

Implementace GPS stanice se zvýšenou přesností A GPS module with higher precision

Bc. Pavel Bobek

Diplomová práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel Bobek**
Osobní číslo: **A15330**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační technologie**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Implementace GPS stanice se zvýšenou přesností**

Téma anglicky: **The Implementation of a Higher-Precision GPS Module**

Zásady pro vypracování:

1. **Prostudujte možnosti systémů SBAS a RTCM pro zpřesňování polohy GNSS přijímače.**
 2. **Vyberte 1-frekvenční GNSS přijímač, který podporuje jak SBAS, tak RTCM.**
 3. **Provedte měření přesnosti polohy u systémů GPS a GLONASS s vypnutým a zapnutým systémem SBAS v různých denních dobách.**
 4. **Implementujte zasílání RTCM dat do GPS přijímače.**
 5. **Porovnejte přesnost polohy přijímače při příjmu funkčních RTCM dat.**
-

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. VAN DIGGELEN, Frank Stephen Tromp. A-GPS: assisted GPS, GNSS, and SBAS. Boston: Artech House, c2009. GNSS technology and applications series. ISBN 1596933747.
2. MENDIZÁBAL SAMPER, Jaizki, Roc BERENGUER a Juan MELÉNDEZ. GPS & Galileo: dual RF front-end receiver and design, fabrication, and test. New York: McGraw-Hill, c2009, xiv, 194 s. ISBN 978-0-07-159869-9.
3. KAPLAN, Elliott D. a C. HEGARTY. Understanding GPS: principles and applications. 2nd ed. Boston: Artech House, c2006, xvii, 703 s. Artech House mobile communications series. ISBN 1-58053-894-0.
4. CHANG, Kang-Tsung. Introduction to geographic information systems. Eighth edition. New York: McGraw-Hill Education, 2016, xvi, 429. ISBN 978-981-4636-21-6.
5. NEUBAUER, Jiří, Marek SEDLAČÍK a Oldřich KRŮŽ. Základy statistiky: aplikace v technických a ekonomických oborech. 2., rozšířené vydání. Praha: Grada, 2016, 278 s. ISBN 978-80-247-5786-5.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tomáš Dulík, Ph.D.

Ústav informatiky a umělé inteligence

Datum zadání diplomové práce:

3. února 2017

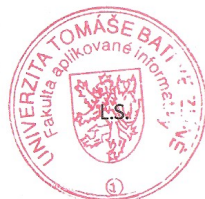
Termín odevzdání diplomové práce:

16. května 2017

Ve Zlíně dne 3. února 2017



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



prof. Mgr. Roman Jašek, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Práce se zabývá implementací měřicího systému využívajícího RTCM korekční data. Přesnost tohoto systému je srovnána s hlavními GNSS. V rámci práce jsou rozebrány principy satelitní navigace, metody určování polohy, struktury GNSS přijímače a komunikační protokoly NMEA a RTCM. Práce se dále věnuje popisu hlavním GNSS systémům a jejich segmentům. V praktické části práce shrnuje implementaci měřicího programu, popisuje způsob měření.

Klíčová slova: GNSS, SBAS, navigace, přijímač, korekce, měření

ABSTRACT

The thesis deals with the implementation of a measuring system using RTCM correction data. The accuracy of this system is compared to the main GNSS. It deals with principles of satellite navigation, positioning methods, GNSS receiver structure and NMEA and RTCM communication protocols. It describes main GNSS systems and their segments. The implementation of measuring program and methods of measurement are summarized in the practical part.

Keywords: GNSS, SBAS, navigation, receiver, correction, measurement

Mé hlavní poděkování patří rodině za projevenou podporu a motivaci v rámci psaní i během studia.

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 připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání 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, dne

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ABSTRAKT	4
ABSTRACT	4
ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 SATELITNÍ NAVIGACE	11
1.1 PRINCIP SATELITNÍ NAVIGACE.....	12
1.1.1 Princip měření na základě doby přenosu signálu.....	12
1.1.2 Základní princip satelitní navigace.....	13
1.1.3 Doba přenosu signálu.....	15
1.1.4 Určení pozice.....	16
1.1.5 Efekt a korekce časové chyby.....	17
1.1.6 Kódová měření.....	18
1.1.7 Fázová měření.....	19
2 METODY URČOVÁNÍ POLOHY POMOCÍ PŘIJÍMAČE	19
2.1 ABSOLUTNÍ URČOVÁNÍ POLOHY.....	19
2.2 RELATIVNÍ URČOVÁNÍ POLOHY.....	19
2.2.1 Statická metoda.....	20
2.2.2 Rychlá statická metoda.....	20
2.2.3 Metoda stop and go.....	21
2.2.4 Kinematická metoda.....	22
2.2.5 RTK.....	22
2.2.6 Diferenční navigace.....	23
3 GNSS PŘIJÍMAČ	24
3.1 ANTÉNA.....	25
3.2 RADIO-FREKVENČNÍ JEDNOTKA.....	25
3.3 OBVODY PRO SLEDOVÁNÍ KÓDŮ A FÁZÍ.....	26
3.4 MIKROPROCESOR.....	26
3.5 KOMUNIKAČNÍ A ZOBRAZOVACÍ JEDNOTKA.....	27
3.6 ZDROJ NAPĚTÍ.....	27
4 KOMUNIKAČNÍ PROTOKOLY	27
4.1 NMEA 0183.....	28
4.2 RTCM.....	33
4.2.1 Diferenční korekce.....	34
4.2.2 Pozice referenční stanice.....	35
5 GNSS	36
5.1 NAVSTAR-GPS.....	36
5.1.1 Kosmický segment.....	36
5.1.2 Řídící segment.....	37

5.1.3	Uživatelský segment.....	38
5.1.4	Navigační signály systému.....	38
5.1.5	Navigační zprávy systému.....	38
5.2	GLONASS.....	39
5.2.1	Kosmický segment.....	39
5.2.2	Řídící segment.....	40
5.2.3	Uživatelský segment.....	41
5.2.4	Navigační signály.....	41
5.2.5	Navigační zprávy.....	42
5.3	SBAS.....	42
5.3.1	WAAS.....	44
5.3.2	EGNOS.....	45
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	46
6	STANOVENÍ CÍLŮ MĚŘENÍ.....	46
7	POPIS ZVOLENÝCH PŘIJÍMAČŮ.....	47
7.1	REFERENČNÍ PŘIJÍMAČ.....	47
7.2	ANTÉNA REFERENČNÍHO PŘIJÍMAČE.....	47
7.3	MĚŘÍCÍ PŘIJÍMAČ.....	48
7.4	ANTÉNA MĚŘÍCÍHO PŘIJÍMAČE.....	48
8	POPIS MĚŘÍCÍHO PROGRAMU.....	49
8.1	KNIHOVNA PUREJAVACOMM.....	49
8.2	KNIHOVNA RTCMIOCOMPONENT.....	49
8.3	KNIHOVNA RTCMMESSAGEFILTER.....	50
8.4	KNIHOVNA RTCMCONFIGURÁTOR.....	50
8.5	KNIHOVNA RTCMBINDER.....	51
8.6	KNIHOVNA RTCMDEMO.....	52
8.7	KNIHOVNA RTCMRESULTPARSER.....	52
8.8	KNIHOVNA RTCMLOGFILTER.....	53
9	MĚŘENÍ.....	53
9.1	STANOVENÍ REFERENČNÍCH BODŮ.....	53
9.2	MĚŘENÍ GNSS.....	54
9.2.1	Měření GPS.....	54
9.2.2	Měření GPS se systémem SBAS.....	54
9.2.3	Měření GLONASS.....	55
9.2.4	Měření GLONASS se systémem SBAS.....	55
9.3	DIFERENČNÍ MĚŘENÍ.....	56
10	MĚŘENÍ.....	56
10.1	MĚŘENÍ GNSS – DEN.....	58

10.2	MĚŘENÍ GNSS – NOC.....	60
10.3	MĚŘENÍ GNSS – AGREGOVANÁ DATA.....	62
10.4	DIFERENČNÍ MĚŘENÍ.....	64
11	DISKUZE.....	65
11.1	ZHODNOCENÍ STANOVENÝCH CÍLŮ MĚŘENÍ.....	65
11.2	MOŽNÁ VYLEPŠENÍ.....	66
11.2.1	Využití přesnější antény na referenčním přijímači.....	66
11.2.2	Změna polohy měřicího přijímače.....	66
11.2.3	Jiný zdroj korekcí.....	66
11.2.4	Využití RTCMv3.....	66
	ZÁVĚR.....	67
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	68
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	71
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	73
	SEZNAM TABULEK.....	74
	SEZNAM PŘÍLOH.....	75

ÚVOD

V dnešní době existuje řada principů, metod a postupů pro určování polohy. Pro tyto účely byl vyvinuto nespočet zařízení a systémů, které umožňují jejich aplikaci. Navigační systémy a zařízení procházejí postupem času celkovou modernizací za účelem zvýšení jejich přesnosti či rozšíření funkcionality a také přibývají nová řešení a technologie.

Cílem této práce je zhodnocení současného stavu globálních navigačních systémů a výběr běžně dostupného přijímače, který s nimi umožňuje pracovat.

V teoretické části práce popisují principy satelitní navigace, věnují se základním metodám určování polohy a popisují strukturu navigačního přijímače. Poté uvádím komunikační protokoly, které jsou v této oblasti využívány. Následně shrnuji současný stav hlavních navigačních systémů, který doplňuji o informace o systémech rozšiřujících.

V praktické části věnuji pozornost stanovení vhodné metody pro určení přesnosti. Popisují zvolené přijímače. Uvádím vlastní implementaci měřicího programu a shrnuji dosažené výsledky.

Aplikace navigačních systémů je pro mě atraktivním tématem, jelikož se jedná o velmi dynamický segment informatiky, který prochází neustálým vývojem a jeho limity se stále posouvají. Se znalostmi v tomto oboru bude jistě mnohem jednodušší uplatnit se na trhu práce.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SATELITNÍ NAVIGACE

Satelitní navigace je metoda, která umiřující zapojení Globálního navigačního satelitního systému (dále jen GNSS) do procesu určení přesné polohy a času kdekoliv na Zemi. Zařízení využívající satelitní navigaci jsou hojně využívány soukromým i veřejným sektorem pro určování pozice, zaměřování, navigaci a určování přesného času v mnoha oborech lidské činnosti.

Využívání GNSS systémů umožňuje určovat následující důležité hodnoty kdekoliv na planetě Zemi. Mezi hodnoty patří určení přesné polohy a přesného času. Hodnoty je možné určit s velkou přesností, které popisuje tabulka (Tab. 1).

Typ hodnoty	přesnost
Poloha	20m-1mm
Koordinovaný světový čas	60ns-5ns

Tab. 1 Přesnost při určování polohy a času s využitím GNSS [1]

1.1 Princip Satelitní navigace

Kapitola přibližuje základní principy z nichž je odvozeno fungování satelitní navigace. Je zde věnována pozornost základům přenosu signálu. Principy jsou dále specifikovány až po fázové a kódové měření. Metody fázového a kódového měření jsou využívány v moderních GNSS přijímačích.

1.1.1 Princip měření na základě doby přenosu signálu

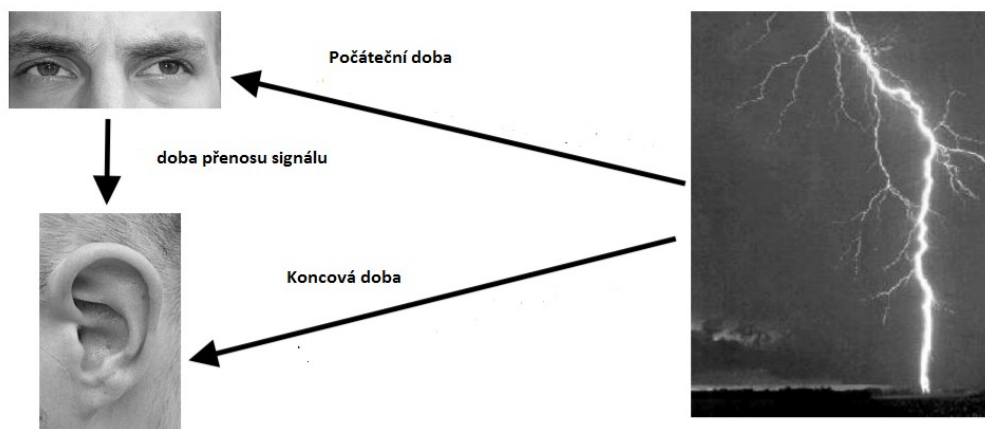
V průběhu bouřky existuje jednoduchá metoda pro určení v jaké vzdálenosti se nachází pozorovatel od místa kde udeřil blesk. Jedná se o měření založené na základě doby přenosu signálu. Pozorovatel si zaznamená dobu kdy viděl záblesk a označí ji jako počáteční dobu. Následně vyčká dokud neuslyší zvuk hromu. Okamžik zaslechnutí zvuku hromu označí jako koncová doba. Rozdíl mezi koncovou dobou a počáteční dobou je doba přenosu (Obr. 1). Následně vypočítá podle vzorce (1) vzdálenost od pozice kde udeřil blesk.

Satelitní navigace využívá obdobného principu. Pozice je vypočítávána relativně k pozici referenčních satelitů. V tomto případě je vzdálenost vypočítávána z doby přenosu radiového signálu generovaného daným satelitem.

$$d = \Delta t \cdot c_{\text{zvuk}} \quad (1)$$

kde:

d	[m]	vzdálenost příjemce od zdroje signálu
Δt	[s]	doba přenosu signálu
c_{zvuk}	[m.s ⁻¹]	rychlost zvuku



Obr. 1 Určení vzdálenosti od pozice úderu blesku[1]

1 Vzorec zanedbává dobu šíření světla vzhledem k vysoké rychlosti šíření světla.

1.1.2 Základní princip satelitní navigace

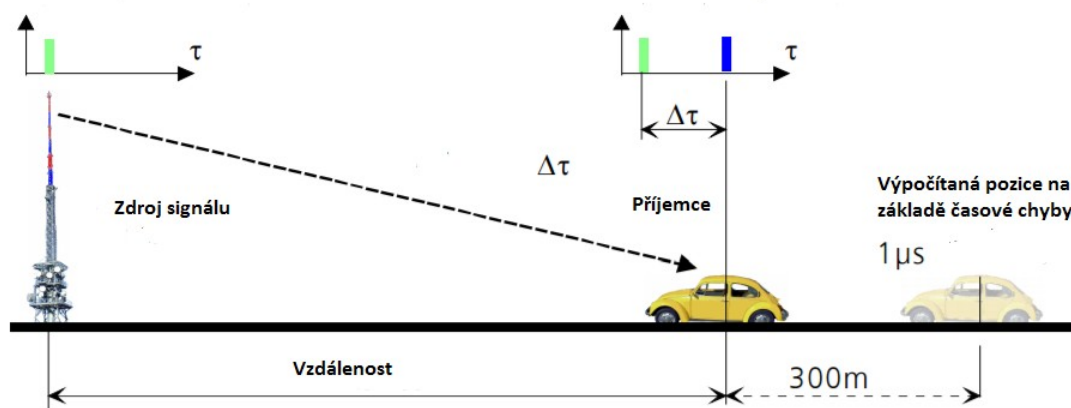
Hlavní systémy satelitní navigace používají stejný princip pro určování polohy. Všechny satelity generují časový signál. Na základě měření doby přenosu radiových vln (Δt) (elektromagnetický signál cestuje prostorem rychlostí světla) je vypočítána vzdálenost od příjemce (d). Vzdálenost příjemce od zdroje signálu je možné vypočítat dle uvedeného vztahu (2).

$$d = \Delta t \cdot c \quad (2)$$

kde:

d	[m]	vzdálenost příjemce od zdroje signálu
Δt	[s]	doba přenosu signálu
c	[m.s ⁻¹]	rychlost světla

Pro využití vzorce musí mít příjemce zdroj časového signálu synchronizovaný se zdrojem časového signálu. V případě kdy příjemce nemá přesně synchronizovaný zdroj časového signálu dochází při výpočtu k odchylce mezi vzdáleností vypočítanou a reálnou. V navigačních systémech se naměřená vzdálenost označuje jako pseudovzdálenost. A pro radiový signál chyba zdroje příjemce velikosti $1\mu\text{s}$ generuje chybu 300m. Postup výpočtu vzdálenosti znázorňuje obrázek (Obr. 2).



Obr. 2 Zjednodušený výpočet vzdálenosti na základě měření doby přenosu signálu.[1]

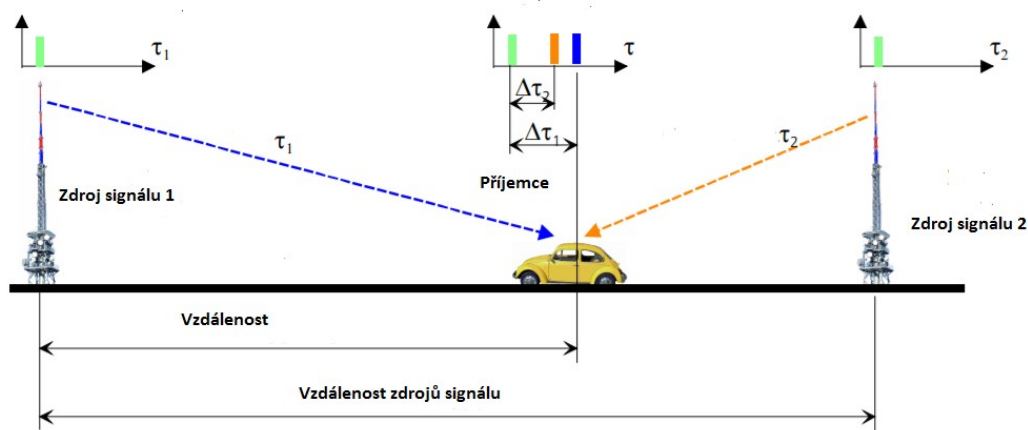
Vznik chyby můžeme vyřešit umístěním stejných atomových hodin do zařízení příjemce. Tato implementace je velmi efektivní, ovšem není praktikováno, jelikož se jedná o nákladné zařízení. Satelitní navigace využívá řešení, při kterém zapojí druhý zdroj synchronizovaného časového signálu do výpočtu vzdálenosti. Pro tento druhý zdroj signálu je známa vzdálenost od prvního zdroje signálu (A). Měření přenosových dob časových signálů

obou zdrojů je možné určit vzdálenost od libovolného zdroje bez nutnosti přítomnosti synchronizovaných atomových hodin u příjemce. Vztah pro vzdálenost od prvního zdroje signálu (d_1) je uvedena vztahem (3). U něho je chyba kterou je zatížen zdroj časového signálu u příjemce vyrušena vzájemným rozdílem přenosové doby od obou zdrojů. Výpočet dokumentuje obrázek (Obr. 3).

$$d_1 = \frac{(\Delta t_1 - \Delta t_2) \cdot c + A}{2} \tag{3}$$

kde:

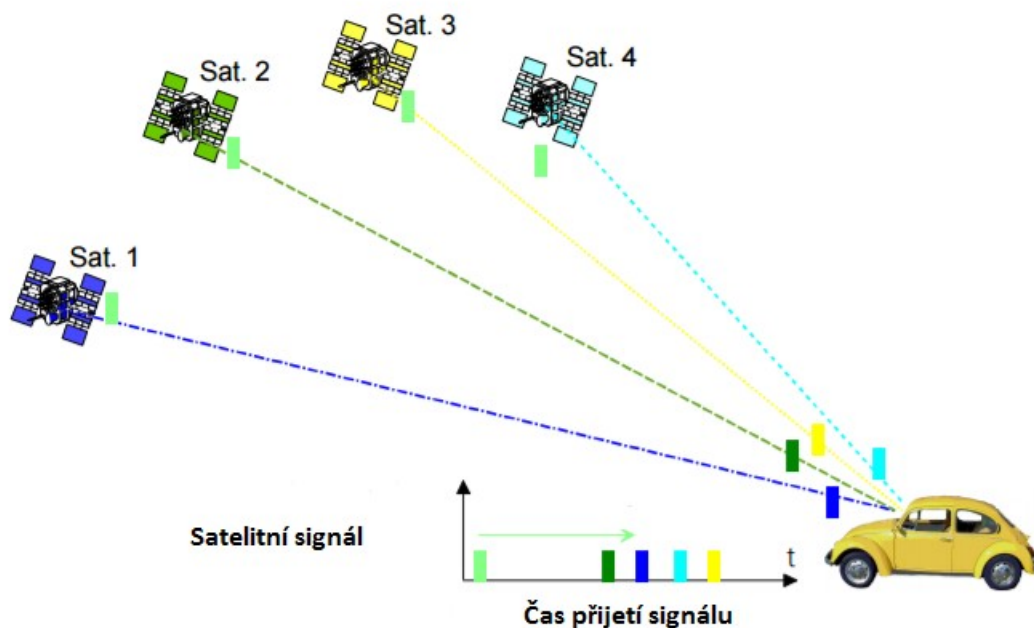
d_1	[m]	vzdálenost příjemce od zdroje signálu 1
Δt_1	[s]	doba přenosu signálu 1
Δt_2	[s]	doba přenosu signálu 2
c	[m.s ⁻¹]	rychlost světla
A	[m]	vzdálenost mezi příjemci



Obr. 3 Výpočet vzdálenosti na základě dvou zdrojů signálu.[1]

Řešení je využito pro výpočet polohy přidání další dimenze. Z toho lze vyvodit, že pro výpočet pozice za přítomnosti nesynchronizovaného zdroje časového signálu je zapotřebí aby počet zdrojů signálu (satelitů) převyšoval počet neznámých veličin o jednu. Tedy pro výpočet polohy v 2D jsou zapotřebí 3 zdroje signálu a pro výpočet polohy v 3D prostoru jsou zapotřebí 4 zdroje signálu.

