

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

NAVIGAČNÍ SUBSYSTEM ROBOTU MINIDARPA

MINIDARPA ROBOT - NAVIGATION SYSTEM DESIGN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ZDENĚK KUNA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. LUKÁŠ KOPEČNÝ



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí
techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Kuna Zdeněk
Ročník: 3

ID: 78554
Akademický rok: 2007/2008

NÁZEV TÉMATU:

Navigační subsystém robotu Minidarpa

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte navigační systém a algoritmus pro robot Minidarpa.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

www.robotika.cz

Termín zadání: 1.2.2008

Termín odevzdání: 2.6.2008

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Kopečný

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Anotace

Tato bakalářská práce je rozdělena do dvou částí. První část je spíše teoretická, neboť zahrnuje principy družicové navigace a metody zpřesňování polohy GPS přijímače. Druhá část je aplikační a popisuje navigační subsystém z hardwarového a softwarového hlediska. Úkolem této bakalářské práce bylo vytvořit navigační subsystém pro robota, navrhnout komunikační kanál a implementovat navigační algoritmus do robota.

Klíčová slova:

Navigační subsystém robota Minidarpa, DGPS, GPS, navigační algoritmus

Annotation

This bachelor's work is divided into two parts. The first part is theoretical, because it includes the principles of satellite navigation and the methods of giving precision to position. The second part is application part and it describes the navigation subsystem of hardware and software equipment. The result of this bachelor's work was made a navigation subsystem for robot, designed communication and implemented navigation algorithm into the robot.

Key words:

The navigation subsystem of robot Minidarpa, DGPS, GPS, navigation algorithm

Bibliografická citace

KUNA, Zdeněk. Navigační subsystém robotu Minidarpa. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 59s.,Ing.Lukáš Kopečný.

P r o h l á š e n í

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma navigační subsystém robotu Minidarpa jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne :

Podpis:

P o d ě k o v á n í

Děkuji tímto Ing. Lukáši Kopečnému, doc. Ing. Luďku Žaludovi, Ph.D., Ing. Tomáši Neužilovi a v neposlední řadě Ing. Františku Burianovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

V Brně dne :

Podpis:

1. ÚVOD	10
2. TEORETICKÉ PŘIBLÍŽENÍ SYSTÉMU GPS	11
2.1 Historie navigačního systému GPS:.....	11
2.2 Struktura systému GPS	11
2.3 Principy družicové navigace	13
2.3.1 metoda úhломěrná	13
2.3.2 metoda Dopplerovská	13
2.3.3 metoda interferometrická.....	15
2.3.4 metoda měření fáze nosné	16
2.3.5 metoda dálkoměrná.....	17
3. DIFERENČNÍ GPS	19
3.1 Diferenční metody	20
3.1.1 Dle korigovaných údajů.....	20
3.1.2 Dle času vyhodnocení korekce	21
3.1.3 Dle místa provedení korekce	21
3.2 Určení korekcí.....	22
3.2.1 Referenční stanice s časovým etalonem	22
3.2.2 Referenční stanice se stabilním oscilátorem.....	23
3.2.3 Referenční stanice s nestabilním oscilátorem.....	24
4. KOMUNIKAČNÍ KANÁL	27
4.1 Spojení přes družici.....	27
4.2 Spojení přes pozemní vysílač.....	27
4.3 Bezdrátová komunikace	28
4.3.1 Implementace frekvenčních modulů do systému DGPS	29
4.4 Sériová linka	30
5. METODY NAVIGACE	31
5.1 Relativní navigace.....	31
5.1.1 Inerciální navigace.....	31
5.1.2 Odometrie	31
5.2 Absolutní navigace.....	32
5.2.1 Triangulace	32

5.2.2 Trilaterace	32
5.2.3 Sledování stopy	34
6. UTM SYSTÉM SOUŘADNIC	35
7. SOFTWAREVÁ IMPLEMENTACE	36
7.1 Sběr dat	36
7.2 Zpracování naměřených dat	38
7.3 Výsledky naměřených dat	41
7.3.1 Data z programu pro výpočet korekcí	41
7.3.2 Naměřené závislosti pomocí programu u-center:	43
7.3.3 Porovnání jednorázového a dlouhodobého(statistického) měření GPS souřadnic:.....	45
7.3.4 Určení přesnosti GPS přijímače NL-303P.....	47
7.4 Navigační algoritmus	48
7.5 Modifikovaný navigační algoritmus	51
8. ZÁVĚR	53
9. LITERATURA	54
10. SEZNAM PŘÍLOH	56
10.1Příloha 1 – Formát navigačních vět a jejich význam	58
10.2Příloha 2 – Výstupní konektor GPS.....	56
10.3Příloha 3 – Implemetovaný gps přijímač do navigačního subsystému.....	57
10.4Příloha 4 - Frekvenční modul ELPRO 805U	57

Seznam obrázků:

obrázek 2-1 Kosmický segment systému GPS	12
obrázek 3-1 Realizace DGPS	19
obrázek 3-2 Porovnání přesností určení polohy při použití klasické GPS nebo DGPS	26
obrázek 4-1 Pokrytí ČR signálem korekcí.	27
obrázek 4-2 Propojení modulu RC1280HP s UART výstupem na RS-232 převodník s 9pin. D-SUB konektorem	28
obrázek 4-3 Bezdrátová komunikace prostřednictvím frekvenčních modulů ELPRO 805U.....	29
obrázek 4-4 Prodloužení sériové linky – mobilita mobilního robotu	30
obrázek 5-1 Určování polohy neznámého bodu pomocí trilaterace.....	33
obrázek 6-1 UTM zóny pro Evropu	35
obrázek 7-1 Vývojový diagram pro sběr dat z GPS přijímačů	37
obrázek 7-2 Blokové schéma zpracování dat z GPS přijímačů a určení směru jízdy robotu	39
obrázek 7-3 Histogram neměnné polohy GPS stanice pro severní šířku měřený 24 hodin.....	43
obrázek 7-4 Histogram neměnné polohy GPS stanice pro západní délku měřený 24 hodin.....	44
obrázek 7-5 Jednorázové změření polohy GPS přijímače	45
obrázek 7-6 Zpřesnění polohy GPS přijímače pomocí statistického vyhodnocení ...	46
obrázek 7-7 Přesnost určení polohy GPS přijímače:NAVILOCK NL-303P.....	47
obrázek 7-8 Princip navigačního algoritmu	50
obrázek 7-9 Princip modifikovaného navigačního algoritmu	52

1. ÚVOD

Perspektivy využití navigačního systému GPS:

S klesající cenou elektroniky a komunikačních technologií se do průmyslu dostávají i přijímače signálu GPS. Během několika let se předpovídá, že se tyto přijímače dostanou do všech dopravních prostředků a nejen tam. Prostřednictvím nich bude možné monitorovat pohyb vozidel. Bude možné najít časově nebo ekonomicky optimální řešení dopravních situací a zmenšit tak nehodovost na silnicích.

V leteckém průmyslu se využívá systému GPS při řízení letového provozu a při navádění dopravních letadel na startovací a přistávací plošinu. Hlavním důvodem zavedením tohoto systému do leteckého průmyslu bylo zvýšení spolehlivosti, bezpečnosti a v neposlední řadě ekonomicky efektivnějšího plánování. Dalším důvodem byla i dosavadní nedokonalá možnost monitorování letadel nad oceány, neboť retranslační stanice měly konečný dosah svého signálu.

Další využití systému GPS se předpokládá v ekologii. Monitorováním oceánských ploch bude možné trestat sankcemi znečišťovatele oceánů, kteří z důvodu finanční náročnosti zpracování toxických látek, vylévají tyto nebezpečné látky do oceánů. Sledování vlivu globálního oteplování na roztávání ledovců atd...

Tím samozřejmě výčet možnosti využití GPS nekončí. Možné použití je i v robotice při navigaci mobilních robotů, což bude předmětem této bakalářské práce.

(*pozn. Za účelem stabilnějšího navigačního satelitního systému se uvažuje o sloučení amerického GPS–NAVSTAR evropského (GALILEO) a ruského (GLONASS) systému v jeden univerzální systém globální navigace)

2. TEORETICKÉ PŘIBLÍŽENÍ SYSTÉMU GPS

2.1 HISTORIE NAVIGAČNÍHO SYSTÉMU GPS:

První myšlenka družicové komunikace byla vyřčena v roce 1945 jedním z nejznámějších vizionářů dvacátého století, Arthurem C. Clarkem. Jeho myšlenka spočívala ve vynesení nejméně tří družic, pohybujících se v jedné rovině, po kruhové dráze v gravitačním poli Země. Z teoretického hlediska by poté bylo možné spojit komunikačním kanálem dva body (spojení vysílač-přijímač), vyskytující se kdekoliv na zemském povrchu. K uskutečnění této myšlenky muselo uběhnout dalších 19 let, než se podařilo vynést umělou družici na její geostacionární oběžnou dráhu Země. V 70. letech minulého století se začaly konstruovat družice schopné interní komunikace a komunikace s řídicími středisky, zatím vše probíhalo v rovině čistě experimentální, nikoliv uživatelské. Družice vybudované v tomto období se nazývají družicemi 1.bloku. Ve druhé fázi vývoje (80-90.léta 20.století) byly vyvíjeny hlavně řídicí střediska spolu s družicemi, které měly doplňovat družice 1.bloku. Družice vybudované v tomto období se nazývají družicemi 2. bloku. Třetí fáze vývoje se odehrávala v duchu zdokonalování družic, zejména ochranné prvky proti radiaci přizpůsobené na jaderný výbuch, robustnějšího systému komunikace mezi družicemi a vylepšení autonomních činností. Družice vybudované v tomto období jsou družicemi patřící do bloku 2.A ,2.R a 2.F.

Navigační systém dosáhl plné operační kapacity (FOC) v roce 1994. Na vývoji celého navigačního systému se podílely firmy Rockwell-Collins, Magnavox, Texas Instrument a Teledyne.

2.2 STRUKTURA SYSTÉMU GPS

- uživatelský segment

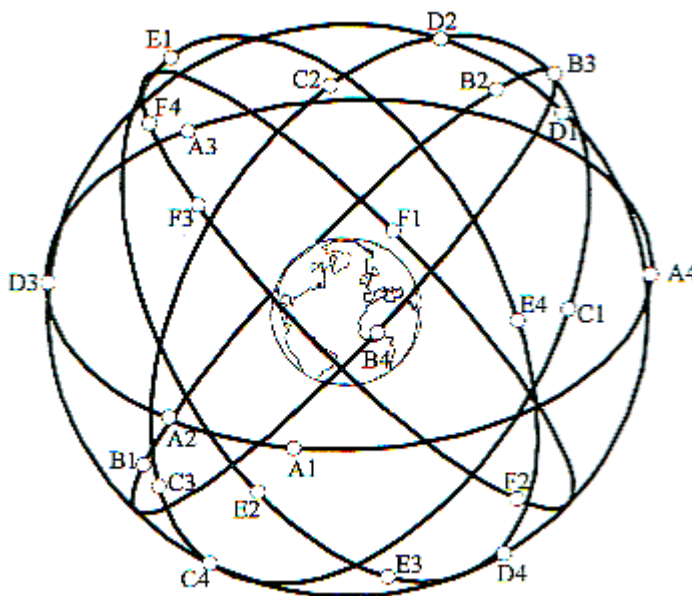
Uživatelský segment je hardware-sofwarové vybavení, které svému uživateli prezentuje informace vyslané z družic(GPS přijímač).

- řídicí segment

Řídicí segment je srdcem celého navigačního systému. Zpracovává informace vyslané družicemi, vypočítává efemeridy(model trajektorie družice), porovnává čas se svými hodinami a vysílá tyto informace zpět ke družici, odkud se signál šíří k uživatelskému segmentu.

- kosmický segment

Kosmický segment je složen z 21 aktivních a 3 rezervních družic,obíhajících na šesti kruhových oběžných drahách ve výšce 20200km se sklonem 55° k rovině rovníku.(viz obr.2-1)



obrázek 2-1 Kosmický segment systému GPS

2.3 PRINCIPY DRUŽICOVÉ NAVIGACE

Existuje několik různých metod jakým způsobem lze určit polohu GPS přijímače, přičemž přesnost každé metody je závislá na preciznosti konkrétní aplikace:

- metoda úhломěrná
- metoda Dopplerovská
- metoda interferometrická
- metoda měření fáze nosné
- metoda dálkoměrná

2.3.1 metoda úhломěrná

Tato metoda je založena na teoretické myšlence, která je těžko realizovatelná z důvodu nutnosti přesného směřování antény v závislosti na pohybu družice a tělesa:

Představme si, že chceme určit polohu určitého tělesa s nezanedbatelnými proporcemi pomocí družice. Musí tedy existovat kužel, který má při svém vrcholu právě vysílací bod družice a konstantní elevační úhel, pod kterým lze vidět body objektu jehož polohu určujeme. Pokud provedeme takovéto měření ještě jednou, buď ke stejné družici v jiný čas a nebo ve stejný čas k jiné družici. Výsledkem budou dva kužely v prostoru, přičemž jejich průnik nám určuje polohu tělesa.

Tato metoda je tedy nepřesná z hlediska nepřesného zaměření družice směrovými anténami. Tato metoda by se dala využít jenom ve statickém případě, kdy se těleso nepohybuje, což je ale v oblasti mobilní robotiky nežádoucí.

2.3.2 metoda Dopplerovská

Jednou důležitou podmínkou pro vyhodnocování měření polohy pomocí Dopplerova jevu při šíření signálu rychlostí světla, nikoliv však z teoretického hlediska nutnou, ale prakticky opodstatněnou, je pohyb družice po negeostacionární oběžné dráze. Pokud by se totiž družice nepohybovala relativně vůči zemskému povrchu (geostacionární oběžná dráha), nevznikal by takový posun frekvence a jeho

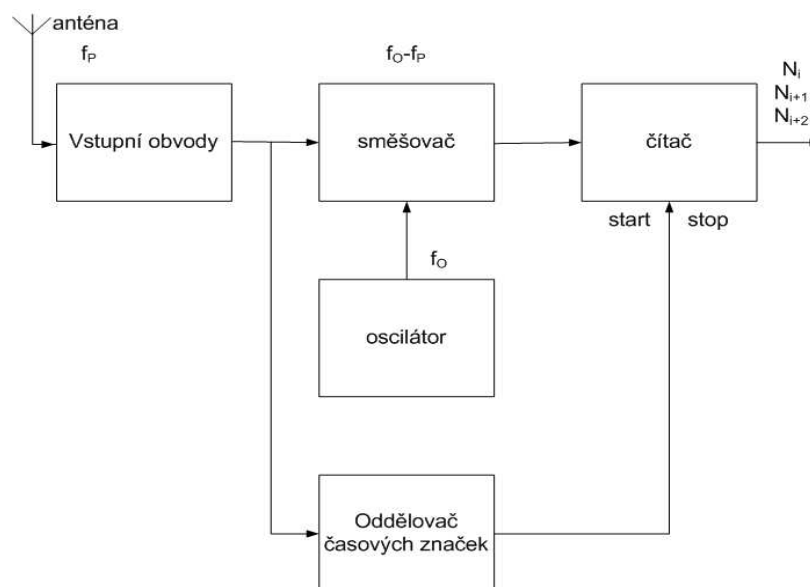
vyhodnocování by bylo méně přesné. Neboť tato závislost je při určitých omezujících podmínkách rovna: $f_P = f_D (1 \pm \frac{u}{c})$

Omezující podmínky: $u \ll c$

kde u je vzájemná rychlost družice a přijímače signálu GPS.

