných družic a pro každou vypočítá polohu. Kdyby všechny družice fungovaly správně, všechny vypočtené polohy budou téměř totožné. Pokud by jedna z družic nepracovala správně, budou vypočtené polohy pro tuto čtveřici vykazovat výraznou odchylku.

Globální metoda zjištění integrity

Při tomto postupu jsou signály družic trvale monitorovány a v případě zjištění závady se tato informace okamžitě šíří vhodným komunikačním systémem uživatelům jako výstražná zpráva. Pro metodu GIC je tedy nutné zajistit systém sestávající z nezávislých monitorovacích stanic a vhodný komunikační systém pro globální šíření informace o použitelnosti družic GNSS systému. V případě globálního integritního systému lze využít komunikační geostacionární družice.

Kapitola o korekcích navigačních systémů je velmi složitá a rozsáhlá. Je to téma na diplomovou práci. Proto se této kapitole věnuji jen velmi zhruba.

4.6 Aplikace GNSS

GNSS představují další významný milník v oblasti navigací. Světlo světa spatřily nové aplikace a to nejen pro profesionály, ale i pro volný čas. GNSS systémy jsou dnes využívány pro širokou škálu aplikací. Největší přínos je samozřejmě v navigaci, ale i bezpečností aplikace jsou velmi důležité. Mezi bezpečnostní aplikace můžeme zařadit systém SaR (Search and Rescue) který bude na vznikajícím systému Galileo. Tento systém bude v případě nouze nebo ohrožení života uživatele, schopen vysílat signál a zprávu pro záchranná střediska a poté je plnohodnotně navigovat ke člověku v tísni. Spousta dalších aplikací i bezpečnostních je popsána v následujícím výčtu.

Vojenské aplikace: Jedná se o monitorování pohybu vlastních jednotek, navigaci na nepřátelském území, označování minových polí, navádění raket nebo pro dělostřelecké systémy.

Geodézie: V geodézii se GPS přístroje uplatňují především při velmi přesných měření. Využití se nachází v tvorbě a aktualizování geodetických základů, katastru nemovitostí. Pro tyto účely byly vyvinuty speciální přístroje s velkou přesností (centimetry až milimetry. Cena takových přijímačů se pohybuje v řádech stovek tisíc korun a jsou výhradně určeny pro geodetické aplikace.

Lodní doprava: Navigace na moři s přijímačem vybaveným digitalizovanou podrobnou námořní mapou. Navádění lodí do přístávů za zhoršených podmínek. Ukládání podmořského povrchu, za účelem vyhnutí se kolizi. V průplavech se do mapy pomocí souřadnic ukládají body, které mohou způsobit potopení lodi. V průplavech je také satelitní navigace velmi důležitá z důvodu zajištění dobré logistiky lodí. Při vzniklé havárii a vyslání signálu SOS, budou záchranné jednotky přesně informovány o pozici vzniklé havárie. V lodní dopravě se nachází spousta bezpečnostních aplikací. Mezi takové můžeme řadit například záchranné vesty, které při nafouknutí vyšlou pobřežní hlídce signál a data nesoucí pozici tonoucího. Dále jsou to bójkky, které při kontaktu s vodou začnou vysílat signál SOS a aktuální pozici. Jako poslední aplikace je speciální tlačítko, umístěné na kapitánském můstku, jež po stiknutí v krajní nouzi vyšle pobřežní hlídce všechny důležité informace o lodi a její pozici.

Letectví : Navigace po trati, přibližování ke přistání. Kontrolní věže na letištích používají GNSS pro určení přesné polohy letadel, aby nedošlo ke srážce

Motorismus : Navádění motorových vozidel, ukládání trasy, měření rychlosti, statistika pohybu, ukládání vlastních tras a referenčních bodů sloužících pro orientaci. Vyslání signálu při autonehodě a následná navigace jednotek IZS na místo nehody.

Turistika, cykloturistika: Navigace v neznámém terenu, ukládání vlastních tras, měření rychlosti, času. Při ohrožení zdraví, lze vyslat signál záchranářským složkám, které následně budou informovány a navigovány na pozici ohroženého.

Logistika : Zaměření odběratelů, vytvoření ekonomických a efektivních logistických modelů. Sledování polohy dodávaného zboží, kontejnerů, železničních vagónů nebo kamiónu.

Rybaření : Zaznamenávání míst s výskytem ryb, v kombinaci GNSS přijímače se sonarem je možné mapovat hejna.

Botanika a zoologie : Stanovení výskytu zvířat a rostlin. Monitorování živočichů vybavených GNSS přijímače. Například při vypouštění zvířat ze zajetí do volné přírody.

Letectví : Navigace po trati, přibližování ke přistání. Kontrolní věže na letištích používají GNSS pro určení přesné polohy letadel, aby nedošlo ke srážce.

Zemědělství : Sklízecí kombajn sleduje výnos sklizně v závislosti na poloze. V dnešní době jsou některé kombajny schopné samostatného pohybu po poli, právě díky aplikaci GNSS.

V době přípravy půdy lze za pomoci souřadnic vhodně aplikovat hnojiva. To přináší úsporu ekonomickou a také menší dopad na životní prostředí.

Sledování pohybu objektů: ADS (Automatic Dependent Surveillance) nebo CIS (Cooperative Independent System). Jsou to podsystémy, obecně se jimi systémy pro sledování pohybu objektů zahrnují. Pohyb mobilních objektů ve vzdáleném dohledovém centru nebo automatizovaným systémem (např. zabezpečení proti krádežím) lze sledovat právě těmito systémy. Do dohledového centra se informace o poloze předávají prostřednictvím komunikačního zařízení a GNSS přijímačem, kterým je sledovaný mobilní objekt vybaven. Rozdíl mezi ADS a CIS? U systému CIS je speciální palubní zařízení dotazováno dotazovačem systému, vyšle odpověď a systém zjišťuje polohu z přijímané odpovědi, zpracuje ji nebo i zobrazí. U systému ADS palubní komunikační zařízení získá polohu z palubního navigačního zařízení a vyšle ji. Předávány mohou být i

další zprávy (diagnostické zprávy, výška letadla, zprávy o stavu paliva...), vysílají se spolu s informací o poloze právě v systémech CIS nebo ADS. Sledování objektu nemusí probíhat zásadně on-line. Nejtypičtějším příkladem jsou černé skříňky. Jedna nejmenovaná firma zodpovědná za údržbu a správu komunikací si nechala do svých vozů nainstalovat černou skříňku s GPS přijímačem. Používala jej pro řešení sporů, kdy si uživatel neoprávněně stěžoval, že silnice nebyla v určité době v pořádku. Z GPS přijímače jsou ovšem získány i poloha a čas a spuštěný sypač či radlice mají senzory. Majitelé firem tak mohou sledovat i své zaměstnance. Zda vůz není využíván soukromě nebo jestli zaměstnanci nekradou palivo.

