

MOŽNOSTI ZVÝŠENÍ PŘESNOSTI POLOHY GPS BEZ POZEMNÍ INFRASTRUKTURY DGPS A ODHAD POLOHY PŘI VÝPADKU SIGNÁLU GPS

THE POSSIBILITIES OF HIGHER ACCURACY OF GPS POSITION WITHOUT GROUND INFRASTRUCTURE DGPS AND ESTIMATING POSITION WITH DROPOUT OF GPS SIGNAL

Karel Šimerda¹

Anotace: Článek se věnuje problematice zvýšení přesnosti polohy v přijímači GPS bez napojení na pozemní infrastrukturu diferenciální GPS. Popisuje principy vylepšení přesnosti polohy pomocí služby EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service). Článek se dále věnuje principům stanovení polohy, při krátkodobých výpadcích signálu GPS, pomocí senzorů založených na technologii MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems). Zpřesnění polohy je v závěru článku prokázáno vyhodnocením provedených experimentů.

Klíčová slova: GPS, EGNOS, WAAS, SBAS, MEMS, Dead Reckoning

Summary: The article deals with the problem of increasing of the accuracy of giving position in the GPS receiver without its connection to ground infrastructure of differential GPS. It describes the principals of improving the accuracy of GPS position using EGNOS service (European Geostationary Navigation Overlay Service). Furthermore the article deals with the principles of giving position during short-time dropouts of GPS signal using sensors based on MEMS technology (Micro-Electro-Mechanical Systems). Giving a more precise position is documented with the evaluating of carried out experiments at the end of the article.

Key words: GPS, EGNOS, WAAS, SBAS, MEMS, Dead Reckoning

ÚVOD

Abychom mohli v některých aplikacích využívat GPS polohy, potřebujeme mít k dispozici řádově přesnější polohu, než jakou poskytují běžné přijímače GPS bez diferenciálních korekcí. To se týká například sledování nebo dispečerského řízení mobilních silničních nebo železničních prostředků. Při přesné znalosti poloh těchto prostředků lze například vydávat varování před konfliktními situacemi. Proto se tento článek věnuje možnostem jak zvýšit přesnost polohy satelitního přijímače GPS a jak překlenout případné krátkodobé výpadky signálu od satelitů GPS. Výpadky mohou být způsobeny různými

¹ Ing. Karel Šimerda, Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra softwarových technologií, nám. Čs. legií 565, 532 10 Pardubice, Tel.: 466 037 223, E-mail: karel.simerda@upce.cz

příčinami, jako jsou například průjezdy tunely, lesními úseky, podzemními garážemi, zastřešenými nádražími nebo zastíněním v městské zástavbě.

Principy určování polohy satelitními navigačními systémy a rozbor vzniku chyb stanovení polohy jsou dostatečně vysvětleny v článku (1) a proto se již jimi nebudeme zde podrobně zabývat. Bude nás však zajímat, jak tyto chyby odstranit co možná nejsnazším (= nejlevnějším) způsobem. Tou nejsnadnější cestou, jak zvýšit přesnost polohy, je využití služby EGNOS, která ze stacionárních satelitů vysílá korekce na stejném kmitočtu jako satelity GPS.

I když zlepšíme polohovou přesnost v přijímačích GPS, ještě stále je tu problém s výpadky signálu od satelitů GPS. V takovém případě existuje možnost jak dál vydávat informaci o poloze a to pomocí měření pohybu samotného dopravního prostředku pomocí senzorů jako jsou akcelerometry (měření zrychlení), gyroskopy (měření úhlové rychlosti) a magnetometry (měření magnetického pole), které lze ještě doplnit informacemi o rychlosti nebo natočení kol. To tedy vede k tomu, že i pozemní dopravní prostředky budou vybaveny inerciálními systémy tak, jak dosud to bylo běžné v letadlech nebo u raket.

Zhotovení inerciálního systému bylo v minulosti velmi nákladnou záležitostí. Tyto systémy byly založeny na tzv. výkyvném uložení (gimballed platform) a používaly se především ve vojenských leteckých nebo raketových prostředcích. V těchto systémech se akcelerometry umísťovaly na gyroskopy stabilizovanou platformu, která nebyla pevně spojena s tělem mobilního prostředku.

