

Ing. Hynek Mocek
AŽD Praha s.r.o.
Závod Technika
Výzkum a vývoj, VP03
Hlaváčova 2801, 530 02 Pardubice

Oponentský posudek na disertační práci

Ing. Marek Jonáš:

Detekce horizontální chyby polohy GNSS s využitím 3D-mapy tratě

Aktuálnost tématu

Disertant se ve své práci zabývá aktuální problematikou, kterou je vyvinutí metody detekce polohové chyby GNSS pro využití této technologie v železniční zabezpečovací technice. Použití GNSS na železnici dosud limituje řada technických obtíží, z nichž jedna z nich obnáší nepříznivé působení lokálních jevů v blízkosti tratě. Největšími překážkami pro eliminaci těchto hrozeb je nepředvídatelné chování i možný častý výskyt lokálních efektů, stejně jako nemožnost odhalení těchto jevů jiným způsobem než na vozidlové části systému. Autor se zaměřil na vyvinutí nové a originální diagnostické metody patřící do souboru technik, které budou mít zásadní význam pro zajištění požadované železniční bezpečnosti a spolehlivosti budoucích systémů založených na GNSS.

Způsob zpracování disertační práce

Struktura disertační práce je vybudovaná na odpovídající úrovni. Práce je přehledně a systematicky členěna do kapitol a subkapitol s logickým uspořádáním. Určitým nedostatkem s ohledem na způsob zpracování disertační práce ale představuje několik následujících skutečností. Práce v úvodu obsahuje poměrně rozsáhlý popis historie a členění systémů GNSS zahrnující i zastaralou informaci o jedнокanálových přijímačích GPS. Naopak zde postrádám stručný popis aktuálního stavu družic jednotlivých systémů GNSS včetně budoucího rozvoje těchto systémů. Velmi rozsáhlý je popis projektů zabývajících se tematikou použití GNSS na železnici, přičemž chybí výčet některých řešených mezinárodních, příp. národních projektů v minulosti i současnosti (NGTC, GRAIL-2, SafeLOC, RegioSAT, X2Rail-2). V práci se dále zmiňují známé skutečnosti (informace o rozsahu hodnot pravděpodobnosti v rozmezí 0 až 1, grafy distribučních funkcí a hustot pravděpodobností normálních rozdělení), nebo jsou popsány občasně nadbytečné informace (odvození K faktorů v kap. 4.2 a pro účely práce celkem rozsáhlá teorie v kap. 5 bez přímé vazby požadavku HR na experimentální činnost). Některé informace působí neuspořádaně (výběrové charakteristiky v kap. 3.5 - jejich použití v práci a návaznost na kap. 3.3, z kap. 3.6 zcela jasně nevyplývá, jak se testování hypotéz uplatnilo při řešení práce), nebo v práci chybí (v kap. 3.7 chybí popis teorie bezpečnosti), nebo nejsou dostatečně vysvětleny (integrita polohy na úrovni přijímače na str. 46).

Chronologický způsob zvolený v metodice řešení v kap. 6 není optimální, protože prvotní simulace v kap. 6.2 nejsou matematickým aparátem nijak ověřeny. Z tohoto důvodu dochází k opakování obdobných simulací v kap. 6.4, které jsou svojí podstatou duplicitní. Třetí simulace v kap. 6.7 přináší obdobnou redundanci ve smyslu postupně injektované zvyšující se chyby do jedné z pseudovzdáleností. Experimentální část práce by výrazně zpřehlednilo vyloučení redundantních přístupů a sloučení všech zmiňovaných kapitol do jedné části.

Formální úprava a jazyková úroveň disertační práce

Jazyk práce je velmi dobrý, ojediněle se vyskytují stylistické neobratnosti, gramatické nebo pravopisné chyby, překlapy, nevhodné dělení numerických veličin s jednotkou do dvou řádků textu, ojedinělé chyby formátování nebo chybně uvedené odkazy na literaturu, příp. na obrázky. Oceňuji přístup autora, kdy u každého obrázku uvádí původ zdroje (vlastní nebo převzatý z literatury).

V práci ale nelze přehlédnout nevhodný způsob zápisu některých matematických vyjádření:

1) duplicitní značení stejných veličin, 2) použití matematických symbolů bez jejich vysvětlení, 3) duplicita vztahů, 4) chyby způsobené záměnou velikosti písmen, 5) rozdílné značení časově závislých proměnných, 6) překlapy ve výrazech, 7) nevhodné použití diakritiky v názvech proměnných u výrazů (3) až (5), 8) použití teček místo čárek ve výrazu (3), 9) značení matice v (59) vypadající jako determinant, 10) nevhodný zápis do závorek v blízkosti výrazů (60), (61) a (63) vyvolává dojem použití násobení a 11) absence jednotek u některých veličin, především v kap 6.7.

Ad 1) Trojitě označení chybového vektoru ve výrazech (6), (8) a (50): \mathbf{v} , \mathbf{e} , \mathbf{E} . Značení počtu satelitů n (7) vs. N (64), σ_g dle (15) odpovídá $GDOP$ v (24), obdobně σ_p odpovídá $PDOP$, σ_H odpovídá $HDOP$, σ_U je σ_u a odpovídá $VDOP$, σ_T je σ_t a odpovídá $TDOP$. Δ_U v kap. 3.3 vs. VPE v kap. 6. Detekční mez v kap. 4.5 se značí T_D , na str. 73 je označena nejdříve jako Th , následně jako T , ale v kap. 6.6 se autor vrací k předchozímu značení Th . Použití AL namísto HAL v kap. 6.3. Značení P_{fa} vs. P_{FA} nebo P_{md} vs. P_{MD} v kap. 6.6 a kap. 6.7.

