

PŘESNOST SATELITNÍHO NAVIGAČNÍHO SYSTÉMU GPS A JEHO DOSTUPNOST V KRITICKÝCH PODMÍNKÁCH

PRECISENESS OF SATELLITE NAVIGATION SYSTEM GPS AND ITS AVAILABILITY UNDER CRITICAL CONDITIONS

Josef Marek, Ladislav Štěpánek¹

Anotace: Článek se zabývá přesností určování polohy pomocí satelitů označovaných zkratkou GNSS (Global Navigation Satellite Systems). Obecně popisuje princip činnosti těchto systémů, podává souhrnnou informaci o příčinách chyb při určování polohy prostřednictvím systému GPS a experimentálně ověřuje základní vlastnosti moderního přijímače GPS

Klíčová slova : GALILEO, PRN kód, korelace, multipath, přijímač Magellan MMCX,

Summary: The paper is aimed on accuracy of location determination through satellites called GNSS (Global Navigation Satellite Systems). It generally describes the principles of these systems working and provides information about cause of mistakes made during GPS location determination. It also experimentally checks basic parameters of modern receiver GPS.

Key words: GALILEO, PRN code, correlation, multipath, receiver Magellan MMCX,

1. ÚVOD

Prvním satelitním systémem pro určování polohy, který vešel ve všeobecnou známost je americký systém NAVSTAR (NAVigation Signal Timing And Ranging Global Positioning System), známý především pod označením GPS - (Global Positioning System) s jehož pomocí je možno určit polohu objektu a přesný čas kdekoli na Zemi nebo nad Zemí s relativně vysokou přesností. Vedle něho se v poslední době objevují postupně funkční i další satelitní polohové systémy, zejména ruský GLONASS (rusky: ГЛОНАСС - ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система, přepis do latinky: Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema), čínský experimentální Beidou - nově označovaný jako Compass. Indie buduje regionální IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System).

Evropská unie buduje globální satelitní polohový systém GALILEO, který bude využívat obdobný princip jako GPS a GLONASS a bude s nimi kompatibilní. GALILEO zároveň zkvalitní i funkčnost ostatních systémů. Důvod budování je prostý, výše jmenované systémy byly primárně budované jako vojenské a sjednocená Evropa nad nimi nemá kontrolu, což komplikuje jejich využití v krizových situacích.

¹ Ing. Josef Marek, CSc, Ing. Ladislav Štěpánek, Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra elektrotechniky, Studentská 95, 532 10 Pardubice, Tel.: 466 036 136, E-mail: josef.marek@upce.cz

System GALILEO bude obsahovat 30 satelitů obíhajících ve třech rovinách svírajících s rovníkem úhel 56 stupňů. Satelity budou obíhat kolem Země ve vzdálenosti cca 23500 km. Určování polohy bude dostupné na Zemi do zeměpisné šířky 75 stupňů. V každé rovině oběhu bude 9 satelitů aktivních a jeden záložní. Větší poloměr oběhu oproti systému GPS zlepšit viditelnost satelitů a omezí vliv nerovnoměrnosti gravitačního pole Země, což v důsledku znamená vyšší přesnost určování polohy.

Systémy GNSS se zdokonalují, klesá cena uživatelské části – přijímačů a zvyšuje se nabídka poskytovaných služeb, což se nejvíce projevuje ve strategii systému GALILEO, který zamýšlí nabídnout 5 kategorií služeb:

- OS (Open Service) základní služba určování polohy – zdarma
- SoL (Safety of Life) služba s vyšším zabezpečením – poskytuje informace o integritě systému (spolehlivost určení polohy) – je kódovaná
- CS (Commercial Service) komerční služba – vyšší přesnost se zárukou – kódovaná a placená
- PRS (Public Regulated Service) veřejně regulovaná služba – vysoká dostupnost služby a licencovaná, určená zejména pro policii a armádu
- SAR (Search And Rescue service) vyhledávací a záchranná služba – určená pro spolupráci s globálním záchranným systémem COSPAS – SARSAT

2. PRINCIP URČOVÁNÍ POLOHY SATELITNÍMI NAVIGAČNÍMI SYSTÉMY

Všechny zmiňované systémy používají obdobnou technologii radiového přenosu využívající rozprostřené spektrum signálu a jsou charakteristické stejným uspořádáním. Tvoří je tři základní části:

- pozemní řídicí část,
- kosmická část
- uživatelská část.