Odsud tedy plyne, že pokud u bude mít hodnotu větší než je rychlost tělesa pohybujícího se na zemském povrchu (tzn. že využijeme možnosti negeostacionární oběžné dráhy družice), pak se frekvence signálu přijímaného přijímačem určitě zvýší, což je žádoucí.

Celá filosofie této metody tedy stojí na myšlence, že družice, která se pohybuje na oběžné dráze Země vysílá stabilní kmitočet f_D . Tímto signálem jsou přenášeny i časové značky vygenerované v okamžicích (t_i, t_{i+1}, \dots) a posunuté od sebe o časový interval T . Z důvodu existence Dopplerova jevu se frekvence přijímaného signálu liší od frekvence signálu vysílaného. Přijímaný signál je s kmitočtem oscilátoru (f_0) přiveden do směšovače. Výstupní frekvence signálu ze směšovače je dána rozdílem těchto dvou vstupujících frekvencí ($f_0 - f_P$). Perody výstupní frekvence inkrementuje čítač, dokud nepřijde další časová značka (viz obr. 2-2).



obrázek 2-2 Princip Dopplerovy metody

Pokud nedochází k pohybu družice-uživatel (vzdálenost mezi nimi je konstantní) čítač načítá N period dle vztahu:

$$N_i = T \cdot (f_0 - f_p)$$

Pokud ale dochází k pohybu družice-uživatel (vzdálenost mezi nimi není konstantní)

časová značka je přijmuta o nějaký časový okamžik $\Delta_i = \frac{d_i}{c}$ dříve, nebo později

v závislosti na tom, jak se vůči sobě pohybují družice a uživatel. Počet načítaných

period je roven:
$$N_i = \int_{t_i + \Delta_i}^{t_{i+1} + \Delta_{i+1}} (f_0 - f_p) dt = T f_0 + (d_{i+1} - d_i) \frac{f_0}{c} - T f_p$$

c ... rychlost světla $300\,000\,000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

d_i ... přírůstek vzdálenosti vytvořený pohybem GPS přijímače

odsud dalšími úpravami dostaneme vyjádření polohy v závislosti na počtu načítaných periodách:

$$N_i = T \cdot F + \frac{f_0}{c} \left(\sqrt{(x_{i+1} - x)^2 + (y_{i+1} - y)^2 + (z_{i+1} - z)^2} - \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} \right)$$

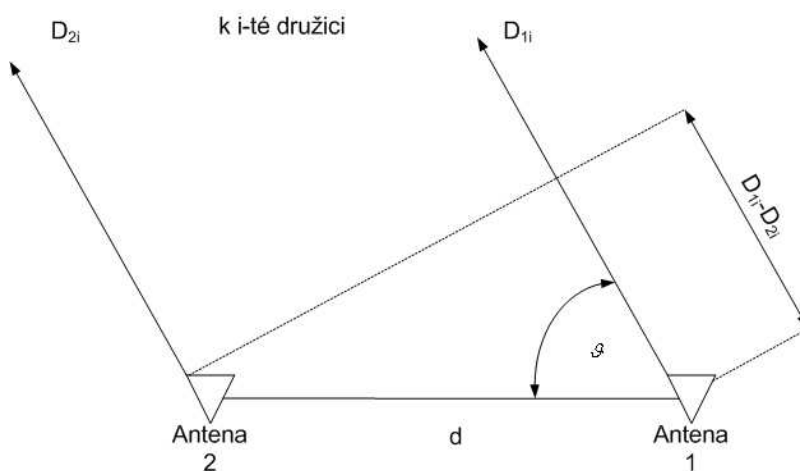
kde $F = f_0 - f_p$

Pokud budeme znát přesnou polohu družic v daný okamžik měření t_i, t_{i+1}, t_{i+2} a pokud bude známá hodnota načítaných hodnot N_i, N_{i+1}, N_{i+2} . Řešením soustavy tří rovnic o třech neznámých povede k získání proměnných x, y, z , což jsou souřadnice hledaného bodu.

2.3.3 metoda interferometrická

Metoda interferometrická je principiálně shodná s metodou úhломěrnou viz obr.2-3. Princip této metody spočívá v umístění dvou antén na měřený objekt, vzdálených od sebe vzdáleností d . Oběmi anténami měříme zdánlivou vzdálenost k i -té družici (D_{1i} D_{2i}), přičemž úhel, který je svírán oběmi spojnicemi družice-objekt a ekvidistantní rovinou k zemskému povrchu je téměř shodný a je roven výrazu:

$$\vartheta_i = \arccos\left(\frac{D_{1i} - D_{2i}}{d}\right)$$

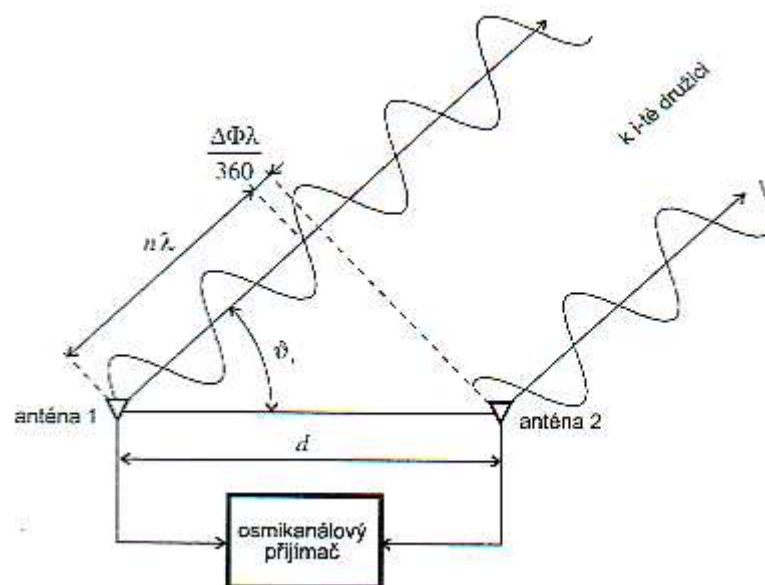


obrázek 2-3 Princip metody interferometrické

2.3.4 metoda měření fáze nosné

Metoda je ekvivalentní s metodou předešlou až na rozdíl, že zde místo zdánlivých vzdáleností měříme fázi nosné. Měření je proto přesnější než v předešlém případě. Úhel, který je svírá spojnicí objektu s družicí a ekvidistantní rovinou

k zemskému povrchu, je dán výrazem: $\vartheta_i = \arccos \left[\frac{\lambda}{d} \left(n + \frac{\Delta\phi}{2\pi} \right) \right]$

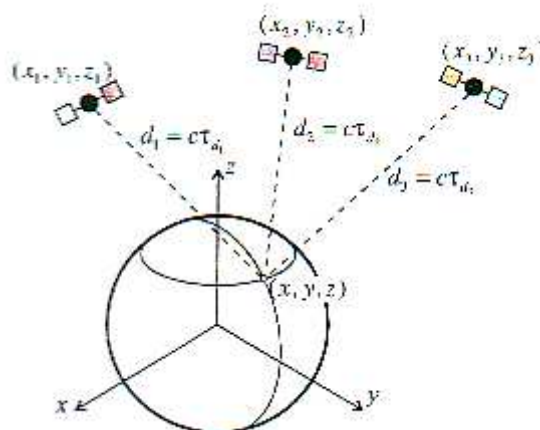


obrázek 2-4 Princip měření fáze nosné

2.3.5 metoda dálkoměrná

Systémy založené na této metodě využívají principu měření vzdáleností pomocí času (t_{di}), který je nutný k přenosu signálu mezi uživatelem a družicí. Využitím principu triangulace (využití minimálně tří družic) je možné určit polohu GPS přijímače, resp. uživatele, jako průsečík kulových ploch). Přesnost celého systému je závislá na přesnosti určení polohy družic (x_i, y_i, z_i) (z jejich modelových trajektorií-efemerid) a na synchronizaci oscilátorů družice a přijímače. Pokud chceme určit polohu měřeného objektu v prostoru (x, y, z), pak pro výpočet polohy lze odvodit z analytické geometrie vztah :

$$t_{di} \cdot c = \sqrt{((x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2)}$$



obrázek 2-5 Principiální uspořádání družic dálkoměrného systému

existují dvě dálkoměrné metody:

- Aktivní

Pro využití této metody musí být GPS přijímač technologicky vybaven dalším systémem, odpovídačem. Řídící stanice vyšle specifickou informaci (identifikační značku) přes družici k GPS přijímači. V okamžik obdržení této informace odešle zpětně GPS přijímač tento signál přes družici k řídicí stanici. Ta zpracuje rozdíl času mezi odesláním a přijutím zprávy, tím de-facto získá informaci o vzdálenosti mezi družicí a uživatelem, ale pouze za předpokladu, že je známá

poloha družic v okamžik měření a poloha řídicí stanice. Tento proces měření je proveden pro tři různé družice, čímž je poloha GPS přijímače určena.

- Pasivní

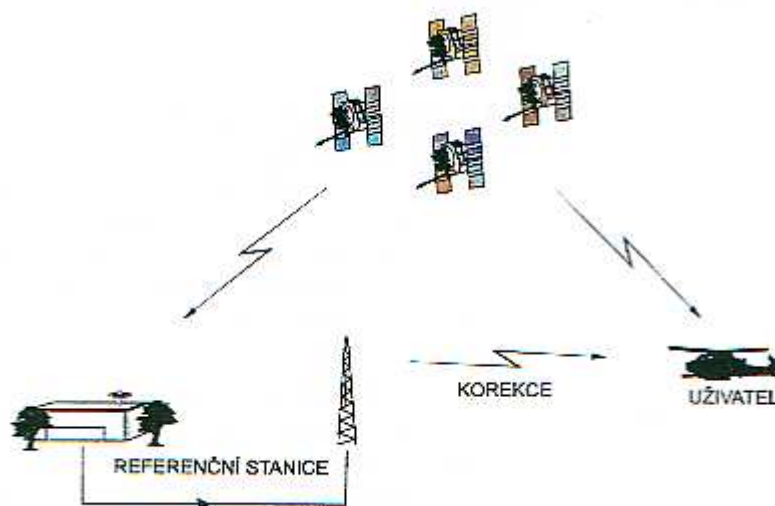
Tento způsob měření polohy objektu je využíván nejčastěji pro civilní použití. Družice vysílá zprávu, v které je zakomponován čas jejího odeslání. Při příjmu této zprávy přijímačem se vypočítá rozdíl mezi časem příjmu a odesláním zprávy. Tím není ovšem zjištěna přesná vzdálenost (proto tuto vzdálenost nazýváme pseudo-vzdáleností) mezi družicí a přijímačem, neboť z důvodu nedokonale synchronizovaných hodin družice s přijímačem dochází k časovému posuvu o neznámý čas. Tento časový posuv, odpovídá vzdálenosti, která má vliv na měření polohy přijímače, proto je nutné, aby byl zajištěn signál ze čtyř družic.

3. DIFERENČNÍ GPS

Pokud chceme zvětšit přesnost změřené polohy je vhodné použít diferenciální GPS(DGPS). Citace ze zdroje [1]:

“Termínem DGPS se zpravidla označují systémy, které využívají především měření zpoždění kódu. Pokud zároveň měří i fázi nosné, pak toto měření má pomocný charakter.“

K realizaci této zpřesňující metody je nutné využít dvou GPS přijímačů. Jeden z nich zvolíme jako referenční, čili jeho geocentrické souřadnice jsou přesně známy a druhý je používán klasicky, jako ostatní GPS přijímače. Myšlenka DGPS stojí na faktu, který se opírá o skutečnost, že signál procházející atmosférou k referenční stanici je podobně ovlivněn, jako signál prostupující atmosférou k GPS přijímači. Existují určité možnosti(metody), jak využít systém DGPS pro zpřesnění polohy měřeného objektu.



obrázek 3-1 Realizace DGPS

3.1 DIFERENČNÍ METODY

Korekce prováděné podle:

3.1.1 Dle korigovaných údajů

3.1.1.1 *Korekce polohových souřadnic*

Korektnost metody je založena na požadavku, že jak referenční stanice tak uživatelský přijímač musí v okamžiku vyhodnocování korekcí, používat k výpočtu své polohy stejné efemeridy družic. Tato podmínka není vždy splněna, zvláště tehdy když se uživatel pohybuje v místech, kde příjem signálů od družic může být tlumen okolním prostředím. Důsledkem této skutečnosti bude výměna přijímaného signálu. Družice, která do této doby byla použita k výpočtu polohy, bude nahrazena družicí jejíž signál je dominantnější. Dochází k nekorektnímu stanovení polohy GPS přijímače. Jinými slovy řečeno, v okamžik výměny signálu bude referenční stanice využívat ke svému výpočtu jiné družice než uživatel, z čehož plyne, že korekce budou nekorektní. K tomuto jevu může dojít i tehdy, když se aktualizují efemeridy družic. V určitý okamžik referenční stanice nebo uživatel může využívat jiné družice pro příjem signálu (aktualizace efemerid jednou za 4 hodiny). Nutno podotknout, že z ekonomického hlediska je tato metoda nejpříjemnější, neboť nemusí využívat žádné speciální GPS techniky.