V současné době však se velké popularitě těší tzv. *strapdown* inerciální navigační systémy (Strap-Down Inertial Navigation Systems – SDINS), kdy akcelerometry, gyroskopy a magnetometry jsou pevně zabudovány do mobilního prostředku a tzv. „stabilizace“ je zajišťována výpočty ve výkonných jednočipových procesorech. K tomuto řešení inerciálních systémů se přistoupilo poté, co se začaly akcelerometry a gyroskopy vyrábět levnou technologií MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems). Zjednodušeně můžeme o této technologii říct, že tato technologie umožňuje vyrábět mechanické prvky technologií integrovaných obvodů tj. „vyleptáním“ na křemíkové destičce společně s dalšími elektronickými obvody. Tyto součástky se staly běžným vybavením spotřební elektroniky, jako jsou mobilní telefony, tablety, letecké modely apod. Též tyto součástky začaly pronikat do zařízení pro určování polohy, jak bude uvedeno dále.

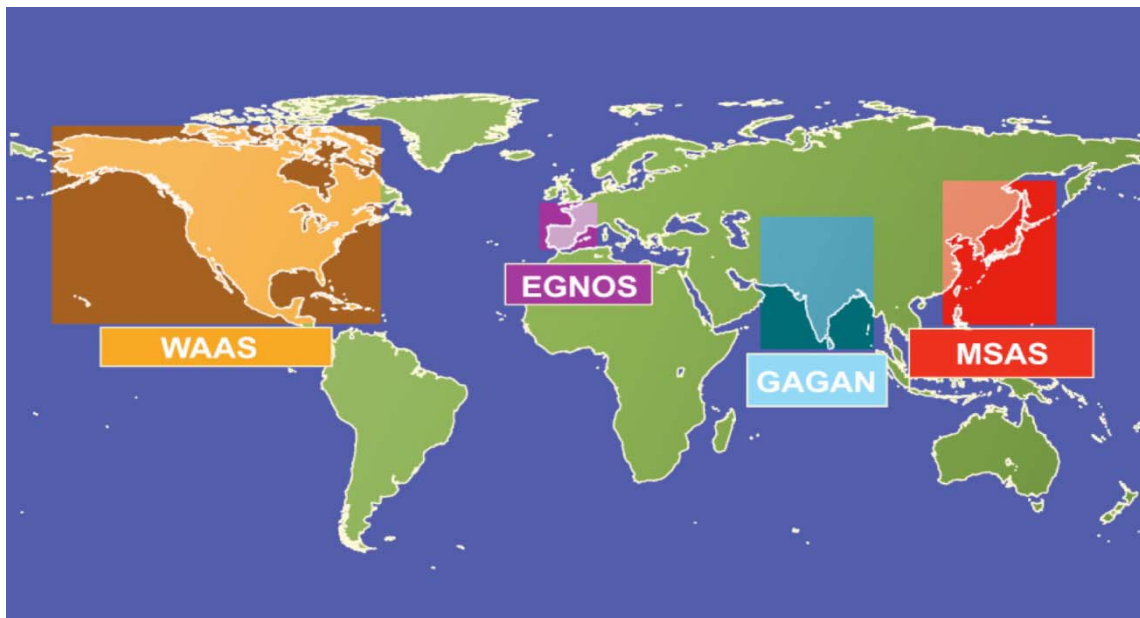
1. SLUŽBA EGNOS

Služba EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) je aplikací systému SBAS (Satellite Based Augmentation System), která je provozovaná od 1. října 2009 pro celou Evropu s cílem dosáhnout přesnost v poloze u přijímačů GPS 1 až 3 m v horizontální rovině a 2 až 4 m ve vertikálním směru. Služba je vyvíjena Evropskou kosmickou agenturou (ESA), Evropskou komisí (EC) a Evropskou organizací pro bezpečnost leteckého provozu (EUROCONTROL).