5 GALILEO

Družicový navigační systém Galileo je civilní evropský globální polohový družicový systém, který měl být, podle původních plánu, spuštěn v roce 2008. Kvůli vznikajícím problémům se plnohodnotný start systému stále posouvá na pozdější data. Podle oficiálních zpráv ze serveru Českého kosmického portálu, by systém měl být plně funkční až v roce 2018. [5]

Galileo bude mít největší potenciál v dopravě, ale bude nabízet i další široké aplikace, které zvýší bezpečnost a přesnost. Možné aplikace mohou být například energetický průmysl, civilní ochrana, životní prostředí, stavebnictví.

5.1 Minulost a budoucnost systému Galileo

Evropský navigační systém Galileo je program pojmenovaný podle italského vědce, astronoma Galilea. Výstavbu systému zajišťují státy Evropské unie za pomoci Evropské kosmické agentury. První zmínky o programu Galileo se váží k roku 1998, kde se jednotlivé koncepty státu Evropské unie sjednotili v jeden celek. V roce 2003 byla oficiálně zahájena první fáze vývoje. Navigační systém Galileo vzniká jako reakce na čistě vojenské systémy (americká GPS a ruský GLONASS), které jsou primárně určeny pro vojenské účely a jejich funkce by mohly být omezeny, kdyby vznikla krizová situace. Kdyby na jejich činnosti závisela některá z kritických služeb, jako je například letecká nebo dopravní, při případném vypnutí, nebo omezení funkcí by to pro tyto aplikace a i pro jejich uživatele, mohlo mít velmi negativní dopad. Navigační systém Galileo vzniká právě pro tyto kritické aplikace a je primárně navržen jako systém, který bude řízen a spravován právě civilní správou. První plány počítaly s plnohodnotným provozem v roce 2008 a systém měl být plně financován soukromým sektorem. Investoři, ale pro příliš vysoký rozpočet a velké riziko nakonec od projektu odstoupili a celého systému i jeho financování se ujala Evropská unie. Navigační systém Galileo by měl být uveden do počáteční fáze operačního provozu v roce 2015 a Zemi mělo obíhat 18 satelitů. Podle posledních zpráv ze serveru Evropské komise by v nynější době 22.5.2015 mělo být na oběžné dráze 6 satelitů. Finální dokončení kosmického a řídicího segmentu, kdy bude Zemi obíhat 30 družic, z toho bude 27 funkčních a 3 záložní se podle posledních zpráv plánuje až na rok 2020. [5],[6]

Systém Galileo se nebude zase tak moc lišit od ostatních Globálních navigačních satelitních systémů. Galileo bude poskytovat navigační i lokalizační služby a bude i kompatibilní s ostatními navigačními systémy. Koncový uživatel bude schopen určit svou polohu za pomoci jednoho přijímače ze signálu družic Galileo nebo v kombinaci s ostatními družicemi Globálního družicového navigačního systému. To umožní uživateli určit svou polohu v reálném čase s přesností v řádech metrů. Tento systém taky výrazně zlepší funkčnost navigace v extrémních podmínkách a bude také schopen uživatele informovat o výpadku kterékoli družice a to během několika sekund. Všechny tyto vlastnosti systém předurčuje především pro bezpečnosti aplikace jako je například řízení vlaků.

5.2 Kosmický segment systému Galileo

Kosmický segment systému Galileo se v plném funkčním stavu bude skládat ze 30 operačních družic, 27 z nich bude určeno jako aktivní družice a 3 jako záložní. Družice budou obíhat na středních oběžných drahách ve výšce 23 222 km nad Zemí. Jejich inklinace (sklon dráhy k rovině rovníku) bude 56° . Družice budou obíhat ve třech rovinách posunutých vzájemně o 120° . Inklinace 56° a výška 23 222 km zajistí výborné pokrytí signálu v polárních oblastech nad 75° zeměpisné šířky. Na každé z obežných drah bude umístěno 9 aktivních satelitů, rozmístěných rovnoměrně o 40° a jeden záložní, který bude v případě poruchy schopen nahradit nefunkční družici. Poloha družic se po deseti dnech vždy zopakuje. Během této doby každá ze družic systému Galileo oběhne zemi přesně 17 krát. Pro přísun potřebné energie budou družice používat solární panely, natočené směrem ke slunci, s rozpětím 13m a příkonem 1 600 W . Rozměry družic budou 2,7 x 1,1 x 1,2 m. Hmotnost bude přesně 700 kg.

5.2.1 Vnější komponenty družic

Družice se budou skládat z následujících vnějších komponentů :

- L-pásmová anténa vysílající navigační signály o frekvenci 1200-1600 MHz
- Anténa pro službu Search and Rescue, anténa bude mít za úkol zachycovat nouzové signály ze Země a předávat je do lokálních záchranných center.
- C-pásmová anténa, která bude přijímat signály z uploadovacích stanic Galilea, obsahující obsahující "mission" data. Tato data budou obsahovat: data k synchronizování palubních hodin s pozemními referenčními hodinami a data o

integritě, které obsahují informace o tom, jak každý satelit funguje. Informace o integritě jsou zahrnuty v navigační zprávě, která se přenáší uživatelům.

- S- pásmová anténa. Tato anténa je součástí telemetrického, sledovacího a řídicího subsystému. Vysílaná data podávají zprávu o stavu družice a veškerého jejího příslušenství. Tyto informace jdou k pozemnímu kontrolnímu systému. S-pásmová anténa také přikazy k ovládní družice. S-band antény také přijímají, zpracovávají a vysílají dálkoměrné signály které měří výšku družice s přesností několika metrů.
- Laserový odražeč měřící výšku družice s přesností na několik centimetrů. Tyto odražeče se budou používat velmi málo, přibližně jednou za rok, protože dálkoměrné měření pomocí S-pásmových antén, bude dostačující.
- Infračervené zemské senzory a Letecké servisní sluneční senzory pomáhající udržet družici ve směru k zemi.
- Vesmírné zářice – tepelný výměník vyzařující přebytečné teplo, vytvořené funkcí vnitřních součástí.

5.2.2 Vnitřní komponenty družic

Jako nejdůležitější vnitřní součástku lze považovat hodiny. Aby satelitní navigační systém fungoval správně, je nezbytné aby družicové signály byly vysílány naprosto synchronně. Družice musí být proto vybaveny velmi přesnými hodinami, které tento požadavek splní.

Družice jsou vybaveny hodinami dvojího typu. Primární hodiny jsou vodíkové (atomové). Vodíkové hodiny fungují podobně jako klasické hodiny, ale k měření času používají velmi stabilní frekvence přechodu atomu vodíku mezi energetickými stavy. Chyba hodin je oficiálně odhadována na hodnotu 0,45 ns za 12 hodin, to znamená že mají zpoždění 1 sekundu za milion let. Jako sekundární hodiny jsou Rubidiové atomové hodiny (Rubidium Atomic clocks). Tyto hodiny jsou tvořeny atomovým rezonátorem a řídicí elektronikou. Stabilita Rubidiových hodin se udává na odchylku 1,8 ns za 12 hodin, to znamená 3 sekundy za milion let. Taková vysoká přesnost je nutná, chyba při měření času v řádech pár nanosekund by způsobila nepřípustnou polohovou chybu v řádu metrů.