3.1.1.2 *Korekce zdánlivých vzdáleností*

Ke korektnosti této metody není nutné využívat přesné pořadí družic, jako u první metody. Měří se zdánlivé vzdálenosti od všech viditelných družic, čímž odpadá vliv špatného výběru družic. Použití této metody se neobejde bez speciální GPS techniky. Referenční stanice by měla být vybavena výstupem korekcí a uživatelská stanice by měla být vybavena vstupem korekcí. Aby docházelo ke komunikaci mezi oběma zařízeními musí být tento systém doplněn o komunikační kanál. Ten může být prezentován prostřednictvím frekvenčního kanálu a nebo prostřednictvím sériové

linky. Je jasné, že pokud budeme chtít tento systém spojit s mobilním robotem, který se pohybuje v terénu, bylo by vhodné použít frekvenční kanál.

3.1.2 Dle času vyhodnocení korekce

3.1.2.1 V reálném čase

V mobilní robotice je upřednostňována navigace v reálném čase. Většina GPS přijímačů je vybavena aktualizací svých polohových souřadnic během několika vteřin. Rychlost obnovy polohových souřadnic GPS přijímače se však dosti značně projevuje na jeho ceně.

3.1.2.2 Dlouhodobé vyhodnocování

V některých aplikacích, například i pro přesné stanovení polohy referenční stanice pomocí jiné referenční stanice, lze využít metody dlouhodobého vyhodnocování. Výsledky této metody je nutné ukládat a potom zpracovat. Výsledkem je přesná poloha referenční stanice.

3.1.3 Dle místa provedení korekce

3.1.3.1 U uživatele

Nutnou podmínkou pro využití této metody je komunikační kanál mezi referenční stanicí a uživatelem. Referenční stanice vysílá korekce přes komunikační kanál k uživateli a ten díky přijatým korekcím koriguje svoji polohu.

Pokud ale referenční stanice není doplněna o výstup korekcí, musí být navigační systém doplněn o vyhodnocovací zařízení do kterého vstupují jak polohové souřadnice referenční stanice, tak polohové souřadnice uživatele. Ze znalosti přesných geocentrických souřadnic referenční stanice, lze vypočítat korekce a korigovat tak ve vyhodnocovacím zařízení polohu uživatele.

3.1.3.2 U referenční stanice

U této metody probíhá komunikace opačným směrem tj. od uživatele k referenční stanici. Tím se v referenční stanici zpracovává signál od uživatele a

referenční stanice disponuje informací o přesné poloze uživatele. Těto metody lze využít k monitorování uživatele.

3.2 URČENÍ KOREKČÍ

Přesnost určení korekcí je dosti závislá na přesnosti oscilátoru použitého v měřicí stanici. Určení přesné polohy je totiž svázáno s časem - dimenze časoprostor, jedná se o čtyřrozměrnou úlohu.

Potom rozdělujeme stanice podle toho jak stabilní nebo nestabilní oscilátor používají:

3.2.1 Referenční stanice s časovým etalonem

V idealizovaném případě by bylo efektivní z hlediska přesnosti určování polohy, aby referenční stanice, umístěna v definovaných geocentrických souřadnicích, disponovala časovým etalonem (atomovými hodinami). Tato podmínka je nutná pro synchronizaci času mezi družicí a referenční stanicí. Jak již bylo dříve zmíněno, nedokonalou synchronizací dochází k časovému posuvu, který má vliv na přesnost určování polohy.

Pokud jsou tyto podmínky splněny pak korekce lze spočítat dle vztahu:

$$C_E(t) = d_R(t) - d'_R(t)$$

$d_R(t)$... teoreticky vypočítaná vzdálenost mezi družicí a referenční stanicí z modelových trajektorií družice (efemerid) a přesných geocentrických souřadnic referenční stanice.

$d'_R(t)$... změřená vzdálenost mezi družicí a referenční stanicí

Je jasné, že korekce jsou omezené svojí platností po určitou dobu, neboť korekce, které jsou staré desítky vteřin, nemají význam pro zpřesnění polohy uživatelské stanice, nýbrž mají opačný efekt.

Z tohoto důvodu se komunikačním kanálem posílají i informace o derivaci korekce. Potom se korekce v čase t vypočítá lineární extrapolací :

$$\tilde{C}_E(t) = C(t_R) + (t - t_R) \cdot C'_E(t_R)$$

t_R ... vztažný čas korekce

$C'_E(t_R)$... derivace korekce v čase t_R

$\tilde{C}_E(t)$...extrapolovaná korekce

Vzdálenost změřená uživatelem lze poté korekcí korigovat dle vztahu:

$$D_C(t) = D(t) + \tilde{C}_E(t)$$

$D_C(t)$...korekcí upravená zdánlivá vzdálenost

$D(t)$...změřená zdánlivá vzdálenost uživatelem

Aby korekce byla co nejpřesnější, musí být rozdíl mezi extrapolovanou korekcí a korekcí neextrapolovanou minimální.

Poté stačí provést změření zdánlivé vzdálenosti od uživatele ke čtyřem družicím a tím tedy zjistit zdánlivé vzdálenosti, které se korekcí upraví a prostřednictvím nich se vypočítá zpřesněná poloha uživatele.

3.2.2 Referenční stanice se stabilním oscilátorem

Pokud budeme uvažovat, že referenční stanice využívá oscilátor se stabilním kmitočtem, který však není shodný se systémovým časem, pak platí:

$$\Delta t_R(t) = \Delta t_{R0} + t \cdot \overline{\Delta t}_R$$

Δt_{R0} ...počáteční odchylka časové základny

$\overline{\Delta t}_R$...relativní kmitočtová odchylka oscilátoru referenční stanice od systémového času

Korekce potom odpovídají:

$$D_{Ci}(t) = D_I(t) + \tilde{C}_{Ci}(t) - c\Delta t_C \quad i=1 \dots n \text{ (počet družic)}$$

$$\Delta t_C = \Delta t_{R0} + t \cdot \overline{\Delta t}_R$$

\tilde{C}_{Ci} ...extrapolovaná korekce k i-té družici

3.2.3 Referenční stanice s nestabilním oscilátorem

Každá uživatelská stanice pracuje s nestabilním oscilátorem, který se vyznačuje určitým rozptylem frekvencí. Referenční stanice musí přijímat v jeden okamžik signál od všech viditelných družic. Komunikačním kanálem se pak posílají korekce spolu s jejich derivacemi pro konkrétní čas. Korekce pro tento specifický čas musí být co nejdříve využity ke korigování polohy uživatele, jinak se celý systém stává nepřesný.

Referenční stanice změří zdánlivou vzdálenost:

$$D_R(t) = \tilde{d}_R(t) + c \cdot \Delta t_R(t)$$

\tilde{d}_R ... teoreticky vypočítaná vzdálenost za předpokladu použití etalonového oscilátoru.

Δt_R ... časové posunutí vztahované k systémovému času

Uvažujeme referenční stanici s vícekanálovým příjmem (12-ti u Garmin GPS)

Po změření ke všem viditelným družicím obdržíme korekce:

$$C_i(t_{Ri}) = d_{Ri}(t_{Ri}) - D_{Ri}(t_{Ri}), i = 1 \dots n$$

t_{Ri} ... čas nutný k překonání vzdálenosti mezi i-tou družicí a referenční stanicí

d_{Ri} ... teoretická vzdálenost mezi i-tou družicí a referenční stanicí vypočtená z efemerid příslušné družice a geostacionární polohy referenční stanice.

D_{Ri} ... zdánlivá vzdálenost mezi i-tou družicí a referenční stanicí

n ... počet přijímaných družic

extrapolace korekcí:

$$\tilde{C}_i(t) = C_i(t_{Ri}) + (t - t_{Ri})C'_i(t_{Ri})$$

zdánlivé vzdálenosti lze poté zkorigovat:

$$D_{Ci}(t) = D_i(t) + \tilde{C}_i(t)$$

Po dosažení dostaneme:

$$D_{Ci}(t) = D_i(t) + C_D(t) - c \cdot \Delta t_{Ci}$$

$$\Delta t_{Ci} = \Delta t_R(t_{Ri}) + (t - t_{Ri})\Delta t'_R(t_{Ri})$$

Δt_{Ci} ... odchylka způsobená nepřesností časové základny referenční stanice

C_D ...extrapolací vypočtená idealizovaná korekce, referenční stanice obsahuje etalonový oscilátor.

Pokud budeme měřit zdánlivé vzdálenosti v jeden okamžik, pak se bude eliminovat chyba, která by vznikla při měření zdánlivých vzdáleností při měřených v rozdílných časech. Změřené korekce pro zdánlivé vzdálenosti budou tak adekvátní pro konkrétní čas. Všechny vypočítané korigované vzdálenosti budou zatíženy stejnou časovou odchylkou.

Bude tedy platit:

$$t_{Ri} = t_R$$

$$D_{Ci}(t) = D_i(t) + \tilde{C}_D(t) - c \cdot \Delta t_C$$

$$\Delta t_C = \Delta t_R(t_R) + (t - t_R)\Delta' t_R(t_R)$$

toto je způsob příliš složitý proto se využívá tento:

Korekce se upravují takovým způsobem, aby jejich absolutní hodnota byla minimální.

Korekce se určí dle:

$$C_i(t_R) = d_R(t_{Ri}) - D_{Ri}(t_{Ri}) + K$$

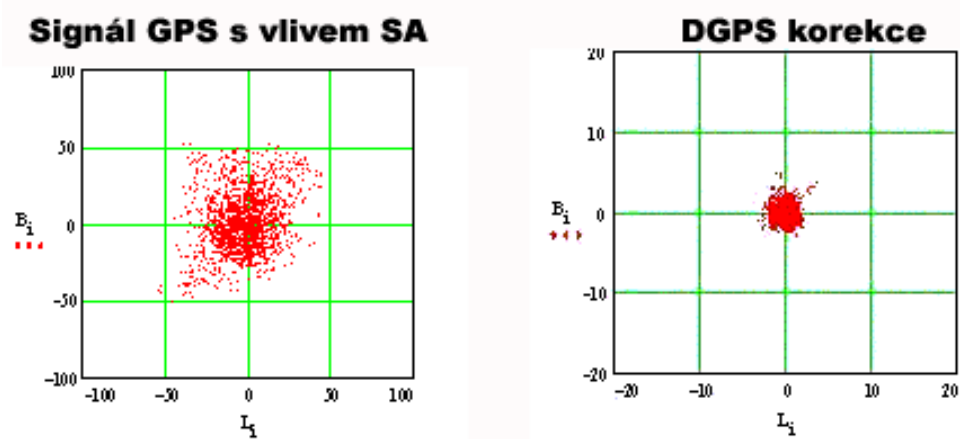
$$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (D_{Ri}(t_R) - d_{Ri}(t_R))$$

Tabulka vlastností různých referenčních stanic:

Referenční stanice	Přesnost polohy	Přesnost určení času	Možnosti optimalizace využití kapacity kanálu
S časovým etalonem	Zlepšuje	Zlepšuje	Ano
Se stabilním oscilátorem	Zlepšuje	Zhoršuje	Ano
S nestabilním oscilátorem	Zlepšuje	Zhoršuje	Ne

Existuje jedno kritérium, podle něhož lze hodnotit stabilitu oscilátorů, tzv. Allanův rozptyl. Je definován jako kvadrát odchylek frekvencí od stabilní frekvence vztahený k definovanému času τ . Pokud by měla být splněna korektnost diferenčního navigačního systému, tzn. že vliv nestability oscilátoru neovlivní radikálním způsobem výpočet zpřesněné polohy, měla by referenční stanice obsahovat oscilátor se stabilitou maximálně 10^{-10} Hz. Vzhledem k tomu, že dnešní oscilátory se vyrábějí se stabilitou v jednotkách nanosekund, je pochopitelné využití teorie o referenční stanici s nestabilním oscilátorem.

Ukázka rozdílů určení přesnosti polohových souřadnic GPS stanice při použití klasické GPS nebo DGPS. Zdroj ČVUT fakulta radioelektrotechniky:



obrázek 3-2 Porovnání přesností určení polohy při použití klasické GPS nebo DGPS

4. KOMUNIKAČNÍ KANÁL

Existuje několik různých způsobů jak spojit komunikačním kanálem referenční a uživatelskou stanicí.

4.1 SPOJENÍ PŘES DRUŽICI

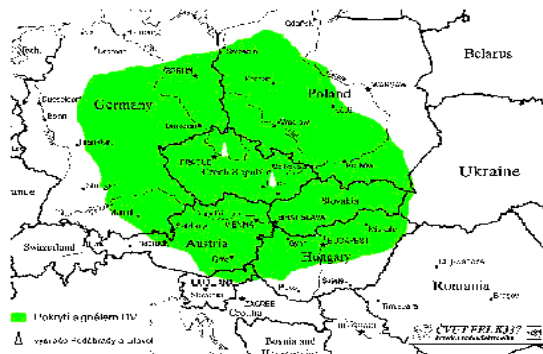
Například firma OmniSTAR vyrábí zařízení, které rovnou přijímá korekce z družice. Podstata této metody spočívá v příjmu signálu GPS, výpočtu zdánlivých vzdáleností, porovnání s geostacionárními souřadnicemi referenční stanice a výpočtu korekcí. Tyto korekce jsou vysílány referenční stanicí ke komerční družici (stacionární), která signál zesílí a rozptýlí na větší plochu.

Na trhu s GPS technikou se objevuje i přímo vestavěný modul příjmu korekcí v GPS. Velkou nevýhodou takového zařízení je nemožnost dostatečné mobility.

4.2 SPOJENÍ PŘES POZEMNÍ VYSÍLAČ

Využívá se stejných principů jako předešlá technologie, ale ke svému přenosu korekcí využívá pozemní vysílač s výkony od 250W do 1000W v pásmu 300kHz. Referenční stanice přijímá signál z GPS, vypočítává korekce a posílá je přes frekvenční kanál k uživateli. Jedna z firem zabývajících se touto problematikou je například firma Starlink.

V České republice jsou k dispozici dva vysílače korekčního signálu. Jeden je umístěn v Poděbradech(111,8kHz) a druhý v Litovli(124,6kHz).



obrázek 4-1 Pokrytí ČR signálem korekcí.

Pro využití těchto signálů je nutné použití speciální techniky. Na ČVUT v Praze se vytváří systém, který bude k přenosu korekcí využívat rádia Regina(92,6 FM).