Systémy satelitní navigace využívají satelity jako referenční zdroje časového signálu. Pro výpočet přesné polohy (zeměpisná šířka, zeměpisná délka, nadmořská výška) jsou tedy zapotřebí 4 satelity. Tento postup uvádí obrázek (Obr. 4).



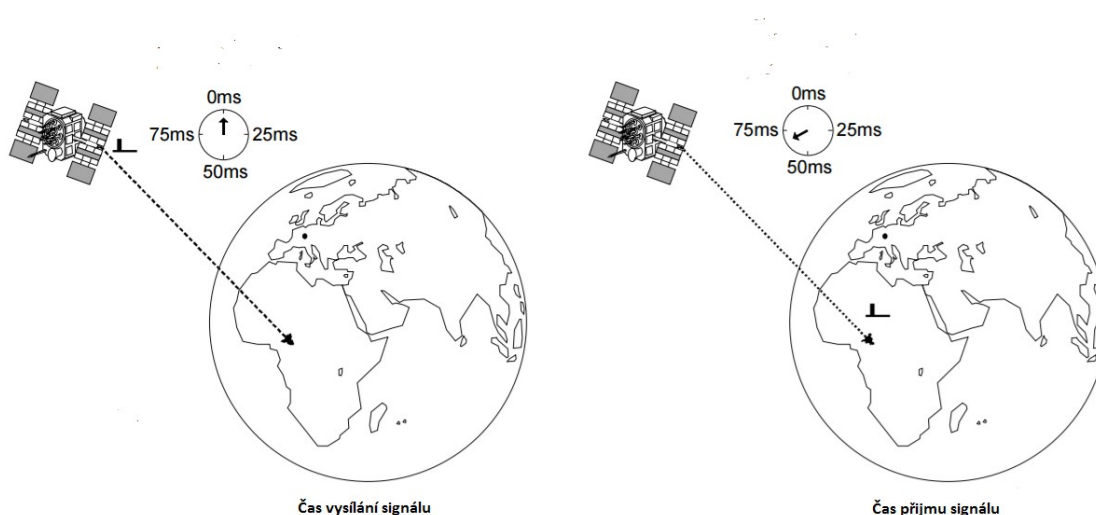
Obr. 4 Výpočet pozice na základě doby přenosu signálu.[1]

1.1.3 Doba přenosu signálu

GNSS disponuje satelity obíhajícími nad zemským povrchem, které jsou rozmístěny tak, že z každého místa na Zemi je možné být v dosahu alespoň 4 satelitů.

Každý satelit je vybaven atomovými hodinami. Jedná se o velmi přesné známé zařízení pro měření času. U atomových hodin dochází k zpoždění o 1 sekundu průměrně za každých 30 000 až 1 000 000 let. Za účelem zvýšení jejich přesnosti jsou synchronizovány s mnoha kontrolními místy na Zemi. Satelity poskytují časový signál, který cestuje rychlostí světla a doba, kterou potřebuje k dosažení zemského povrchu, který leží přímo pod satelitem, je přibližně 67,3 ms (Obr. 5). Signál potřebuje přibližně 3,33 μ s pro uražení každého dalšího kilometru. Pro určení pozice je zapotřebí přijímače schopného signál zpracovat, který disponuje zdrojem časového signálu. Na zařízení příjemce je následně generován kód, který je srovnáván se signálem ze satelitů. Na základě srovnání je možné určit přesnou polohu.

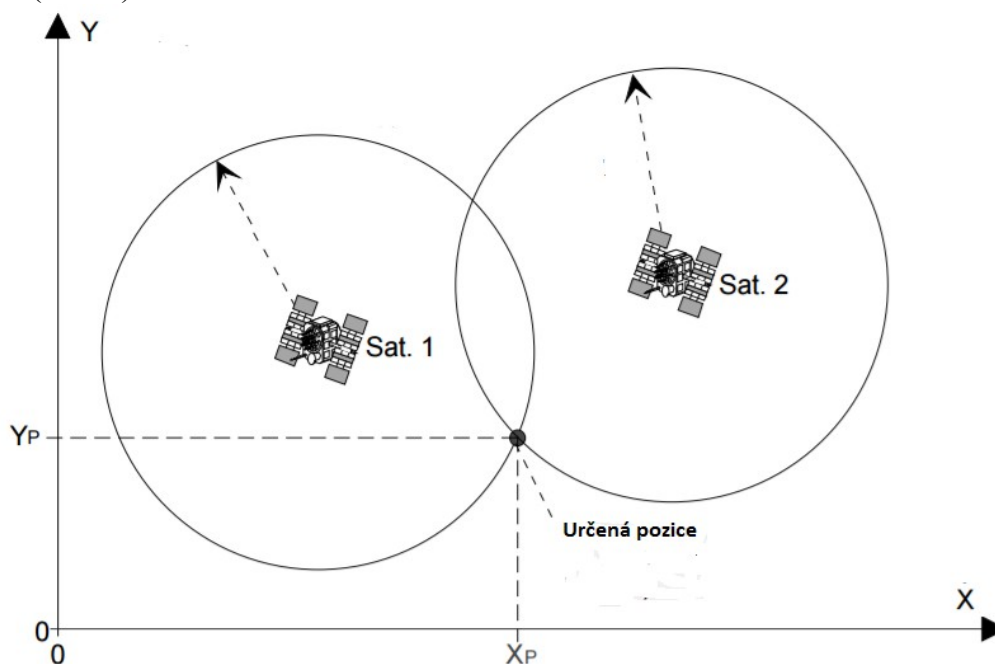
Pro určení vzdálenosti od satelitu je možné využít výše uvedený vzorec (1).



Obr. 5 Určení doby přenosu signálu[1]

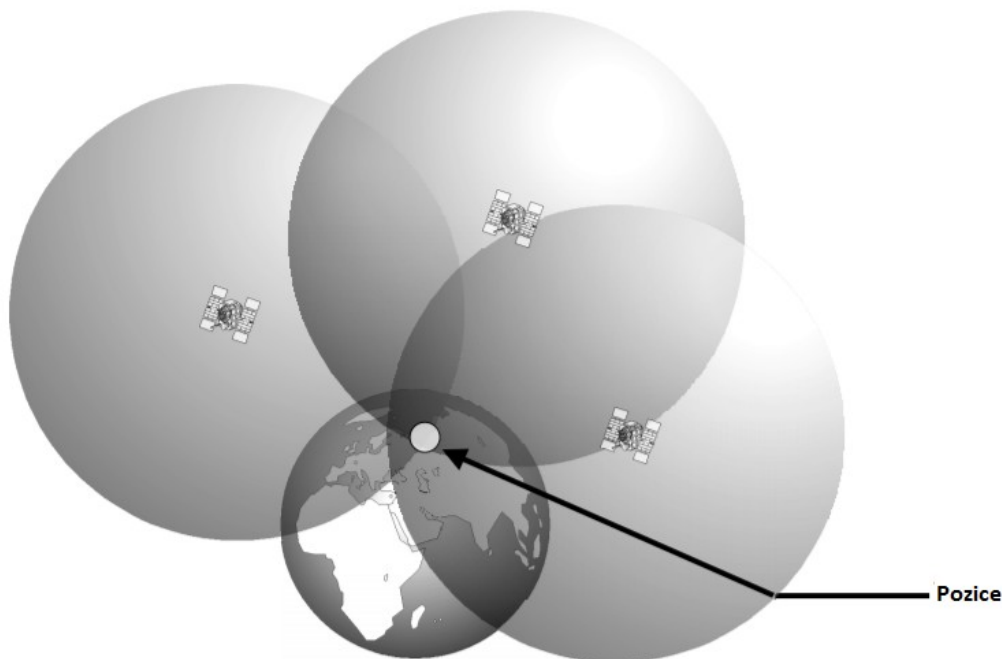
1.1.4 Určení pozice

Pro určování pozice při zanedbání chyby hodin příjemce se využívá následujícího postupu. Pro určení pozice za pomoci satelitní navigace v 2D prostoru (zeměpisná délka, zeměpisná šířka) je zapotřebí 2 satelitů, které přenášejí generovaný časový signál a svou pozici. Po určení doby přenosu signálu je možné stanovit dvě kružnice. Poloměr každé kružnice je roven vypočítané vzdálenosti od satelitu. Kružnice se budou protínat ve dvou bodech. Pokud vyloučíme průsečík kružnic ležících za satelity, dostáváme řešení určující pozici na ploše (Obr. 6).



Obr. 6 Pozice ve 2D určená na základě průsečíku 2 kružnic.[1]

V reálném světě potřebujeme určit pozici v 3D prostoru. Zde přibývá nová dimenze (nadmořská výška). K určení pozice je potřeba další satelit. Pokud vypočítáme vzdálenost od tří satelitů, tak všechny možné pozice leží na povrchu koulí, které mají střed v oblasti kde leží satelit a poloměr je roven vzdálenosti od satelitu. Skutečná pozice je bod, ve kterém se tyto koule protínají (Obr. 7).

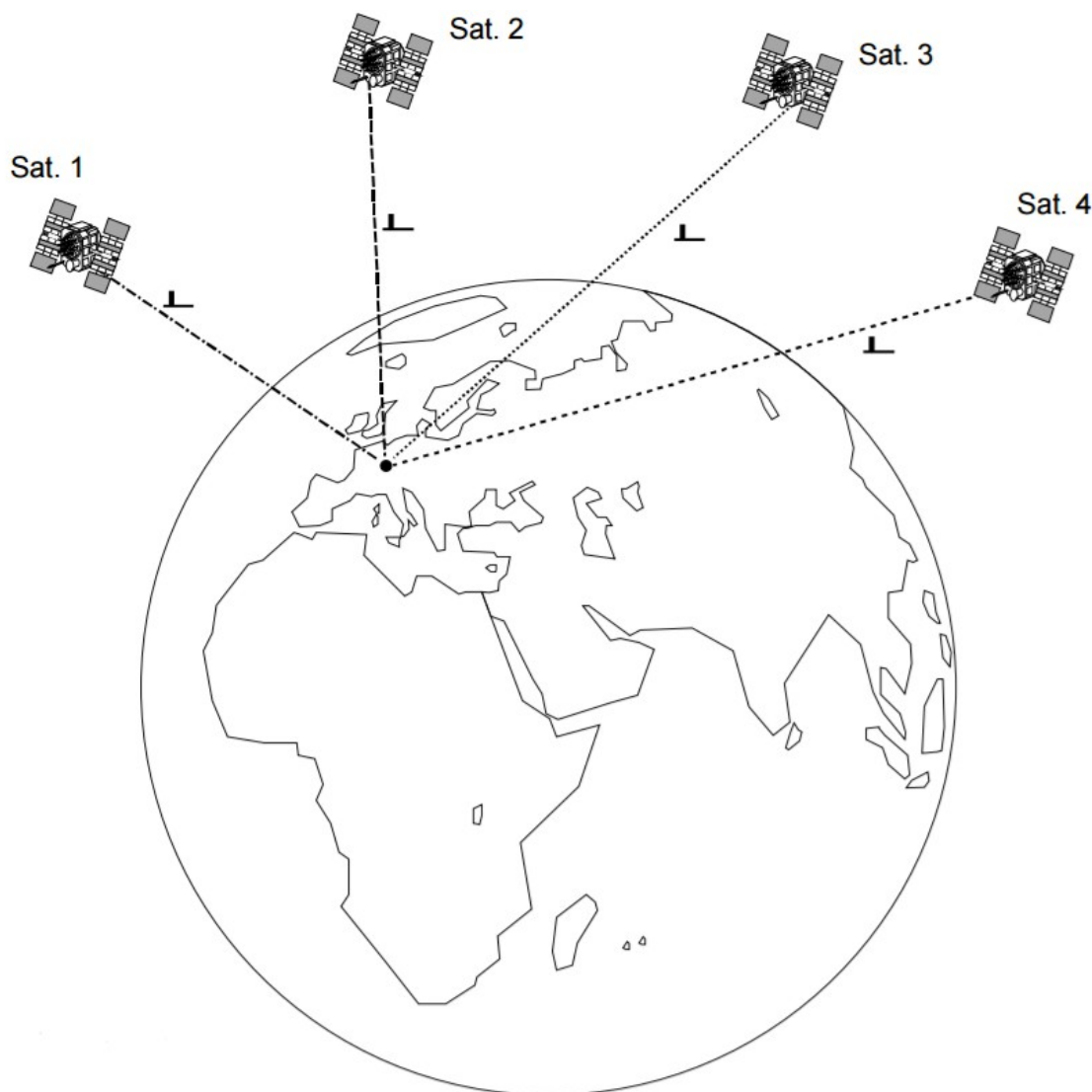


Obr. 7 Pozice ve 3D určená na základě tří satelitů.[1]

1.1.5 Efekt a korekce časové chyby

Závěry z předchozích dvou podkapitol jsou platné pouze v případě, že zdroj časového signálu je synchronizovaný s atomovými hodinami na palubě satelitů. Tedy, že doba přenosu signálu může být přesně vypočítána. Pokud je doba přenosu signálu vypočítána chybně dochází k chybě výpočtu popsané výše. Jelikož jsou všechny hodiny na palubě satelitů synchronizovány doba přenosů všech signálů je nepřesná u všech měření stejnou měrou.

Problém lze vyřešit matematicky. Pokud máme N neznámých je zapotřebí N lineárně nezávislých rovnic k jejich vyřešení. Pokud reprezentujeme chybu při měření času konstantou (Δt) dostáváme v systému satelitní navigace 4 neznámé proměnné a to zeměpisná šířka, zeměpisná výška, nadmořská výška a chyba měření času. Čtyři neznámé potřebují k řešení čtyři lineárně nezávislé rovnice, které je možné odvodit ze čtyř satelitů (Obr. 8).[1]



Obr. 8 Určení pozice ze signálů čtyř satelitů za předpokladu časové chyby[1]

1.1.6 Kódová měření

GNSS přijímače vlastní verzi kódu přenášeného navigačními signály na základě časového signálu generovaného hodinami. Kód je následně srovnáván s kódem, který je získán z přijímané vlny signálu vysílaného satelitem a je určen časový posun mezi kódy. V případě, že hodiny satelitu a přijímače jsou bezchybné a synchronizované bude časový posun odpovídat době cesty signálu mezi satelitem a přijímačem. Vynásobením časového posunu rychlostí světla je vypočtena vzdálenost od satelitu. Vzdálenost vypočtená tímto způsobem je označována jako pseudovzdálenost. V případě C/A kódu systému GPS (popsáno níže) odpovídá jeden bit kódu vlně o délce 300m. V případě přesnosti synchronizace 1% je dostáváme přesnost polohy bez uvažování dalších vlivů cca 3m.

1.1.7 Fázová měření

Měření založená na fázi nosné vlny využívají pro určování pseudovzdáleností fázového rozdílu mezi L1 a L2 signály. Přibližná vlnová délka signálu na frekvenci L1 je 19cm a na L2 se jedná o 24cm. Při přesné synchronizaci jako u kódového měření je možné určit fázový doměrek s až milimetrovou přesností. Jelikož u klasické sinusové vlny nelze určit čas jejího odeslání od satelitu, obsahují fázová měření nepřesností (ambiguity) v počtu celých vlnových délek. Ambiguity je možné vypočítat v systému rovnic fázového pozorování.[2]

2 METODY URČOVÁNÍ POLOHY POMOCÍ PŘIJÍMAČE

Hlavním účelem užívání satelitní navigace je určování přesné geografické polohy. Za tímto účelem vznikla řada metod. Jednotlivé metody se liší svou přesností, časovou náročností a pro některé je nutná kooperace více přijímačů. Dle parametrů se jednotlivé metody využívají buďto při navigaci (požadavek na okamžité vyhodnocení). Nebo v geodezii (požadavek na vysokou přesnost).

Metody určování polohy jsou použitelné jak pro statické tak pro dynamické určování polohy. Při statickém určování polohy je přijímač po dobu měření vzhledem k zemskému povrchu v klidu. Při kinematickém měření je anténa přijímače vzhledem k zemskému povrchu v pohybu. Způsob je možné využít při určování dráhy pohybujícího se tělesa na které je umístěn mobilní přijímač.

2.1 Absolutní určování polohy

Jedná se o základní metodu měření polohy. Metoda vychází ze základních principů satelitní navigace. Při jejím uplatnění předává přijímač naměřené souřadnice formou zpráv komunikačním protokolem uživateli. Souřadnice jsou určeny v geocentrickém souřadnicovém systému WGS84 a jsou předávány v reálném čase. Měřením absolutní metodou lze ovšem dosáhnout pouze metrové přesnosti. Při aplikaci korekčních dat je možné dosáhnout přesnosti submetrové. Absolutní určování polohy je využíváno především při navigaci.

2.2 Relativní určování polohy

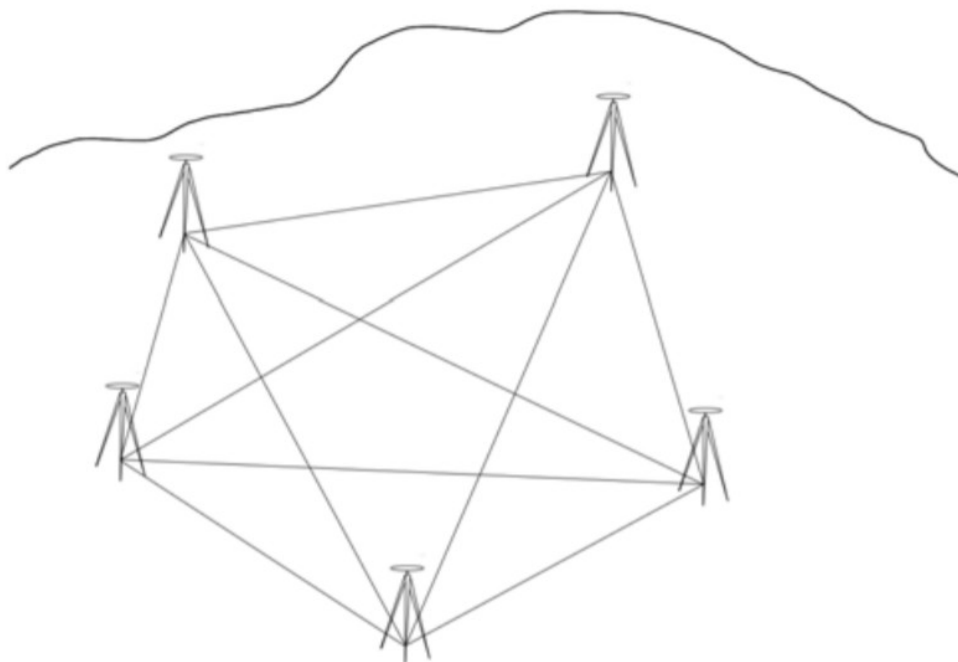
Metody založené na relativním určování polohy dosahují řádově vyšších přesností nežli metoda absolutní. Přesnost se zde pohybuje v jednotkách centimetrů. Díky tomu se metody

využívají v geodézii. Metoda je založena na výpočtu polohy za pomoci referenčních bodů se známými souřadnicemi. Výsledná poloha je dopočítávána na základě relativní polohy vůči referenčnímu bodu a souřadnici referenčního bodu.