Družice bude mít čtvery hodiny, dvoje od každého typu. Vždy budou zapnuty jen jedny vodíkové a jedny rubidiové, které budou sloužit jako záložní. Za běžných podmínek budou zapnuté vodíkové hodiny, které budou produkovat referenční frekvenci, na základě které bude generován navigační signál. Pokud vodíkové hodiny selžou, rubidiové hodiny v provozu okamžitě převzou jejich funkci a spustí se dvoje záložní hodiny.

Pokud by se problém týkal pouze vodíkových hodin, druhé vodíkové hodiny převezmou funkci rubidiových po několika dnech. Rubidiové hodiny se vrátí zpět do funkce záložních anebo rezervních hodin Galileo družice, díky tomuto systému čtyř hodin, ručí za generování navigačního signálu za jakýchkoli podmínek.[7]

CMCU - Monitorovací a řídicí jednotka hodin (clock monitoring and control unit) je rozhraním mezi čtyřmi hodinami a jednotkou generující navigační signál NSU . CMCU přenáší signál z aktivních "primárních" hodin do NSU a stará se o to, aby byly ve fázi frekvence hlavních a aktivních (záložních) hodin. Je to z důvodu, aby záložní hodiny mohly okamžitě převzít funkci primárních hodin v případě jejich poruchy.

Generátor navigačního signálu, generátor frekvence a převáděcí jednotky jsou odpovědné za generování navigačních signálů a používající k tomu informace z CMCU a přijaté navigační a "integrity" data z C-band antény. Navigační signály jsou poté převedeny do L-pásmu, aby mohly být vysílány uživatelům.

5.3 Řídicí a kontrolní segment systému Galileo

Řídicí segment Galilea se bude starat o řízení, kontrolu a korekce pohybu družic na oběžných drahách, synchronizaci palubních hodin, sledování funkčnosti a integrity celého systému. Řídicí komplex bude složen z centra pro řízení systému a sítě pozemních monitorovacích stanic, rozmístěných po celém světě. Řídicí segment je ve výstavbě a lze je rozčlenit do tří částí:

- Globální
- Regionální
- Lokální

5.3.1 Globální složka

V globální části budou postaveny dvě hlavní centra. Řídicí centrum pro pozemní kontrolu (Ground Control Systém) se nachází ve městě Oberpfaffenhofen v Německu. Středisko bude sbírat data ze sensorových stanic rozmístěných po celém světě. Sensorové stanice shromažďují data o pohybu družic, přesnosti atomových hodin a síle signálu vysílaného družicemi. SG středisko bude shromažďovat telemetrická data přijatá v TT&C stanicích. Zkratka TT&C znamená Tracking and Command station v překladu vyhledávací a velící

stanice. Z telemetrických dat řídicí centrum vyhodnotí polohu všech družic a vytvoří potřebné příkazy pro správné rozestavení kosmického segmentu. Tyto příkazy předají TT&C stanicím, které následně vyšlou signál ke konkrétním družicím. Pozemní stanice TT&C budou umístěny ve Francouzské Polynésii, v Austrálii, ve Francouzské Guyaně, ve Švédsku.

Ground Mission System, neboli druhé řídicí centrum se nachází v Itálii ve městě Fucino. Hlavním úkolem tohoto centra bude sestavovat navigační zprávy a ty předávat uploadovacím stanicím. Tyto stanice bude stejně jako TT&C stanice, rozmístěny po celém světě a také budou vysílat data jednotlivým družicím. GMS centrum bude také přijímat data ze sensorových stanic a bude z nich vytvářet korekce satelitních hodin a parametry oběžných drah družic pro navigační zprávy. Obě centra budou synchronizována tak, aby v případě poruchy jednoho, bylo to druhé schopné vykonávat funkci prvního a naopak.

5.3.2 Regionální složka

Regionální složka bude tvořena z několika Externích Regionálních Integrovaných Systémů. Zkráceně řečeno ERIS. ERIS jsou vytvořeny, provozovány a spravovány soukromými společnostmi, nebo státy či skupinami států mimo Evropskou Unii. Úkolem ERIS systémů bude zajišťovat hlášení o integritě systému a to naprosto nezávisle na hlášení systému Galileo. Tímto by mělo být dosaženo uspokojení požadavků na garanci systémů jednotlivých států a subjektů.

5.3.3 Lokální složka

Lokální složky budou sloužit pro zkvalitnění lokálního signálu v místech, kde bude vyšší požadavek na přesnost, nebo na místa, kde bude příjem signálu problematický. Příkladem takových míst mohou být okolí letiště, dálnic, přístavů nebo dokonce interiérů. Lokální složky budou vytvořeny a spravovány soukromým sektorem.

5.4 Uživatelský segment

Uživatelský segment systému Galileo nabízí širokou škálu aplikací pro budoucí uživatele. Pro různé aplikace budou využívány rozdílné typy přijímačů s odlišnými funkcemi. Počítá se také s masivním rozvojem multistandardových přijímačů určených pro využívání více systémů najednou Galileo/GPS/GLONASS. Galileo také nabídne rozšířenou službu s vysokou přesností pro autorizované uživatele vládami zemí Evropské unie.

5.5 Služby poskytované systémem Galileo

Civilní družicový navigační systém Galileo bude poskytovat celkem 4 služby:

- Základní služba (Open Service – OS)
- Komerční služba (Commercial Service – CS)
- Veřejně regulovaná služba (Publicly Regulated Service – PRS)
- Vyhledávací a záchraná služba (Search And Rescue service – SAR)

5.5.1 Open Service

Jedná se o základní signál. Základní signál bude zcela zdarma a k dispozici pro všechny uživatele. Uživatelé s přijímačem budou schopni určit svou polohu s přesností 4 metry v horizontální poloze a 8 metrů ve vertikální poloze.

5.5.2 Commercial Service

Na rozdíl od Základní služby, tato služba bude za poplatek. Bude využívat další dva signály. Signály budou komerčně kódovány. Přístup k CS bude kontrolován na úrovni přijímače za pomoci přístupového klíče. Commercial Service bude mít odchylku určení polohy menší než jeden metr v horizontální i vertikální poloze. Za použití doplňujících stanic z Lokální složky, bude možné dosáhnout přesnosti v řádu centimetrů. Kromě vyšší přesnosti, by měli být poskytovány různé zprávy od komerčních složek. Takové zprávy mohou obsahovat aktuální dopravní informace nebo počasí.