4.3 BEZDRÁTOVÁ KOMUNIKACE

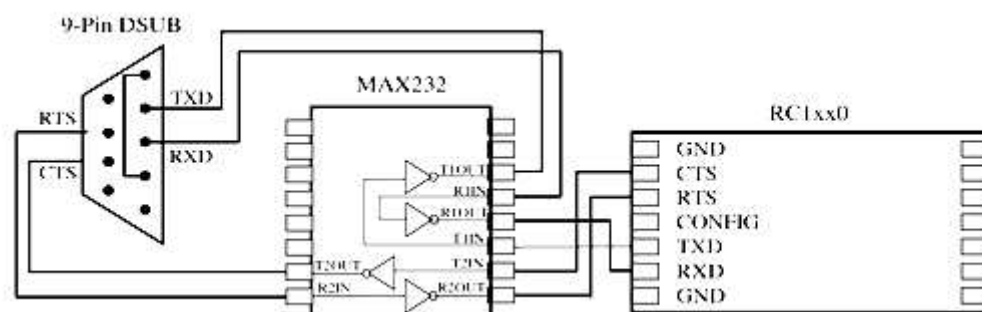
- **RS-232/485 - modul RC 1280HP**

Tento modul umožňuje přenos sériových dat do vzdálenosti 6km. Vzhledem k tomu, že GPS přijímač je také vybaven možností sériové komunikace, bylo by vhodné jejich spojení.

Specifikace převodníku UART/RF

Citace ze zdroje []:

„RF převodník RC1280HP je složen z RF Transceiveru RC1280, který vytváří pakety pomocí RC232 embedded RF protokolu a provádí FSK modulaci, a z periferních obvodů, jako jsou generátor hod. signálu - oscilátor, napěťový regulátor, anténní zesilovač apod. Připojení modulu je pomocí 2x10 pinů umístěných na obou koncích DPS. Jeden blok pinů obsahuje vstupy a výstupy sériové komunikace, zatímco druhý blok obsahuje vývod na anténu, napájecí vstup a některé řídicí vývody. RF modul s výkonem 500 mW a napojenou čtvrtvlnnou anténou může přenášet přivedená sériová data až na vzdálenost 6 km. Komunikace probíhá v bezlicenčním pásmu (dle European radio regulations for license-free use) na frekvencích okolo 869 MHz.“



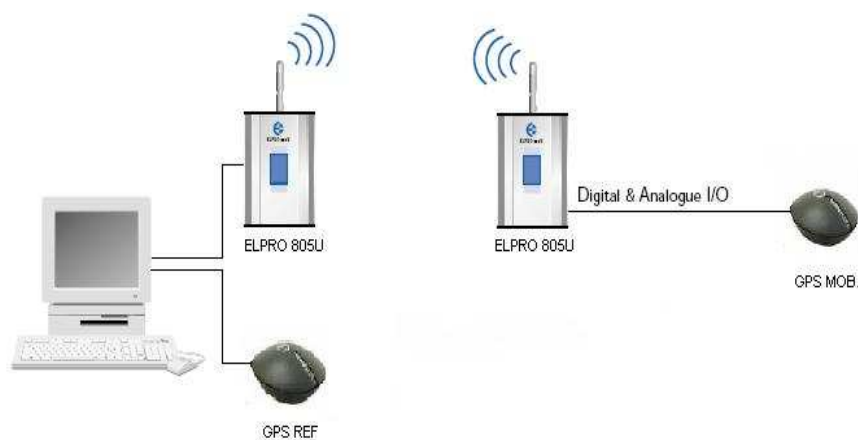
obrázek 4-2 Propojení modulu RC1280HP s UART výstupem na RS-232 převodník s 9pin. D-SUB konektorem

- **Frekvenční modul-ELPRO 805U**

Jedná se o frekvenční modul, který pracuje na frekvenci 868 MHz při šířce frekvenčního pásma 250KHz. Disponuje datovým vstupem ve standardu RS232 a RS485, přičemž k jednomu frekvenčnímu modulu můžeme připojit pouze jeden datový vstup(RS-232 nebo RS-485). V rámci komunikačního systému je naprosto vhodné připojovat k jednotlivým frekvenčním modulům rozdílné standardy sériové komunikace, tzn. že je možné k jednomu frekvenčnímu modulu připojit datový vstup ve standardu RS-232 a k druhému frekvenčnímu modulu standard RS-485. Je možné nastavit komunikační rychlost do 76800bitů/s s výstupním výkonem do 500mW. Dále je možné využít jak polovičního, tak plného duplexu pro přenos dat (RS232, RS485). Garantovaný komunikační dosah je při přímé viditelnosti až do 5km.

4.3.1 Implementace frekvenčních modulů do systému DGPS

Pro datové spojení mezi mobilní GPS(resp. referenční) a PC je možné využít frekvenčních modulů ELPRO 805U. Každý GPS přijímač je vybaven DB-9 konektorem, kterým je možné připojit GPS k frekvenčnímu modulu. Frekvenční modul pak bezdrátově přenáší almanachová data z GPS do druhého frekvenčního modulu, odkud se pak tyto data posílají přes datovou sériovou linku ve standardu RS232 do PC. Tím je zajištěna komunikace na velké vzdálenosti, což je pro mobilitu robota podstatné. Druhá GPS je připojena klasicky přes sériovou linku k PC.

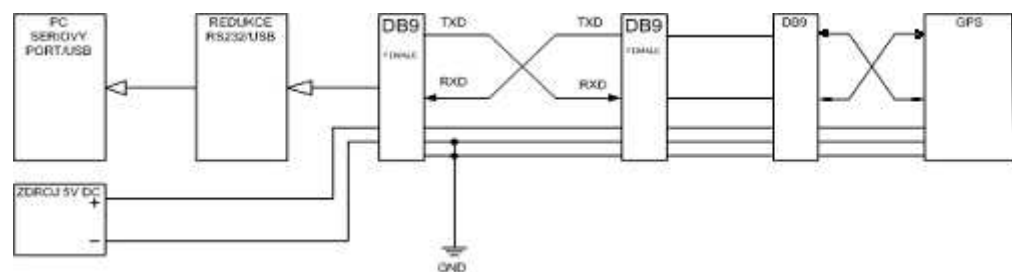


obrázek 4-3 Bezdrátová komunikace prostřednictvím frekvenčních modulů ELPRO 805U.

4.4 SÉRIOVÁ LINKA

Funkce přenosu dat je naprosto stejná jako v předešlém popisu využití frekvenčních modulů. Jediný rozdíl je ten že místo frekvenčního kanálu využíváme metalickou kroucenou 5-ti vodičovou linku(napájení, data, stínění).

Tento komunikační kanál není tolik ekonomicky náročný, jako předešlá varianta s využitím bezdrátového přenosu dat.



obrázek 4-4 Prodloužení sériové linky – mobilita mobilního robotu

5. METODY NAVIGACE

Existuje několik způsobů jak zjistit polohu robotu v neznámém prostředí:

5.1 RELATIVNÍ NAVIGACE

Myšlenka relativní navigace spočívá ve vytvoření globálního souřadného systému, kde počáteční bod souřadného systému je shodný s počáteční polohou robotu. Aktuální poloha robotu je pak vztažena k tomuto počátečnímu bodu. Nevýhodou metod založených na principu relativní navigace je nárůst chyby určení polohy s rostoucím počtem projetých bodů v souřadném systému. Proto je vhodné tento způsob určování polohy robotu kombinovat s absolutním systémem navigace, kde jsou přesně definovány další body a polohu robotu je možné vztahovat k těmto bodům tohoto souřadného systému. Tímto způsobem je tedy možné zpřesnit navigační subsystém robotu.

Metody patřící mezi relativní navigace:

5.1.1 Inerciální navigace

Abychom mohli využívat způsobů inerciální navigace, je nutné použít inerciální senzory (gyroskopy, akcelerometry, případně tachodynamy, či jiné snímače rychlosti). Principiálně se tato metoda opírá o fakt, že poloha pohyblivého tělesa vzhledem k definovanému počátku souřadného systému je určena z druhých integrací zrychlení v čase získaných z akcelerometrů (zrychlení v prostoru), či gyroskopů (úhlové zrychlení). Nevýhodou této metody je, že se s časem integruje i chyba, takže je možné, že poloha robotu může nabýt za určitý čas neadekvátních rozměrů v souřadném systému.

5.1.2 Odometrie

Stejně tak jako předchozí metoda je tato metoda zatížena chybou integrace, neboť informaci z inkrementálních čidel nebo tachodynamy převádíme pomocí integrace na polohu robotu. Jsme-li schopni vytvořit kinematický model robotu, je možné předpovídat polohu robotu v závislosti na kinematických změnách polohy akčních členů-kol. Důležitým předpokladem pro využití této metody je nutnost zajistit neproklouzávání kol při pohybu robotu po rovině. Odsud vyplývají i

mechanické podmínky uspořádání podvozku robotu pro určování polohy robotu pomocí odometrie v souřadném systému. Přesnost odometrie je závislá na přesnosti určení modelu na rozměrových parametrech kol a na přesnosti použitých čidel.

5.2 ABSOLUTNÍ NAVIGACE

Princip absolutní navigace, jak už bylo zmíněno, spočívá ve vytvoření specifických míst v souřadném systému, které se vyznačují svojí přesnou polohou v tomto systému

Mezi metody absolutních navigací patří:

5.2.1 Triangulace

Metoda triangulace se opírá o část matematiky nazývanou trigonometrie. Měření polohy neznámého bodu je zjišťováno pomocí přesně definovaných bodů a jejich známou vzdáleností mezi nimi. Při využívání metody triangulace se měří úhly od definovaných bodů k bodu jehož polohu zjišťujeme. Při této znalosti jsme schopni pomocí trigonometrických funkcí zjistit polohu neznámého bodu.

5.2.2 Trilaterace

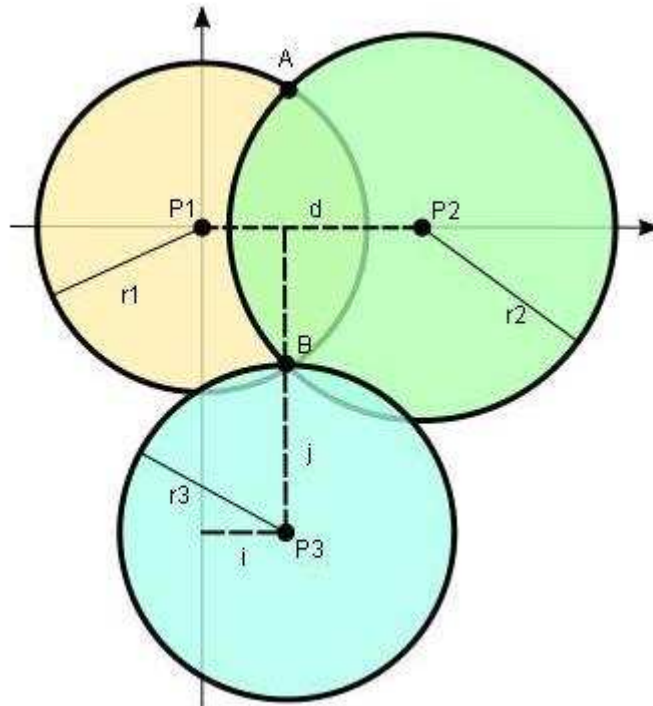
Odlišnost mezi trilaterací a triangulací spočívá v tom, že u trilaterace se měří vzdálenosti ke třem přijímačům resp. vysílačům vzhledem k neznámému bodu, na rozdíl od triangulace, kde se měří úhly od těchto vysílačů k neznámému bodu.

5.2.2.1 Problematika trilaterace ve 2D

Určení polohy bodu v rovině pomocí trilaterace je založena na průniku 3 kružnic, které vzniknou tak, že jejich střed je vždy bodem o známých souřadnicích vysílače a poloměr každé kružnice je roven vždy vzdáleností mezi bodem o neznámé poloze a bodem s definovanými souřadnicemi vysílače.

Popis obrázku 6-1: Hledáme neznámou polohu bodu v rovině. Známe-li však vzdálenost mezi tímto neznámým bodem a definovaným středem kružnice-bodem P_1 , vznikne tak v rovině množina bodů – kružnice o poloměru r_1 , na které se nachází neznámý bod. Ze znalosti další kružnice se středem v bodě P_2 a poloměrem r_2 , který je svojí velikostí roven vzdáleností mezi neznámým bodem a středem kružnice

v bodě P_2 , a při průniku těchto dvou kružnic dostáváme obecně dva body (bod A, bod B), což jsou potenciální body hledaného bodu. Abychom vyloučili jeden ze dvou možných bodů, využijeme třetí kružnice o poloměru r_3 a středu P_3 . Tímto eliminujeme bod A a bod B se stává bodem, jehož polohu (souřadnice) jsme hledali.



obrázek 5-1 Určování polohy neznámého bodu pomocí trilaterace

5.2.2.2 Problematika trilaterace v 3D

Určování polohy bodu v prostoru pomocí trilaterace je založena na stejném principu jako určování polohy bodu v rovině. Základní rozdíl spočívá v tom, že k určování polohy bodu v prostoru metodou trilaterace se nevyužívá kružnic, nýbrž koulí se stejnými geometrickými parametry jako předešlé kružnice. Takže kolem bodu A bude vytvořena koule o poloměru r_1 , což je množina bodů, kde se nachází neznámý bod. Po zkonstruování druhé koule o poloměru r_2 a středu P_2 a při průniku těchto dvou koulí, dostaneme množinu bodů - kružnici, kde se nachází neznámý bod. Při průniku další koule o poloměru r_3 a středu P_3 s takto vzniklou kružnicí dostaneme dva body (jako v rovině). Pokud budeme mít možnost využít další koule, (např.

Země), dostaneme další bod který eliminuje nekorektní polohu a dostáváme tak bod o známých souřadnicích např. na povrchu Země. V systému GPS je kvůli zvýšení přesnosti určování polohy využíváno nejméně 4 družic, ačkoliv by z teoretického hlediska stačily tři.

5.2.3 Sledování stopy

Tato metoda navigace spočívá ve sledování určité předem definované stopy v souřadném systému. Stopou můžeme rozumět množinu bodů, které jsou definovány svými specifickými fyzikálními vlastnostmi na rozdíl od okolí. Příkladem takové stopy může být klasická opticky viditelná čára, nebo vodič, jehož objemem protéká elektrický proud. Záleží pak na konkrétní aplikaci, zda-li využijeme senzorů elektromagnetického pole nebo senzorů vyhodnocující reflexi světelného paprsku při sledování stopy.