2.2.1 Statická metoda

Metoda spočívá v kontinuální observaci několika aparatur v řádu hodin až dní (Obr. 9). Statická metoda je časově nejnáročnější, naproti tomu poskytuje nejpřesnější výsledky měření. Je používána pro speciální měření u nichž je vyžadován vysoký stupeň přesnosti. Jako příklad lze uvést budování polohových základů, regionální geodynamika, sledování posunů a přetvoření. Při opakovaných měřeních v časových intervalech s dostatečným rozstupem lze sledovat také tektonický posun bodů.

Při větších vzdálenostech přijímačů vykazuje metoda daleko vyšší přesnosti nežli metody klasické geodezie. Při proměřování přijímačů s extrémně velkými rozestupy (kontinentální měření) je však nutné modelovat velké množství faktorů, které se jindy neprojevují.

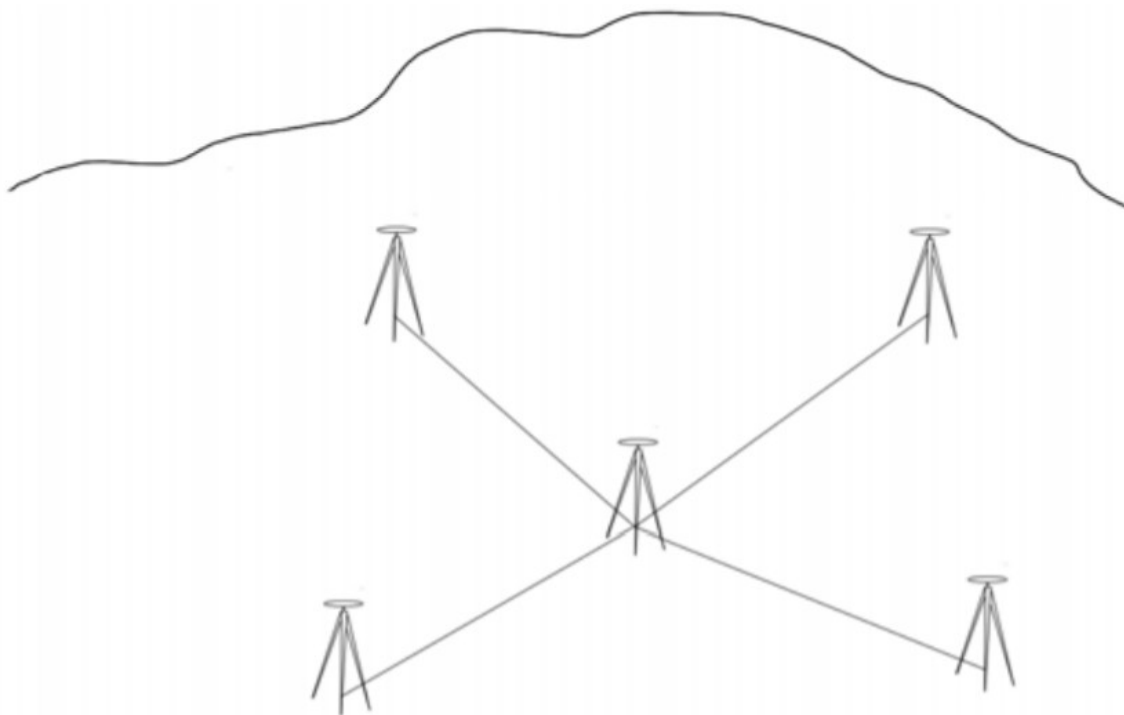


Obr. 9 Statická metoda[3]

2.2.2 Rychlá statická metoda

Rychlá statická metoda se přesností svého měření blíží statické metodě. Ovšem doba měření je výrazně kratší. Doba měření je v řádech několika minut. To je umožněno díky technologii rychlého určování ambiguit. Metoda vyžaduje pro svou funkcionalitu dvoufrekvenční přijímač a výhodnou konfiguraci družic (5-6 družic s elevací vyšší nežli 15°).

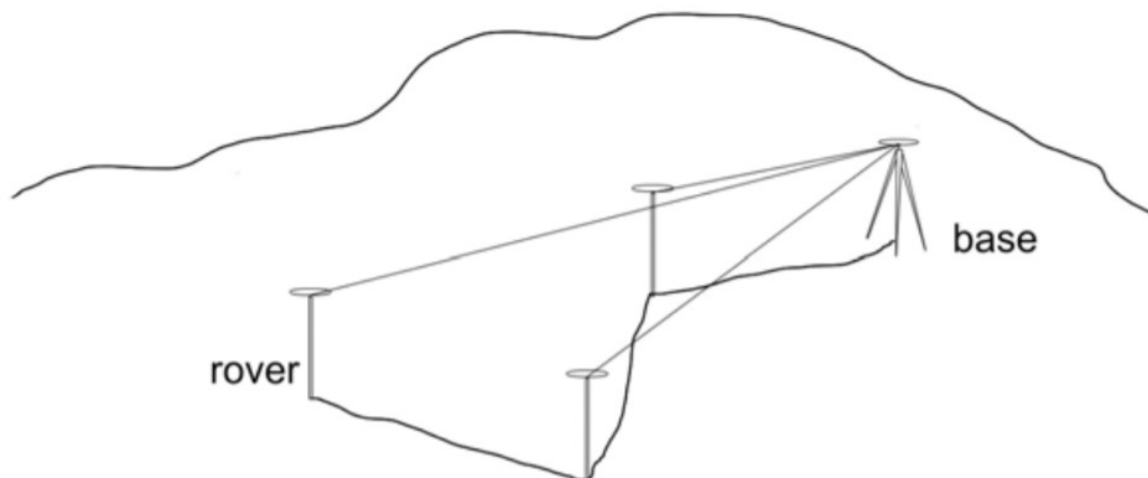
Metoda je realizována za pomoci dvou a více přijímačů (Obr. 10). Je jí možné uskutečnit ve vzdálenosti 15 kilometrů od zvoleného referenčního bodu. Je využívána pro zhušťování základních i podrobných bodových polí a budování prostorových sítí nižších přesností.



Obr. 10 Rychlá statická metoda[3]

2.2.3 Metoda stop and go

Metoda se řadí mezi nejrychlejší způsoby měření. Umožňuje určovat souřadnice měřených bodů s přesností v řádech centimetrů. Její základ vychází z rychlé statické metody. Přijímač však nepřestává měřit ani při přesunu mezi jednotlivými body měření. Pouze v prvním bodě je nutné setrvat dostatečně dlouhou dobu pro spolehlivé vyřešení ambiguity. Přijímač ,který se pohybuje musí být nastaven v kinematickém režimu. Referenční stanice může mít nastavený režim kinematický i statický. Na měřených bodech je možno měření zkrátit za předpokladu, že nedošlo ke ztrátě signálu (Obr. 11). Metoda se využívá pro určování souřadnic podrobných bodů.



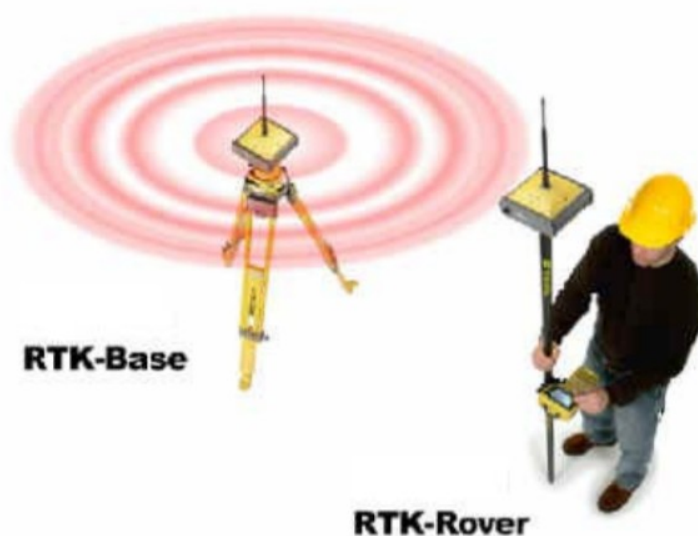
Obr. 11 Metoda stop and go[3]

2.2.4 Kinematická metoda

Kinematická metoda rozlišuje dvě technologie měření. První je kinematická metoda s iniciací. Ta je podobná metodě stop and go. Hlavním rozdílem je, že počáteční iniciaci (vyřešení ambiguit) provádí pohybující se přijímač v krátkém časovém okamžiku. Nutnost opakování iniciace po ztrátě signálu se snaží odstranit kinematická metoda bez iniciace. Zde se vychází z předpokladu, že ambiguita je možno určit na základě přesných kódových měření i při pohybu přijímače.

2.2.5 RTK

RTK metoda měření je nejmodernější. Je využito rádiového přenosu korekcí měření od referenční stanice k pohybujícímu se přijímači (Obr. 12). RTK nachází uplatnění při určování souřadnic bodů podrobných bodových polí a podrobných bodů. Nejvíce je ovšem využívána při vytyčování.



Obr. 12 RTK[3]

2.2.6 Diferenční navigace

Diferenční metoda se také označuje jako DGPS. Využívá předpokladu, že chyby, které nastanou při měření nepříliš vzdálenými přijímači, jsou závislé či značně korelované. Mezi takovéto chyby patří například chyby hodin satelitů nebo ohyb signálu v ionosféře.

Metoda je založena na předpokladu, že známe-li správnou polohu přijímače, který je označován jako básová stanice, můžeme v libovolném okamžiku určit chybu měření jeho polohy. S přibližně stejnou chybou měření budou měřit i přijímače uživatelů nacházející se v okolí referenční stanice. Jejich měření se dá zlepšit tím, že od jimi naměřených hodnot budeme odečítat chyby naměřené referenční stanicí (Obr. 13). Tyto chyby jsou označovány jako korekce.

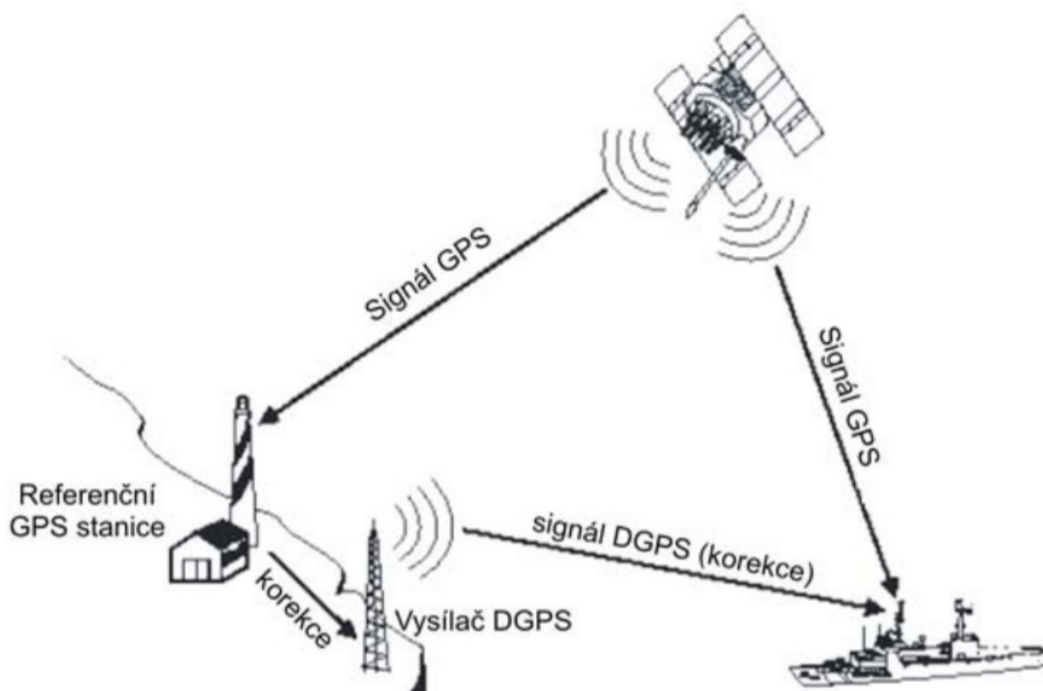
Existuje mnoho způsobů, jakými je možné dopravit korekce od referenční stanice k uživatelům. Nejčastějším způsobem je internet poskytovaný mobilním operátorem přes mobilní telefon a bluetooth do přijímače. Je možné využít rádiový komunikační kanál, rádiový datový systém (RDS), telefonní síť nebo družicový komunikační systém (INMARSAT).

Korekce pro jednotlivé satelity jsou referenční stanicí vysílány od okamžiku, kdy tato stanice přijme data od satelitů. Jsou využívány jak fáze kódu tak fáze vlny. Znaménko je voleno tak, aby se korekce v přijímačích přičítaly ke změřeným pseudovzdálenostem.

Pokud není nutné okamžité využití souřadnic v terénu, je možné zaznamenat korekce souběžně s probíhajícím měřením a k uživateli je přenést až po ukončení měření (např. Pomocí

internetu, na CD nebo DVD). A tyto korekce dodatečně zpracovat (tzn. Postprocessing).

Diferenční metody měření nachází uplatnění především při potlačování chyb vzniklých ionosférickou refrakcí. Nepotlačují však chyby spojené se šumem přijímače a mnohacestným šířením signálu. Metoda se nejčastěji využívá pro navigaci dopravních prostředků, pro geografické informační systémy, méně náročné geodetické práce, v zemědělství (Precision Farming nebo Intelligent Farming), lesnictví a řadě dalších aplikací kde vyhoví chyba menší nežli 1-5m.[3]



Obr. 13 Diferenční navigace[3]

3 GNSS PŘIJÍMAČ

Na příjem, měření a zpracovávání navigačních signálů jsou vyvinuty speciální zařízení, které se nazývají GNSS přijímače. Pro přesná měření v geodézii se využívají zařízení, které jsou konstruované pro kódové i fázové měření. Tvoří ovšem jen malou část trhu. Převážně jsou v dnešní době vyráběny přijímače, které umožňují okamžité vyhodnocování polohy za pomoci kódového měření.

Základními součástmi GNSS přijímače jsou anténa se zesilovačem, radio-frekvenční jednotka, moduly pro sledování signálu, komunikační a zobrazovací jednotka, frekvenční oscilátor a zdroj napětí.

3.1 Anténa

Hlavním účelem antény GPS přijímače je měnit energii elektromagnetických vln signálů přicházejících od satelitů na elektrický proud, který může být dále zpracován. Velikost a tvar antény jsou zásadními charakteristikami, od kterých se odvíjí schopnost přijímat slabý satelitní signál. Antény jsou konstruované pro příjem L1 frekvence nebo pro příjem více frekvencí. V ideálním případě konstrukce antény zajistí, že fázové spektrum je totožné s geometrickým středem antény. Poloha fázového spektra by měla být stabilní a nezávislá na směru. Ve skutečnosti je fázové centrum citlivé na orientaci a sklon antény. Proto se při geodetických měřeních doporučuje orientovat antény stejným směrem.

Signál přijatý anténou je velmi slabý. Proto je anténa doplněná zesilovačem, který zvyšuje hladinu signálu před tím než se dostane k přijímači.

3.2 Radio-frekvenční jednotka

Úlohou radio-frekvenční jednotky je změnit vysokou frekvenci nosných vln signálu GPS na nižší. Důvodem je, že nižší frekvence se v dalších částech přijímače snáze zpracovává nežli původně přijatý signál.

Referenční signál je obvykle generovaný křemíkovým oscilátorem. Přijímače jsou obvykle vybaveny standardním oscilátorem, jehož parametry odpovídají oscilátoru v náramkových hodinkách. Frekvenční oscilátory musí být značně spolehlivé, proto mají některé přijímače možnost připojení externího atomového oscilátoru (rubidiového nebo celsiového).

Anténa vždy přijímá současně signály z více satelitů. V přijímači se musí tyto signály od sebe oddělit, aby je bylo možné dále zpracovat. Signály se rozčlení do jednotlivých kanálů, ve kterých probíhá další sledování a zpracování separátně. Minimální potřebný počet kanálů pro frekvenci L1 jsou 4. Jsou nezbytné pro určení polohy a korekci hodin přijímače. Další kanály dovolují měření více satelitů a nebo měření na jiné frekvenci za účelem zvýšení přesnosti. Většina geodetických přijímačů poskytuje 8-12 kanálů pro L1, nebo 16-24 kanálů pro L1 a L2 současně. Díky tomu můžou sledovat signál více satelitů, přičemž signál se snímá spojitě v době dráhy satelitu nad horizontem.

3.3 Obvody pro sledování kódů a fází

Obvody pro sledování kódů a fází signálů jsou zařízení na měření přijatého signálu, který se mění s časem. V obvodech se zpětnou vazbou se porovnává přijatý signál se signálem generovaným na přijímači s cílem vytvoření chybového signálu jako jejich rozdílu. Minimalizací chybového signálu se hledá replika satelitního signálu posunutého v čase a frekvenci.

Obvod na sledování kódu se využívá pouze při kódových technikách na přiřazení posloupnosti pseudonáhodného kódu vysílaného satelitem a identického kódu generovaného přijímačem. V zařízení nazývaném korelátor se postupně posouvají v čase a vzájemně porovnávají tyto signály. Sleduje se přitom výstupní hodnota korelátoru, která je maximální pokud jsou oba signály totožné. Časový posun který byl potřebný pro vzájemné přiřazení signálů je rovný času potřebnému pro šíření signálu od satelitu k přijímači. Okamžiky vysílání pseudonáhodných kódů satelitů jsou synchronizované v systémovém čase. Přijaté signály proto poskytují i informaci o čase.

V přijímačích vybavených jen C/A kódem je možné rekonstruovat pouze nosnou vlnu frekvence L1. Na rekonstrukci L2 je potřeba znát i strukturu P-kódu. Respektive způsob jeho dešifrování z Y-kódu. Posloupnost P-kódu je velmi dlouhá. Proto se pro jeho dešifrování využívá informace získaná z C/A kódu.

Po identifikaci pseudonáhodných kódů se tyto kódy odstraní z přijatého signálu a zpracování pokračuje v obvodu sledování fáze. Přiřazením fáze přijatého filtrovaného signálu k fázi signálu generovaného přijímačem se demoduluje obsah navigační zprávy. V momentě kdy je oscilátor synchronizovaný se satelitním signálem se sleduje změna jeho fáze. Měřenou veličinou je počet cyklů přijaté vlny a aktuální zlomek fáze indikovaný oscilátorem. Aktuální vzdálenost k satelitu je složena z dvou částí a to z hodnoty fázového měření vynásobeného příslušnou vlnovou délkou a počátečního neurčitého počtu celých cyklů – ambiguita.

3.4 Mikroprocesor

Mikroprocesor řídí celou činnost přijímače. Vykonává numerické operace s přijatým a demodulovaným signálem. Umožňuje interaktivní práci s přijímačem a jeho programování. Mikroprocesor pracuje na digitální bázi a proto je potřeba aby byl přijatý analogový signál

nejprve digitalizovaný. Po spuštění přijímače se v mikroprocesoru začínají zpracovávat digitalizované informace. Výpočet časového intervalu z kódového měření a následné určení pseudovzdáleností, počítání celých cyklů a určení zlomkové části celé vlny. Z almanachů a efemeridů je určena pozice satelitů a z těchto hodnot následně vypočítána informace o poloze. Mikroprocesor umožňuje také vypočíst rychlost při pohybu určení okamžitých hodnot veličin DOP a transformaci z WGS 84 do lokálních souřadnicových systémů. Kromě výpočtů zpracovává mikroprocesor také uživatelské příkazy.