5.5.3 Publicly Regulated Service

Tato služba bude využívat dva šifrované signály s velmi vysokou přesností. Užívání této služby bude umožněno jen autorizovaným uživatelům. Autorizace budou udělovat vlády Evropské unie. PRS je určena hlavně pro bezpečnostní a záchranné složky států nebo pro speciální vědecké aplikace.

5.5.4 Search And Rescue service

Služba nouzové lokalizace v rámci celosvětové družicové záchranné služby COSPAS-SARSAT s možností oboustranné komunikace. Pro tuto komunikaci je vyhraze speciální kanál, pomocí kterého bude středisko záchranných služeb informováno o přesné poloze uživatele. I uživatel bude informován o zachycení zprávy a lokalizaci souřadnic.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část v této bakalářské práci se skládá ze dvou částí. První část je měření přesnosti GPS souřadnice. Měření probíhalo 2 dny. První den za jasného počasí a následující den, kdy bylo zataženo-oblačno. Toto měření je základem pro druhou část praktické části, ve které jsem navrhnul laboratorní úlohy pro studenty oboru Bezpečnosti technologie, systémy a management na Fakultě aplikované informatiky.

Pro tuto laboratorní úlohu doporučuji zakoupit následující dva GPS přijímače : Jeden určený pro geocaching a druhý pro auto-moto navigační účely.

6 MĚŘENÍ JAKO ZÁKLAD PRO LABORATORNÍ ÚLOHU

Cílem mého měření bylo zjistit přesnost měřených souřadnic GPS přijímače Garmin nüvi a získat základní data, podle kterých proběhne návrh laboratorní úlohy pro studenty Fakulty aplikované informatiky oboru Bezpečnostní technologie, systémy a management

Měření probíhalo 2 dny za různých meteorologických podmínek. K získání potřebných dat jsem použil 2 metody : statickou a kinematickou.

Statická metoda je metoda, kdy se měří změna GPS souřadnic a nadmořské výšky v závislosti na čase a za podmínky, že přijímač nemění svou polohu po celou dobu měření. Tuto metodu jsem aplikoval třemi způsoby. Měření referenčního bodu a kříže do všech světových stran okolol něj. Dále jsem měřil na jednom místě, kdy byl gps přijímač napojen na externí zdroj el.energie a nakonec jsem měřil rozdíl GPS souřadnic ve výškovém smyslu, kdy jsem měřil na stejném místě pod budovou Fakulty aplikované informatiky a poté na stejném místě o několik desítek metrů výše.

Kinematická metoda spočívá v tom, že se měří změna GPS souřadnic na referenčním bodu před začátkem měření a poté co se s přijímačem urazí vzdálenost několika metrů a vrátí se zpátky na referenční bod.

6.1 Měření-den první

První den měření probíhal 12.5.2015, denní teploty se pohybovaly v rozmezí 13-23°C, počasí bylo jasné, bez mraků na obloze. Měření probíhalo od 9. hodin ráno až do půl 4 odpoledne.

Nejdříve jsem si určit vhodné místo měření. Vybral jsem si parkoviště pod Vědeckotechnickým parkem Informačních technologií. Referenční bod jsem zvolil na rozmezí 14. a 13. parkovacího místa. Bod je vyfocen na obrázku 3. Referenční bod jsem si pečlivě změřil od několika orientačních bodů. Jeden orientační bod byl střed sloupu, který podpírá budovu Vědeckotechnického parku a druhý bod patník, stojící za červenými kachličkami, které dělí parkovací místa. Zaměřování referenčního bodu je ukázáno na obrázcích 4,5,6,7 .



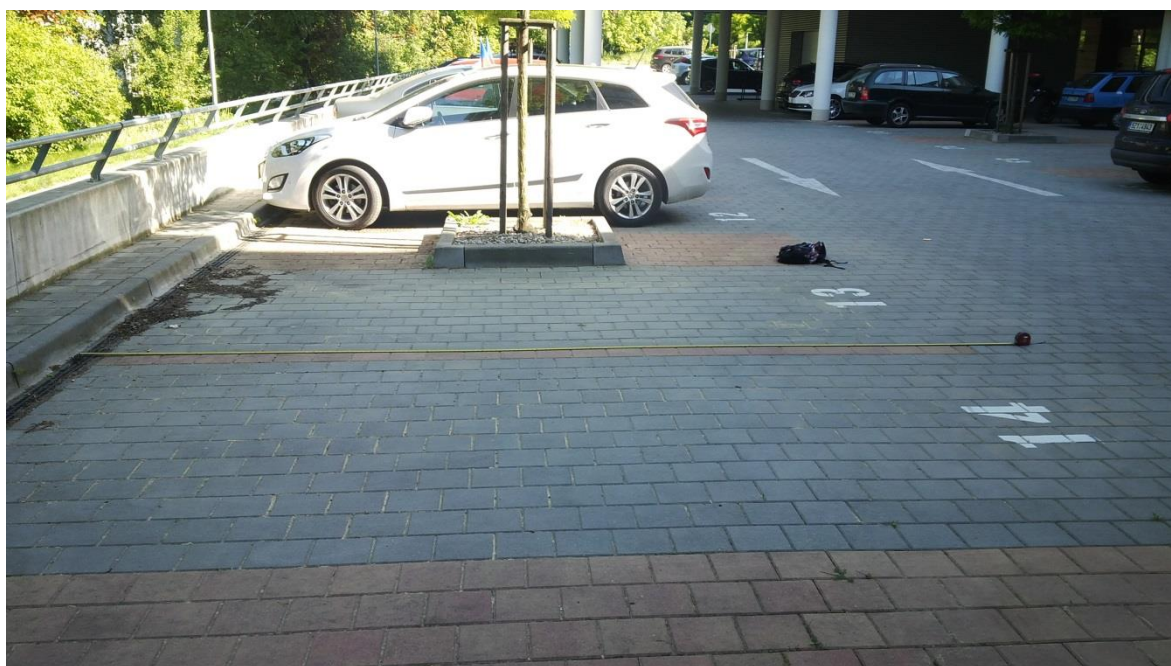
Obr. 3 Zvolený referenční bod



Obr. 4 Zaměřování referenčního bodu od středu sloupu



Obr. 5 Zaměřování referenčního bodu od středu sloupu naměřená vzdálenost



Obr. 6 Zaměřování referenčního bodu od patníku



Obr. 7 Zaměřování referenčního bodu od patníku – naměřená vzdálenost

Použitá měřicí aparatura se skládala z GPS přijímače Garmin nüvi, mobilního telefonu Samsung Galaxy S1 použitého jako stopky, metru a telefonu Blackberry z 10 sloužícího jako fotoaparát a kompas pro zjištění světové strany.

6.1.1 Měření pomocí statické metody

Po zvolení a zaměření referenčního bodu jsem začal měřit souřadnice na referenčním bodu. Před startem měření se teplota pohybovala okolo 14°C a obloha byla jasná. Změřil jsem 10 hodnot v časovém intervalu 2 minuty.