Přijímač (uživatelská část) si určuje svoji polohu (souřadnice $P(x,y,z)$) výpočtem na základě radiového měření vzdálenosti od Země obíhajících satelitů – kosmické části. Poloha satelitů je známá (souřadnice (x_i, y_i, z_i)) a vzdálenost od satelitů se měří na základě rychlosti šíření radiových vln a znalosti doby, za kterou signál ze satelitu doputuje k přijímači. Signál obsahuje tzv. navigační zprávu, z jejíchž údajů je přijímač schopný určit svoji aktuální polohu.

Prakticky to znamená, že satelit (č.1) se známou polohou začne vysílat radiový signál v čase t_0 a přijímač zachytí začátek signálu v čase t_1 , za tuto dobu urazí signál vzdálenost r_1 .

$$r_1 = c(t_1 - t_0) \quad (1.1)$$

Tato vzdálenost je zároveň poloměrem koule, jejíž povrch je množina bodů, které splňují podmínku stejné vzdálenosti od satelitu č.1. Z dosud uvedeného se zdá, že k určení polohy přijímače vůči Zemi je nutné znát polohu tří satelitů.

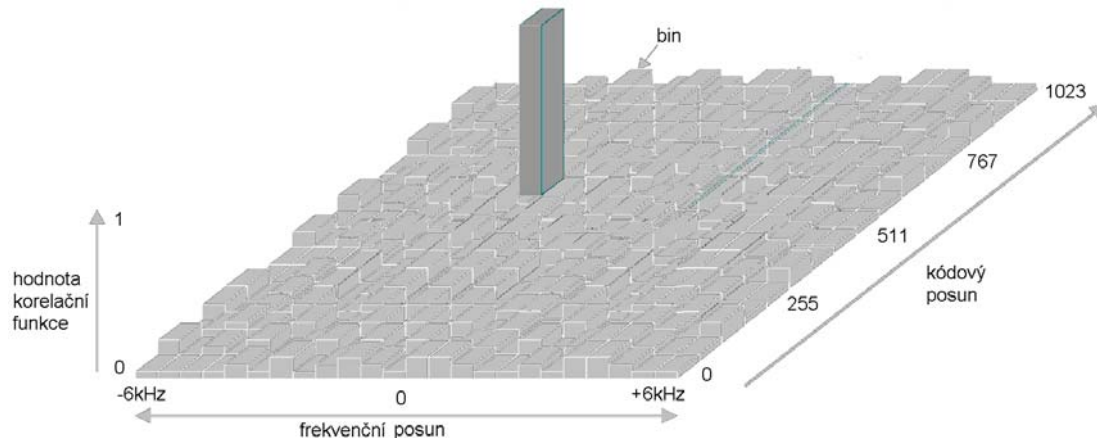
Poloha satelitu je předávána přijímači jako součást obsahu tzv. navigační zprávy, ze které si musí přijímač svoji polohu vypočítat. Navigační zpráva se např. u systému GPS vysílá rychlostí 50 bit/s a její vysílání trvá 12,5 minuty. Doba šíření signálu od satelitu k přijímači se

měří pomocí časoměrného tzv. PRN kódu (Pseudo Random Noise). PRN je dlouhý řetězec jedniček a nul, který je pro každý satelit jednoznačný. Existuje krátký (GPS : C/A kód) a dlouhý (P kód) časoměrný kód. Způsobem přenosu PRN kódů se liší GNSS GPS a GALILEO na straně jedné a GLONASS na straně druhé. Zatímco první dva systémy využívají tzv. kódového multiplexu (CDM), systém GLONASS pracuje s frekvenčním multiplexem (FDM).