V případě přijímačů, které umožňují diferenční měření v reálném čase jsou v mikroprocesoru zabudovány programy na výpočet diferenčních korekcí kódových měření. Nebo také programy pro výpočet diferencí fázového měření. Jejich práce při použití rychlých algoritmů řeší výpočet ambiguit a iniciaci.

3.5 Komunikační a zobrazovací jednotka

Většina geodetických přístrojů má klávesnici a displej. Tyto periferie umožňují komunikaci s uživatelem. Klávesnice se využívá pro zadávání parametrů práce přijímače (interval měření, výškový filtr, způsob měření) a zadávání doplňujících informací jako jsou identifikační údaje bodu, výška antény nebo cílové souřadnice při navigaci. Na displeji se zobrazuje menu s případnou vizuální realizací měření polohy.

3.6 Zdroj napětí

Zdrojem napětí jsou interně nabíjené baterie, které dodávají potřebné napětí. Některé typy přijímačů mají snížené nároky na zdroje napětí tak aby dosáhly delšího provozu bez nutnosti dobíjení. Moderní přijímače umožňují funkcionalitu pouze na základě napájení skrz USB.[4]

4 KOMUNIKAČNÍ PROTOKOLY

GNSS přijímače používají ke komunikaci s uživatelem řadu protokolů. Značná část těchto protokolů je specifických pro daný přijímač nebo pro určitou aplikaci, jako je postprocessing. Jelikož je množství protokolů velké a jedná se o obsáhle protokoly věnují zde pozornost pouze dvěma. Prvním je protokol NMEA 0183, který je využíván pro komunikaci přijímače s uživatelem. Dalším je protokol RTCM, který se využívá pro přenos diferenčních korekcí mezi jednotlivými přijímači. Zmíněné protokoly jsou v dnešní době brány jako standardy komunikace pro přijímače a valná většina přijímačů využívá ke komunikaci

právě tyto protokoly.

4.1 NMEA 0183

Protokol vznikl před uvedením systému GPS do provozu. Jeho hlavním účelem je předávání zpráv mezi navigačními senzory a uživatelským subsystémem. S postupem času se stal standardem pro komunikaci GPS přijímačů. V dnešní době prakticky všechny přijímače umožňují komunikaci tímto protokolem. Podporován je i ze strany aplikací jako jsou GIS. Protokol NMEA 0183 byl vytvořen americkou asociací pro námořní elektrotechniku (anglicky National Marine Electronics Association). Původně sloužil jako rozhraní mezi různými komunikačními a navigačními systémy.

NMEA 0183 je textově orientovaný protokol. To znamená, že data přenášená tímto protokolem jsou interpretována jako textové řetězce složené ze znaků tabulky ASCII. Pro přenos různých navigačních dat jsou v protokolu definovány specifické zprávy. Každá zpráva je uvozena počátečním znakem '\$' a končí znaky CR (Carriage Return) a LF (Line Feed). Délka jedné zprávy tohoto protokolu nesmí být delší než 80 znaků bez výše uvedených.

Za uvozovacím znakem následuje pětimístný kód, který identifikuje zprávu. Za tímto kódem následují navigační data které jsou odděleny čárkami. Pokud není daný navigační údaj dostupný následuje bezprostředně další čárka. První dvě písmena v pětimístném kódu identifikují zdroj zprávy (talker). Další tři identifikují danou zprávu. Za poslední datovou položkou následuje znak '*', po kterém zpráva obsahuje kontrolní součet. Kontrolní součet je vytvořen jako exkluzivní součet všech znaků mezi znaky '\$' a '*' a je zapsán hexadecimálně. Význam jednotlivých datových položek je pevně určen typem zprávy. Zprávy existují standardizované a proprietární, které umožňují výrobcům definovat vlastní zprávy. Pokud je zpráva protokolu spojená se zpracováním signálu z GPS přijímače bude v jejím identifikátoru označení GP. V případě GLONASS bude zpráva označena GL. Při společném vyhodnocování obou satelitních navigačních systémů je v identifikátoru řetězec GN. Zprávy jsou generovány přijímačem zpravidla každou sekundu. Jejich frekvenci je však možné v přijímači nastavit. Jednotlivé vybrané zprávy generované GPS přijímači popisuje tabulka (Tab. 2).[6]

Kód zprávy	Význam anglicky	Význam česky
RMC	Recommended Minimum Data	Doporučená minimální navigační zpráva
VTG	Track made good and Ground speed	Zpráva o dráze a pozemní rychlosti
GGA	Fix Information	Základní stav
GSA	Overall Satelite Data	Celková informace o satelitech
GSV	Detailed Satelite Data	Detailní zpráva o satelitech
GLL	Geographic position Latitude/Longitude	Zpráva o geografické pozici
GST	GPS Pseudorange Noise Statistic	Zpráva o chybách měření

Tab. 2 Vybrané zprávy protokolu NMEA 0183

Doporučená minimální navigační zpráva obsahuje údaje o čase, poloze a rychlosti, její podrobná struktura je naznačena vztahem (7).

příklad: \$GPRMC,010007.00,A,4905.13915,N,01752.57461,E,0.045,,030517,,D*75 (7)

kde:

	formát:	Hodnota:	Jednotka: a:	Význam:
1	číslo	010007.00	-	Čas UTC (01:00:07)
2	znak	A	-	Stav(A=OK,V=varování)
3	číslo	4905.13915	-	Zeměpisná šířka(49° 05,13915')
4	znak	N	-	Polokoule severní(N), jižní(S)
5	číslo	01752.57461	-	Zeměpisná délka(17° 52,57461')
6	znak	E	-	Polokoule východní(E), západní(W)
7	číslo	0.045	[uzel]	Rychlost v horizontální rovině
8	číslo	není	[°]	Kurz pohybu
9	číslo	030517	-	Datum (3. května 2017)
10	číslo	není	[°]	Magnetická deklinace
11	znak	není	-	Směr magnetické deklinace východ(E)/západ(W)
12	znak	není	-	Indikátor módu(A=OK,V=varování)
13	*číslo	*75	-	Kontrolní součet

Zpráva o dráze a pozemní rychlosti má následující tvar, popsany vztahem (8).

příklad: \$GPVTG,,T,,M,0.030,N,0.056,K,A*23

(8)

kde:

	formát:	Hodnota:	Jednotka:	Význam:
1	číslo	není	[°]	Kurz ve stupních.
2	znak	T	-	Pevně stanovená hodnota (pouze T)
3	číslo	není	[°]	Magnetický kurz ve stupních
4	znak	M	-	Pevně stanovená hodnota (pouze M)
5	číslo	0.030	[uzel]	Rychlost v uzlech
6	znak	N	-	Pevně stanovená hodnota (pouze N)
7	číslo	0.056	[km/h]	Rychlost v kilometrech za hodinu
8	znak	K	-	Pevně stanovená hodnota(pouze K)
9	znak	A	-	Indikátor módu(A=OK, V=varování)
10	*číslo	*23	-	Kontrolní součet

Zpráva o základním stavu poskytuje informace o měřené poloze včetně výšky. Její zpracování je naznačeno vstahem (9).

příklad: \$GPGGA,130005.00,4905.14048,N,01752.57483,E,1,10,0.87,374.4,M,41.2,M,,*5B (9)

kde:

	formát:	Hodnota:	Jednotka:	Význam:
1	číslo	130005.00	-	Čas UTC (13:00:05)
2	znak	A	-	Stav(A=OK,V=varování)
3	číslo	4905.14048	-	Zeměpisná šířka(49° 05,14048')
4	znak	N	-	Polokoule severní(N), jižní(S)
5	číslo	01752.57483	-	Zeměpisná délka(17° 52,57483')
6	znak	E	-	Polokoule východní(E), západní(W)
7	číslo	1	-	Indikátor kvality měření: chyba(0), standard(1) a DGPS(2)
8	číslo	10	-	Počet viditelných satelitů(0-12)
9	číslo	0.87	-	HDOP
10	číslo	374.4	-	Výška antény nad geoidem WGS84
11	znak	M	-	Jednotka předchozího údaje(M-metr)
12	číslo	není	[s]	Stáří poslední korekce DGPS
13	číslo	není	-	Identifikační číslo stanice vysílající DGPS
14	*číslo	*5B	-	Kontrolní součet

Celková správa o satelitech popisuje SVN identifikátory viditelných satelitů. Je rozebrána ve vztahu (10).

příklad: \$GPGSA,A,3,31,24,32,12,25,06,19,02,29,14,,1.72,0.87,1.49*06 (10)

kde:

	formát:	Hodnota:	Jednotka:	Význam:
1	znak	A	-	Operační mód(A=OK, V=varování)
2	číslo	3	-	Navigační mód(1=chyba, 2=2D Fix, 3=3D Fix)
3	číslo	31	-	SVN 1. dostupného satelitu
4	číslo	24	-	SVN 2. dostupného satelitu
5	číslo	32	-	SVN 3. dostupného satelitu
6	číslo	12	-	SVN 4. dostupného satelitu
7	číslo	25	-	SVN 5. dostupného satelitu
8	číslo	06	-	SVN 6. dostupného satelitu
9	číslo	19	-	SVN 7. dostupného satelitu
10	číslo	02	-	SVN 8. dostupného satelitu
11	číslo	29	-	SVN 9. dostupného satelitu
12	číslo	14	-	SVN 10. dostupného satelitu
13	číslo	není	-	SVN 11. dostupného satelitu
14	číslo	není	-	SVN 12. dostupného satelitu
15	číslo	1.72	-	PDOP
16	číslo	0.87	-	VDOP
17	číslo	1.49	-	HDOP
18	*číslo	*06	-	Kontrolní součet

Detailní zpráva o satelitech předává přesnější informace o jednotlivých satelitech, její podrobný popis uvádí vztah (11).

příklad: \$GPGSV,3,1,11,02,36,115,32,03,00,003,,06,30,063,35,12,72,056,40*7F (11)

kde:

	formát:	Hodnota:	Jednotka:	Význam:
1	číslo	3	-	Celkový počet zpráv o podrobných údajích satelitů.
2	číslo	1	-	Číslo aktuální zprávy.
3	číslo	11	-	Počet viditelných satelitů.
4	číslo	02	-	SVN satelitu
5	číslo	36	[°]	Elevace satelitu(4)
6	číslo	115	[°]	Azimut satelitu(4)
7	číslo	32	-	Kvalita signálu satelitu(4)
8	číslo	03	-	SVN satelitu
9	číslo	00	[°]	Elevace satelitu(8)
10	číslo	003	[°]	Azimut satelitu(8)
11	číslo	není	-	Kvalita signálu satelitu(8)
12	číslo	06	-	SVN satelitu
13	číslo	30	[°]	Elevace satelitu(12)
14	číslo	063	[°]	Azimut satelitu(12)
15	číslo	35	-	Kvalita signálu satelitu(12)
16	číslo	12	-	SVN satelitu
17	číslo	72	[°]	Elevace satelitu(16)
18	číslo	056	[°]	Azimut satelitu(16)
19	číslo	40	-	Kvalita signálu satelitu(16)
20	*číslo	*7F	-	Kontrolní součet

Zpráva o geografické pozici obsahuje základní informace o geografické poloze. Informace přenášené touto správou jsou uvedené vztahem (12).

příklad: \$GPGLL,4905.14048,N,01752.57483,E,130005.00,A,A*63 (12)

kde:

	formát:	Hodnota:	Jednotka:	Význam:
3	číslo	4905.14048	-	Zeměpisná šířka(49° 05,14048')
4	znak	N	-	Polokoule severní(N), jižní(S)
5	číslo	01752.57483	-	Zeměpisná délka(17° 52,57483')
6	znak	E	-	Polokoule východní(E), západní(W)
7	číslo	130005.00	-	Čas UTC
8	znak	A	-	Příznak stavu(A=OK, V=neplatné data/varování)
9	znak	A	-	Indikátor módu(A=Fix gps, V=senzorický fix)
14	*číslo	*5B	-	Kontrolní součet

Zpráva o chybách měření uvádí statistické informace o chybách měření. Její obsah uvádí vztah (13).

příklad: \$GPGST,130005.00,18,, , ,1.9,1.4,3.1*56 (9)

kde:

	formát:	Hodnota:	Jednotka:	Význam:
1	číslo	130005.00	-	Čas UTC (13:00:05)
2	číslo	18	[m]	Směrodatná odchylka rozsahu
3	číslo	není	[m]	Směrodatná odchylka středové osy
4	číslo	není	[m]	Směrodatná odchylka středové osy
5	číslo	není	[°]	Natočení v rámci středové osy
6	číslo	1.9	[m]	Chyba měření zeměpisné šířky
7	číslo	1.4	[m]	Chyba měření zeměpisné délky
8	číslo	3.1	[m]	Chyba měření zeměpisné výšky
14	*číslo	*56	-	Kontrolní součet

4.2 RTCM

Protokol slouží k přenosu korekčních zpráv mezi jednotlivými přijímači. Uvedená verze protokolu vychází ze standardu RTCM SC-104. Standard vyvinula americká organizace Radio Technical Commission for Maritime Services. Protokol je přenášen binární formou. Slouží k předávání dat, která slouží k odstranění chyb, které jsou společná pro referenční přijímač a přijímač uživatele. Mezi tyto chyby spadají:

- Chyba v předpovědi efemeridů
- Chyba v predikci satelitních hodin
- Ionosférické refrakce
- Troposférické refrakce
- Uměle zavedené chyby do signálu
- Diferenční chyby troposférické refrakce
- Offset hodin referenční stanic

Data jsou předávány formou zpráv. Každá zpráva má jedinečný identifikátor. Část zpráv je určená napevno. Obsah části je volitelný pro výrobce přijímačů. Část zpráv je rezervována pro budoucí využití. Každá zpráva je rozdělena na slova délky 30 bitů. Každá zpráva je

uvozena hlavičkou, která má délku 2 slov (60 bitů). Hlavička RTCM zprávy je popsána v tabulce (Tab. 3).

Slovo	Počet bitů	Popis
1	8	Preambule
1	6	ID zprávy
1	10	ID referenční stanice
1	6	Paritní součet
2	13	Modifikovaný Z-součet
2	5	Počet slov ve zprávě
2	3	Identifikátor Station Health
2	6	Paritní součet

Tab. 3 Hlavička zprávy protokolu RTCM [7]

Dokument v této verzi (verze 2.3) umožňuje existenci až 64 zpráv. Samotně definuje 33 zpráv. Pro zprovoznění diferenčního měření nejsou potřeba zprávy všechny a proto výrobci přijímačů implementují pouze některé zprávy. V této části jsou uvedeny vybrané zprávy (Tab. 4), které jsou podstatné pro minimální režim diferenčního měření, jenž popisuje manuál zvolené báze stanice [6].

ID zprávy	Popis
1	Diferenční korekce
3	Pozice referenční stanice

Tab. 4 Vybrané zprávy protokolu RTCM [7]

4.2.1 Diferenční korekce

Tento typ zprávy slouží k předávání korekčních dat mezi přijímači. Zpráva předává dva parametry pro každý satelit. V těchto parametrech jsou korekce pseudovzdáleností a korekční rozsah. Jednotlivé pseudovzdálenosti jsou pak dopočítány v přijímači uživatele (rover) dle vztahu (7,8).

$$PRC(t) = PRC(t_0) + RRC \cdot [t - t_0] \quad (7)$$

kde:

PRC	[-]	Korekce pseudovzdálenosti
PRC(t_0)	[-]	Korekce pseudovzdálenosti (obsažená ve zprávě)
RRC	[-]	Korekční rozsah (obsažen ve zprávě)
t	[s]	Čas výpočtu pozice
t_0	[s]	Z-count (obsažen v hlavičce zprávy)

$$PR(t) = PRM(t) + PRC(t) \quad (8)$$

kde:

PR	[-]	Vypočítaná pseudovzdálenost
PRM	[-]	Naměřená pseudovzdálenost
PRC	[-]	Korekce pseudovzdálenosti
t	[s]	Čas výpočtu pozice

Zpráva poskytuje výše uvedené data pro každý satelit, který je v dosahu referenční stanice. Korekční data pro každý jednotlivý satelit mají délku 40 bitů. Proto nebude zpráva vždy zaplněna. Mezera v posledním slově je vždy doplněna o střídající se hodnoty jedniček a nul.

4.2.2 Pozice referenční stanice

Zpráva poskytuje informace o pozici antény referenční stanice. Obsahuje její GPS souřadnice v soustavě ECEF (anglicky Earth Centered Earth Fixed). Zpráva se skládá ze čtyř datových slov. Její obsah je popsán v tabulce (Tab. 5). [7]

Parametr	Délka [bit]	jednotka
ECEF X – souřadnice	32	[m]
ECEF Y - souřadnice	32	[m]
ECEF Z - souřadnice	32	[m]

Tab. 5 Vybrané zprávy protokolu RTCM [7]

5 GNSS

Ve světě existuje několik globálních navigačních systémů. Globální navigační systémy jsou vždy provozovány vládou určité země či regionu (Evropská unie). V současné době patří mezi hlavní GNSS americký GPS – NAVSTAR a ruský GLONASS. Hlavní globální navigační systémy poskytují plné operační služby a na jejich funkcionalitě je založena většina aplikací navigačního systému. Přehled současných GNSS uvádí tabulka (Tab. 6). Navigační systémy bývají doplněny o rozšiřující systémy SBAS (zmněny níže).

GNSS	Země	Komentář
GPS - NAVSTAR	USA	Hlavní GNSS
GLONASS	Rusko	Hlavní GNSS
BEIDOU	Čína	Lokální navigační systém
GALIEO	Evropská unie	Ve vývoji
NAVIC	Indie	Lokální navigační systém
QZSS	Japonsko	Lokální navigační systém

Tab. 6 Přehled GNSS [8]

5.1 NAVSTAR-GPS

GPS - NAVSTAR byl původně vyvinut americkou vládou jako vojenský navigační systém. Je řízen ministerstvem obrany Spojených států amerických. Projekt započal v roce 1973. Plné funkcionality ovšem dosáhl až v roce 1994. Systém nabízí dvě služby. První je služba standardní navigace SPS (anglicky Standard Positioning Service), která je obecně známá jako civilní služba. Druhou je přesná služba navigace PPS (anglicky Precision Positioning Service) neboli služba vojenská. Civilní služba je dostupná všem uživatelům zatímco PPS vyžaduje licenci od americké vlády. Během devadesátých let minulého století byla služba SPS záměrně degradována na základě techniky selektivní dostupnosti (anglicky Selective Availability), jejímž účelem bylo znemožnění přesné navigace nepřátelským vojenským silám.[9]

5.1.1 Kosmický segment

GPS navigační systém pracuje s konstelací 24 satelitů. Maximální počet je stanoven na 36. Je upřednostňováno využívání plné doby života družic před aktivací nových. Kosmický segment má za sebou již více než 30 let vývoje a prodělal ze všech součástí tohoto systému největší změny. V současné době jsou na oběžnou dráhu vypouštěny satelity z třetího

vývojového bloku označovaného jako Block III, ty umožňují využití dalších uvolněných frekvencí pro navigační signály. V první fázi vývoje byly na oběžnou dráhu vypouštěny satelity označované jako NTS (anglicky Navigation Technology Satelites), byly určeny pro testování jednotlivých funkcionalit. Satelity bloku I byly definované jako prototypy a jejich označení bylo NDS (anglicky Navigation Developement Satelites). Jejich životnost byla definována na dobu 3 a později 4,5 let. V praktickém provozu některé z nich překonali i životnost 10 let. Celkově jich na oběžnou dráhu bylo vyneseno 11. Satelity druhého bloku byly vyráběny firmou Rockwell a byly již determinovány jako poskytovatelé provozních navigačních služeb. Satelity bloku IIA mají již zaveden autonomní systém pro udržování oběžné dráhy s minimálním zásahem řídicího segmentu. Životnost satelitů tohoto typu byla již stanovena na 7,5 roku avšak mnohé z nich pracovali na oběžné dráze daleko déle. Modernizované satelity bloku II byly rozšířeny o nové funkcionality a jejich životnost byla stanovena na 12 let.