Obr. 8 Měření na referenčním bodu

Další myšlenka měření byla změřit 4 body na každou světovou stranu ve vzdálenostech po 1 metru od referenčního bodu,.

Pomocí mobilního telefonu jsem určil, kde se nachází sever a zaměřil jsem vzdálenost 100, 200, 300 a 400 cm od referenčního bodu. Postupně jsem měřil změny souřadnic na 4 pozicích. Na každé pozici jsem naměřil 5 hodnot severní šířky, východní délky a hodnotu nadmořské výšky. Hodnoty byly měřeny v časovém intervalu 2 minut.



Obr. 9 Měření souřadnice ve vzdálenosti 100 cm od referenčního bodu na Sever.

Měření na Jih probíhalo stejným způsobem jako měření na sever. Na jih se mi podařilo změřit jen 3 pozice (po 100 cm), protože 4. místo se nacházelo pod budovou Vědeckotechnického parku (obrázek 10). Referenční bod, byl zvolen záměrně proto, abych zjistil, jestli GPS přijímač bude schopen přijímat signál na této pozici směrem. Bohužel přijímač při přesunu na 4. pozici ihned ztratil signál a do doby, než se měření přesunulo na jinou světovou stranu, signál nebyl zachycen. Důvodem ztráty signálu je fakt, že budova je postavena ze železobetonu a ten má velké stínící účinky na rádiové signály.



Obr. 10 Statické měření souřadnic pod budovou Vědeckotechnického parku

Po měření na jižní stranu začala docházet baterie v přijímači. Měření se v této fázi přemístilo na druhý referenční bod. Tento bod se nacházel na autě, ze kterého byl do přijímače přiváděna el. energie pro dobíjení akumulátoru. Měření na tomto místě probíhalo 60 minut a opět jsem zapisoval změny GPS souřadnice v intervalu 2 minuty. Po dobíjení GPS přijímače, se měření opět přesunulo k původnímu referenčnímu bodu a doměřily se zbývající hodnoty pro západní a východní světovou stranu.

Po doměření zbývajících hodnot jsem začal měřit pomocí kinamické metody. Měření začalo na referenčním bodu, zapsal jsem se aktuální souřadnice a nadmořskou výšku. Poté jsem ušel i s přijímačem několik metrů a vrátil se zpět na referenční bod a opět zapsal souřadnice. Tento postup jsem opakoval 5x.

Poslední měření prvního dne spočívalo ve změření stejného místa v různých výškových hladinách. Nejdříve se měřilo dole a poté kolmo nahore od spodního místa v kanceláři

vedoucího mé bakalářské práce. Zajímavostí je, že při přechodu z venkovního prostředí do kanceláře v posledním patře budovy Aplikované informatiky, GPS přijímač ztratil signál. Ke družicím se připojil opět až po zhruba 2 minutách, které jsem strávil u okna v posledním patře. Celá budova Fakulty Aplikované informatiky, je postavena ze železobetonu. Tento materiál není schopen propustit dostatečný rádiový signál pro správné fungování GNSS přijímačů.

6.2 Měření den druhý

Měření probíhalo dne 13.5.2015, při zatažené obloze a teplotě 14°C. Druhé měření už nebylo tak rozsáhlé jako první den. Cílem měření druhého dne bylo zjistit, jaké účinky bude mít zatažená obloha na přesnost měření GPS souřadnice. Druhý den se měřily souřadnice pouze na výškovém měření (v kanceláři vedoucího a na místě pod ní). Ve spodní sekci se mi podařilo změřit jen několik hodnot. Jako příčinu bych určil právě nepříznivé počasí, spolu s blízkostí budovy. Dále na referenčním bodě zobrazeném na obrázcích 3, 5, 6. Měření na referenčním bodu nebylo příliš úspěšné, protože se mi povedlo naměřit jen 5 hodnot. Měření probíhalo identickým způsobem a na totožných místech, jako den první. Okolo 10. hodiny ráno se obloha začalo pomalu vyjašňovat a po 10. hodině už bylo jasno. V tuto chvíli jsem měření ukončil, protože postrádalo smysl.

6.3 Naměřená data za jasného počasí

Datum měření: 12.5.2015

Počasí : Jasno

Teplota : 13-23,5°C

6.3.1 Měření referenčního bodu

První měření probíhalo v čase 9:16 až 9:34. Jednalo se o měření referenčního bodu.

Výsledky měření :

Severní šířka: (49,23 ± 0,01) °

Východní délka : (17,6563 ± 0,0003) °

Nadmořská výška : (274 ± 9) m

6.3.2 Měření ve vzdálenosti 100 cm od referenčního bodu směrem na sever

Měření probíhalo v čase 12:06 až 12:14

Výsledky měření:

Severní šířka : (49,23038 ± 0,00008) °

Východní délka : (17,65622 ± 0,00005) °

Nadmořská výška : (273 ± 5) m

6.3.3 Měření ve vzdálenosti 200 cm od referenčního bodu směrem na sever

Výsledky měření:

Severní šířka : (49,23028 ± 0,00009) °

Východní délka : (17,6563 ± 0,0002) °

Nadmořská výška : (259 ± 10) m

6.3.4 Měření ve vzdálenosti 300 cm od referenčního bodu směrem na sever

Výsledky měření:

Severní šířka : (49,23033 ± 0,00007) °

Východní délka : (17,6565 ± 0,0002) °

Nadmořská výška : (232 ± 27) m

6.3.5 Měření ve vzdálenosti 400 cm od referenčního bodu směrem na sever

Výsledky měření:

Severní šířka : (49,2301 ± 0,0002) °

Východní délka : (17,65657 ± 0,00008) °

Nadmořská výška : (200 ± 15) m

6.3.6 Měření ve vzdálenosti 100 cm od referenčního bodu směrem na jih

Severní šířka : (49,23042 ± 0,00008) °

Východní délka : (17,65626 ± 0,00006) °

Nadmořská výška : (249 ± 9) m

6.3.7 Měření ve vzdálenosti 200 cm od referenčního bodu směrem na jih

Severní šířka : (49,23034 ± 0,00001) °

Východní délka : (17,65627 ± 0,00005) °

Nadmořská výška : (200 ± 15)

6.3.8 Měření ve vzdálenosti 300 cm od referenčního bodu směrem na jih

Severní šířka : (49,23034 ± 0,00001) °

Východní délka : (17,6510 ± 0,0003) °

Nadmořská výška : (264± 4) m

6.3.9 Měření ve vzdálenosti 100 cm od referenčního bodu směrem na východ

Severní šířka : (49,23032 ± 0,00008) °

Východní délka : (17,65635 ± 0,00005) °

Nadmořská výška : (258 ± 6)

6.3.10 Měření ve vzdálenosti 200 cm od referenčního bodu směrem na východ

Severní šířka : (49,23029 ± 0,00007) °

Východní délka : (17,65619 ± 0,00002) °

Nadmořská výška : (255 ± 5)