6. UTM SYSTÉM SOUŘADNIC

Definice UTM systému souřadnic dle informačního

zdroje:[<http://cs.wikipedia.org/wiki/UTM>]:

„Univerzální Transverzní Mercatorův systém souřadnic (UTM) je způsob určování polohy na povrchu Země založený na mřížkách. Od systému šířka-délka se liší v několika zásadních směrech. Nejedná se o jedno mapové zobrazení, ale o sít šedesáti zón zobrazených pomocí transverzního Mercatorova zobrazení. Protože se jedná o zobrazení částí elipsoidu do roviny, lze na mapách v UTM měřit vzdálenost dvou bodů pomocí Pythagorovy věty, ale pouze v případě, že oba body leží ve stejné zóně. Střed souřadnic je pro každou zónu jiný a tvoří jej průsečík středového poledníku zóny s rovníkem. Od tohoto středu se měří vzdálenosti v metrech po ose x rostoucí od středového poledníku směrem na východ (tzv. eastings) a po ose y rostoucí od rovníku směrem na sever (tzv. nordings).“



obrázek 6-1 UTM zóny pro Evropu

7. SOFTWAREVÁ IMPLEMENTACE

Pro zkušební účely měření DGPS byl program rozdělen do dvou částí(při implementaci navigačního subsystému do řídicího systému robotu je program celistvý a data se rovnou načítají ze sériových portů a neukládají se do souborů data_a a data_b): **Sběr dat a zpracování naměřených dat.**

7.1 SBĚR DAT

Příklad postupně načtených almanachových vět do vstupního bufferu třídy Tserial ze sériového portu(COM1, resp.COM2):

```
$GPRMC,144801,A,4928.4540,N,01611.3319,E,000.0,208.5,131007,002.3,E*79
```

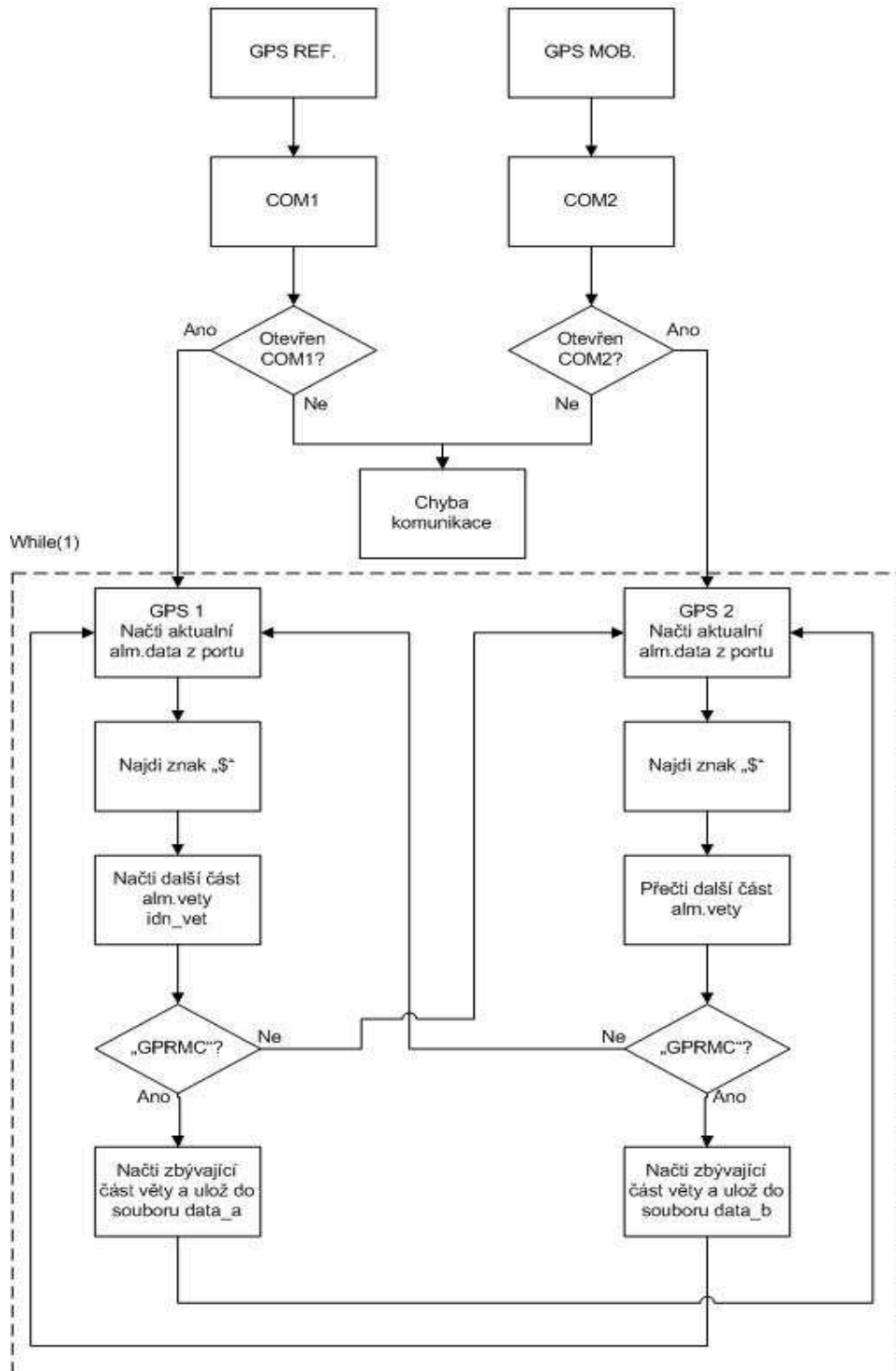
```
$GPGGA,144802,4928.4540,N,01611.3319,E,1,09,1.1,533.1,M,44.1,M,,*48
```

Program pro sběr dat z dvou GPS přijímačů běží v jednom cyklu while, ovšem pokud je splněna podmínka otevření sériových portů (COM1, COM2).

Hledání almanachové věty „\$GPRMC“:

Pokud bude načten úvodní znak aktuální almanachové věty („,\$“), načte se další část almanachové věty („např.GPRMC“). Pokud tato část je shodná s hledaným řetězcem („GPRMC“) provede se načtení zbývající části almanachové věty, uloží se do souboru data_a.csv a začínají se načítat data z druhé GPS. Pokud není splněna podmínka shodnosti s hledaným řetězcem („GPRMC“), cyklus while pokračuje dál - načte se aktuální almanachová věta z druhé GPS a započne se hledání almanachové věty GPRMC. Cyklus se neustále opakuje. Z hlediska co nejmenší výpočetní náročnosti tohoto programu byla zvolena varianta otevření portů před samostatným cyklem while. To má ovšem nevýhodu, že pokud dojde k přerušení komunikace během odběru almanachových dat z GPS přijímačů, což je dost nepravděpodobné, program poběží dál a uživatel nezjistí chybu o přerušení komunikace. Tato chyba se pro experimentální účely nešetřovala, nicméně v řídicím programu se tato možnost výskytu chyby ošetřuje.

ČTENÍ ALMANACHOVÝCH DAT Z GPS PŘIJÍMAČŮ:



obrázek 7-1 Vývojový diagram pro sběr dat z GPS přijímačů

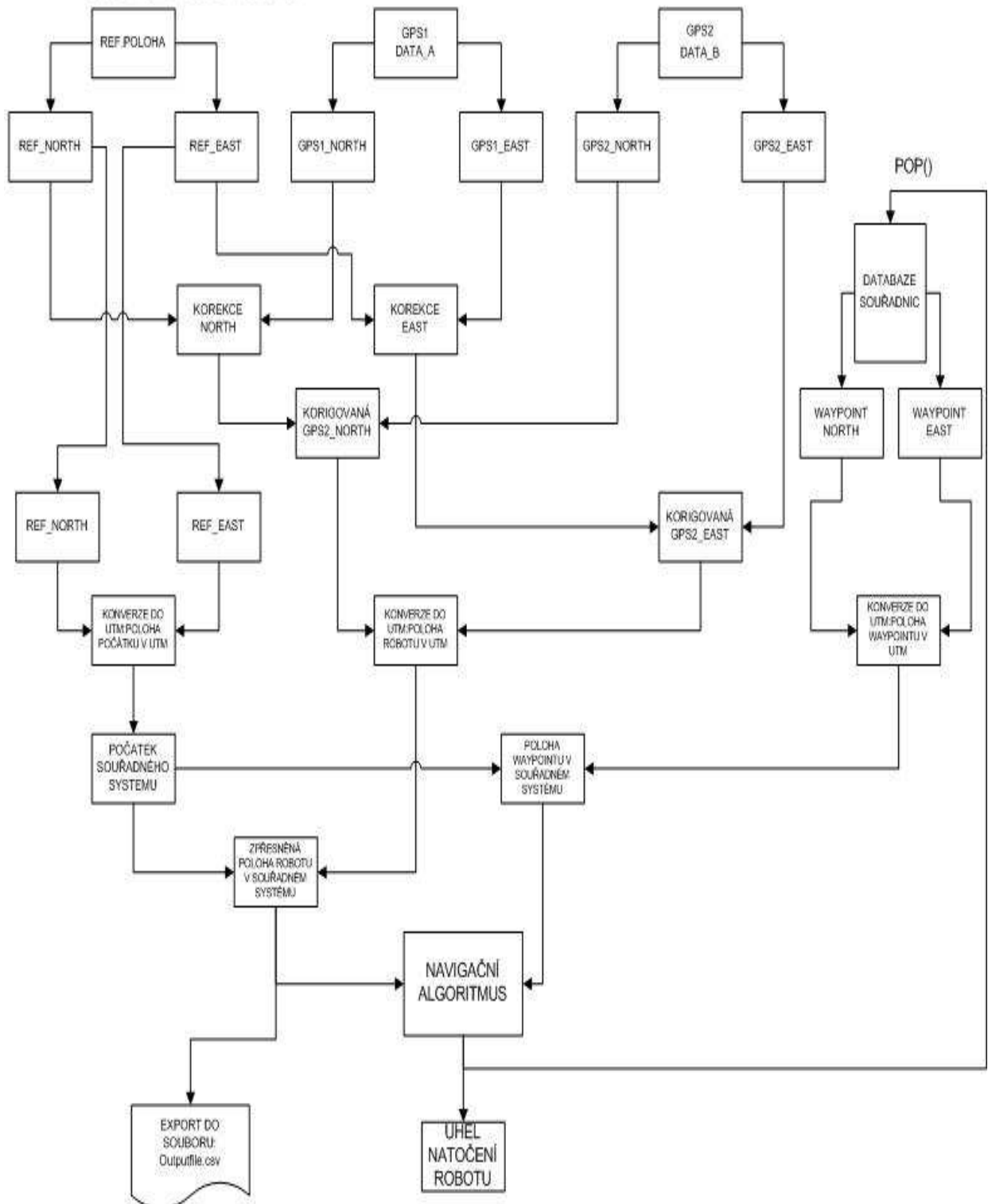
Použité funkce:

Předdefinovaná třída `Tserial()`

7.2 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

V programu pro zpracování naměřených dat se data načtou ze souboru `data_a` a `data_b`. V konkrétní aplikaci při navigaci robotu jsou data načítána rovnou ze sériových portů. Almanachová data z GPS1 a GPS2 jsou rozčleněné do příslušných proměnných dle jejich polohy (významu) v almanachové větě (severní šířka, západní délka). Tím je získána aktuální poloha GPS1 a GPS2. Aktuální poloha každého GPS přijímače je převedena z formátu stupňů do formátu vteřin pomocí funkce `degree_to_sec()`. Stejným způsobem je převedena referenční poloha do formátu vteřin. Prostřednictvím funkce `correction()` se vypočítá korekce v čase `t` pro referenční stanici. Výpočet korekce polohových souřadnic probíhá rozdílem mezi souřadnicemi referenční stanice a souřadnicemi přesné polohy GPS přijímače. Vypočítaná korekce se předává jednomu z parametrů funkce `gps2_correction()` (druhý parametr je poloha GPS2), korekce se přičte k aktuální poloze GPS2 přijímače a tím je získána korigovaná poloha mobilního GPS2 přijímače. Díky funkci `LLtoUTM()` se převede korigovaná poloha GPS2 (zpřesněná poloha robotu) a přesná počáteční poloha, tedy referenční poloha, do formátu UTM souřadného systému. Provedeme převod do vlastního souřadného systému, tj. posun UTM do počáteční polohy. V takto zvoleném souřadném systému, kde počátek je umístěn v bodě, který odpovídá umístění referenční stanice v systému UTM, se provádí navigační algoritmus, který posílá do řídicího systému směr, kterým se má robot pohybovat. Součástí navigačního algoritmu je i databáze souřadnic, kterými má robot eventuálně projet s největší přesností. Databáze souřadnic je vytvořena pomocí třídy `Stack`, ve které je definován buffer do něhož se pomocí funkce `push()` zapisují souřadnice a funkcí `pop()` se tyto souřadnice načítají zpět.