V současné době je v provozu nejvíce satelitů druhého bloku s označením block IIR. Tyto satelity mají hmotnost okolo 1075kg a rozměry 2,4 x 2,0 x 1,9m. S rozvinutými solárními panely mají rozpětí okolo 11,6m. Maximální výkon solárních panelů je 1 136W. Na palubě každého satelitu jsou instalovány čtyři atomové hodiny. Satelit je osazen několika anténami pro komunikaci se stanicemi řídicího segmentu a s ostatními satelity. Pro vysílání navigačního signálu je satelit vybaven polem antén směřujících k zemskému povrchu.

Satelity jsou rozmístěny na šesti kruhových drahách přibližně 20 200km nad zemským povrchem. Doba oběhu satelitu kolem Země je přibližně 12h. Jednotlivé satelity jsou uspořádány v drahách s rozestupem 60°. Každá oběžná dráha obsahuje minimálně 4 satelity. Na své oběžné dráze však satelity nejsou rozmístěny rovnoměrně, nýbrž se střídavým rozestupem a to 30°, 104°, 106° a 120°. Navržená konstelace satelitů umožňuje minimální omezení při výpadku jednoho satelitu kdekoliv na Zemi.

5.1.2 Řídicí segment

Hlavním úkolem tohoto segmentu je přesné sledování orbitálních drah satelitů a stavu jejich atomových hodin monitorovacími stanicemi. V hlavní centrální stanici jsou následně vypočteny korekce efemeridů, provádí se synchronizace palubních atomových hodin počítají se koeficienty ionosférického modelu. Informace jsou odesílány do nahrávacích („uploadovacích“) stanic a odesílány satelitům. Mimo to je tento segment určen pro zajišťování nejrůznějších provozních opatření. Nejdůležitější z nich je správa a údržba stávajících sate-

litů, stahování vysloužilých satelitů z oběžné dráhy a příprava a vypouštění nových satelitů včetně jejich uvádění do provozního režimu.

5.1.3 Uživatelský segment

Uživatelský segment využívá se skládá z přijímačů GPS, které jsou k dispozici uživatelům tohoto systému. Na základě přijatých signálů ze satelitů provádí přijímače výpočty, podle kterých je stanovena uživatelova poloha, rychlost a vyhodnocen čas. Pro tyto výpočty je nutné pozorování minimálně čtyř satelitů. Přijímače se využívají při navigaci, určování polohy, geodézii a určování přesného času. Základní úlohou je navigace v třírozměrném prostoru. Zařízení jsou vyráběny pro letadla, lodě, vozidla tělesa ale také pro ruční použití (mobilní telefony).

5.1.4 Navigační signály systému

Signály, které vysílají satelity GPS jsou dány kombinací nosné vlny, dálkoměrného kódu a navigační zprávy. Signály jsou od satelitů vysílány ve dvou frekvencích. Frekvence L1 (přibližně 1575MHz) je modulována dvěma dálkoměrnými kódy. Kódy jsou reprezentovány pseudonáhodnými šumy PRN (anglicky Pseudo-Random Noise). Jedná se o přesný kód označovaný jako P (Precision, P-code). Kód je využíván pro vojenské účely a je šifrován. V případě šifrování se tento kód označuje jako kód Y. Pro civilní účely je využíván hrubý/dostupný nebo také C/A kód (Coarse/Aquisition C/A code). C/A není šifrován. Signály modulující frekvenci L1 jsou označovány jako signály standardní polohové služby (Standard Positioning Service). Frekvence L2 (přibližně 1227MHz) je modulována pouze kódem P (respektive jeho šifrovanou variantou Y). Většina civilních přijímačů využívá pro měření pouze C/A kód. Frekvence L2 je využívána pro přenos přesné polohové služby PPS (Precision Positioning Service). Ta umožňuje měřit zpoždění signálu při průchodu ionosférou. Pro její příjem je ovšem potřeba přijímač, který umí tuto frekvenci zpracovat.

5.1.5 Navigační zprávy systému

Kromě C/A a P kódů je oběma nosnými frekvencemi přenášen i binární kód obsahující navigační zprávu. Zpráva je modulována za pomoci fázových posunů nosných vln. Pro to aby mohl přijímač určit přesnou polohu je nezbytné znát i přesnou polohu navigačních satelitů. Poloha je vypočítána na základě parametrů které vysílá navigační satelit v navigační zprávě. Zprávy obsahují také další údaje:

- Čas vysílání zprávy.
- Přesné efemeridy satelitu (data o poloze satelitu).
- Údaje pro přesné korigování času vysílání družice.
- Almanach (Méně přesná data o poloze všech satelitů.)
- Koeficienty ionosférického modelu
- Stav satelitu

Na základě údajů dekodovaných z navigační zprávy je možné stanovit přesnou polohu satelitu a čas odeslání dálkoměrného kódu.[10]

5.2 Glonass

Jedná se o globální satelitní systém jehož funkcionalitu spravuje Ministerstvo obrany Ruska. Jedná se o obdobu navigačního systému GPS. Vývoj byl zahájen v roce 1970 na základě dokumentu úřadů SSSR o vývoji jednotného navigačního systému pro použití kdekoliv na zemi, vodě i ve vzduchu. V platnost vešel v roce 1976 a první testovací družice byla vypuštěna v roce 1982. V roce 1991 bylo na oběžných drahách ve dvou rovinách 12 družic. Plně provozuschopný byl systém v roce 1995. Systém během jeho vývoje provázely celá řada problémů. V druhé polovině 90. let byl kosmický segment systému v úpadku. V roce 2002 poskytoval pouze 8 provozuschopných družic, což jej činilo nepoužitelným. Během této doby probíhala jednání o podpoře tohoto systému Evropskou unií, která měla zajistit využití civilních signálů evropským GNSS. V srpnu roku 2001 byl v Rusku schválen program na obnovu tohoto systému. Deklaroval zprovoznění jeho plné funkcionality na rok 2011. Pod nátlakem ruského prezidenta a za přispění Indie byl systém zprovozněn již v roce 2008.

5.2.1 Kosmický segment

Kosmický segment plánuje v plném využití 24 navigačních Satelitů, které jsou rozmístěny do tří navigačních rovin. Každá z těchto rovin je posunutá o 120° . Satelity obíhají po drahách tvaru kruhu ve výšce 19 130 km se sklonem $64,8^\circ$. Doba oběhu satelitu kolem země je 11 hodin a 16 minut. Pro GLONASS je charakteristickým rysem stejná poloha rozmístění satelitů každých 8 dní. Na každé oběžné dráze je rozmístěno 8 satelitů rovnoměrně po 45° . Za účelem dosažení lepšího pokrytí jsou tyto družice posunuty o úhel 30° nebo 15° . Díky tomu je zajištěna viditelnost 6 až 11 satelitů kdekoliv na povrchu země. Satelity

nesou označení SVN (anglicky Space Vehicle Number) podle toho, na jaké jsou umístěny oběžné dráze. Na první orbitě jsou umístěny satelity se SVN 1 až 8. Po druhé oběžné dráze obíhají satelity se SVN 9 až 16. A na třetí dráze jsou satelity se SVN 17 až 24.

Satelity systému GLONASS nesou označení Uragan s dodatečným indexem dle vývojového bloku. Satelity jsou na oběžnou dráhu skupinově vynášeny z kosmodromu Bajkonur. Mezi hlavní nedostatky satelitů patří jejich krátká životnost. U satelitů první generace (bez indexu) je jejich životnost určena na 3 roky. Druhá generace satelitů nese označení Uragan-M. Jejich životnost je stanovena na 7 let. Vypouštění těchto satelitů bylo zahájeno v roce 2003. Satelity byly na svou pozici dopravovány raketami Proton. Nová řada satelitů s označením Uragan-K má nižší hmotnost a jejich doba životnosti byla prodloužena na 10 let. Náklady na dopravu těchto satelitů byly sníženy na polovinu a pro jejich vynesení je používána raketa Sojuz-U. První satelity byly vypuštěny v roce 2011. Modernizovaná verze těchto satelitů je momentálně ve vývoji a ponese označení Uragan-K2.

Oproti satelitům GPS jsou satelity GLONASS více poruchové. Což způsobuje velké množství odstávek. Satelity obsahují atomové hodiny s cesiovým oscilátorem, 12 antén vysílajících radiové navigační signály. Signály jsou vysílány v pásmu L(1-2 Ghz). Dále satelity mají laserové odražeče pro měření polohy monitorovacími stanicemi, antény a komunikační jednotky pro řídicí část systému, akumulátory jako zdroj energie a solární panely.

5.2.2 Řídicí segment

Řídicí systém je rozložen na bývalém území států SSSR, to znamená že čas pro monitorování satelitů omezený. Centrální řídicí centrum tohoto segmentu se nachází v Krasnoznamenku. Jedná se o lokalitu poblíž Moskvy. Dále se tento segment skládá z pěti telemetrických a monitorovacích stanic. Jejich lokalita je Petrohrad, Komsomolsk na Amuru, Jenisejsk, Usurijsk a Šelkovo. Zprávy z těchto stanic jsou odesílány do centrální stanice, zde probíhají korekční výpočty pro satelitní hodiny a efemeridy. Zpracovány jsou aktualizované navigační zprávy, které jsou odesílány nazpět satelitům z vybraných telemetrických stanic (Komsomolsk, Jenisejsk a Šelkovo). Pro výpočet času je využit ruský národní časový etalon v Mendělejevu. Stanice v Komsomolsku a Šelkovu jsou vybaveny laserovými měřicími stanicemi, které umožňují laserové měření vzdálenosti družice s vysokým stupněm přesnosti. Systém je dále rozšiřován o nové monitorovací stanice v Jakutsku, Ulan-Ude, Nureku, Vorkutě, Murmansku a Zelenčuku. S uživateli komunikuje řídicí segment také pomocí zpráv NAGU, které poskytují informace o aktuálních poruchách satelitů.

5.2.3 Uživatelský segment

Obdobným způsobem jako u systému GPS uživatelé přijímají signály jednotlivých satelitů, které jsou v daném okamžiku viditelné pomocí GPS přijímače. Na základě signálu satelitů a znalosti polohy je vypočítána pozice přijímače, nadmořská výška a čas. Komunikace je pasivní a probíhá pouze směrem od satelitů k uživatelům. GLONASS dělí uživatele na dva typy. Neautorizovaní uživatelé mají dostupnou službu systému SP(anglicky Standard Positioning). Autorizovaným uživatelům je zpřístupněna služba HP(High Positioning). Služba zaručuje vyšší přesnost systému. Mezi autorizované uživatele spadají vybrané ruské vládní organizace a armáda Ruské federace. Přijímače systému GLONASS nejsou na trhu tak významně rozšířené. V současné době se však využívají přijímače kombinované, které umí zpracovávat jak signál systému GPS tak i GLONASS.

5.2.4 Navigační signály

V tomto systému je přenos mezi uživatelem a satelity řešen frekvenčním dělením FDMA. Přenos signálu tímto způsobem však přináší problém interference mezi kanály. Proto je vyžadováno pro každý kanál širší vysílací pásmo. Jelikož je počet kanálů omezen jsou využívány pro protilehlé satelity na stejné orbitě stejné kanály. Avšak pokud má každý satelit přidělený svůj kmitočtový kanál nebude docházet ke korelačnímu rušení a všechny satelity mohou mít stejný dálkoměrný kód.

Původní systém GLONASS používal celkem 24 kmitočtových kanálů. Vzhledem k problémům s interferencemi, které nastávali u radioastronomických pozorování bylo stanoveno, že bude počet kmitočtových kanálů snížen.

Dálkoměrný kód signálu služby SP je podobný na C/A signál systému GPS. Kód se skládá z pseudonáhodné posloupnosti s délkou 511 bitů, která je přenášena rychlostí 511kbps. Sekvence je opakována každou milisekundu a je synchronizována s daty, které obsahuje navigační zpráva.

Dálkoměrný kód HP signálu je obdobou P-kódu. Jedná se o pseudonáhodnou posloupnost přenášenou rychlostí 5,11Mbps. Její délka je 5 110 000 bitů a přenáší se každou sekundu. Všechny satelity vysílají stejnou sekvenci dálkoměrného kódu pro HP službu.

5.2.5 Navigační zprávy

Každý satelit navigačního systému GLONASS vysílá zprávu se signálem standardní přesnosti SP, ta obsahuje:

- Číslo satelitu,
- příznak stavu satelitu,
- kalendářní číslo dne v rámci čtyřleté periody, s počátkem v přestupném roce,
- korekce družicového času na čas GLONASS
- posun hodin družice vzhledem k systémovému času GLONASS
- efemeridy dané družice
- almanach GLONASS

Délka této navigační zprávy je 7500 bitů. Její modulace je 50 bps a je tedy odvysílána za 150 sekund. Zpráva je rozdělena do 5-ti rámců. Každý rámeček se pak skládá z 15 specifických subrámců délky 100 bitů. Rámeček zprávy obsahuje kepleriánské elementy satelitu a posun hodin. Údaje jsou opakovány každých 30 sekund. Časové informace a efemeridy jsou aktualizovány po 30 minutách. Součástí efemerid a almanachu jsou příznaky stavu satelitu. Příznaky jsou nastaveny na základě automatické diagnostiky a také dle příkazů řídicího systému. Almanach obsahuje informace o všech satelitech systému GLONASS a příznak stavu každého satelitu tohoto systému. Almanach je platný po dobu 24 hodin.

Navigační zpráva pro službu HP nebyla zveřejněna. Předpokládá se, že kromě standardních parametrů obsahuje mimo jiné tajná vojenská data.[11]

5.3 SBAS

Všeobecně platí, že globální navigační systémy kvůli svému statusu jako vojenské řídicí systémy nezaručují potřebné parametry jako je přesnost, dostupnost signálu a integrita vyžadované některými civilními aplikacemi jako je ICAO (Mezinárodní organizace pro civilní letectví). Snaha aby byly tyto parametry zabezpečeny ať už jednotlivě nebo na omezeném území vede k doplnění signálu dalšími dostupnými GNSS nebo fúzí se signály z jiných senzorů. Alternativní možností je doplnit navigační systém o rozšiřující systémy, které vylepší požadované parametry bez výrazného zásahu na straně přijímače. Metoda se

nazývá augmentace navigačních systémů.

První kroky pro zavedení rozšířených navigačních systémů se zaměřovali na zvýšení přesnosti určování polohy za pomoci diferencních měření. V případě použití jedné referenční stanice je zlepšení přesnosti omezeno pouze na určité okolí této stanice. Při využití více referenčních stanic které jsou vhodně rozmístěné na daném území může vzniknout účinný rozsáhlý systém poskytující korekce pro uživatele na tomto území. Systémy byly zprvu označovány jako velkoplošné diferenciální GPS systém se zkratkou WADGPS (anglicky Wide Area Differential GPS), jelikož byly zprvu využívány pro rozšíření systému GPS. Později se korekční signály systémů začali šířit pomocí geostacionárních družic a zavedl se jednotný pojem SBAS (anglicky Satellite Based Augmentation System).

Základním principem systému SBAS je, že na daném území je zkonstruována síť referenčních stanic. Stanice přijímají signály navigačních satelitů a porovnávají je se svou skutečnou polohou. Z těchto dat jsou následně stanoveny parametry pro modely ionosférické a troposférické refrakce. Následně jsou definovány korekce pro danou oblast stanice. V rámci sítě referenčních stanic jsou parametry předány do centrální stanice. V centrální stanici se vytvoří modely jednotlivých chyb pro celé území pokryté sítí stanic. Modely se následně přenesou na komunikační družici na geostacionární dráze. Prostřednictvím komunikační stanice. Geostacionární družice následně vysílá tyto modely v definovaném datovém formátu uživatelům. Systém je také schopný odhalit chyby v integritě navigačního systému.

V současné době existuje na světě několik funkčních systémů SBAS. Systémy jsou lokálně zaměřeny. Systémy popisuje tabulka (Tab. 7). Oblast dostupnosti systémů je vyznačena na obrázku (Obr. 14)[12]. V další části práce je věnována pozornost systémům WAAS a EGNOS. Systém WAAS vznikl jako první rozšiřující systém a na základě jeho principů jsou budovány ostatní. EGNOS je rozšiřující systém dostupný na území Evropy. Jeho služby jsou tedy dostupné na území ČR.

Název	Země
WAAS	USA
EGNOS	Evropská unie
GAGAN	Indie
MSAS	Japonsko

Tab. 7 Stručný výpis existujících SBAS [12]



Obr. 14 Zobrazení pokrytí dostupných systémů SBAS[12]

5.3.1 WAAS

Prvním zavedeným rozšiřujícím polohovým systémem SBAS uvedeným do provozu byl WAAS (anglicky Wide Area Augmentation System). Hlavním iniciátorem zavedení tohoto projektu byl program leteckého úřadu Spojených států FFA (anglicky Federal Aviation Administration). Hlavním účelem tohoto systému bylo zlepšení navigace v letectví za podpory GPS. Následně byl systém WAAS začleněn jako součást systému GPS, která rozšiřuje jeho parametry. Z požadavků v letectví vyplynulo, že je nutná stálá viditelnost minimálně šesti satelitů s dobrou geometrií aby bylo možné s použitím metod určovat polohu i v případě závady na jedné družici. Požadavky nebylo možné splnit a proto byl systém GPS rozšířen o síť pozemních stanic a několik geostacionárních družic.

Síť pozemních referenčních stanic pokrývá území Spojených států a je dále rozšiřována do Kanady a Mexika. Stanice jsou propojeny s centrálními stanicemi. Zde dochází ke sloučení zpráv této sítě stanic. Jsou prováděny korekční výpočty a je zde vytvářena zpráva pro koncového uživatele. Zpráva je odesílána koncovým uživatelům přes komunikační satelity na geostacionární dráze.

Systém WAAS zabezpečuje vysílání zpráv o integritě. Stav navigačních satelitů je monitorován referenčními stanicemi a následné korekce splňují požadavky pro všechny fáze letu

včetně přistání. Zpráva o poruše družice musí být vysílána nejpozději do 6 sekund od jejího zjištění. WAAS také zajišťuje distribuci velkoplošných diferenčních korekcí. Kvalita těchto korekcí umožňuje zpřesnění výpočtu polohy pomocí GPS, což vyhovuje požadavkům na přesné přiblížení a přistání letadla. Mimo základní služby přeposílá tento systém uživatelům také doplňkové navigační signály v pásmu L1. Doplňkové navigační signály jsou vysílány také pozemními stanicemi. Signály lze přijímat GPS přijímačem a což umožňuje zpřesnění polohy a zvýšení dostupnosti.[13]

5.3.2 EGNOS

Systém EGNOS (anglicky European Geostacionary Navigation Overlay Service) je navigační systém vybudovaný na území Evropské unie a provozovaný Evropskou komisí. Systém byl do plného operačního režimu spuštěn v roce 2009.

Systém se skládá ze 39 monitorovacích stanic RIMS (anglicky Ranging and Integrity Station), čtyř řídicích center MCC (anglicky Master Control Center) a šesti „uploadovacích“ stanic NLES(anglicky Navigation Land Earth Station). Stanice jsou rozmístěny na území Evropy a v několika dalších zemích. Monitorovací stanice neustále měří signály navigačních satelitů a předávají tyto informace do jednoho z řídicích center. Zde dochází k vyhodnocení těchto dat a sestavuje se model ionosféry. Vyhodnocené data jsou formou zpráv předány „uploadovacím“ stanicím, které přeposílají korekce jednotlivým geostacionárním satelitům.[14]

V současné sestavě jsou v systému využity 3 geostacionární satelity v operačním provozu. Využívanými satelity jsou INMARSAT 3F2 AOR-E, Astra-5B a ASTRA SES-5. Satelity popisuje tabulka (Tab. 8). Satelity vysílají korekční zprávy na frekvenci L1 shodné s GPS. [15]

Jméno satelitu	PRN identifikátor	Orbitální pozice	Stav k 10.5 2017
INMARSAT 3F2 AOR-E	PRN 120	15,5 W	Operační mód
Astra-5B	PRN 123	31,5 E	Operační mód
ASTRA SES-5	PRN 136	5 E	Testovací mód

Tab. 8 Geostacionární satelity využívané systémem EGNOS [16]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVENÍ CÍLŮ MĚŘENÍ

V rámci práce jsou srovnávány výsledky měření GNSS přijímačem. Výstupem z přijímače jsou zprávy NMEA. Zprávy přenášejí informace o jednotlivých faktorech měření. Z nich asi nejpodstatnější se jeví zeměpisná šířka, zeměpisná délka, nadmořská výška, parametry konstelace družic (PDOP, HDOP a VDOP) a chyby měření v jednotlivých měřených veličinách.