6.3.11 Měření ve vzdálenosti 300 cm od referenčního bodu směrem na východ

Severní šířka : (49,23030 ± 0,00006) °

Východní délka : (17,6563 ± 0,0001) °

Nadmořská výška : (265 ± 5)

6.3.12 Měření ve vzdálenosti 400 cm od referenčního bodu směrem na východ

Severní šířka : (49,2302 ± 0,0002) °

Východní délka : (17,65621 ± 0,00006) °

Nadmořská výška : (260 ± 7) m

6.3.13 Měření ve vzdálenosti 100 cm od referenčního bodu směrem na západ

Severní šířka : (49,23025 ± 0,00004) °

Východní délka : (17,65624 ± 0,00007) °

Nadmořská výška : (252 ± 6) m

6.3.14 Měření ve vzdálenosti 200 cm od referenčního bodu směrem na západ

Severní šířka : (49,23025 ± 0,00004) °

Východní délka : (17,65628 ± 0,00010) °

Nadmořská výška : (251 ± 8) m

6.3.15 Měření ve vzdálenosti 300 cm od referenčního bodu směrem na západ

Severní šířka : (49,23029 ± 0,00005) °

Východní délka : (17,65619 ± 0,00010) °

Nadmořská výška : (234 ± 2) m

6.3.16 Měření ve vzdálenosti 400 cm od referenčního bodu směrem na západ

Severní šířka : (49,23026 ± 0,00006) °

Východní délka : (17,6562 ± 0,0002) °

Nadmořská výška : (232 ± 2) m

6.3.17 Statické měření při nabíjení

Severní šířka : (49,23036 ± 0,00002) °

Východní délka : (17,65630 ± 0,00004) °

Nadmořská výška : (261 ± 4) m

6.3.18 Kinematické měření:

Severní šířka : (49,23031 ± 0,00004) °

Východní délka : (17,65623 ± 0,00004) °

Nadmořská výška : (275 ± 4) m

6.3.19 Měření rozdílu souřadnic závisící na výšce přijímače (pod budovou)

Severní šířka : (49,23039 ± 0,00005) °

Východní délka : (17,6567 ± 0,0002) °

Nadmořská výška : (254 ± 6) m

6.3.20 Měření rozdílu souřadnic závisící na výšce přijímače (nahore v kanceláři)

Severní šířka : (49,23046 ± 0,00005) °

Východní délka : (17,6567 ± 0,0002) °

Nadmořská výška : (260 ± 11) m

6.4 Naměřená data za zataženého počasí

6.4.1 Měření rozdílu souřadnice závisící na výšce přijímače (nahore v kanceláři)

Severní šířka : (49,23056 ± 0,00009) °

Východní délka : (17,65633 ± 0,00007) °

Nadmořská výška : (268 ± 4) m

6.4.2 Měření rozdílu souřadnice závisící na výšce přijímače (pod budovou)

Severní šířka : (49,230 ± 0,0004) °

Východní délka : (17,6568 ± 0,0002) °

Nadmořská výška : (250 ± 8) m

6.4.3 Měření referenčního bodu

Severní šířka : (49,2305 ± 0,0002) °

Východní délka : (17,65623 ± 0,00005) °

Nadmořská výška : (248 ± 4) m

Výběr z naměřených dat se nachází v příloze.

6.5 Analýza naměřených dat

Z naměřených hodnot je jasné, že tento GPS přijímač měl velkou odchylku při měření nadmořské výšky. Odchylky měření nadmořské výšky se pohybovaly v rozmezí 4-27m. Při měření za jasného počasí, nahoře v kanceláři, dokonce ukazoval menší hodnoty, než které byly naměřené dole, pod budovou. Co se týče přesnosti měřených souřadnic v rozdílu výšky přijímače, za jasného počasí, byly hodnoty poměrně podobné, takže na mé měření výška přijímače neměla vliv. Při výškovém měření za zatažené oblohy přijímač ve vyšších patrech budovy vykazoval menší odchylku nadmořské výšky, nicméně při měření pod budovou po 5 naměřených hodnotách ztratil signál a už se zpátky nepřipojil. Za nepříznivého počasí, měla výška přijímače vliv na přesnost měřených souřadnic. Ve velké výšce vykazoval přesnější měření než ve spodním patře.

Nejpřesnějšího měření jsem dosáhl když byl přijímač napojen na externí zdroj energie, zde vykazovaly nejnižší odchylky v měření nadmořské výšky i při měřených geodetických souřadnic. Postupně jak baterie v přijímači slábala, slábala i jeho schopnost přesného určování souřadnic.

Tato naměřená data mohou posloužit studentům, při vykonávání mnou navržené laboratorní práce.

7 NÁVRH LABORATORNÍ ÚLOHY

Laboratorní úloha

Určete přesnost GPS přijímačů

Úkoly a postupy :

1. Změřte přesnost dvou přijímačů a určete, který je přesnější.
2. Zvolte si vhodný referenční bod ve volném prostanství (Například parkoviště pod Vědeckotechnickým parkem.
3. Umístěte přijímače na referenční bod. Pečlivě si změřte jeho pozici od různých orientačních bodů. Zapiště zeměpisné souřadnice a nadmořskou výšku. V časovém intervalu jedné minuty zapisujte naměřené hodnoty. Opakujte 5x.
4. Postupně posunujte přijímače po přímce a po vzdálenosti 1m až do vzdálenosti 3m od referenčního bodu. Opakujte postup uvedený v bodě 3. Měření proveďte do všech světových stran.
5. Vezměte přijímač běžte na referenční bod a zapiště souřadnice a nadmořskou výšku. Poté ujděte několik metrů a vraťte se zpátky na referenční bod a opět zapiště souřadnice a nadmořskou výšku. Opakujte 5x
6. Pro každé měření určete střední hodnotu a směrodatnou odchylku.
7. V závěru porovnejte hodnoty naměřené ze dvou přijímačů a určete, který z nich je přesnější na statické měření a na dynamické. Pojednejte o příčině nepřesného měření a jeho možné důsledky.

Použité pomůcky a přístroje :

2 přijímače GPS, metr, stopky, kompas, zápisový list

Teorie a základní pojmy:

Orientační bod

Je předmět, který nemění své umístění a lze se díky němu orientovat nebo určit pozici. Může se jednat například o strom, sloup, velký kámen, řeku.

Referenční bod

Bod, ke kterému se vztahuje měření nebo výpočty. Bod, který se nemění a je základem pro určité měření.

Zeměpisné souřadnice

Používají k jednoznačnému určení místa na Zemi. Jsou to sférické souřadnice s počátkem ve středu Země. Zeměpisná šířka je úhlová vzdálenost od rovníku. Zeměpisná šířka se rozlišuje buď podle znaménka, kdy severní polokoule je označována kladně a jižní záporně nebo se dají použít pojmy „severní šířka“ a „jižní šířka“. Zeměpisná délka je úhlová vzdálenost od poledníku, procházejícího Greenwichem ve Velké Británii (nutný poledník).