BLOKOVÉ SCHÉMA ZPRACOVÁNÍ DAT Z GPS PŘIJIMAČŮ A URČENÍ SMĚRU JÍZDY ROBOTU:



obrázek 7-2 Blokové schéma zpracování dat z GPS přijimačů a určení směru jízdy robotu

Použité funkce:

float degree_to_rad(float souradnice)

-funkce, která převede stupně na radiány

float degree_to_sec(string s)

-funkce, která převede stupně severní šířky, resp. západní délky na vteřiny

float sec_to_degree(double vteriny)

-funkce, která převede souřadnici z formátu vteřin do formátu stupňů

float correction(string gps_ref, string ref_poloha)

-funkce, která vypočítá korekce v čase t

float gps2_correction(string s, float corr)

-funkce, která vrátí korigovanou polohu GPS

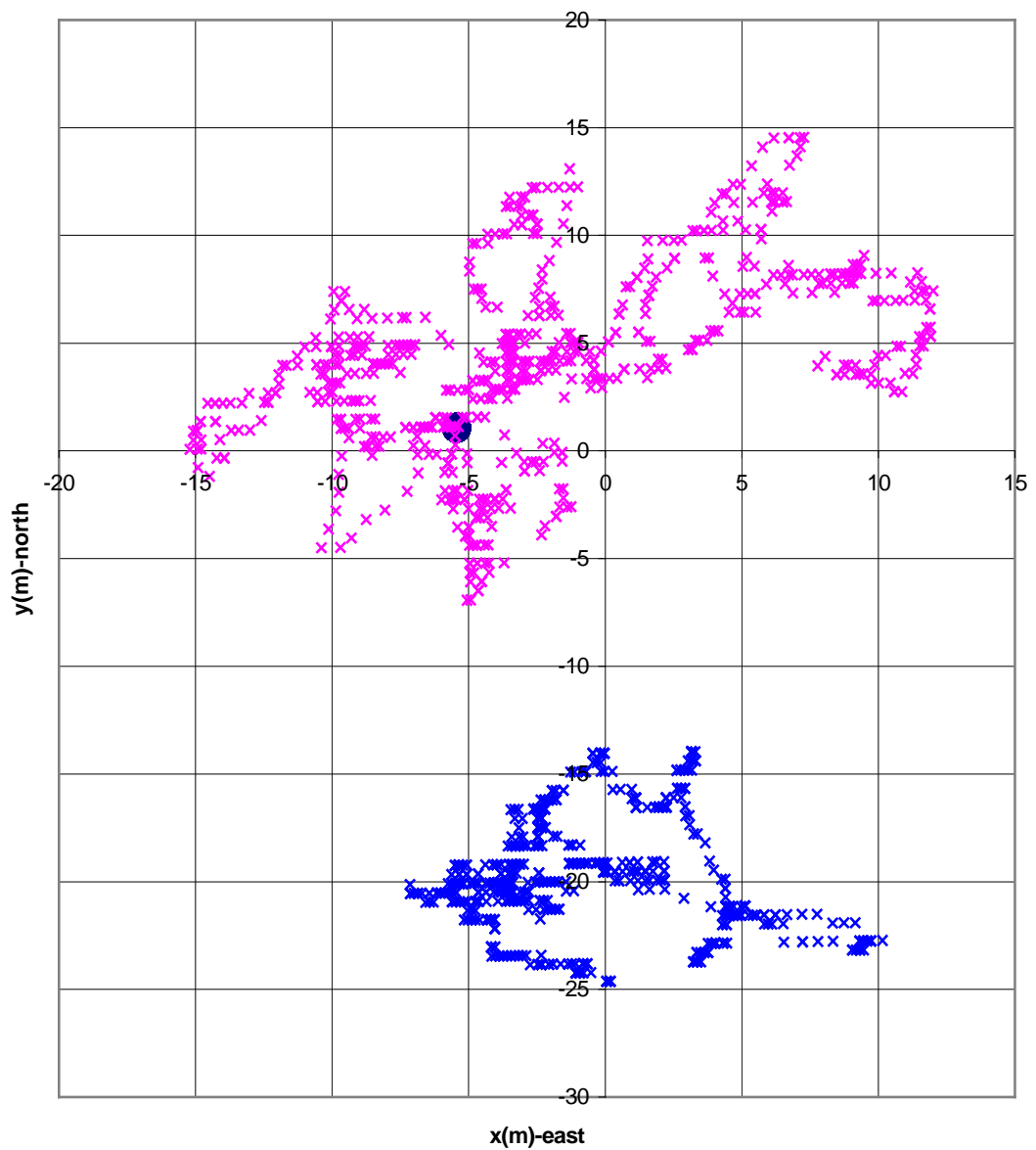
void LLtoUTM(int ReferenceEllipsoid, const double Lat, const double Long, double &UTMNothing, double &UTMEasting, char UTMZone)*

Tato funkce provádí konverzi ze severní šířky a západní délky naměřené polohy do formátu UTM-(easting, northing). (viz. internetový zdroj:)

7.3 VÝSLEDKY NAMĚŘENÝCH DAT

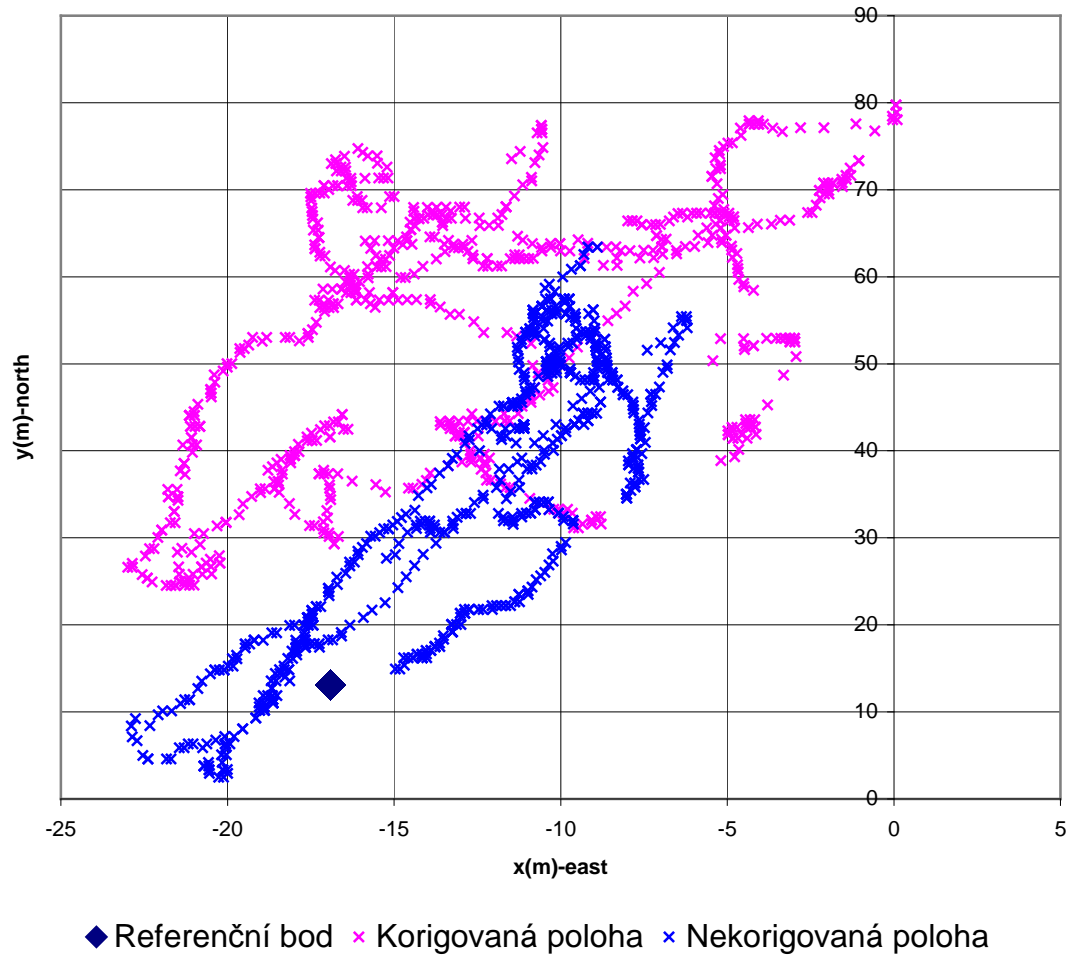
7.3.1 Data z programu pro výpočet korekcí

Rozdíl mezi korigovanou a nekorigovanou polohou vztahmo k referenčnímu bodu při příjmu signálu od stejných satalitů

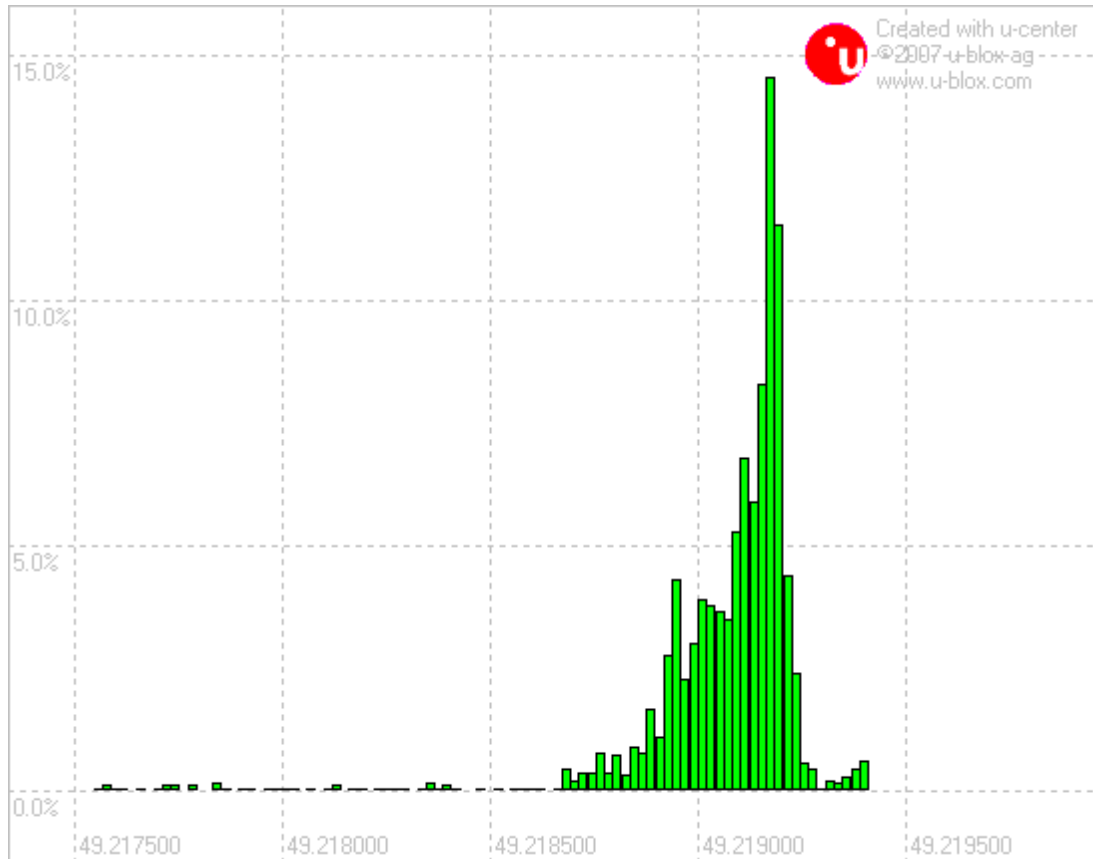


● Referenční bod × Korigovaná poloha × Nekorigovaná poloha

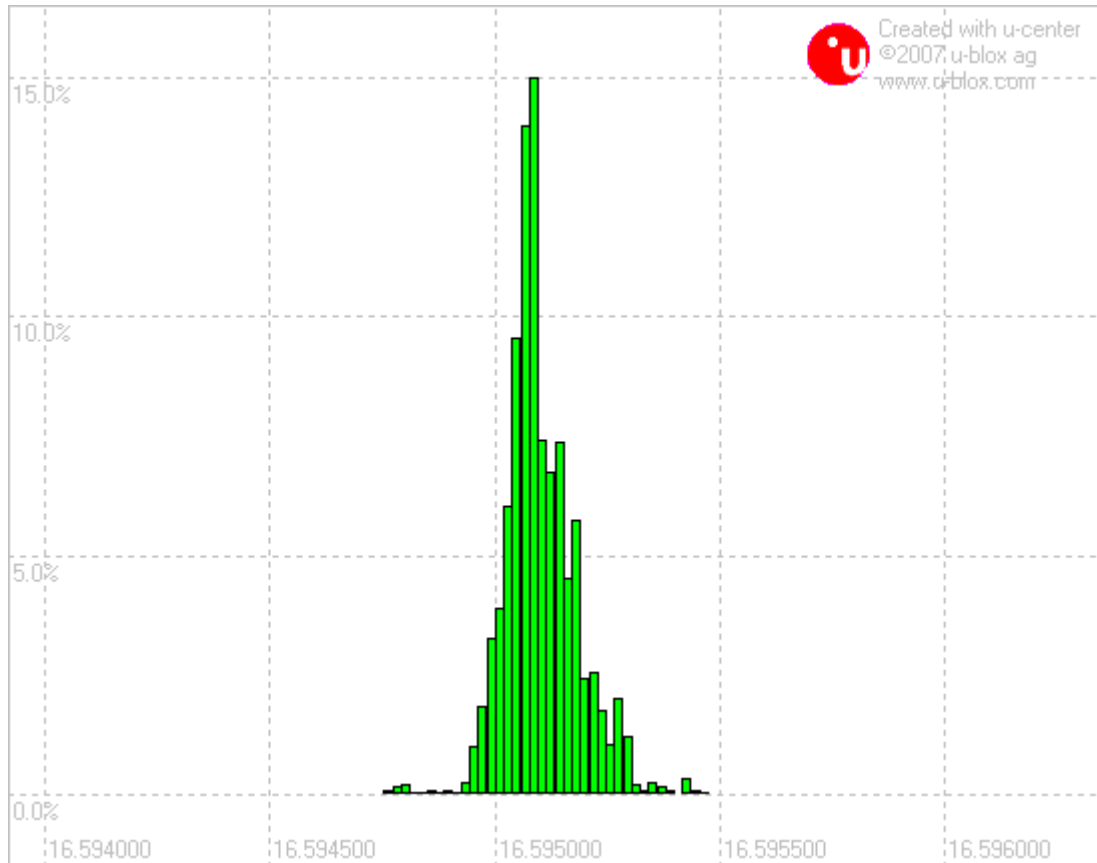
Rozdíl mezi korigovanou a nekorigovanou polohou vztahmo k referenčnímu bodu při příjmu signálů od různých satelitů



7.3.2 Naměřené závislosti pomocí programu u-center:



obrázek 7-3 Histogram neměnné polohy GPS stanice pro severní šířku měřený 24 hodin



obrázek 7-4 Histogram neměnné polohy GPS stanice pro západní délku měřený 24 hodin

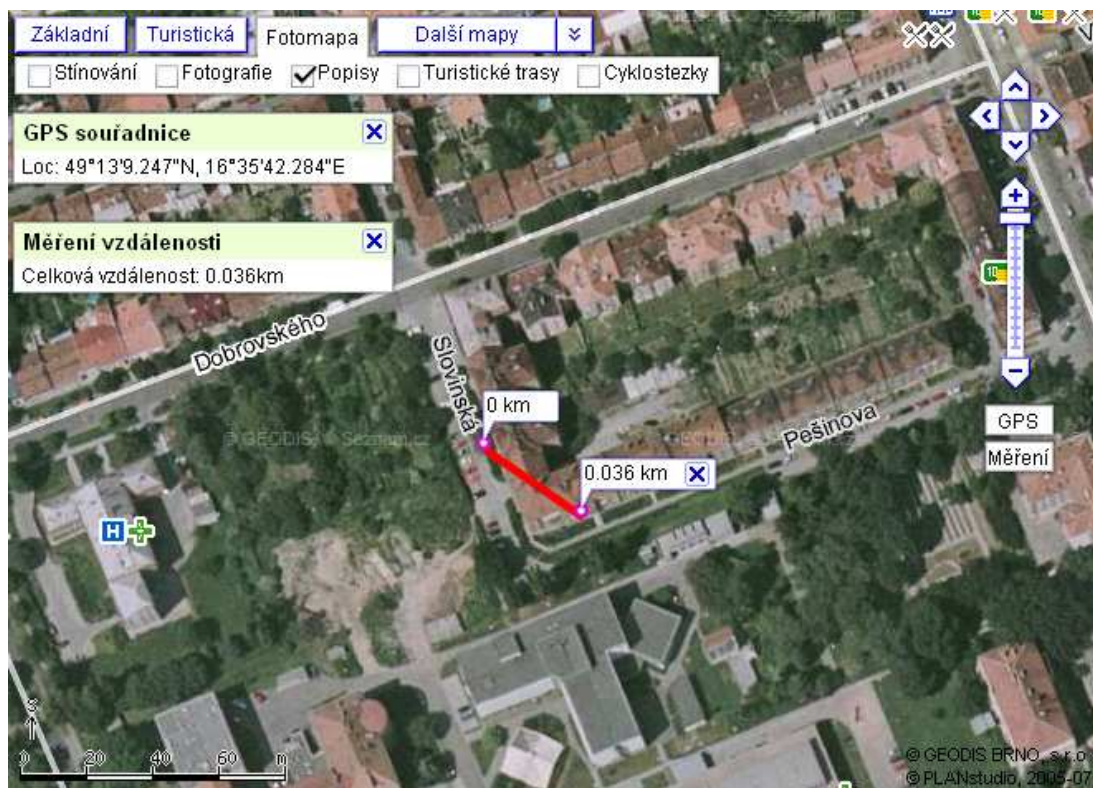
Histogramy získané měřením po 24 hodinách vykazují závislost normálního Gaussovského rozložení, což není v rozporu s tvrzením od výrobců GPS techniky, neboť tvrdí, že přesná poloha GPS přijímače je s největší pravděpodobností umístěná v místech (na vodorovné ose histogramu - severní šířka resp. západní délka), kde Gaussova křivka dosahuje svého maxima s rozptylem 15-30metrů kolem tohoto maxima. (dle výrobce).