Při měření je vycházeno z referenčních bodů. Jedná se o body, které určují geografické souřadnice přijímače. Důležitou charakteristikou je odchylka naměřené pozice od referenčního bodu. Odchylka je dopočítána Haversinovým vzorcem. Jedná se o výpočet vzdálenosti dvou bodů na sféře z dodaných souřadnic těchto bodů.[17]

V rámci měření jsou sledovány podstatné informace ze zpráv GPS přijímače a odchylka od referenčního bodu. Jejich hodnoty by měli vyhovovat informacím uvedeným v teoretické části.

- Měření rozšířeného systému je přesnější (má nižší odchylku od referenčního bodu) než měření GNSS bez využití korekcí.
- Diferenční metoda podává přesnější výsledky než absolutní určování polohy.

7 POPIS ZVOLENÝCH PŘIJÍMAČŮ

V práci jsou využity 2 přijímače. Jeden přijímač je využíván jako referenční. Jeho účelem je generování diferenčních korekcí pro účely diferenčního měření pozice. Na druhém přijímači byly prováděny jednotlivá měření jejichž výstup v této práci srovnávám.

7.1 Referenční přijímač

Přijímač zvolený jako referenční pochází od firmy Novatel. Jedná se o zařízení typu Novatel OEM 615. Přijímač umožňuje příjem L1 i L2 navigačních signálů. Také umožňuje generování diferenčních korekcí. Mimo jiné podporuje také výše uvedený standard RTCM. Další specifikace tohoto přijímače je shrnuta v tabulce (Tab. 9).

Parametr přijímače	Hodnota	Jednotka
Typ	Novatel OEM 615	[-]
Počet kanálů	60	[-]
frekvence	L1,L2	[-]
GNSS	GPS, GLONASS, Beidou, Galileo, SBAS, QZSS	[-]
Přesnost	1,5m	[m]
Maximální frekvence měření	50 Hz	[Hz]
Provozní teplota	-40 až 85	[°C]

Tab. 9 Parametry referenčního přijímače [18]

7.2 Anténa referenčního přijímače

Na zvolený přijímač je připojena aktivní anténa pro příjem GPS signálů L1 frekvence. Jedná se o jednofrekvenční anténu pro příjem GPS signálu. Parametry antény jsou uvedeny v tabulce (Tab. 10).

Parametr antény	Hodnota	Jednotka
Název	Active GPS Antenna	[-]
Frekvence	1575,45	[MHz]
Nominální impedance	50	[Ω]
Typ	Všesměrová	[-]
Provozní teplota	-40 až 85	[°C]
Aplikace	Umístění uvnitř auto	[-]

Tab. 10 Parametry antény referenčního přijímače [19]

7.3 Měřicí přijímač

Měřicí přijímač byl zvolen od firmy Ublox. Ve variantě NEO-M8N. Tento přijímač umožňuje příjem až tří rozdílných GNSS. Poskytuje vhodnou přesnost i pro aplikace s omezeným příjmem signálu. Poskytuje připojení formou USB. Bližší specifikace přijímače je uvedena v tabulce (Tab. 11).

Parametr přijímače	Hodnota	Jednotka
Typ	NEO - M8N	[-]
Počet kanálů	72	[-]
Frekvence	L1	[-]
GNSS	GPS, GLONASS, Beidou, QZSS, Galileo, SBAS	[-]
Přesnost	2,0	[m]
Maximální frekvence měření	10	[Hz]
Provozní teplota	-40 až 85	[°C]

Tab. 11 Parametry měřicího přijímače [20]

7.4 Anténa měřicího přijímače

Pro měřicí přijímač byla zvolena anténa od společnosti Ublox. Anténa je typu ANN-MS. Jedná se o aktivní anténu. Parametry této antény jsou uvedeny v tabulce (Dopiš mě).

Parametr antény	Hodnota	Jednotka
Typ	Ublox ANN-MS	[-]
Frekvence	1575	[MHz]
Nominální impedance	50	[Ω]
Provozní teplota	-40 až 85	[°C]

Tab. 12 Parametry antény měřicího přijímače [21]

Anténa nevyhovovala všem požadavkům proto byla v průběhu práce nahrazena druhou anténou, která jelikož neumožňovala měření GLONASS. Proto byla v průběhu práce nahrazena druhou anténou. Anténa již toto měření umožňuje. Její parametry jsou shrnuty v tabulce (Tab. 13).

Parametr antény	Hodnota	Jednotka
Typ	Mobilemark SMW-412	[-]
Frekvence	1575,1612	[MHz]
Provozní teplota	-40 až 80	[°C]

Tab. 13 Parametry antény měřicího přijímače [22]

8 POPIS MĚŘICÍHO PROGRAMU

V rámci práce byl sestaven měřicí program, pro účely měření. Program je napsaný v programovacím jazyce Java. Umožňuje nastavit vhodné prostředí pro komunikaci mezi jednotlivými GPS přijímači a zajišťuje zaznamenávání naměřených dat do souborů. Pro naprogramování jsem využil funkcionality standardních knihoven jazyka. Pro komunikaci se sériovými porty využívám knihovnu PureJavaComm. Program jsem rozdělil do sedmi projektů pro jeho lepší správu.

8.1 Knihovna PureJavaComm

Knihovna vznikla jako programovací aplikační rozhraní (API). Jejím účelem je zpřístupnit sériové porty pro programy napsané v programovacím jazyce Java. Funkcionalita je založená na knihovně volání nativního kódu JNA. Umožňuje přístup k sériovým portům nezávisle na platformě. Knihovna implementuje rozhraní PureJava, které bylo původně pro komunikaci se sériovými porty určeno. Jeho podpora byla ovšem ukončena.[23]

8.2 Knihovna RtcmlIOComponent

Knihovna zajišťuje potřebnou infrastrukturu pro ovládání nízkoúrovňových komponent jako je logovací soubor, nebo sériový port. Základním stavebním kamenem knihovny je rozhraní IOComponent, které definuje objekt pro vstup či výstup. Ve své základní verzi knihovna popisuje 3 typy těchto objektů. Jedná se o sériový port, logovací soubor a konsoli (standardní vstup a výstup jazyka Java). Knihovna dále poskytuje tovární třídu, která se stará o vytváření instancí jednotlivých entit těchto objektů. Pro vytvoření instance je potřeba továrně předat objekt obsahující jednotlivé parametry komponent. Knihovna definuje objekty poskytující data o komponentách jak jednotlivě pro objekty za účelem vytvoření v programu. Jsou definovány verze pro načtení z konfiguračního souboru. Jednotlivé objekty komponent poskytují metody pro komunikaci, pro nastavení naslouchače událostí a pro vhodné ukončení činnosti komponenty.

8.3 Knihovna RtcMMessageFilter

Knihovna poskytuje základní funkcionalitu pro práci s komunikačními protokoly GPS přijímačů. Knihovna poskytuje základní rozhraní MessageFilter, které definuje základní funkcionalitu celé knihovny. Rozhraní definuje 3 základní metody pro vytvoření zprávy, schválení zprávy a interpretování zprávy. Následně knihovna poskytuje základní implementaci tohoto rozhraní pro zvolené přijímače. Implementace je založena na základě technické dokumentace těchto přijímačů.

Pro přijímač Ublox se vychází z toho, že tento přijímač podporuje dva výstupní protokoly. Protokol Ublox, poskytuje speciální zprávy o přijímači a zprávy pro nastavení přijímače. Druhým protokolem je NMEA. Poskytuje informace o měření. Implementace rozhraní MessageFilter umožňuje tyto dva protokoly klasifikovat a interpretovat.[5]

Přijímač Novatel má vlastní komunikační protokol založený na zasílání textových zpráv. Tyto zprávy jej umožňují konfigurovat. Také má speciální výstup pro vlastní zprávy. Implementace rozhraní zde umožňuje generovat tyto zprávy a zpracovávat jednotlivé výstupy přijímače. Také je možno zpracovávat NMEA komunikační protokol, ve kterém jsou předávány informace o měření.[24]

Knihovna dále poskytuje tovární třídu pro vytváření jednotlivých entit. Tovární třída využívá konfiguračních souborů, na jejichž základě sestaví instanci pro rozhraní MessageFilter.

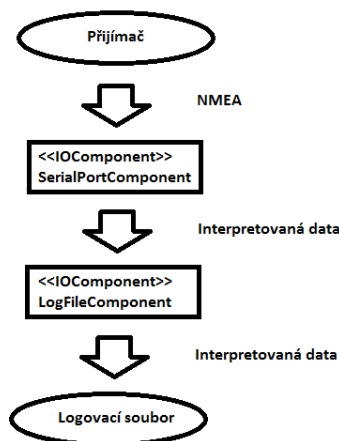
8.4 Knihovna RtcMConfigurátor

Knihovna poskytuje funkcionalitu pro nastavení přijímačů. Funkcionalita je založena na využití dvou výše uvedených knihoven. Je zde umožněno nastavit přijímač před měřením a také je zde možnost mu zaslat konfigurační zprávy po ukončení měření. Je zde poskytnuto základní rozhraní Configurator, které poskytuje dvě metody pro konfiguraci přijímačů. Metody přejímají ve svých parametrech instanci sériového portu, na který je připojený přijímač a instanci MessageFilter třídy pro daný přijímač. Dle konfiguračních souborů jsou vytvořeny jednotlivé konfigurační zprávy, které jsou následně zapsány na sériový port přijímače. Knihovna dále poskytuje tovární třídu která umožňuje sestavit instance rozhraní Configurator z konfiguračních souborů.

8.5 Knihovna Rtcmbinder

Knihovna poskytuje funkcionalitu pro sestavení ekosystému, ve kterém pracují jednotlivé přijímače. Jádrem knihovny je rozhraní Binder. To definuje metody pro spuštění měření (metoda bind) a ukončení měření (metoda unbind). První metoda sestaví ekosystém aplikace pro měření a postará se o nastavení všech komponent. Druhá metoda měření ukončuje a stará se o vhodné ukončení všech využitých komponent (uzavření souborů a sériových portů). Knihovna poskytuje tovární třídu, která přebírá soubor s konfigurací a na jeho základě vrátí instanci pro rozhraní Binder.

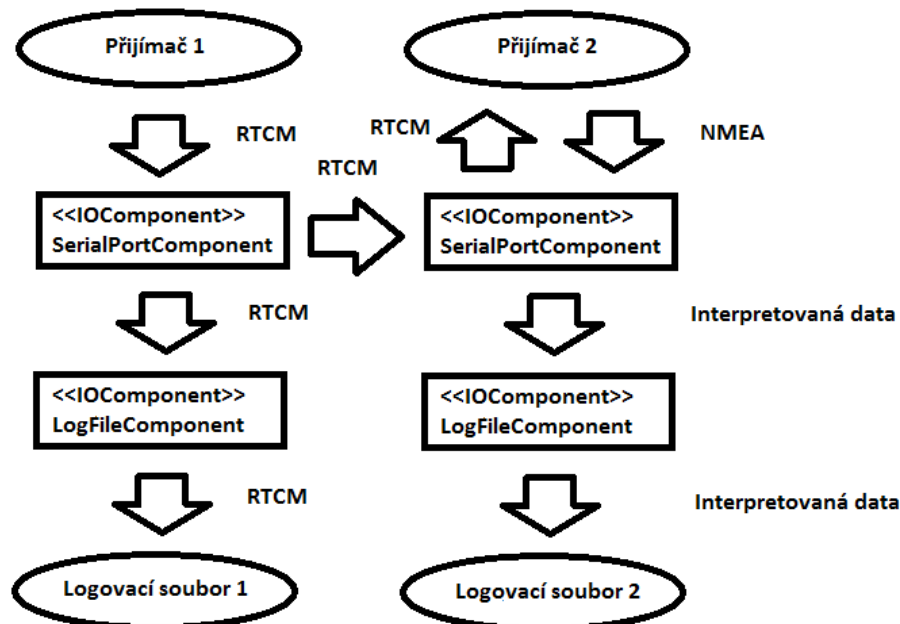
Knihovna v základu poskytuje dva základní vzory ekosystému pro práci s přijímači. Prvním vzorem je zápis do logovacího souboru. U něho jsou využívány dvě komponenty. První komponentou je sériový port druhou je logovací soubor. Při sestavování ekosystému knihovna otevře sériový port, odešle mu definované konfigurační zprávy a následně na tomto portu naslouchá. Všechny zprávy jsou předány instanci rozhraní MessageFilter, Zde jsou interpretovány a zapsány do logovacího souboru. Schématicky je tento vzor znázorněn na obrázku(Obr. 15).



Obr. 15 Struktura ekosystému pro zápis do souboru.

Druhým vzorem pro ekosystém aplikace je RTCM můstek. Vzor využívá celkem čtyř komponent. První komponentou je sériový port, na kterém je připojen zdrojový přijímač. Sériový port je nastaven do módu Referenční stanice. Je mu předána poloha na které se nachází. A je nastaven aby na svůj výstup předával diferenční korekce. Druhou komponentou je výstupní komponenta, na kterou jsou zapisovány data z tohoto přijímače. Jejím účelem je logování diferenčních zpráv za účelem jejich následného zpracování. Je možné tuto komponentu nastavit jako logovací soubor pro účely následné kontroly korekcí. Nebo jako

konzoli pro ladící účely. Třetí komponentou je sériový port na kterém je připojen cílový přijímač (rover). Na ten jsou zaslány výstupní korekce zdrojového přijímače. Poslední komponentou je výstupní komponenta pro cílový přijímač. Na tuto komponentu jsou zapisovány výstupní zprávy cílového přijímače. Opět se může jednat o logovací soubor pro účely měření či konzoli pro účely ladění. Vzor je popsán na obrázku(Obr. 16).



Obr.16 Struktura ekosystému RTCM můstek.

8.6 Knihovna Rtcmdemo

Knihovna poskytuje implementaci demo aplikace pro měření na zvolených přijímačích. Jedná se o vstupní bod do aplikace. Je zde definována jedna třída. Touto třídou je Demo s metodou main. Tato metoda přebírá dva parametry. Prvním je doba měření v minutách a druhým je úroveň logování pro knihovnu PureJavaComm. Oba parametry jsou nepovinné. Bez těchto parametrů běží aplikace v testovacím módu po dobu 5-ti sekund.

8.7 Knihovna Rtcmlresultparser

Knihovna poskytuje funkcionalitu pro následné vyhodnocení naměřených dat. Knihovna má vlastní vstupní bod a je možné ji přeložit jako samostatný program. Jejím účelem je načíst soubory jednotlivých měření a zpracovat jednotlivé statistické výpočty a výsledky zaznamenat do souborů formátu CSV (anglicky Comma Separated Values).

Knihovna poskytuje vlastní implementaci Haversinova vzorce za účelem výpočtu odchylky od referenčního bodu. Implementace je znázorněna na obrázku (Obr. 17). Pro správnou funkcionalitu tohoto vzorce je nutné dodat poloměr sféry na kterém je vypočítána vzdálenost mezi jednotlivými body. Za účelem minimalizace chyby byl zvolen takový poloměr, aby na kružnici, která udává průnik sféry a referenčního elipsoidu WGS84, ležel referenční bod měření (Určení bodu je rozvedeno níže.). Pro výpočet jsem využil aplikace[25].

```
private double haversine(double latitudeStart, double longitudeStart, double latitudeEnd, double longitudeEnd) {  
  
    double latitudeDiffR = latitudeEnd * Math.PI / 180 - latitudeStart * Math.PI / 180;  
    double longitudeDiffR = longitudeEnd * Math.PI / 180 - longitudeStart * Math.PI / 180;  
    double a = Math.sin(latitudeDiffR/2)*Math.sin(latitudeDiffR/2)+ Math.cos(latitudeStart*Math.PI/180)*  
        Math.cos(latitudeEnd*Math.PI/180)*Math.sin(longitudeDiffR/2)*Math.sin(longitudeDiffR/2);  
    double c = 2 * Math.atan2(Math.sqrt(a), Math.sqrt(1-a));  
    double d = EARTH_RADIUS * c;  
    return d * 1000;  
}
```

Obr. 17 Implementace Haversinova vzorce

8.8 Knihovna RtcmLogFilter

Knihovna poskytuje funkcionalitu filtru pro výstup z měření. Umožňuje načíst záznamy měření a odstranit z nich nevodné záznamy, tak ve výstupních souborech byly poskytnuty pouze záznamy protokolu NMEA. Díky tomu je možné výstupní záznamy zobrazit vhodnou formou v geografickém informačním systému.

9 MĚŘENÍ

Pro měření jsem stanovil následující parametry. Doma měření byla stanovena 30 minut. Měření jsou prováděna každou hodinu během dne. Frekvenci výstupu NMEA zpráv jsem nastavil na 1Hz (NMEA zprávy jsou generovány každou 1s).

9.1 Stanovení referenčních bodů

Pro měření jsem stanovil referenční body experimentálně. Vycházel jsem z on-line mapových podkladů Státní správy zeměměřičství a katastru[26]. Z mapových podkladů jsem přibližně určil pozici antény. Pozici jsem ověřil měřením na přijímači. Jednotlivé referenční body jsou popsány v tabulce (Tab. 14).

Referenční bod	Zeměpisná šířka	Jednotka	Zeměpisná délka	Jednotka	Nadmořská výška	Jednotka
1	49,085657	[°]	17,876256	[°]	372,00	[m]
2	49,085606	[°]	17,876258	[°]	372,13	[m]

Tab. 14 Stanovené referenční body

9.2 Měření GNSS

Pro měření GNSS je nahrán přeložený program (RtcmDemo) do miniPC, na kterém jsou nainstalovány jednotlivé přijímače. Pro měření je využito vzoru pro zápis dat do souboru. Vzor je nakonfigurován jednotlivými konfiguračními soubory, které jsou nahrány na přiloženém DVD. Pro dílčí měření jsou již následně specifické pouze parametry konfiguračního souboru pro nastavení přijímač. Jednotlivé výstupní data z měření jsou ukládány do souborů, za účelem jejich následného zpracování. Soubory jsou označeny vhodným názvem a postfixem s datem měření. Následně jsou využívány pro přeložené programy (RtcmResultParser a RtcmLogFilter) ke zpracování a interpretaci naměřených dat.

9.2.1 Měření GPS

Pro měření jsou na měřicí zařízení zaslány zprávy pro vhodné nastavení měření GPS navigačních satelitů. Je sestaven konfigurační soubor pro přijímač, který povoluje zpracování pouze GPS satelitů a všechny ostatní GNSS jsou zakázány. Ukázkový výstup tohoto měření je uveden na obrázku (Obr. 18).