Kódový multiplex umožňuje použít pro všechny satelity stejnou nosnou frekvenci, předpokládá přibližně řádově stejnou výkonovou úroveň signálu v místě přijímače od všech satelitů. K detekci kódového multiplexu se používá statistických metod. Přijímač zná PRN kódy všech satelitů (moderní přijímače GNSS jsou vícekanálové, obsahují 12 až 20 kanálů). Detekce satelitu spočívá v nalezení správné fáze (kódového posunu) vnitřního generátoru PRN kódu přijímače a PRN kódu detekovaného satelitu tak, že se hledá maximum korelační funkce. Z fáze vnitřního generátoru se odvodí doba šíření signálu od satelitu k přijímači.

Detekce satelitu je prakticky řešení korelace třídimenzionálního problému, kde jednotlivé dimenze tvoří [3]:

- změna nosného kmitočtu. Radiový signál je vysílán ze satelitu, který se pohybuje na eliptické dráze, tím se mění vzdálenost od přijímače. Navíc se i přijímač může pohybovat. Uplatňuje se proto Dopplerův efekt a přijímaný signál mění svoji frekvenci a zároveň se navíc může projevit i chyba oscilátoru přijímače.
- kódový posun PRN jednoho konkrétního satelitu
- počet viditelných satelitů a určení jejich správného PRN kódu



Obr. 1 - Hledání maximální dvourozměrné korelace pro polohu kódového posunu PRN a doplerovského posunu kmitočtu pro jeden sateli

Poznámka :

Elementy v kmitočtové a fázové oblasti (kroky, po kterých se prohledává korelační funkce – šedivé plošky na obrázku) se označují jako biny.

Pro určení správné polohy přijímače musí probíhat výpočet korelací ve všech kanálech současně. Systém musí mít přesně synchronizované hodiny, což u přijímače neumíme zajistit

(představme si, že byl vypnutý a právě jsme ho zapnuli). Pro určení polohy přijímače stačí získat informaci od čtyř satelitů ($i = 1, 2, \dots, 4$).

Označíme-li (x, y, z) jako souřadnice přijímače a (x_i, y_i, z_i) jsou souřadnice i -tého satelitu, t_i je změřená doba šíření signálu od i -tého satelitu k přijímači a Δt je odchylka časové základny přijímače od systémového času, pak pro vzdálenost i -tý satelit - přijímač platí:

$$d_i = \left(\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} \right) = (t_i + \Delta t) c = D_i + b, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (1.2)$$

Takto jsme získali soustavu čtyř rovnic pro čtyři neznámé x, y, z a Δt .

D_i je tzv. pseudovzdálenost (pseudorange). Na základě získaného údaje Δt může přijímač opravit a synchronizovat svoje hodiny.

3. PŘESNOST A KVALITA URČOVÁNÍ POLOHY SATELITNÍMI NAVIGAČNÍMI SYSTÉMY

Přesnost určování polohy systémem GNSS není jediným kritériem pro posuzování systému, neboť můžeme rozlišit:

- přesnost jako odchylku udávané od skutečné polohy
- dostupnost služby určování polohy – v čase
- dostupnost služby určování polohy – dle místa
- kontinuitu – poskytování služby ve stejné kvalitě po jistou dobu
- spolehlivost – ve smyslu, že opakovaná služba dává odpovídající výsledky
- integritu – pokud dojde k poruše nebo chybě (spolehlivé) služby, je to systémem signalizováno uživatelům

Na přesnost určování polohy má vliv řada činitelů, které lze kategorizovat do tří základních skupin. První skupinu tvoří zdroje chyb v kosmické části – chyby ve vysílaných informacích, druhou skupinu chyb tvoří vliv přenosové cesty od satelitu k přijímači a třetí skupina chyb má svoji příčinu v samotném přijímači. První skupina ovlivní všechny přijímače, druhá ovlivňuje všechny přijímače v jisté oblasti a třetí se stejně projevuje u stejných typů přijímačů.