Služba vysílá navigační zprávu na kmitočtu L1 tj. 1575.42 MHz, který používají standardní satelity GPS. Navigační zpráva obsahuje informace o integritě systému GPS, dlouhodobé odchylky od předpokládaných drah, dlouhodobé odchylky atomových hodin

satelitu, parametry ionosférického modelu, almanach a navigační zprávu satelitu EGNOS. Přijímače GPS, pokud mají SBAS implementován, což nové přijímače mají (bylo ověřeno na třech různých přístrojích), mohou využívat navigačních zpráv k provedení korekcí. Takové přijímače potom nahlásí, že jsou v režimu diferenciální GPS.

Služba může být též známa na některých přijímačích GPS pod zkratkou WAAS (Wide Area Augmentation System), což je obdobná služba jako EGNOS pro oblast severní Ameriky. Přehled obdobných služeb je na následujícím obrázku.



Zdroj: http://www.esa.int/esaNA/ESAF530VMOC_egnos_0.html

Obr. 1 - Služby SBAS

Do služby EGNOS přispívá v České republice firma Iguassu Software Systems a.s. a jejichž měření lze aktuálně sledovat na adrese uvedené v (4). To znamená, že přes službu EGNOS jsou k dispozici zpřesněné korekce i pro území České republiky.

Cílem tohoto článku není podrobný popis služby EGNOS. Úplnou informaci o službě EGNOS lze získat na adrese, která je uvedena v (3). Dalším zdrojem informací o SBAS je kompendium o GPS [5], které firma U-blox dodává s vývojovým kitem EVK-6R (6), odkud jsou též převzaty údaje v Tab. 1 - Polohová chyba s a bez DGPS/SBAS. Podstatné je, zda opravdu pomocí této služby lze dosáhnout deklarované polohové přesnosti. Odpověď na tuto otázku je v kapitole 3. Vyhodnocení experimentů.

Tab. 1 - Polohová chyba s a bez DGPS/SBAS

Příčiny a typy chyb	Chyby bez DGPS/SBAS [m]	Chyby s DGPS/SBAS [m]
Efemeridy	1.5	0.1
Atomové hodiny na satelitech	1.5	0.1
Vliv ionosféry	3.0	0.2
Vliv troposféry	0.7	0.2
Odrazy	1.0	1.4
Chyba přijímače	0.5	0.5
Celková RMS chyba	4.0	1.2
Horizontální chyba (1-sigma(68%)HDOP= 1.3)	6.0	1.8
Horizontální chyba (2-sigma(95%)HDOP= 1.3)	12.0	3.6

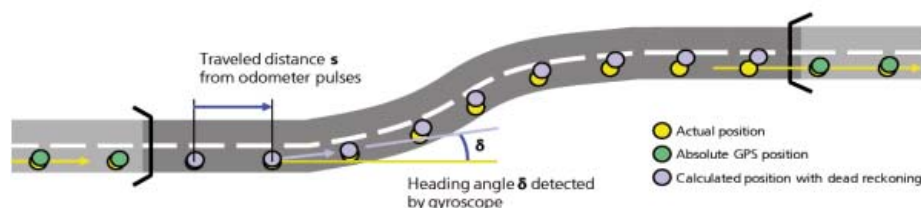
Zdroj: (5)

2. VEDENÍ POLOHY PŘI ZTRÁTĚ SIGNÁLU GPS

Při využívání přijímačů GPS jako zdroje přesné polohy na mobilních prostředcích je nutné počítat s výpadky příjmu signálu GPS a tím pádem i ke ztrátě informací o poloze. Je zcela běžné, že silniční i železniční síť je čím dál více vedena tunely, kde výpadek příjmu je úplný. Přijímače GPS ještě ze setrvačnosti chvíli vedou a poté přestanou vydávat polohu. Po vyjetí z tunelu přijímač většinou zahajuje svoji činnost tzv. horkým startem, kdy předpokládá, že se nachází na místě výpadku, což při čím dál více prodlužovaných tunelech, může znamenat značné zpoždění naběhu vedení polohy. To samé platí pro podzemní garáže nebo krytá nádraží.