Zeměpisná šířka 90 stupňů odpovídá zeměpisnému severnímu resp. jižnímu pólu; zeměpisná šířka 0 stupňů pak rovníku.

GPS souřadnice

GPS souřadnice se mohou vyskytovat v několika formátech.

- Ve stupních ve formátu: DD.ddddd.(49,23030)
- Ve stupních a minutách: DD°MM.mmmm' (49°13,818')
- Ve stupních, minutách a vteřinách: DD°MM' SS.sss'' (49°13'49'')

Převody GPS souřadnic

Stupně na minuty

Chceme-li převést stupně na minuty, musíme vědět, že $1^\circ = 60'$. Při převodu tedy násobíme stupně číslem 60.

Při opačném převodu (minuty na stupně) vycházíme ze stejné znalosti. Při výpočtu ale stupně dělíme číslem 60.

Vyjádření úhlu desetinným číslem

1° je rovno 3600''. Při výpočtu tedy počet vteřin dělíme číslem 3600.

Příklad výpočtu:

$$49^\circ 13.863' \rightarrow 49 + 13.833 : 60 = 49.23055^\circ$$

$$12^\circ 15' 18'' \rightarrow 12 + 15:60 + 18/3600 = 12.255^\circ$$

Družicové navigační systémy

Struktura všech známých globálních satelitních navigačních systémů je stejná. Rozděluje se na 3 segmenty:

Kosmický segment je tvořen obíhajícími družicemi. Tyto družice obíhají zemi zhruba po kruhových drahách a ve výšce okolo 20 000 km nad zemským povrchem. Družice jsou vybaveny přijímačem, vysílačem a atomovými hodinami. energii pro svůj provoz získávají ze solárních panelů, které jsou nakloněny směrem ke Slunci.

Řídící segment vytváří a upřesňuje systémový čas, koordinuje a monitoruje činnost celého systému a provádí korekce polohy družic. Zpravidla se skládá z několika hlavních stanic a z několika uplodovacích stanic, které vysílají signály směrem ke družicím.

Uživatelský segment se skládá z uživatelských přijímačů, které jsou schopny zpracovávat družicové signály.

Metody měření

Při vypracování této úlohy budeme používat dvě metody. Statickou a kynematickou.

Statické měření je takové, kdy přijímač nemění svou polohu po celou dobu měření. Doba měření se pohybuje od několika sekund až po hodiny nebo dokonce dny. Doba měření závisí na požadavku na přesnost.

Kinematická metoda

Při této metodě sou přijímač pohybuje a po určitém časovém intervalu se měří zeměpisné souřadnice.

ZÁVĚR

Tato práce popisuje různé způsoby navigace a určování polohy. Od nejstarších se postupně práce přesouvá k nejmodernějším navigačnímu a pozičním systémům.

V práci jsou popsány základní metody a postupy sloužící k určení polohy na povrchu Země. Postupně se v této práci dostávám v problematice rádiových metod určování polohy a poté k samotnému Globálnímu družicovému navigačnímu systému. V práci je popsána historie a současnost nejznámějšího druživého navigačního systému GPS-Navstar. Dále se věnuji obecné struktuře všech družicových polohových systémů. V této části jsou zahrnuty informace o možných rušivých vlivech, jejich dopadu na přesnost měřených souřadnic a také způsobům jejich odstraňování. V poslední části kapitoly o obecné struktuře družicových navigačních způsobů popisují možné aplikace. Aplikací je velká spousta od bezpečnostních, vojenských, leteckých lodních až po aplikace sloužící pro zábavu. Následující kapitola detailně popisuje nově vznikající navigační systém Galileo. Popisují zde historii i budoucnost systému. Dále se práce věnuje popisu kosmického, řídicího i uživatelského segmentu a službám, které budou poskytovány po uvedení celého systému do provozu.

Praktická část se skládá ze dvou částí. V první části jsem měřil přesnost GPS souřadnic pomocí několika metod a za různých meteorologických podmínek. V návaznosti na naměřená data jsem navrhnul laboratorní úlohu pro budoucí studenty oboru BTSM. Tato laboratorní úloha by mohla být studenty velmi příjímně přijata, protože by pro ně byla změna, zpracovávat laboratorní úlohu někde jinde než v laboratoři.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Články o vojenské taktice - topografická příprava. *Diverzanti* [online]. 2004 [cit. 2015-05-31]. Dostupné z: http://www.diverzanti.cz/cl_36c
- [2] *Klub Vojenské Historie a Současnosti Rota Hloubkového Průzkumu, o.s.* [online]. 3.2.2011. 2011, 27.6.2011 [cit. 2015-05-31]. Dostupné z: <http://www.102pruzkumnyprapor.cz/dilce.htm>
- [3] RAPANT, Petr. *Družicové polohové systémy*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002, 197 s. ISBN 8024801248..
- [4] ŠEBESTA, Jiří. *Globální navigační systémy*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2012, 132 s. ISBN 978-80-214-4500-
- [5] GALILEO - Evropský globální navigační družicový systém - Český Kosmický Portál - Odbor ITS, kosmických aktivit a VaVaI. *Český Kosmický Portál - Odbor ITS, kosmických aktivit a VaVaI* [online]. 2015 [cit. 2015-05-31]. Dostupné z: <http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/galileo/>
- [6] European Commission - PRESS RELEASES - Press release - Frequently asked questions - Galileo, the EU's satellite navigation programme. *European Commission* [online]. 2015 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-15-4711_en.htm
- [7] Atomové hodiny družic GALILEO - Český Kosmický Portál - Odbor ITS, kosmických aktivit a VaVaI. *Český Kosmický Portál - Odbor ITS, kosmických aktivit a VaVaI* [online]. 2015 [cit. 2015-05-31]. Dostupné z: <http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/galileo/atomove-hodiny-druzic-galileo/>
- [8] SCHMID, Andreas. *Advanced Galileo and GPS receiver techniques: enhanced sensitivity and improved accuracy*. New York: Nova Science Publishers, c2009, vii, 235 p. ISBN 978-1-61209-808-1.
- [9] *Understanding GPS: principles and applications*. 2nd ed. Boston: Artech House, 2006, xvii, 703 s. ISBN 978-1-58053-894-7.
- [10] MENDIZÁBAL SAMPER, Jaizki, Roc BERENGUER a Juan MELÉNDEZ. *GPS: dual RF front-end receiver and design, fabrication, and test*. New York: McGraw-Hill, 2009, xiv, 194 p. ISBN 00-715-9869-3.