Mezi základní principy ovlivňující přesnost určení polohy patří:

- polohy satelitů vzhledem k přijímači
- přesnost časového normálu – časová základna satelitů
- přesnost a stálost časové základny přijímače
- přesnost a rozlišovací schopnost při měření času
- přesnost udávaných parametrů o poloze satelitů (efemeridy)
- přesnost výpočtu dráhy satelitů
- kolísání rychlosti šíření elektromagnetických vln vlivem zemské atmosféry
- vícecestné šíření vlivem odrazů signálu (multipath)

3.1 Vliv polohy satelitů vzhledem k přijímači na přesnost určení polohy

Tento vliv můžeme posuzovat ze dvou hledisek. Jedním je případ, kdy je přijímač v prostoru umístěn tak, že má dobrý „výhled“ do prostoru nad a kolem sebe. Pak řešíme případ vlivu obecné konstelace satelitů. Druhý pohled je v případě, že přijímač má výhled zastíněn a vidí pouze část oblohy. K prvnímu případu: satelity nejsou satelity geostacionární, ale s jistou dobou oběhu obíhají Zemi, a to má praktický důsledek v tom, že se vůči danému místu na Zemi mění uspořádání viditelných satelitů. Budou-li například dva ze satelitů blízko nadhlavníku, potom je průnik množiny stejných vzdáleností od nich velmi neostrý a výrazně se uplatní chyba pseudovzdáleností (vzdálenosti přijímače od satelitů), a to se projeví ve velké chybě v určení vodorovné polohy (délka, šířka). Podobně poloha satelitů nízko nad obzorem negativně ovlivní určení nadmořské výšky. V literatuře se tento vliv označuje zkratkou DOP (Dilution Of Precision). Pro chybu určení polohy σ a chybu měření pseudovzdálenosti σ_r platí:

$$\sigma = DOP \cdot \sigma_r \quad (1.3)$$

Činitel DOP je větší než jedna. Rozlišují se :

- PDOP (Positional DOP) - pro celkové určení polohy,
- HDOP (Horizontal DOP)
- VDOP (Vertical DOP)

Dá se ukázat, že minimální hodnoty těchto parametrů v případě měření od čtyř satelitů jsou PDOP=1,63, HDOP a VDOP je to 1,15.

Druhý případ – zastínění části výhledu má za následek, že pokud přijímač zachytí dostatečný počet satelitů, tj. alespoň čtyři, bude pravděpodobně následkem toho zhoršená situace z hlediska DOP. Pokud není na viditelné části oblohy dostatečný počet satelitů, může přijímač přejít do režimu, kdy omezí počet určovaných souřadnic – fixuje nadmořskou výšku.

3.2 Vliv přesnosti časové základny satelitů

Na přesnosti časové základny satelitů velmi závisí přesnost měření pseudovzdáleností, neboť je třeba si uvědomit, že chyba časové základny 10 ns představuje chybu pseudovzdálenosti 3 m. Přestože satelity používají atomové hodiny, dochází k nevyhnutelným chybám hodinového taktu, které jsou časově závislé a nelze je zanedbat. Proto jsou časové základny všech satelitů monitorovány z pozemních kontrolních stanic, odchylky jsou vyhodnocovány a korekční informace časové základny pro každý satelit jsou součástí příslušné navigační zprávy.

3.3 Vliv chyby časové základny přijímače a přesnost měření času v přijímači

Chyba časové základny přijímače má obdobný vliv jako chyba časové základny satelitu. Z důvodů ceny se obvykle realizuje krystalovým oscilátorem. Pro vlastní měření je důležitá stabilita časové základny, nikoliv absolutní hodnota časového údaje, ta se vypočítá ze soustavy čtyř rovnic (rovnice 1.2) při výpočtu pseudovzdáleností (vyžaduje příjem minimálně od 4 satelitů současně).

Přesnost měření pseudovzdáleností je dána znalostí rychlostí šíření elektromagnetických vln a přesnosti zjištění časového intervalu od vyslání k přijetí signálu. Přesnost zjištění časového intervalu je vedle chyb časové základny zdroje a přijímače dána též rozlišovací schopností měření časového intervalu což je dáno konstrukcí přijímače.

3.4 Přesnost udávané polohy satelitů

Poloha satelitů je monitorována kontrolními stanicemi, data jsou zpracována a přenášena na každý satelit a údaje o poloze a parametry pro předpověď polohy jsou opět součástí navigační zprávy. Chyba polohy satelitu jednak závisí na přesnosti výpočtu, neboť výpočet je prováděn vždy s jistou konečnou přesností, a jednak má i nepředpověditelnou složku - chyby vzniklé z důvodů časové prodlevy sledování pohybu satelitů a vysílání efemeridů. V dřívější době tam byla zahrnuta i úmyslná nepřesnost efemeridů (SA- Selective Availability).