Řešením výpadku vydávání polohy je použití inerciálního systému. Pro kolové dopravní prostředky se můžeme spolehnout na snímání otáčení kol, ale nevíme, jak se změni směr pohybu. V takovém případě nám může pomoci měření změny pootočení vozidla pomocí gyroskopu.

Gyroskop je schopen měřit úhlovou rychlost. Skutečné natočení musíme v takovém případě odměřovat od vektoru pohybu, který známe z předcházejících poloh, které byly zjištěny přijímačem GPS před výpadkem signálu. Tento princip využívá modul LEA-6R firmy U-blox, Švýcarsko (8). Firma U-blox tento princip označuje pojmem „*Automotive Dead Reckoning technology*“.



Zdroj: U-blox

Obr. 2 - Princip vedení polohy při výpadku signálu GPS přijímačem LEA-6R

Jak již bylo zmíněno v úvodu, gyroskop vyrobený technologií MEMS je již levnou a miniaturní součástí, proto ji lze umístit přímo do modulu s přijímačem GPS bez zvětšení rozměrů a zvýšení ceny. Pro informaci: Modul LEA-6R má rozměry 17 x 22.4 mm.

3. VYHODNOCENÍ EXPERIMENTŮ

3.1 Zjištění horizontální a vertikální přesnosti u stacionárního cíle

S modulem LEA-6R bylo provedeno měření přesnosti se zapnutou korekcí DGPS/SBAS v režimu stacionárního cíle. Anténa byla umístěna na pevné stanoviště a pomocí programu u-center verze 6.01 pro Windows, který byl součástí vývojového kitu, byl proveden záznam přes 19000 poloh s periodou vydávání 1 s na notebook. Data byly pořízeny 4.6.2011 od 13h UTC.

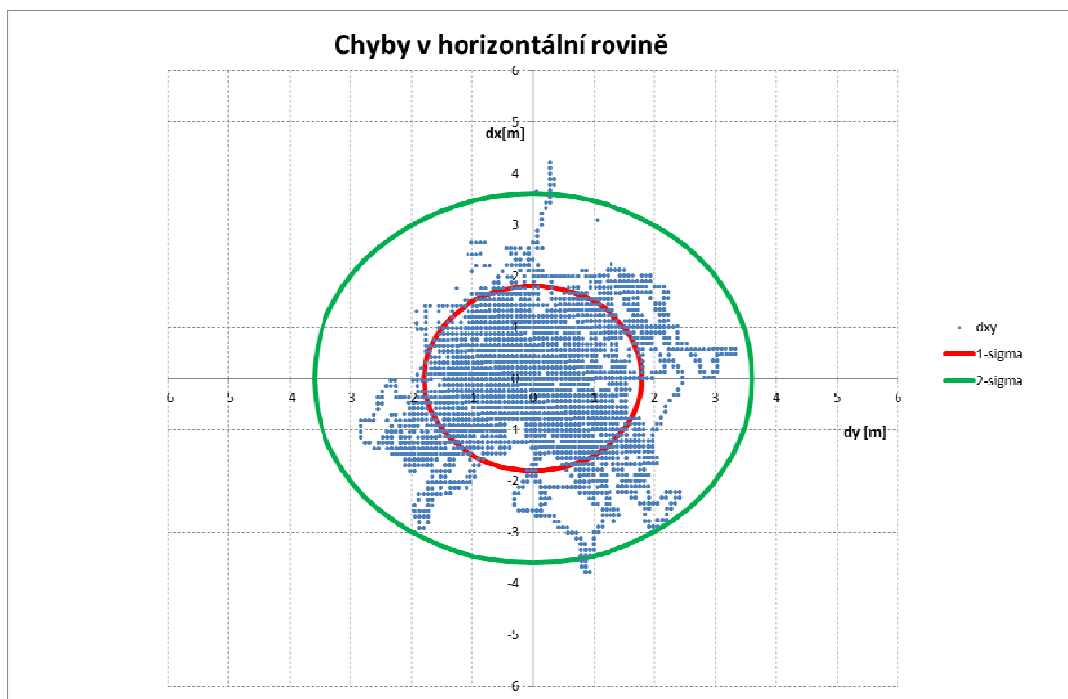
Pro vyhodnocení přesnosti byly vybrány zeměpisné souřadnice a eliptická výška a jejich hodnoty byly přeneseny do tabulkového programu EXCEL a zpracovány do grafů. Zeměpisné souřadnice byly převedeny do mapových souřadnic, aby bylo možné vyhodnotit horizontální a vertikální chyby. Upozornění: V mapových souřadnicích se osa ve východním směru se označuje písmenem *y* a osa v severním směru se označuje písmenem *x*.