Prefix interpretovaných dat NMEA zprávy

```

NMEA: $GPRMC,160011.00,A,4905.13846,N,01752.57546,E,0.013,,140417,,A*76
NMEA: $GPVTG,,T,,M,0.013,N,0.025,K,A*26
NMEA: $GPGGA,160011.00,4905.13846,N,01752.57546,E,1,09,1.01,380.8,M,41.2,M,,*52
NMEA: $GPGSA,A,3,31,05,12,14,25,02,26,29,21,,,,,1.49,1.01,1.09*0E
NMEA: $GPGSV,4,1,13,02,37,058,38,04,18,294,28,05,08,100,33,06,04,032,37*7D
NMEA: $GPGSV,4,2,13,12,33,106,34,14,15,261,26,21,06,195,27,24,01,162,*71
NMEA: $GPGSV,4,3,13,25,78,092,40,26,09,294,25,29,71,247,39,31,46,295,35*70
NMEA: $GPGSV,4,4,13,32,05,240,25*4E
NMEA: $GPGLL,4905.13846,N,01752.57546,E,160011.00,A,A*6A

```

Obr. 18 Ukázkový výstup měření GPS

9.2.2 Měření GPS se systémem SBAS

Pro měření dat navigačního systému GPS která jsou doplněny o korekce ze systému EGNOS (evropský SBAS). Je nutné zaslat přijímači vhodné nastavení. Nejprve je nutné povolit zpracování GPS navigačních zpráv a zpráv systému SBAS. Následně je nutné

doplnit toto nastavení zprávou, která předává přijímači identifikační kódy (PRN) EGNOS satelitů. Výstupní data, která jsou poté dodávána přijímačem, jsou poté označena identifikátorem, který určuje že se jedná o diferenční měření. Data dokumentuje ukázkový výstup (Obr. 19).

Identifikátor diferenčního měření ID Referenční stanice

```

NMEA: $GPRMC,120006.00,A,4905.13618,N,01752.57537,E,0.027,,130517.0,D*73
NMEA: $GPVTG,,T,,M,0.027,N,0.050,K,D*26
NMEA: $GPGGA,120006.00,4905.13618,N,01752.57537,E,2,09,0.87,377.2,M,41.2,M,0000*5D
NMEA: $GPGSA,A,3,12,24,19,25,32,06,02,14,29,,,,,1.77,0.87,1.54*0D
NMEA: $GPGSV,4,1,14,02,30,123,40,03,00,011,,06,30,072,38,12,78,032,43*7E
NMEA: $GPGSV,4,2,14,14,23,313,36,17,04,043,23,19,22,047,33,24,55,155,41*77
NMEA: $GPGSV,4,3,14,25,48,279,38,29,16,213,40,31,01,311,,32,32,290,40*70
NMEA: $GPGSV,4,4,14,33,25,221,33,36,32,162,40*7F
NMEA: $GPGLL,4905.13618,N,01752.57537,E,120006.00,A,D*6E
NMEA: $GPGST,120006.00,6.8,,,,,1.0,0.79,1.8*44

```

Obr. 19 Ukázkový výstup měření GPS s korekčními daty

9.2.3 Měření GLONASS

Pro měření navigačního systému GLONASS je nutné aby přijímač zpracovával data z tohoto globálního navigačního systému. Je nutné přijímači zaslat zprávu s nastavením pro tento navigační systém. Ukázková data pro tyto měření jsou na obrázku (Obr. 20).

Talker GLONASS

```

NMEA: $GLRMC,170104.00,A,4905.13368,N,01752.57359,E,0.027,,100517.0,A*63
NMEA: $GLVTG,,T,,M,0.027,N,0.049,K,A*37
NMEA: $GLGGA,170104.00,4905.13368,N,01752.57359,E,1,09,0.89,371.9,M,41.2,M,,*4B
NMEA: $GLGSA,A,3,81,79,88,80,82,65,66,73,83,,,,,1.61,0.89,1.35*17
NMEA: $GLGSV,3,1,10,65,23,038,36,66,27,101,36,67,02,145,23,73,23,329,41*60
NMEA: $GLGSV,3,2,10,79,25,199,37,80,51,274,39,81,56,044,41,82,56,291,43*65
NMEA: $GLGSV,3,3,10,83,08,262,30,88,09,070,32*6D
NMEA: $GLGLL,4905.13368,N,01752.57359,E,170104.00,A,A*7D
NMEA: $GLGST,170104.00,13,,,,,1.5,1.1,2.6*4A

```

Obr. 20 Ukázkový výstup měření GLONASS

9.2.4 Měření GLONASS se systémem SBAS

Zde se postupuje obdobně jako u navigačního systému GPS. Je nutné zaslat přijímači příslušné zprávy pro nastavení navigačních systémů a předání identifikačních čísel EGNOS satelitů. Struktura konfiguračního souboru je znázorněna obrázkem (21).

Identifikátor diferenčního měření

```

NMEA: $GNRMC,220006.00,A,4905.13833,N,01752.57916,E,0.018,,120517,,D*6B
NMEA: $GNVTG,,T,,M,0.018,N,0.034,K,D*36
NMEA: $GNGGA,220006.00,4905.13833,N,01752.57916,E,2,08,1.08,374.1,M,41.2,M,,0000*4F
NMEA: $GNGSA,A,3,,,,,,,,,,,,,1.69,1.08,1.31*18
NMEA: $GNGSA,A,3,79,85,70,86,71,78,87,72,,,,,1.69,1.08,1.31*11
NMEA: $GPGSV,1,1,02,33,25,221,31,36,32,162,39*74
NMEA: $GLGSV,2,1,08,70,40,042,37,71,85,220,38,72,30,221,32,78,08,341,19*60
NMEA: $GLGSV,2,2,08,79,10,018,25,85,27,146,39,86,84,174,38,87,34,322,40*69
NMEA: $GNGLL,4905.13833,N,01752.57916,E,220006.00,A,D*7B
NMEA: $GNGST,220006.00,27,,,,,1.5,1.8,3.3*47

```

Obr. 21 Ukázkový výstup měření GLONASS s korekčními daty

9.3 Diferenční měření

Tyto měření vyžadují dostupnost diferenčních korekcí pro obdržených z referenčního přijímače. Pro tuto funkcionalitu byl vytvořen vzor RTCM můstek. Ten umožňuje předávání korekčních dat a ukládání dat naměřených. Pro správnou funkcionalitu je nutné nastavit referenčnímu přijímači fixní pozici aby bylo možné vytvářet diferenční korekce. Tato pozice musí být v přijímači nastavena pokud možno co nejpřesněji. V případě úspěšného příjmu korekčních dat jsou výstupní zprávy označené identifikátorem jako diferenční měření a je u nich uvedeno stáří korekcí. Ukázková data dokumentuje obrázek (Obr. 22).

Identifikátor diferenčního měření**Identifikátor stáří diferenčních korekcí**

```

NMEA: $GPRMC,200422.00,A,4905.13529,N,01752.57681,E,0.043,,120517,,D*7D
NMEA: $GPVTG,,T,,M,0.043,N,0.080,K,D*29
NMEA: $GPGGA,200422.00,4905.13529,N,01752.57681,E,2,11,0.77,373.0,M,41.2,M,1.0,0000*7E
NMEA: $GPGSA,A,3,18,16,08,10,11,27,32,01,28,22,21,,1.28,0.77,1.03*00
NMEA: $GPGSV,4,1,13,01,12,272,34,08,65,290,41,10,68,078,41,11,24,287,35*71
NMEA: $GPGSV,4,2,13,14,11,151,35,15,05,029,12,16,14,198,31,18,40,059,36*76
NMEA: $GPGSV,4,3,13,21,15,088,38,22,08,222,26,27,69,166,41,28,06,335,28*73
NMEA: $GPGSV,4,4,13,32,25,135,42*4C
NMEA: $GPGLL,4905.13529,N,01752.57681,E,200422.00,A,D*62
NMEA: $GPGST,200422.00,16,,,,,1.2,0.86,1.6*6C

```

Obr. 22 Ukázkový výstup diferenčního měření.

10 MĚŘENÍ

Tato sekce popisuje jednotlivá data získaná měřením. Nejprve jsou srovnány výstupy měření jednotlivých GNSS. V potaz je brána denní doba měření. Rozlišovány jsou dvě denní doby a to noc a den. Za denní měření je považováno jakékoliv měření které proběhlo v časovém rozmezí od 9 hodin do 20 hodin včetně. Noční měření jsou ty které proběhly v době od 21h do 8 hodin včetně. Jsou srovnány základní statistické charakteristiky. Pro zeměpisné údaje jde pouze o střední hodnotu. U konstelace družic, chyby měření a

odchyly od referenčního bodu jsou uvažovány i hodnoty maxima a minima. Následně jsou srovnány data jako celek. V poslední sekci této kapitoly jsou uvedeny jednotlivé charakteristiky měření pro diferenční metodu. Každá sekce je doplněna o graf normované hustoty četnosti odchylky od referenčního bodu, což umožňuje lépe ilustrovat přesnost měření.

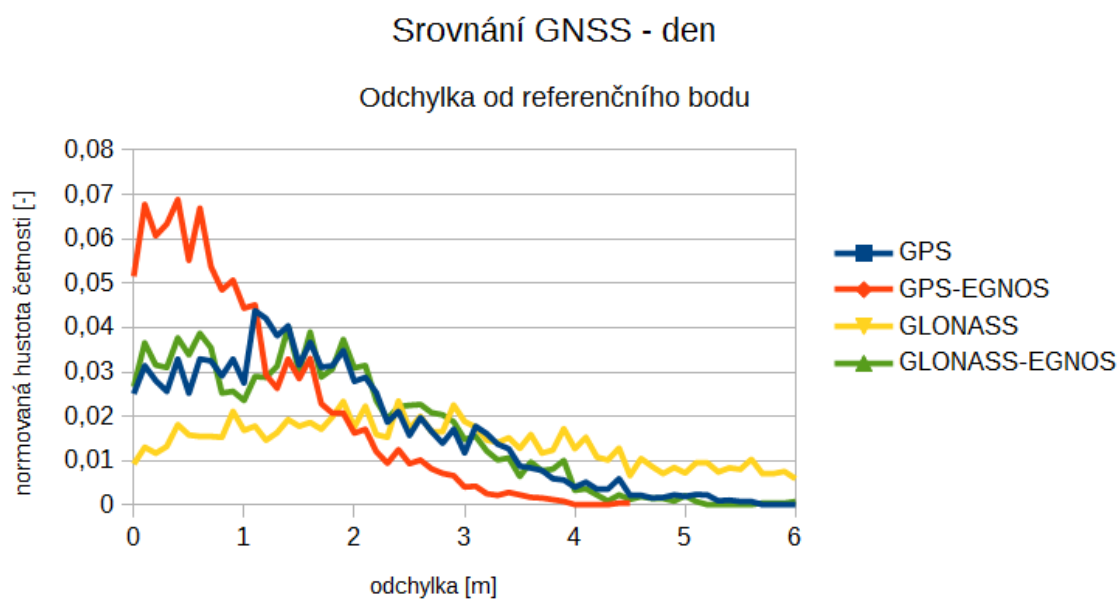
10.1 Měření GNSS – den

Zde jsou uvedeny výsledné údaje denního měření. Údaje shrnuje tabulka (Tab. 15). Dále jsou jednotlivá data reprezentována v grafu normované hustoty četnosti odchylky od referenčního bodu (Obr. 23).

hodnota	veličina	jednotka	GPS	GPS+EGNOS	GLONASS	GLONASS+EGNOS
Referenční bod	-	-	1	2	2	2
Zeměpisná šířka	střední hodnota	[°]	17,876251	17,876262	17,876279	17,876264
Zeměpisná délka	Střední hodnota	[°]	49,085667	49,085608	49,085599	49,085612
Nadmořská výška	Střední hodnota	[m]	374,56	375,63	375,12	372,79
PDOP	Minimum	[-]	1,24	1,33	1,24	1,47
PDOP	Střední hodnota	[-]	1,67	1,79	1,82	1,83
PDOP	Maximum	[-]	3	3,53	2,6	3,34
HDOP	Minimum	[-]	0,7	0,73	0,8	0,76
HDOP	Střední hodnota	[-]	0,92	0,96	0,97	0,91
HDOP	Maximum	[-]	1,43	1,52	1,54	1,61
VDOP	Minimum	[-]	0,96	1,11	0,91	1,2
VDOP	Střední hodnota	[-]	1,38	1,51	1,54	1,58
VDOP	Maximum	[-]	2,76	3,19	2,28	3,05
Chyba zeměpisné šířky	Minimum	[m]	1,3	0,68	1	1
Chyba zeměpisné šířky	Střední hodnota	[m]	2,23	1,16	1,66	1,75
Chyba zeměpisné šířky	Maximum	[m]	4,1	2,6	2,9	3,7
Chyba zeměpisné délky	Minimum	[m]	0,98	0,53	0,78	0,98
Chyba zeměpisné délky	Střední hodnota	[m]	1,57	0,75	1,55	1,52
Chyba zeměpisné délky	Maximum	[m]	2,7	1,5	4	2,4
Chyba nadmořské výšky	Minimum	[m]	2,1	1,2	2,1	3,1
Chyba nadmořské výšky	Střední hodnota	[m]	3,45	2,03	3,78	3,34
Chyba nadmořské výšky	Maximum	[m]	6,1	4,5	7,3	7,4
Odchylka od RB ¹	Minimum	[m]	1,4*10 ⁻⁹	0	0	0
Odchylka od RB ¹	Střední hodnota	[m]	1,72	1,02	3,34	1,70
Odchylka od RB ¹	Maximum	[m]	6,74	4,48	12,78	6,81

Tab. 15 Denní měření

¹RB = referenční bod



Obr. 23 Graf normované hustoty četnosti odchylky od referenčního bodu pro denní měření

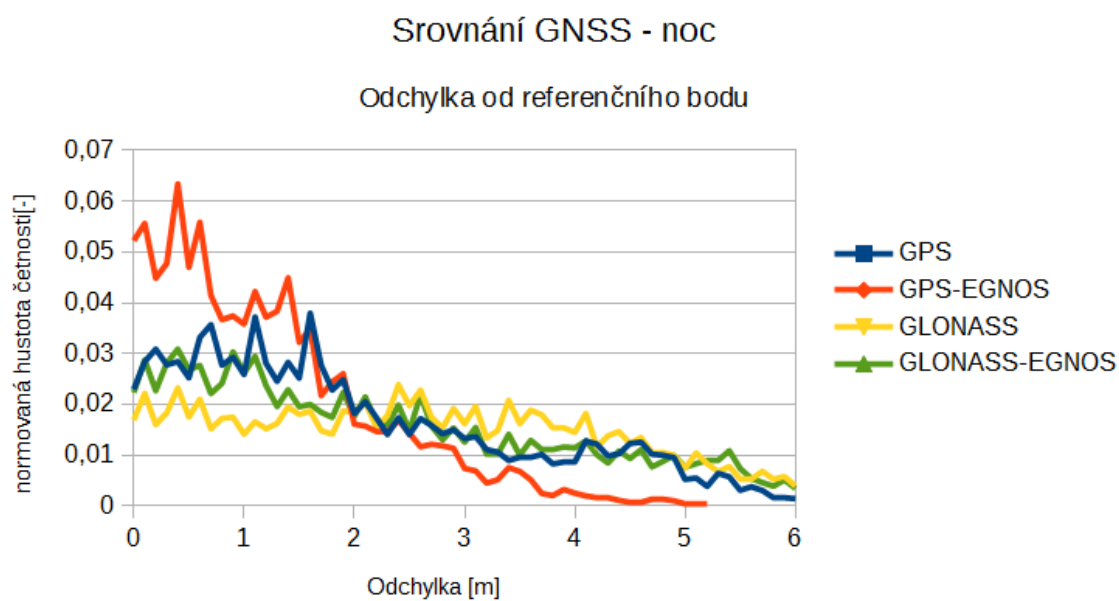
10.2 Měření GNSS – noc

Zde jsou uvedeny výsledné údaje nočního měření. Údaje shrnuje tabulka (Tab. 16). Dále jsou jednotlivá data reprezentována v grafu normované hustoty četnosti odchylky od referenčního bodu (Obr. 24).

hodnota	veličina	jednotka	GPS	GPS+EGNOS	GLONASS	GLONASS+EGNOS
Referenční bod	-	-	1	2	2	2
Zeměpisná šířka	střední hodnota	[°]	17,876250	17,876264	17,876270	17,876281
Zeměpisná délka	Střední hodnota	[°]	49,085667	49,085607	49,085598	49,085599
Nadmořská výška	Střední hodnota	[m]	375,72	375,54	372,20	374,72
PDOP	Minimum	[-]	1,18	1,29	1,22	1,43
PDOP	Střední hodnota	[-]	1,54	1,81	1,85	1,86
PDOP	Maximum	[-]	2,08	3,36	3,52	3,09
HDOP	Minimum	[-]	0,72	0,79	0,87	0,8
HDOP	Střední hodnota	[-]	0,88	1,02	1,03	1,05
HDOP	Maximum	[-]	1,45	1,52	2,51	1,68
VDOP	Minimum	[-]	0,89	1,01	0,9	1,04
VDOP	Střední hodnota	[-]	1,26	1,50	1,53	1,52
VDOP	Maximum	[-]	1,78	3,01	2,59	2,7
Chyba zeměpisné šířky	Minimum	[m]	1,2	0,62	0,87	0,88
Chyba zeměpisné šířky	Střední hodnota	[m]	1,83	1,00	1,64	1,54
Chyba zeměpisné šířky	Maximum	[m]	3,1	1,8	17	2,6
Chyba zeměpisné délky	Minimum	[m]	0,98	0,51	0,86	0,83
Chyba zeměpisné délky	Střední hodnota	[m]	1,43	0,75	1,67	1,75
Chyba zeměpisné délky	Maximum	[m]	2,2	1,4	27	3,5
Chyba nadmořské výšky	Minimum	[m]	1,9	1,1	1,8	1,8
Chyba nadmořské výšky	Střední hodnota	[m]	2,92	1,82	3,86	3,45
Chyba nadmořské výšky	Maximum	[m]	5,2	3,9	25	5,9
Odchylka od RB ¹	Minimum	[m]	1,4*10 ⁻⁹	0	0	0
Odchylka od RB ¹	Střední hodnota	[m]	2,16	1,23	3,06	2,55
Odchylka od RB ¹	Maximum	[m]	9,68	5,22	11,74	12,44

Tab. 16 Noční měření

¹RB = referenční bod



Obr. 24 Graf normované hustoty četnosti odchylky od referenčního bodu pro noční měření

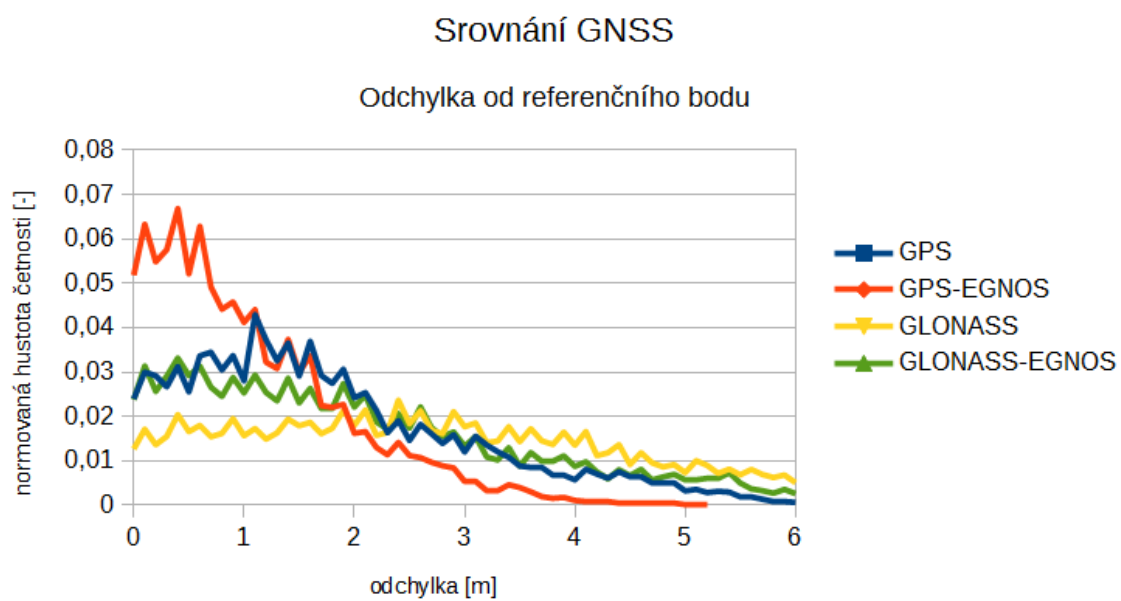
10.3 Měření GNSS – agregovaná data

Zde je uveden souhrn všech dat pro GNSS. Údaje shrnuje tabulka (Tab. 17). Dále jsou jednotlivá data reprezentována v grafu normované hustoty četnosti odchylky od referenčního bodu (Obr. 25).