3.5 Vliv rychlosti šíření elektromagnetických vln

Tento druh chyby je závislý na poloze satelitu a projeví ve stejném měřítku pro přijímače vzdálené od sebe do několika desítek kilometrů. Z tohoto důvodu lze vliv atmosféry velmi dobře korigovat korekcí polohy získanou z referenčního přijímače o přesně známé poloze (DGPS – differential GPS).

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

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

3.6 Vliv vícecestného šíření signálu (multipath)

Chyba vlivem vícecestného šíření signálu je jednou z nejobtížněji odstranitelných chyb při určování polohy a obecně nelze odstranit ani diferenciální korekcí (DGPS). Signály GNSS se mohou odrážet od pevných ale i pohyblivých objektů - zejména staveb a terénních nerovností, vozidel, letadel. Důsledkem toho je delší dráha signálu a tím i chyba v měření pseudovzdálenosti. Odražený signál může být obecně slabší než přímý signál, ale stejně tak i silnější, nachází-li se přijímač ve stínu ve směru od zdroje signálu. Chyba z principu nemá nulovou střední hodnotu. Málo zpožděné signály se projevují v přijímači zakřivením nebo

zploštěním maxima korelační funkce [2]. Maximum korelační funkce odpovídající přímému signálu je potom obtížné vyhledat. Více zpožděné signály vytvářejí vlastní maxima korelační funkce. Cestou k omezení vlivu této chyby je jednak zvyšování rozlišení korelační funkce, např. vzorkováním signálu se vzorkovací frekvencí, která je násobkem rychlosti přenosu C/A kódu, a také zavedení vhodnějších signálů. V inovovaných satelitech GPS se bude podle dohody EU a USA z roku 2007 používat stejný typ modulace označované jako MBOC(6,1,1/11) [2]. Stejnou modulaci bude používat i systém GALILEO. V případě GPS to bude nový signál L1C pro civilní použití a v případě Galilea to bude signál L1 OS (Open Service, označovaný také jako E1). Modulace MBOC (Multiplexed Binary Offset Carrier) je rozšíření modulace BOC a kombinuje BOC(1,1) a BOC(6,1) tak, že ve výsledném signálu má první z nich váhu 10/11 a druhý 1/11. Oproti BPSK má BOC strmější maximum autokorelační funkce, ovšem čím větší násobek základního kmitočtu je použit v pomocné digitální nosné, tím více maximum autokorelační funkce má. To je zřejmě také důvodem, proč se navrhuje kombinovaná varianta boc (MBOC). Kombinovaná varianta BOC pak se ukazuje jako náhrada používání dvou PRN kódů (pomaleho C/A plus rychlý P) a dvou nosných frekvencí, na jednu nosnou se pak přenesou schopnost většího rozlišení v odměřování pseudovzdáleností a tím i lepší schopnost potlačení vlivu vícecestného šíření signálu.

3.7 Pohybující se přijímač

Jak bylo popsáno v úvodní části, přijímač vyhodnocuje maximum korelační funkce. Toto maximum hledá v dvourozměrném prostoru, kdy proměnnými jsou jednak fáze vlastního generátoru PRN (kódový posun, délka periody je 1023 bitů) a jednak rychlost generátoru vlastního PRN, kterou se kompenzuje Dopplerův jev při vzájemném pohybu přijímače a satelitu. Přidáme-li skutečnost, že toto probíhá pro více satelitů najednou, jde vlastně o prohledávání 3D prostoru. Pokud je po startu přijímače zachycen satelit, přijímač přejde na sledovací režim. Problém nastane, projde-li přijímač místem, kde není dostupný signál a ztratí se zachycené satelity. Pak záleží na vyhledávacím algoritmu, zda a za jakých podmínek je schopen znovu zachytit satelity zejména, dojde-li současně ke změně rychlosti nebo směru pohybu. Jsou zde protichůdné požadavky, neboť maximum korelační funkce bude ve směru fáze PRN tím výraznější, čím delší úsek PRN kódu bude podléhat korelaci, je však zřejmé, že čím delší tento úsek bude, tím více negativně se uplatní vliv rychlosti generátoru a naopak. Jak bude ukázáno na výsledcích experimentu, může být rychlý pohyb přijímače zásadním omezením pro zachycení satelitů.