7.3.3 Porovnání jednorázového a dlouhodobého(statistického) měření GPS souřadnic:

7.3.3.1 Jednorázové měření:

změřená: 49°13'9,84"N 16°35'40,92"E

skutečná: 49°13'9.247"N, 16°35'42.284"E

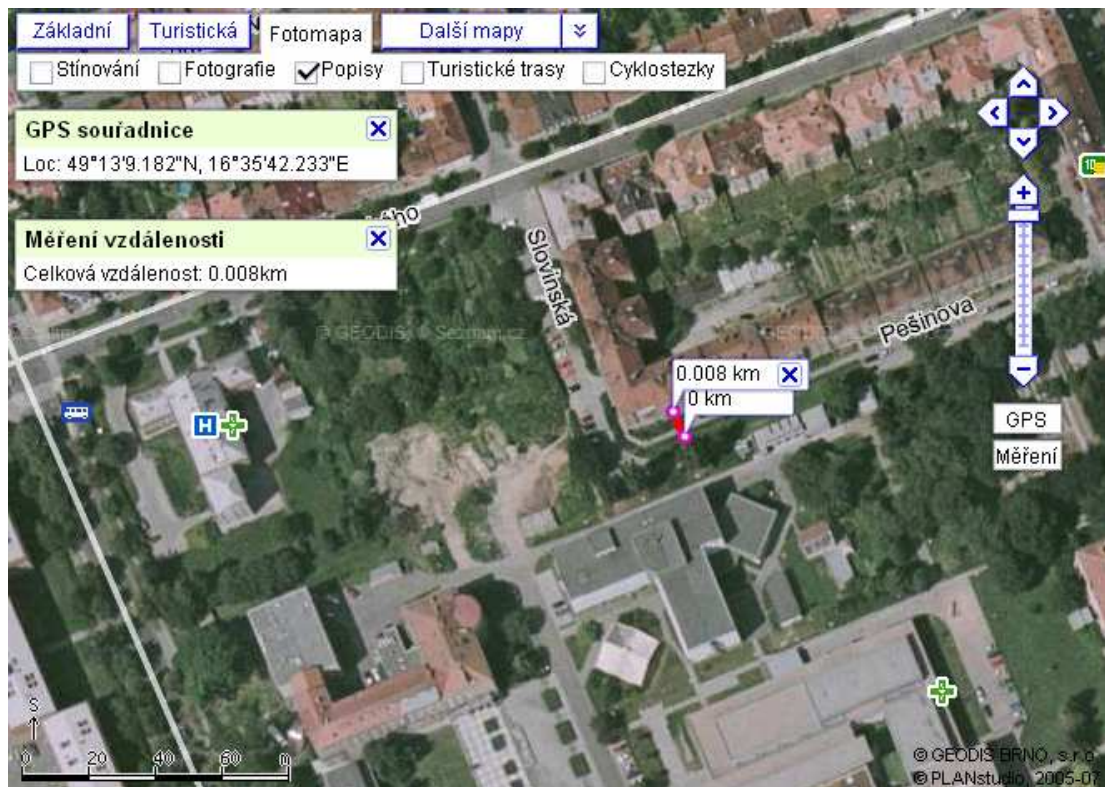


obrázek 7-5 Jednorázové změření polohy GPS přijímače

7.3.3.2 Statistické vyhodnocení:

změřená (odečtená z histogramů): $49^{\circ}13'9.24''\text{N}$, $16^{\circ}35'42.32''\text{E}$

skutečná: $49^{\circ}13'9.247''\text{N}$, $16^{\circ}35'42.284''\text{E}$

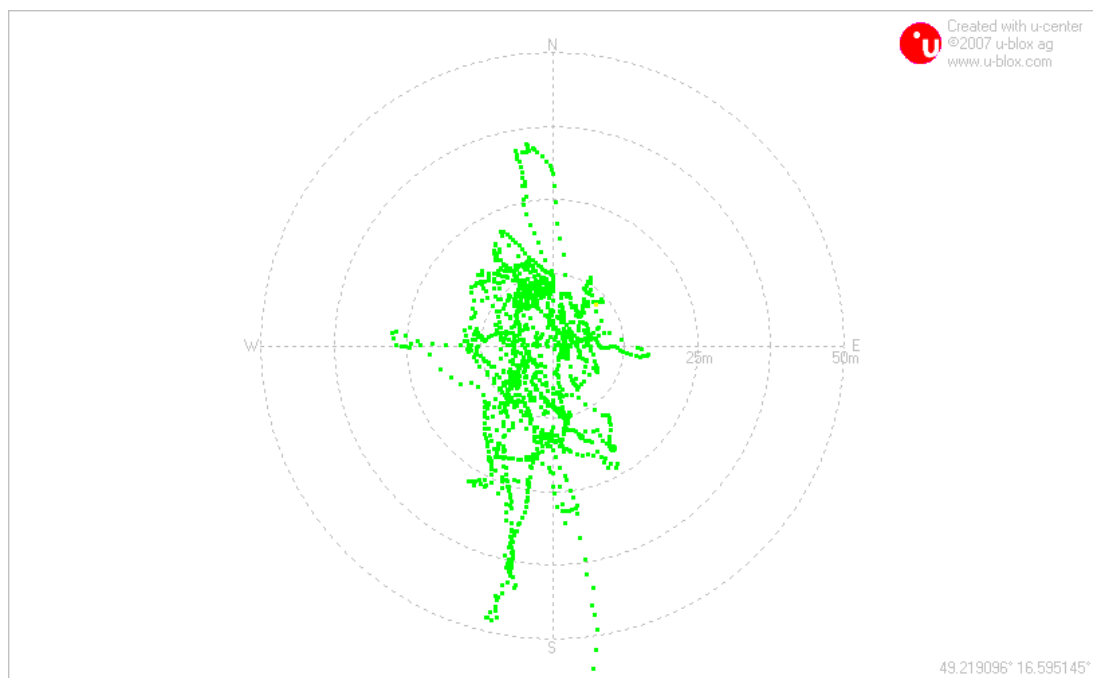


obrázek 7-6 Zpřesnění polohy GPS přijímače pomocí statistického vyhodnocení

Na těchto ukázkách lze vidět, že použitím dlouhodobého měření je možné poměrně dobře zpřesnit polohu GPS stanice, nicméně je to velice časově náročná metoda a proto by bylo vhodné využívat pro určení referenční polohy GPS stanice jednodušší metodu, která vypočítává z naměřených hodnot buď modus a nebo aritmetický průměr. Nicméně z principu je používání modus-u i aritmetického průměru také statistickým vyhodnocením a přesnost určení polohy je závislá na době měření polohy GPS. Vzhledem k tomu, že budeme přesně znát polohu referenční stanice, použití tohoto způsobu zjišťování přesné polohy referenční stanice odpadá.

7.3.4 Určení přesnosti GPS přijímače NL-303P

Z tohoto zobrazení jde vidět že naměřené GPS souřadnice jsou dosti proměnné a většina naměřených souřadnic se nachází v kruhu o průměru do 25 metrů (přesnost GPS-udávaná výrobcem).



obrázek 7-7 Přesnost určení polohy GPS přijímače:NAVILOCK NL-303P

7.4 NAVIGAČNÍ ALGORIMUS

Aby navigační algoritmus dosahoval vysoké přesnosti je nutné, aby přesnost GPS přijímačů byla co největší, což je dosti omezující faktor, neboť GPS přijímač s nímž provádíme navigaci robotu má přesnost asi 25m(ze statistického měření). Nicméně bez statistického vyhodnocení s využitím DGPS se přesnost určení polohy zvýší na 15m v rovině, nutné je ovšem přijímat signál od stejných satelitů jak u referenční stanice tak u stanice mobilní. Důležitost splnění této podmínky je ukázán v podkapitole 8.2.1.

Představme si, že se robot nachází v rovině na přesně definovaném místě. GPS přijímač, který je umístěn na robotu vysílá informaci o svojí poloze s definovanou přesností (rozptyl možných naměřených hodnot z GPS zobrazují v rovině kruhem o poloměru rovném přesnosti dosahované u DGPS (asi 15m).S vysokou pravděpodobností je možné, že změřená aktuální poloha robotu se bude nacházet v tomto kruhu).

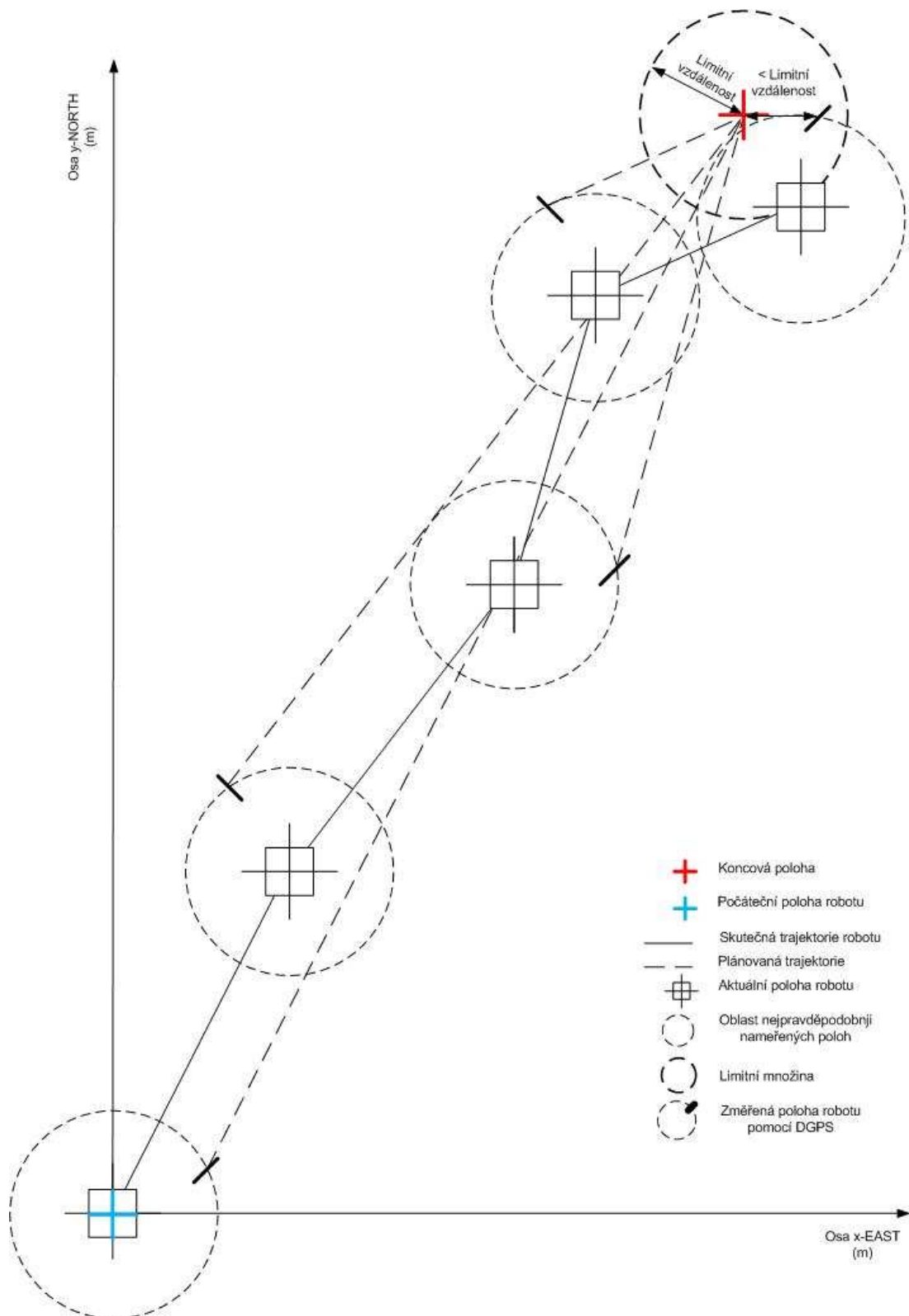
Úlohou navigačního algoritmu je naplánovat cestu z aktuální změřené polohy robotu k cílovému bodu z databáze souřadnic. Navigační algoritmus vypočítává vzdálenost mezi aktuální polohou a polohou cílového bodu. Při tomto procesu vypočítává i úhel, kterým se má robot pohybovat. Výpočet úhlu se provádí pomocí funkce tangens a vzdálenost se vypočítává pomocí Euklidovské vzdálenosti dvou bodů v rovině. Obnova navigačních dat probíhá v určitých časových intervalech, dle obnovovací frekvence GPS přijímače (1Hz). Pokud bude robot v takové blízkosti koncového bodu, že vzdálenost mezi naměřenou polohou robotu a cílovým bodem bude menší, než nějaká přesně definovaná hodnota vzdálenosti(limitní vzdálenost) od tohoto bodu, dojde k načtení další cílové polohy z databáze souřadnic, v opačném případě se proces měření směrových úhlů opakuje.