Všechny chyby byly vztaženy k průměrným hodnotám z důvodu, že nebyla v době měření známá přesná referenční poloha. Pro stanovení náhodné chyby to není podstatné.

Na grafu Obr. 3 - Rozložení chyb v horizontální rovině je vidět, že chyba v poloze přes hranici 2sigma překročí jen dvakrát. Tento graf nezobrazuje četnost, ale pouze tvar rozmístění chyb v rovině. Toto rozmístění je vhodné kontrolovat, aby se včas zjistily případné anomálie ještě před dalším zpracováním výsledků. Na tomto grafu je vidět, že rozmístění chyb je velmi rovnoměrné a proto můžeme přistoupit k dalšímu vyhodnocení.

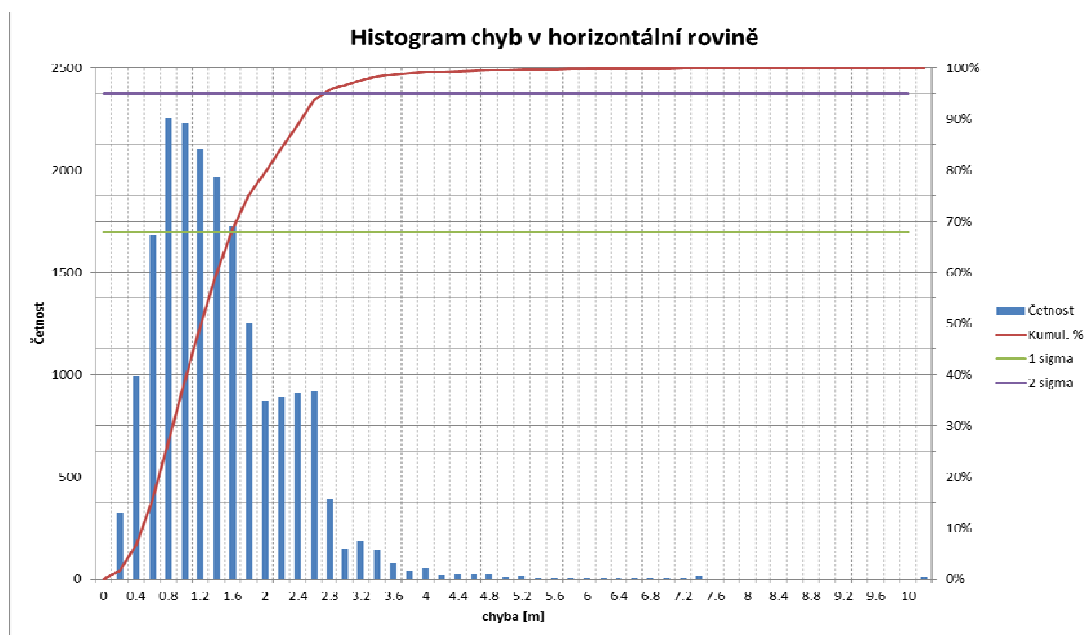
Z grafu Obr. 4 - Histogram polohových chyb v horizontální rovině lze odečíst všechny podstatné charakteristiky polohové přesnosti. V grafu jsou vyneseny dvě vodorovné čáry pro hodnotu 1 a 2 sigma podle tabulky *Tab. 1 - Polohová chyba s a bez DGPS/SBAS* a tam kde tyto čáry protnou kumulativní četnost histogramu lze odečíst na vodorovné ose chyb příslušné chyby. Pro 1sigma (tj. 68% chyb) je to 1.6 m a pro 2sigma je to 2.6 m. Obě dvě hodnoty jsou nižší než předpokládané hodnoty. Tím je potvrzeno, že korekce pomocí služby EGNOS zlepšují polohovou přesnost.