4. PRAKTICKÉ EXPERIMENTY S PŘIJÍMAČEM MAGELLAN MMCX

Jedná se o ruční přístroj schopný příjmu DGPS a s přesností lepší než jeden metr. Vedle komunikačních schopností prostřednictvím Bluetooth a WiFi podporuje paměťové karty až do kapacity 4GB. Je určen pro mobilní mapové práce a dá se předpokládat, že vnitřní algoritmy modulu GPS upřednostňují přesnost udávané polohy před rychlostí a adaptabilitou na změněné podmínky příjmu.

4.1 Popis prováděných experimentů

Přijímač v základním programovém vybavení umožňuje zaznamenávat informaci o poloze formou zpráv protokolu NMEA-0183 do textového souboru. Byla zvolena varianta pravidelného záznamu v čase s intervalem jedné sekundy. Pro experiment byla vybrána trasa procházená opakovaně pěšky, tedy rychlostí cca 6km/h a druhá trasa projížděná vlakem na trase Pardubice--Choceň. Vlak na této trase jezdí rychlostí až 140km/h. V obou případech byla použita pouze vnitřní anténa. Při jízdě vlakem byl přijímač držen na okně s výhledem k Jihu, aby nebyl stíněn příjem signálu SBAS. V experimentech není kladen důraz na přesnost dodržování opakované trasy, ale je sledována dostupnost informace o poloze. Trasa v městské zástavbě je zaznamenávána přijímačem neseným v ruce a opakovatelnost trasy je obvykle s odchylkou do cca jednoho metru.

4.2 Vyhodnocení dat

Po ukončení sběru dat byla data překopírována do stolního počítače a aplikací GPSBabel [5] převedena do formátu kml, který vyžaduje aplikace Google Earth [6]. Pomocí této aplikace byla data vizualizována. Jednotlivé záznamy o poloze jsou znázorněny značkami v mapě. Na takovéto vizualizaci je dobře patrná dostupnost a věrohodnost přijímačem poskytované informace o poloze.

4.3 Experimentálně zjištěné skutečnosti

- při pomalém pohybu přijímače v městské zástavbě je dostupnost informace velmi dobrá, pokud nejde o výškové budovy
- při příjmu dostatečného počtu satelitů je spolehlivost údajů o poloze subjektivně překvapivě dobrá
- překvapivě při relativně malém zastínění výhledu - typicky nástupiště nádraží – spolehlivost poskytované informace prudce klesá
- přijímač není téměř vůbec schopen dávat informaci o poloze jedoucího vlaku – ve většině případů nebyl schopen zachytit ani jeden satelit

Jednotlivé zjištěné skutečnosti podrobněji dokumentují níže přiložené snímky v kapitole 4.4 a 4.5 .

4.4 Pěší trasa



Obr. 2 - Pardubice u Zimního stadionu



Obr. 3 - Pardubice roh ulic
K Polabinám a Palackého

Na obr. 2 vidíme vliv korun mohutných stromů.

Na obr. 3 je vidět vliv výškové budovy. Zatímco v oblasti od polikliniky k OD Tesco je „údolí“ relativně otevřené, při přiblížení k bloku obytných domů na rohu se signál rychle ztrácí.



Obr. 4 - Pardubice Palackého ulice u autobusového nádraží

Na obr. 4 se projevuje stín od výškové budovy a vliv korun stromů. Je patrná vysoká chybovost udávané polohy. Rovněž je zde záznam bodů řídký, což nasvědčuje tomu, že při některých průchodech nebyl zachycen dostatečný počet satelitů.