Definujme si pojem limitní vzdálenosti. Limitní vzdálenost definuje množinu bodů, nazývanou limitní množina, která vymezuje prostor v rovině kruhem o poloměru, který je roven právě limitní vzdálenosti. Limitní množina je množina, která je vytvořená kolem cílového bodu.

Kritický bod je bod, který je podmnožinou množiny limitní.

Pokud tedy v praktické aplikaci bude změřena vzdálenost mezi aktuální polohou robotu a cílovým bodem a pokud bude tato vzdálenost menší, než je vzdálenost limitní, pak se změřený bod považuje za kritický (načtení další souřadnice z databáze souřadnic).

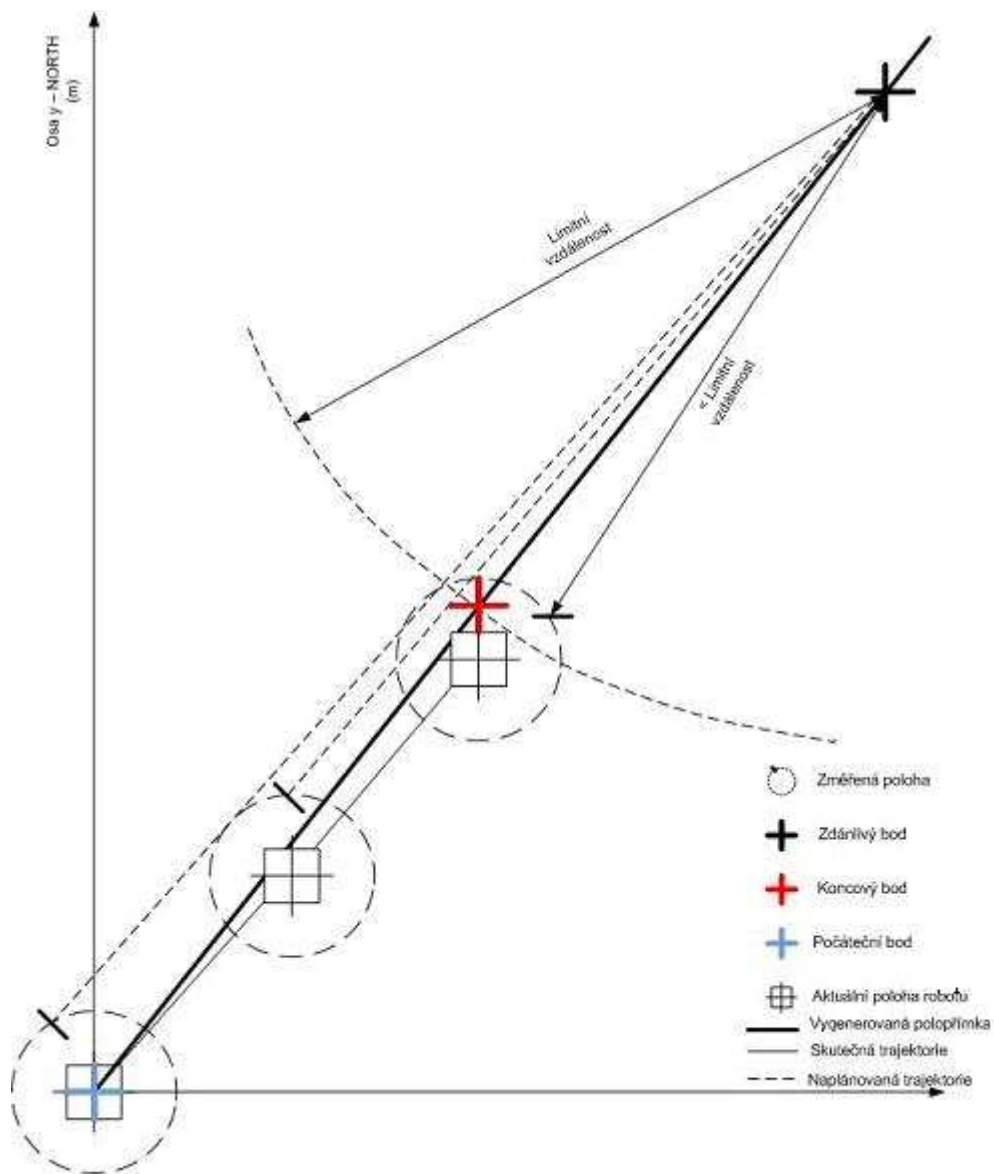
Je jasné, že předcházející navigační algoritmus je dosti omezen, neboť při přibližování robotu ke koncovému bodu se směrový úhel může dosti měnit a robot by se začal pohybovat kolem tohoto bodu. Záleží samozřejmě na velikosti limitní množiny. Je-li limitní množina (resp. limitní vzdálenost) příliš malá, může se s velkou pravděpodobností stát, že cílový bod nebude nikdy dosažen, ačkoliv bude v jeho bezprostřední blízkosti. Bude-li limitní množina naopak příliš velká, s naprostou jistotou cílového bodu nebude dosaženo. Takže tento algoritmus je dosti náchylný na velikost limitní množiny, což je ovlivněno přesností a rychlostí GPS. Pokud by byla zvětšena přesnost GPS a zvýšila by se rychlost obnovy almanachových dat, bylo by možné vyhodnocovat statisticky polohu GPS a tím přesněji určit aktuální polohu robotu. Pro naši aplikaci byla zvolena GPS s obnovou almanachových dat jednou za sekundu, takže vzhledem k rychlosti robotu by se statistické vyhodnocování polohy nedalo využít. Nicméně tento algoritmus v dostatečné vzdálenosti robotu od cílového bodu dokáže při odklonu z plánované trajektorie, způsobené překážkou, navigovat robot požadovaným směrem k cílovému bodu.



obrázek 7-8 Princip navigačního algoritmu

7.5 MODIFIKOVANÝ NAVIGAČNÍ ALGORITMUS

Určitým vylepšením předešlého algoritmu by bylo, když by v souřadném systému byl vygenerován tzv. zdánlivý bod, který by vznikl jako bod na polopřímce, která by začínala v počátečním bodě a procházela by cílovým bodem. Zdánlivý bod by byl vzdálen od cílového bodu definovanou vzdáleností. Tento bod by se využíval k výpočtu směrového úhlu robotu a určoval by střed limitní množiny s poloměrem o velikosti vzdálenosti mezi cílovým a zdánlivým bodem. Pohyb robotu by tedy v blízkosti koncového bodu nebyl tak nepravidelný a zvýšila by se tak přesnost navigace. Nutno však podotknout, že při náhodném odklonu z kursu by se nedostal do cílové pozice přesně. Ovšem pokud se bude robot pohybovat po cestě, jejíž obraz bude zpracovatelný kamerou, tento algoritmus může být s výhodou použit. Do cílové pozice se dostane s větší přesností než u předešlého algoritmu a tím pádem se sníží i čas potřebný pro projetí koncového bodu. Přesnost navigačního algoritmu se promítne i do nižší spotřeby energie robotu.



obrázek 7-9 Princip modifikovaného navigačního algoritmu

8. ZÁVĚR

Navigační algoritmus posílá řídicímu systému informaci o natočení robotu v rovině, tzn. informuje řídicí systém o směru, kterým se má robot vydat, aby dorazil do koncového bodu. Řídicí systém spolu s informací od magnetometru vyhodnocuje odchylku mezi požadovaným a skutečným úhlem natočení a nastavuje robot do požadovaného směru. Zpřesnit navigační subsystém by bylo možné s využitím přesnější, nicméně dražší, GPS techniky. Dalším způsobem jak zpřesnit navigační systém by bylo možné využitím fúze dat z odometrie a z GPS (Kalmanova filtrace). Do navigačního systému předpokládám zahrnout tvorbu vlastní mapy prostředí, v němž se robot pohybuje.

9. LITERATURA

- [1] HRDINA, Z., PÁNEK, P., VEJRAŽKA, F. Rádiové určování polohy. Skripta FEL ČVUT v Praze. Vydavatelství ČVUT, Praha, 1999
- [2] HANOUSEK, K. Radiolokace a radionavigace. Skripta FEI VUT v Brně. MJ Servis, Brno, 2001
- [3] MIROSLAV KASAL, Směrové a družicové spoje, Brno, 2005
- [4] STEPHEN PRATA, Mistrovství v C++, 2005
- [5] HERBERT SCHILDT, Nauč se sám C++, 2001
- [6] PAVEL HEROUT, Učebnice jazyka C, 2005

Internetové zdroje:

<http://www.ce4you.cz/articles/detail.asp?a=244>
<http://www.robotika.cz>
<http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>
<http://www.vda.cz/studenti/prace/kadavy/gps1.html>
<http://www.snailinstruments.com/cze/>
<http://www.ngs.noaa.gov/GPS/GPS.html>
<http://www.navtechgps.com/scripts/default.asp>
http://robot.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty/index.htm
http://www.aldebaran.cz/bulletin/2005_02_gps.php
<http://www.gpscentrum.cz/manuals/GPS35.pdf>
<http://robotika.cz/guide/gps/cs>
<http://gps.zh.hotel-auriga.info/cs/GPS>
<http://gis.vsb.cz/vojtek/GNPS/cv01.html>
http://cs.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System
http://www.geoframeworks.com/Articles/WritingApps2_3.aspx
<http://hw.cz/Produkty/Obecne-produkty/ART1810-Bezdratova-komunikace-z-RS-232-485---modul-RC1280HP.html>
<http://www.czechspace.cz/cs/galileo/aktuality-GPS-Glonass/GNSS-urcovani-polohy/trilaterace>

<http://cs.wikipedia.org/wiki/UTM>

<http://www.tetraedre.com/advanced/serial/index.html>

http://www.tetraedre.com/advanced/serial/msdn_serial.htm

<http://www.gpsy.com/gpsinfo/geotoutm/>

[http://instruct1.cit.cornell.edu/courses/ee476/FinalProjects/s2004/dbh8/tserial.
cpp.pdf](http://instruct1.cit.cornell.edu/courses/ee476/FinalProjects/s2004/dbh8/tserial.cpp.pdf)

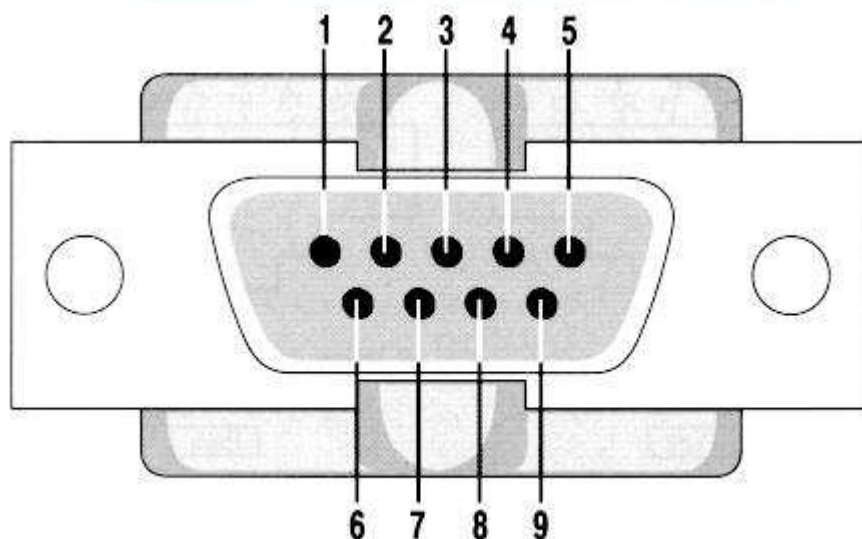
<http://www.omniinstruments.co.uk/radiotel/805info.html>

<http://rs232.hw.cz/>

10. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výstupní konektor GPS
Příloha 2	Implementovaný GPS přijímač do navigačního subsystému
Příloha 3	Frekvenční modul ELPRO 805U
Příloha 4	Formát navigačních vět a jejich význam

PŘÍLOHA 1 – VÝSTUPNÍ KONEKTOR GPS



PŘÍLOHA 2 – IMPLEMETOVANÝ GPS PŘIJÍMAČ DO NAVIGAČNÍHO SUBSYSTÉMU



PŘÍLOHA 3 - FREKVENČNÍ MODUL ELPRO 805U



PŘÍLOHA 4 – FORMÁT NAVIGAČNÍCH VĚT A JEJICH VÝZNAM

Příklad nejčastěji používaných almanachových dat viz. zdroj[]:

- \$GPGGA,<1>,<2>,<3>,<4>,<5>,<6>,<7>,<8>,<9>,<10>,<11>,<12>*hh<CR>
<LF>

<1> UTC čas, formát hhmmss(hodiny minuty sekundy)

<2> zeměpisná šířka, formát ddmm.mmmm(stupně minuty zbytek)

<3> určení zemské polokoule u zeměpisné šířky N/S(severní/jižní)

<4> zeměpisná délka, formát ddmm.mmmm(stupně minuty, zbytek)

<5> určení zemské polokoule u zeměpisné délky W/E(západní/východní)

<6> kvalita GPS signálu 0=bez signálu, 1= bez diferenčních korekcí (DGPS),2=s
diferenčními korekcemi.

<7> družice použité pro výpočet polohy, čísla 00-12

<8> HDOP(horizontal dilution of precision)-horizontální složka ukazatele geometrie
rozložení družic, které budou použity pro výpočet.

<9> výška antény vztažená nad nebo pod hladinu moře v rozsahu -9999.9m až
99999.9m

<10> výška antény vztažené ke geoidu(fyzikální def. tvaru Země), rozsah -999.9 až
9999.9m

<11> stáří diferenčních korekcí DGPS (RTCM-SC104), počet vteřin od posledního platného přenosu RTCM(0=nemá DGPS)

<12> identifikační číslo diferenční referenční stanice, 0000 až 1023 (0 nemá DGPS)

• \$GPRMC,<1>,<2>,<3>,<4>,<5>,<6>,<7>,<8>,<9>,<10>,<11> *hh<CR><LF>

<1> UTC čas formát hodiny minuty sekundy

<2> stav zobrazovaných informací, A=platná pozice, V= pozice je neplatná

<3> zeměpisná šířka, formát stupně minuty .zbytek

<4> určení zemské polokoule u zeměpisné šířky N/S

<5> zeměpisná délka stupně minuty.zbytek

<6> určení zemské polokoule u zeměpisné délky W/E

<7> rychlost nad zemí 0 až 999.9 uzlů

<8> azimut pohybu 0 až 359.9 stupňů

<9> UTC datum, formát den měsíc rok

<10> hodnota magnetické odchylky, rozpětí 0 až 180 stupňů

<11> směr magnetické variace, východ-západ