Vertikální přesnost je znázorněna na grafu Obr. 5 - Histogram vertikální chyby. I zde bylo dosaženo velmi dobré přesnosti a velmi dobrého rozložení, které připomíná normální rozložení, což je dobrá známka toho, že měření je relativně přesné. I zde bylo měřením dokázáno, že vertikální přesnost vyhovuje předpokladům, tj. že je v rozsahu 2 až 4 m. To je významné zlepšení, protože je všeobecně známo, že nekorigovaná výška GPS je velmi nepřesná. Pro pozemní dopravní prostředky nemá výška tak velký význam, jak je tomu naopak v letectví.



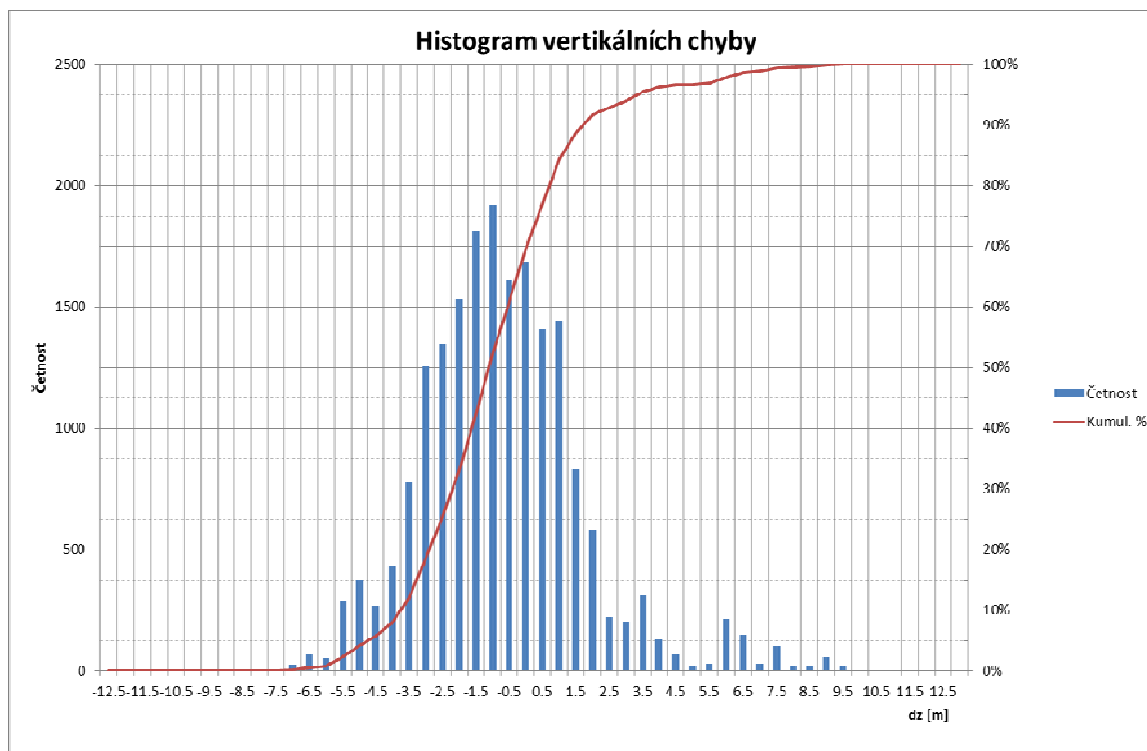
Zdroj: vlastní

Obr. 3 - Rozložení chyb v horizontální rovině



Zdroj: Vlastní

Obr. 4 - Histogram polohových chyb v horizontální rovině



Zdroj: Vlastní

Obr. 5 - Histograma vertikálních chyb

3.2 Zjištění horizontální přesnosti u pohyblivého cíle

S modulem LEA-6R bylo provedeno měření přesnosti se zapnutou korekcí DGPS/SBAS v režimu určeného pro automobily a změněnou periodou vydávání polohy na 0.25s. Anténa byla umístěna uprostřed střechy osobního automobilu Škoda Octavia. Záznam byl pořízen stejným způsobem jako u měření stacionárního cíle.