hodnota	veličina	jednotka	GPS	GPS+EGNOS	GLONASS	GLONASS+EGNOS
Referenční bod	-	-	1	2	2	2
Zeměpisná šířka	střední hodnota	[°]	17,876250	17,876262	17,876275	17,876276
Zeměpisná délka	Střední hodnota	[°]	49,085669	49,085607	49,085598	49,085603
Nadmořská výška	Střední hodnota	[m]	374,96	375,59	373,83	374,07
PDOP	Minimum	[-]	1,18	1,29	1,22	1,43
PDOP	Střední hodnota	[-]	1,61	1,80	1,83	1,85
PDOP	Maximum	[-]	3	3,53	3,52	3,34
HDOP	Minimum	[-]	0,7	0,73	0,78	0,76
HDOP	Střední hodnota	[-]	0,91	0,97	0,99	1,00
HDOP	Maximum	[-]	1,45	1,52	2,51	1,68
VDOP	Minimum	[-]	0,89	1,01	0,9	1,04
VDOP	Střední hodnota	[-]	1,33	1,50	1,53	1,54
VDOP	Maximum	[-]	2,76	3,19	2,59	3,5
Chyba zeměpisné šířky	Minimum	[m]	1,2	0,62	0,87	0,88
Chyba zeměpisné šířky	Střední hodnota	[m]	2,04	1,10	1,65	1,61
Chyba zeměpisné šířky	Maximum	[m]	4,1	2,6	17	3,7
Chyba zeměpisné délky	Minimum	[m]	0,98	0,51	0,78	0,83
Chyba zeměpisné délky	Střední hodnota	[m]	1,52	0,75	1,60	1,68
Chyba zeměpisné délky	Maximum	[m]	2,7	1,5	27	3,5
Chyba nadmořské výšky	Minimum	[m]	1,9	1,1	1,8	1,8
Chyba nadmořské výšky	Střední hodnota	[m]	3,2	1,96	3,81	3,74
Chyba nadmořské výšky	Maximum	[m]	6,1	4,5	25	7,4
Odchylka od RB ¹	Minimum	[m]	1,4*10 ⁻⁹	0	0	0
Odchylka od RB ¹	Střední hodnota	[m]	1,87	1,23	3,08	2,30
Odchylka od RB ¹	Maximum	[m]	9,68	5,33	13,22	12,00

Tab. 17 Měření GNSS

¹RB = referenční bod



Obr. 25 Graf normované hustoty četnosti odchylky od referenčního bodu pro agregovaná data

10.4 Diferenční měření

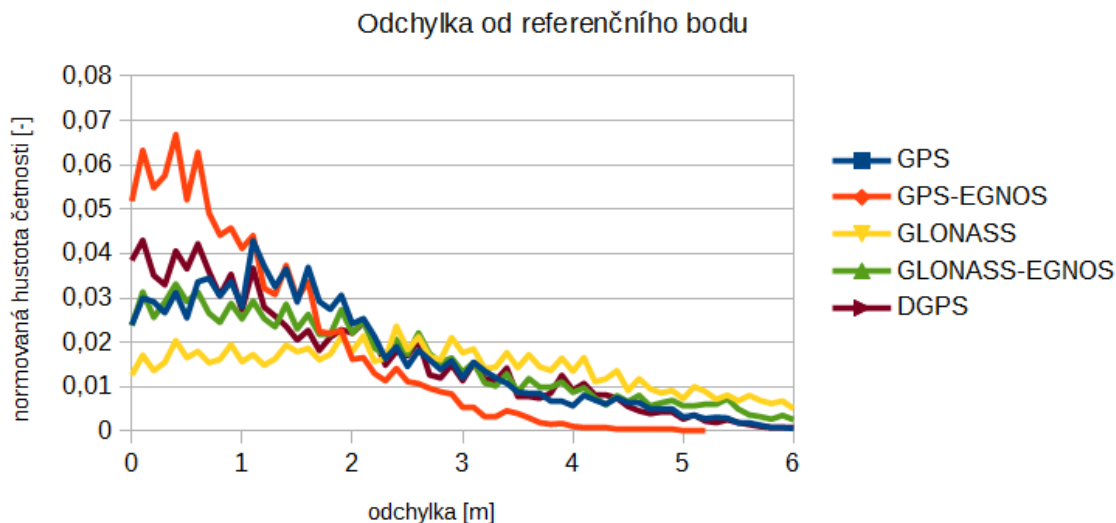
Sekce obsahuje výstupy diferenčního měření. Údaje jsou uvedeny v tabulce (Tab. 18). Údaje dále ilustruje graf srovnání normované hustoty četnosti odchylky od referenčního bodu, který srovnává diferenční měření s agregovanými výstupy (Obr. 26).

hodnota	veličina	jednotka	DGPS
Referenční bod	-	-	2
Zeměpisná šířka	střední hodnota	[°]	17,876272
Zeměpisná délka	Střední hodnota	[°]	49,085614
Nadmořská výška	Střední hodnota	[m]	374,16
PDOP	Minimum	[-]	1,25
PDOP	Střední hodnota	[-]	1,75
PDOP	Maximum	[-]	4,09
HDOP	Minimum	[-]	0,77
HDOP	Střední hodnota	[-]	1,04
HDOP	Maximum	[-]	3,68
VDOP	Minimum	[-]	0,98
VDOP	Střední hodnota	[-]	1,39
VDOP	Maximum	[-]	2,45
Chyba zeměpisné šířky	Minimum	[m]	0,69
Chyba zeměpisné šířky	Střední hodnota	[m]	1,3
Chyba zeměpisné šířky	Maximum	[m]	2,45
Chyba zeměpisné délky	Minimum	[m]	0,69
Chyba zeměpisné délky	Střední hodnota	[m]	0,88
Chyba zeměpisné délky	Maximum	[m]	2
Chyba nadmořské výšky	Minimum	[m]	1,3
Chyba nadmořské výšky	Střední hodnota	[m]	2,07
Chyba nadmořské výšky	Maximum	[m]	3,6
Odchylka od RB ¹	Minimum	[m]	0
Odchylka od RB ¹	Střední hodnota	[m]	1,96
Odchylka od RB ¹	Maximum	[m]	21,91

Tab. 18 Diferenční měření

¹RB = referenční bod

Porovnání GNSS a diferenčního měření



Obr. 26 Graf normované hustoty četnosti odchylky od referenčního bodu pro diferenční měření

11 DISKUZE

V rámci této kapitoly jsou zhodnoceny stanovené cíle měření a navržena možná vylepšení.

11.1 Zhodnocení stanovených cílů měření

V rámci byly data dělena podle stanovené denní doby. Následně byly agregovány a provedena jejich hromadná analýza. V počátcích měření se jevílo, že mohou existovat patrné rozdíly mezi denním a nočním měřením. Následný rozbor dat nakonec ukázal, že se jednotlivá měření založená na denní době liší minimálně.

Měření potvrdilo stanovené cíle. S využitím rozšířených systému lze dosáhnout vyšší přesnosti nežli u měření založeném na využití samostatných systémů. Při využití diferenční metody je možné dosáhnout vyšší přesnosti nežli u absolutního určování polohy bez využití korekcí.

Přesnost diferenční metody by v optimálním případě měla dosahovat výsledků srovnatelných se systémem SBAS. V měření ovšem dosahuje menší přesnosti. Tato skutečnost může být vysvětlena využitím jednofrekvenční antény na referenčním přijímači. Řešením je využití antény podporující L2 frekvence. Je možné taky využít měření založeného na diferenční metodě či systému SBAS, v současné konfiguraci to ovšem referenční přijímač neumožňuje neboť nedisponuje licencí pro tato měření.

11.2 Možná vylepšení

Tato práce pokrývá základní implementaci diferenčního měření formou protokolu RTCM. Existuje řada postupů, které umožňují tuto práci rozšířit.

11.2.1 Využití přesnější antény na referenčním přijímači

Vhodným vylepšením je využít při měření na referenčním přijímači anténu, která umožňuje příjem z L2 pásma. Toto řešení by poskytlo možnost přesnějšího určení polohy referenční stanice a tím i možnost generovat přesnější korekce.

11.2.2 Změna polohy měřícího přijímače

V rámci měření byl měřící přijímač v blízkosti referenčního přijímače. Vhodným vylepšením by bylo provést měření ve větší vzdálenosti či s pohybujícím se přijímačem.

11.2.3 Jiný zdroj korekcí

V rámci práce byly využívány pouze korekce předávané protokolem RTCM. Vhodným rozšířením by bylo využití jiného způsobu předávání korekcí. Vhodnou alternativou se jeví využití knihovny RTKLIB. Pro využití této knihovny na přijímačích UBLOX je ovšem nutné upravit zdrojový kód této knihovny. Tímto řešením se dlouhodobě zabývá blog `rtklibexplorer` [27].

Alternativou může být také příjem dat ze systému EDAS. Jedná se o systém pro přístup k datům, které jsou generovány systémem EGNOS.[28]

11.2.4 Využití RTCMv3

V současné době připravuje firma Ublox GNSS přijímače typu NEO-M8P. Jedná se o nízko nákladové přijímače umožňující práci s protokolem RTCMv3. Tento protokol zahrnuje více zpráv a podporuje všechny existující GNSS. Protokol také udává řádově centimetrovou přesnost diferenční metody. V současné době jsou ovšem tyto přijímače teprve ve fázi vývoje a licencování.[29]

ZÁVĚR

V rámci této práce jsem uvedl základní principy satelitní navigace. Shrnul jsem princip kódového a fázového měření pozice. Dále jsem uvedl metody měření pozice a stručně charakterizoval navigační přijímač. Následně jsem se věnoval globálním navigačním systémům. Popsal jsem hlavní navigační systémy, jejich segmenty a systémy rozšiřující. V praktické části jsem se věnoval stanovení cílů měření, popisu implementace programu, popisů měření a výsledkům. V diskuzi jsem komentoval tyto výsledky a následně popsal možná rozšíření.

V rámci práce jsem byl konfrontován se spoustou problémů. Tyto problémy vyžadovali rozšíření mých znalostí nejen v oblasti satelitní navigace. Vhodná implementace měřicího programu a využití návrhových vzorů mi umožnily reagovat pružně a dynamicky na řadu těchto problémů a včas je odstranit.

V průběhu práce byla největší překážkou dynamika vývoje navigačních systémů. V rámci implementace programové části pro měření systému SBAS (EGNOS) došlo k výměně satelitů, se kterými se změnili i jejich PRN kódy. Ovšem tato změna nebyla zanesena, v tomto krátkém okamžiku, do oficiální dokumentace ze, které jsem v rámci práce vycházel. Identifikace a řešení tohoto problému byly pro mě časově nejnáročnější.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] GPS: Essentials of Satellite Navigation. *U-BLOX* [online]. 2007 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: https://www.u-blox.com/sites/default/files/gps_compendiumgps-x-02007.pdf
- [2] ŘÍHA, Jan. *Moderní přístrojová technika: Vybrané kapitoly: GNSS* [online]. Praha, 2014 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://spszem.cz/storage/files/1363/Moderni-pristrojova-technika-GNSS.pdf>
- [3] ČÁBELKA, Miroslav. *Úvod do GPS* [online]. Praha, 2008 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/ke-stazeni/vyuka/gps/skriptum-uvod-do-gps/>
- [4] PISCA, Peter. *GLOBALNE NAVIGAČNÉ SYSTÉMY* [online]. 2005 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: http://svf.utc.sk/kgd/skripta/Globalne_navigacne_systemy.pdf
- [5] *NEO-8Q / NEO-M8: Hardware Integration Manual* [online]. 2016 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: https://www.u-blox.com/sites/default/files/NEO-8Q-NEO-M8-FW3_HardwareIntegration-Manual_%28UBX-15029985%29.pdf
- [6] *NMEA 0183* [online]. 2008 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.nmea.org>
- [7] *RTCM Recommended standards for differential GNSS Service* [online]. Verze 2.3. 2001 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://www.rtcn.org>
- [8] *The Almanac: Orbit Data and Resources on Active GNSS Satellites* [online]. 2016 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://gpsworld.com/the-almanac/>
- [9] *The origins of GPS* [online]. 2010, , 42 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: https://www.u-blox.com/sites/default/files/the_origins_of_gps.pdf
- [10] ŠEBESTA, Roman a Marek DVORSKÝ. *Rádiové sítě I pro integrovanou výuku VUT a VŠB-TUO* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2014 [cit. 2017-05-12]. ISBN 978-80-248-3612-6.
- [11] ŠEBESTA, Jiří. *Globální navigační systémy* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2012 [cit. 2017-05-12]. ISBN 978-80-214-4500-0.
- [12] What is SBAS. *EGNOS* [online]. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <https://www.egnos-portal.eu/discover-egnos/about-egnos/what-sbas>
- [13] *WAAS Performance Standard* [online]. 2008 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://www.gps.gov/technical/ps/2008-WAAS-performance-standard.pdf>

- [14] *EGNOS Open Service: Service Definition Document* [online]. Revize 2.1. 2014 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: https://egnos-portal.gsa.europa.eu/sites/default/files/EGNOS_OS_SDD_2.1.pdf
- [15] *EGNOS SERVICE NOTICE: EGNOS Space Segment Update* [online]. Revize 1.2. 2017 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: https://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/sites/default/files/library/official_docs/service_notice_15.pdf
- [16] EGNOS realtime. *EGNOS user support* [online]. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: https://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/egnos_system_realtime
- [17] *Haversine formula* [online]. 2017 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: https://rosettacode.org/wiki/Haversine_formula
- [18] *Datasheet: Novatel Receivers OEM615* [online]. Verze 8. 2015 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.novatel.com/assets/Documents/Papers/OEM615.pdf>
- [19] *Datasheet: Actove GPS Antenna* [online]. Verze 1.1. 2010 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.pulseelectronics.com/docs/library/W4000.pdf>
- [20] *Datasheet: UBLOX NEO-M8* [online]. 2016 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: https://www.u-blox.com/sites/default/files/NEO-M8-FW3_DataSheet_%28UBX-15031086%29.pdf
- [21] *Datasheet: UBLOX ANN-MS* [online]. 2015 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: https://www.u-blox.com/sites/default/files/ANN_DataSheet_%28UBX-15025046%29.pdf
- [22] *Specification: SMW-412 multiband, 4-cable LTE 700 MHz, AWS, WiFi & GPS* [online]. 2014 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.mobilemark.com/wp-content/uploads/2015/04/antenna-spec-98-smw-412.pdf>
- [23] *GIT repository: PureJavaComm* [online]. 2017 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <https://github.com/nyholku/purejavacomm/wiki>
- [24] *Novatel OEM6® Family: Firmware Reference Manual* [online]. Revize 17. 2017 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.novatel.com/assets/Documents/Manuals/om-20000129.pdf>
- [25] *Earth Radius by Latitude Calculator* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <https://rechneronline.de/earth-radius/>
- [26] *Státní zpráva zeměměřičství a katastrů* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.cuzk.cz/>
- [27] *Rtklibexplorer: Exploring precision GPS with RTKLIB open source software and low-cost u-blox GPS receivers* [online]. 2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://rtklibexplorer.wordpress.com/>

- [28] *EGNOS: What is EDAS* [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://www.egnos-portal.eu/discover-egnos/about-egnos/what-edas>
- [29] *Datasheet: NEO-M8P* [online]. 2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: https://www.u-blox.com/sites/default/files/NEO-M8P_DataSheet_%28UBX-15016656%29.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

API	Application Program Interface
C/A	Coarse/Aquisition
CSV	Comma Separated Values
DOP	Dilution of Precision
ECEF	Earth Centered Earth Fixed
EGNOS	European Geostacionary Navigation Overlay Service
GNSS	Global Navigation Satelite System
RTK	Real Time Kinematics
GIS	Geographic Information System
GLONASS	Global Navigation Satelite System
GPS	Global Positioning System
HDOP	Horizontal Dilution Of Precision
HP	High Positioning
ICAO	International Civil Aviation Organization
JNA	Java Native Access
MCC	Master Control Center
NAVSTAR-GPS	Navigation Signal Timing And Ranging Global Positioning System
NDS	Navigation Development Satelite
NLES	Navigation Land Earth Station
NMEA	National Marine Electronics Asociation
NTS	Navigation Technology Satelite
P	Precision
PDOP	Position Dilution Of Precision
PPS	Precise Positioning Service
PR	Pseudorange
PRC	Pseudorange Correction
PRM	Pseudorange Measurement
PRN	Pseudo Random Noise
RIMS	Ranging and Integrity Station
RRC	Range Rate Correction
RTCM	Radio Technical Commision for Maritime Services
SP	Standard Positioning
SPS	Standard Positioning Service
SVN	Space Vehicle Number
VDOP	Vertical Dilution Of Precision

WAAS	Wide Area Augmentation System
WADGPS	Wide Area Differential GPS
WGS	World Geodetic System

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Určení vzdálenosti od pozice úderu blesku[1].....	12
Obr. 2 Zjednodušený výpočet vzdálenosti na základě měření doby přenosu signálu.[1].....	13
Obr. 3 Výpočet vzdálenosti na základě dvou zdrojů signálu.[1].....	14
Obr. 4 Výpočet pozice na základě doby přenosu signálu.[1].....	15
Obr. 5 Určení doby přenosu signálu[1].....	16
Obr. 6 Pozice ve 2D určená na základě průsečíku 2 kružnic.[1].....	16
Obr. 7 Pozice ve 3D určená na základě tří satelitů.[1].....	17
Obr. 8 Určení pozice ze signálů čtyř satelitů za předpokladu časové chyby[1].....	18
Obr. 9 Statická metoda[3].....	20
Obr. 10 Rychlá statická metoda[3].....	21
Obr. 11 Metoda stop and go[3].....	22
Obr. 12 RTK[3].....	23
Obr. 13 Diferenční navigace[3].....	24
Obr. 14 Zobrazení pokrytí dostupných systémů SBAS[12].....	44
Obr. 15 Struktura ekosystému pro zápis do souboru.....	51
Obr.16 Struktura ekosystému RTCM můstek.....	52
Obr. 17 Implementace Haversinova vzorce.....	53
Obr. 18 Ukázkový výstup měření GPS.....	54
Obr. 19 Ukázkový výstup měření GPS s korekčními daty.....	55
Obr. 20 Ukázkový výstup měření GLONASS.....	55
Obr. 21 Ukázkový výstup měření GLONASS s korekčními daty.....	56
Obr. 22 Ukázkový výstup diferenčního měření.....	56
Obr. 23 Graf normované hustoty četnosti odchylky od referenčního bodu pro denní měření.....	59
Obr. 24 Graf normované hustoty četnosti odchylky od referenčního bodu pro noční měření.....	61
Obr. 25 Graf normované hustoty četnosti odchylky od referenčního bodu pro agregovaná data....	63
Obr. 26 Graf normované hustoty četnosti odchylky od referenčního bodu pro diferenční měření..	65

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Přesnost při určování polohy a času s využitím GNSS [1].....	11
Tab. 2 Vybrané zprávy protokolu NMEA 0183.....	29
Tab. 3 Hlavička zprávy protokolu RTCM [7].....	34
Tab. 4 Vybrané zprávy protokolu RTCM [7].....	34
Tab. 5 Vybrané zprávy protokolu RTCM [7].....	35
Tab. 6 Přehled GNSS [8].....	36
Tab. 7 Stručný výpis existujících SBAS [12].....	44
Tab. 8 Geostacionární satelity využívané systémem EGNOS [16].....	45
Tab. 9 Parametry referenčního přijímače [18].....	47
Tab. 10 Parametry antény referenčního přijímače [19].....	47
Tab. 11 Parametry měřícího přijímače [20].....	48
Tab. 12 Parametry antény měřícího přijímače [21].....	48
Tab. 13 Parametry antény měřícího přijímače [22].....	49
Tab. 14 Stanovené referenční body.....	54
Tab. 15 Denní měření.....	58
Tab. 16 Noční měření.....	60
Tab. 17 Měření GNSS.....	62
Tab. 18 Diferenční měření.....	64

SEZNAM PŘÍLOH