- [11] BORRE, K. *A software-defined GPS and Galileo receiver: a single-frequency approach*. Boston: Birkhäuser, 2007, xxi, 176 s. ISBN 978-0-8176-4390-4.
- [12] WIELGOSZ, P, S CELLMER, Z RZEPECKA, J PAZIEWSKI a D A GREJNER-BRZEZINSKA. Troposphere modeling for precise GPS rapid static positioning in mountainous areas. *Measurement Science and Technology*[online]. 2011, vol. 22, issue 4 [cit. 2015-05-28]. DOI: 10.1088/0957-0233/22/4/045101.
- [13] ELSOBEIEY, Mohamed a Ahmed EL-RABBANY. On stochastic modeling of the modernized global positioning system (GPS) L2C signal. *Measurement Science and Technology* [online]. 2010, vol. 21, issue 5 [cit. 2015-05-28]. DOI: 10.1088/0957-0233/21/5/055105
- [14] KAPLAN, Elliott D a C HEGARTY. *Understanding GPS: principles and applications*. 2nd ed. Boston: Artech House, 2006, xvii, 703 p. ISBN 1580538940.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

GPS	Global positioning system.
NCST	National Community Stabilization Trust.
NTS	Navigation Technology Sattelites.
ČR	Česká republika
WGS	World Geodetic.
NATO	North Atlantic Treaty Organization.
DOP	Dilution of Precision.
GNSS	Global Navigation Satellite System
EGNOS	European Goestationary Navigation Overlay Service.
CMCU	Clock Monitoring and Control Unit.
NSU	Navigation signal generator unit.
TT&C	Tracking and command statiton
OS	Open service.
CS	Commercial service.
PRS	(Publick Regulated Service.
SAR	Search and Rescue service

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Optické měření [2]</i>	19
<i>Obr. 2 Obecná architektura GNSS [2]</i>	27
<i>Obr. 3 Zvolený referenční bod</i>	46
<i>Obr. 4 Zaměřování referenčního bodu od středu sloupu</i>	46
<i>Obr. 5 Zaměřování referenčního bodu od středu sloupu naměřená vzdálenost</i>	47
<i>Obr. 6 Zaměřování referenčního bodu od patníku</i>	47
<i>Obr. 7 Zaměřování referenčního bodu od patníku – naměřená vzdálenost</i>	48
<i>Obr. 8 Měření na referenčním bodu</i>	49
<i>Obr. 9 Měření souřadnice ve vzdálenosti 100 cm od referenčního bodu na Sever</i>	49
<i>Obr. 10 Statické měření souřadnic pod budovou Vědeckotechnického parku</i>	50

SEZNAM TABULEK

Tab.1 Vysílání satelitů systému GPS.....	16
--	----

SEZNAM PŘÍLOH

P I Naměřené hodnoty.

PŘÍLOHA I : NAMĚŘENÉ HODNOTY

Měření - referenční bod za jasného počasí			
Čas[s]	severní šířka [°]	východní délka[°]	nadmořská výška[m]
9:16	49,23038	17,65596	281
9:18	49,23031	17,65593	281
9:20	49,23030	17,65590	282
9:22	49,20028	17,65660	279
9:24	49,2303	17,65660	279
9:26	49,23031	17,65598	280
9:28	49,23051	17,65626	272
9:30	49,23061	17,65628	264
9:32	49,23058	17,65631	262
9:34	49,23056	17,65633	264
průměr	49,227414	17,656215	274,4
střední kv. odchylka	0,01	0,0003	8,1
výsledky	49,23±0,01	17,6563±0,0003	274±9

Měření - referenční bod – nepříznivé počasí			
Čas[s]	severní šířka [°]	východní délka[°]	nadmořská výška[m]
9:51	49,23022	17,65628	246
9:53	49,2304	17,65627	244
9:55	49,2305	17,65618	248
9:57	49,23047	17,65621	252
9:59	49,2305	17,6562	254
průměr	49,230418	17,656228	248,8
střední kv. Odchylka	0,000125532	4,79583E-05	3,415650255
výsledky	49,2305±0,0002	17,65623±0,00005	248±4

Výškové měření- příznivé počasí (pod budovou)			
čas	severní šířka [°]	východní délka[°]	nadmořská výška[m]
15:01	49,2304	17,65695	260
15:03	49,23045	17,65682	259
15:05	49,23045	17,65702	258
15:07	49,23033	17,65642	249
15:09	49,23037	17,65646	247
15:11	49,23037	17,65695	250
15:13	49,23033	17,65643	259
15:15	49,23045	17,6567	257
15:17	49,2304	17,65695	255
15:19	49,23037	17,65673	247
průměr	49,23039	17,656743	254,1
střední kv. Odchylka	4,63801E-05	0,00023	5,3
výsledky	49,23039±0,00005	17,6567 ±0,0003	254±6

Výškové měření –příznivé počasí(kancelář)			
čas	severní šířka [°]	východní délka[°]	nadmořská výška[m]
	49,23045	17,65682	262
	49,2304	17,65645	255
	49,2304	17,65645	253
	49,23048	17,65673	244
	49,2305	17,65675	243
	49,23051	17,65673	263
	49,23046	17,65673	268
	49,23053	17,65645	271
	49,2304	17,65673	270
	49,23045	17,65675	270
průměr	49,23046	17,656659	259,9
střední kv. Odchylka	4,75628E-05	0,00015	10,63
výsledky	49,23046±0,00005	17,6567±0,0002	260±11

Výškové měření-nepříznivé počasí (kancelář)			
Čas[s]	severní šířka [°]	východní délka[°]	nadmořská výška[m]
9:07	49,23055	17,65638	272
9:09	49,2304	17,65643	269
9:11	49,2305	17,65642	263
9:13	49,23052	17,65632	264
9:15	49,23053	17,65632	268
9:17	49,23058	17,65623	270
9:19	49,2306	17,65625	270
9:21	49,23063	17,65627	271
9:23	49,23065	17,65635	269
9:25	49,23067	17,65637	265
průměr	49,230563	17,656334	268,1
střední kv. Odchylka	8,08359E-05	6,88315E-05	3,1
výsledky	49,23056±0,00009	17,65633±0,00007	268±4

Výškové měření – nepříznivé počasí (pod budovou)			
Čas[s]	severní šířk [°]	východní délka[°]	nadmořská výška[m]
9:31	49,23043	17,65657	238
9:33	49,23117	17,65676	250
9:35	49,2305	17,65675	258
9:37	49,23088	17,65695	255
9:39	49,23107	17,65687	253
9:41	x	x	x
9:43	x	x	x
9:45	x	x	x
9:47	x	x	x
9:49	x	x	x
průměr	49,23081	17,65678	250,8
střední kv. Odchylka	0,000332641	0,000143527	7,7
výsledky	49,2308±0,0004	17,6568±0,0002	250±8

Kinematické měření			
číslo měření	severní šířka [°]	východní délka[°]	nadmořská výška[m]
start	49,23035	17,65623	259
1	49,23032	17,65625	257
2	49,23027	17,65627	260
3	49,23035	17,65618	261
4	49,23027	17,6562	253
5	49,2303	17,65622	255
průměr	49,23031	17,65623	257,5
střední kv. Odchylka	3,63318E-05	3,27109E-05	3,1
výsledky	49,23031±0,00004	17,65623±0,00004	275±4