Vyhodnocení přesnosti bylo stanoveno pouze pozorováním zaznamenané trajektorie v programu Google Earth do jaké míry souhlasí s mapovým podkladem. Referenční trajektorii lze u pohyblivého cíle získat jedině pomocí zařízení s diferenciálním GPS. Toto zařízení však v době měření nebylo k dispozici. I tak jsou výsledky dostatečně vypovídající. Porovnáním trajektorie s mapovým podkladem lze zviditelnit jenom stranové chyby. Chyby ve směru pohybu, to znamená v ose vozovky nelze, takto vůbec zjistit.

Na obrázku Obr. 6 - Trajektorie-úsek 1 je jasně vidět po jaké straně vozovky se automobil pohyboval.

Na obrázku Obr. 7 - Trajektorie-úsek 2 je znázorněn několikanásobný průjezd stejným místem. Největší stranový rozdíl byl zjištěn 1.5 a 2 m. Přičemž je nutno brát v úvahu, že velký podíl na stranové odchylce má samotný automobil, resp. přesnost řízení řidičem.



Zdroj: Vlastní a Google

Obr. 6 - Trajektorie-úsek 1



Zdroj: Vlastní a Google

Obr. 7 - Trajektorie-úsek 2

ZÁVĚR

Článek dokumentuje, že přesnost polohy GPS aplikováním korekcí pomocí služby EGNOS zvyšuje přesnost na hodnoty, které by už mohly být využitelné v dopravních aplikacích, kde je požadováno rozlišení polohy na dopravní cestě.

Cesta k takovému cíli je ale ještě daleká. Záleží na tom, jak výrobci modulů s přijímači GPS pokročí v zdokonalování svých technologií. Dále přijímač GPS je stále jenom radiový prostředek, jehož přesnost a spolehlivost je z velké části závislá na vnějším prostředí.

Novým prvkem, který je schopen vykrýt krátkodobé výpadky signálu GPS, je začlenění inerciálního systému do přijímače GPS, ale i zde jsou velká omezení, především v tom, že gyroskopy a akcelerometry jsou senzory, které měří změny v pohybu, a ne polohu. Přepočtení změn pohybu na polohu je zatížen tím, že s integrací změny se též integrují chyby měření.

Závěrem tedy lze konstatovat, že přesnost GPS se zvyšuje pomocí služeb typu SBAS a že přijímače GPS pro dopravní prostředky budou využívat inerciální systémy, ale též všechny ostatní zdroje informací o pohybu dopravního prostředku, které je vozidlo schopno zjistit ostatními systémy a předat po sběrnici CAN.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) Marek, J.; Štěpánek, L.; Přesnost satelitního navigačního systému GPS a jeho dostupnost v kritických podmínkách, Perner's Contacts, Ročník 4., Číslo III., listopad 2009, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera.
- (2) Vach, R.; Algoritmy inerciální navigace pro aplikace v biomedicíně, Diplomová práce, ČVUT, Fakulta elektrotechnická, 2008.
- (3) Úvodní stránka služby EGNOS <<http://www.esa.int/esaNA/egnos.html>>
- (4) Aktuální výsledky měření pro EGNOS firmou Iguassu Software Systems a.s., Praha, <http://www.egnos-pro.esa.int/IMAGEtech/perfect/real_time/view_all/praha.html>.
- (5) Zogg, Jean-Marie,; GPS Essentials of Satellite Navigation, Compedium, 2001;2006; 2009, www.u-blox.com.
- (6) Odkaz na vývojový kit EVK-6R firmy U-blox; <<http://www.u-blox.com/en/evaluation-tools-a-software/gps-evaluation-kits/evk-6r.html>>.
- (7) EVK-6R, u-blox 6 Evaluation Kit with Dead Reckonning, User Guide, GSP.G6EK-10007-P1, 2010, U-blox AG.
- (8) LEA-6R, Integration Considerations, Application Note, GPS.G6-HW-10028, 2010, U-blox AG.