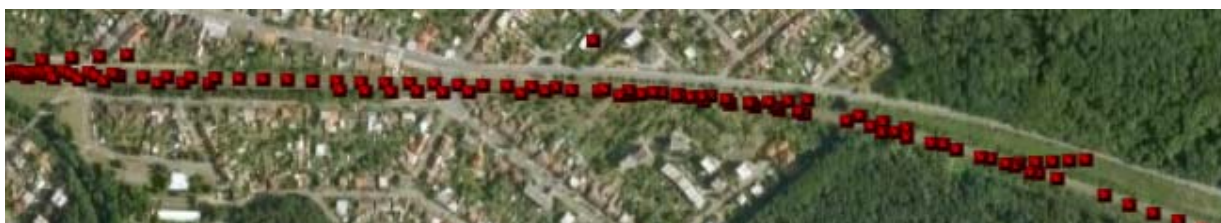


Obr. 5 - Pardubice nádraží ČD

Na obr. 5 je vidět situace před a uvnitř nádraží ČD.

Zatímco příchod je zaznamenán uspokojivě, situace na nástupišti je zcela neuspokojivá, a to přesto, že přijímač byl po dobu cca 10-15 minut držen na stejném místě na okraji nástupiště. Chyba určení polohy zde zjevně dosahuje řádu desítek metrů.

4.5 Jízda vlakem



Obr. 6 - Pardubice okraj města u Černé za

Úsek trasy na obr. 6 je lemován středně mohutnými stromy a jižním směrem je výrazný svah. Jednak je patrná nízká hustota záznamu, která je způsobená skutečností, že při nastoupení do vlaku se ztratil signál prakticky od všech satelitů, při výjezdu vlaku se signál několika satelitů ihned objevil, avšak zřejmě v důsledku rychlého rozjezdu vlaku a

měníciho se dopplerovského kmitočtu přijímač zjevně „tápal“, nemohl zachytit žádný satelit, přičemž indikoval dostatečný signál od několika satelitů.

Povšimneme si několika případů, kdy přijímač indikuje pozici v přímém směru, přičemž skutečná poloha vede po křivce, patrné je to zejména na pravém okraji obrázku. To budí dojem, že je to setrvačnost algoritmu, patrně Kalmanova filtru. Podobná skutečnost je patrná i na následujícím obr. 7. Zde je záznam bodů také velmi řídký, což je opět způsobeno svahem v jižním směru.



Obr. 7 - Dobříkov



Obr. 8 - Choceň - vjezd do nádraží od Pardubic

Obr. 8 ukazuje vliv terénního zářezu, kterým je trať v tomto úseku vedena. Ze sedmi realizovaných jízd je vidět pouze záznam dvou tras, a to ještě částečně. Je patrné, že za těchto podmínek není použití GNSS pro určování polohy vlaku použitelné.

5. ZÁVĚR

Článek podává souhrnnou informaci o příčinách chyb při určování polohy pomocí systému GPS. Experimentálně jsou ověřeny základní vlastnosti moderního přijímače GPS. Z experimentů vyplývá, že testovaný přijímač, který je konstrukčně řešen se zaměřením na přesnost poskytované informace o poloze, není současně vhodný pro aplikace, kdy se rychle mění podmínky příjmu satelitních signálů. Předmět popsanych výzkumných prací byl podpořen projektem MD ČR č. CG743-037-520.

6. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] van Nee, R.D., Sireveld, J. *The Multipath Estimating Delay Lock Loop : Approaching Theoretical Accuracy Limits*, <www.novatel.ca/Documents/Papers/File21.pdf>
- [2] *MBOC vs. BOC(1,1): Multipath Comparison Based on GIOVE-B Data* <www.insidegnss.com/node/765>

- [3] *GPS – Essentials of satellite navigation Compendium* – <www.u-blox.com>
- [4] Rizos, C. *GPS – Principles and practice of GPS surveying*
<http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/principles_gps.htm>
- [5] SW Aplikace GPSBabel <www.gpsbabel.org>
- [6] SW Aplikace Google Earth <www.earth.google.com>

Recenzenti: doc. Ing. Radovan Doleček, Ph.D.
 Univerzita Pardubice, DFJP, Katedra elektrotechniky, elektroniky
 a zabezpečovací techniky
 prof. Ing. Pavel Bezoušek, CSc.
 Univerzita Pardubice, FEI, Katedra elektrotechniky