Ad 2) Chybí vysvětlení veličiny $\Delta \mathbf{x}$ v (8). Není uvedeno, že n v (7) a N v (64) značí počet satelitů. Chybí formulace σ_i v (10), σ_i v kap. 4.2, σ_i ve výrazu (55) a zda se jedná o totožnou veličinu. Chybí vysvětlení \mathbf{R} v (53), σ v (54), ii v (55).

Ad 3) Výraz (15) je shodný s (24), výraz (16) odpovídá (20), výraz (18) výrazu (22), výraz (19) výrazu (23), výraz (39) je totožný s (74), výraz (40) je zopakován v (76).

Ad 4) Výrazy (18) a (19) nedávají žádný smysl. Výrazy (16) až (19) mají na své pravé straně namísto symbolů σ_E , σ_N , σ_U a σ_T zřejmě používat symboly σ_e , σ_n , σ_u a σ_t .

Ad 5) $R(t)$ v (37) vs. R v (39) a (40). Obdobně $F(t)$ v (38) vs. F v (40).

Ad 6) Ve výrazu (6) je třetí člen sloupcového vektoru chybně označen $\Delta \mathbf{y}$ namísto $\Delta \mathbf{z}$. Ve výrazu (27) je použito symbolu σ_V namísto σ_U .

Obsahová úroveň disertační práce

V této části se zabývám hodnocením odborné správnosti matematických formulací u teoretických základů metod využívaných v práci (kap. 3). V matematických výrazech se kromě výše uvedených formálních pochybení vyskytují následující závažné chyby nebo rozpory:

- Výraz (9) není vyjádřen pro metodu WLS, ale pro LS (bez váhování). Ve větě nad výrazem (9) se chybně uvádí, že se tímto výrazem vypočítá poloha přijímače.
- Výraz (12) je odvozen chybně.
- Matice \mathbf{D} ve výrazu (13) musí obsahovat prvky v souřadnicovém systému xyz , protože je vyjádřena z matice \mathbf{A} , což není konzistentní s výrazem (14), ve kterém jsou uvedeny prvky matice \mathbf{D} v souřadnicích enu .
- Výrazy (26) a (27) nedávají smysl s ohledem na výrazy (17) až (23).
- Výrazy (53) a (55) nelze formulovat pomocí \mathbf{B} dle (52).

Zvolené metody zpracování

Metodika řešení práce je představena v kap. 6. Následují hlavní připomínky k realizovaným simulacím, použitým metodám zpracování a způsobu vyhodnocení.

Jako zásadní nedostatek vypracované metodiky spatřuji v absenci zkoumání projevů chyb na více pseudovzdálenostech současně. Tento bod včetně dalších závažných připomínek k vypracované metodice řešení rozvádím v části „Splnění cílů disertační práce“.

Autor simulace uskutečnil jen pro případ právě jedné chyby na vybrané pseudovzdálenosti. Ačkoliv autor popisuje nemalé množství provedených simulací, považují i toto zkoumání za neúplné z následujících důvodů:

- Byla zkoumána porucha ve smyslu postupně se zvyšující chyby na jedné z pseudovzdáleností pro danou konstelaci satelitů. Nebyly představeny i jiné možnosti přístupu, jako je např. změna konstelace vyloučením jednoho satelitu, vybrané skupiny satelitů nebo změnou elevační masky.
- Volba zaváděné chyby do maximální hodnoty 20 m není dostatečná, protože nebyly analyzovány projevy chyb řádově v desítkách metrů, příp. i vyšších. Přestože pravděpodobnost výskytu takových chyb může být výrazně menší, je zřejmé, že právě tyto chyby budou mít zásadní dopad na výskyt závažných chybových stavů navrhované metody pro případ jedné zaváděné chyby do pseudovzdálenosti.
- V kap. 6.2, kap. 6.4 nebo kap. 6.7 nebyly pro časový okamžik zaváděné záměrné chyby do pseudovzdálenosti představeny případy stavu *bez závady* (fault-free).
- Uskutečnění simulací vedoucích k analýze chybových stavů v kap. 6.7 není úplné, protože nebyly představeny případy stavů HMI a TA. Analýza stavu HMI je klíčová z hlediska plánovaného využití této metody pro potřeby železniční zabezpečovací techniky.

Pozn.: Jak jsem již zmínil v úvodní části, v kap. 6.2, kap. 6.4 a kap. 6.7 je představen soubor podobně konstruovaných simulací. Při hodnocení takto podobných simulací dochází k redundanci a v tomto ohledu jejich analýza nepřináší novou informaci. Simulace a jejich hodnocení jsou tak v práci značně rozsáhlejší i nesouvislé.

Volbu SW nástrojů Pegasus a SGMP pro účely hodnocení simulací považují za vyhovující. Nicméně by bylo vhodnější výsledky ověřit i s využitím jiných nástrojů (PP-SDK, RTKLIB) nebo realizací vlastního způsobu určení polohy GNSS (např. v Matlabu).

Vlastní hodnocení simulací považují za splněné jen částečně z následujících důvodů:

- Simulace v kap. 6.2 nebyly ověřeny matematickým aparátem podle kap. 6.3.
- V kap. 6.2.2 se uvádí, že „chyba ve výšce se dá ... vyjádřit vzorcem $VPE = -1,6 * HPE$ “, ale na Obr. 40 je odlišná závislost „ $y = -1,6 * x + 1,5$ “. Obdobně v další části pro záporně zaváděnou chybu do pseudovzdáleností je popsáno, že „ $VPE = 1,6 * HPE$ “, ale na Obr. 41 je odlišná závislost „ $y = 1,6 * x + 0,95$ “. Není vysvětlen původ offsetů, jejich rozdílná velikost ani žádná souvislost jejich vzniku s ohledem na matematický aparát.
- Na str. 67 autor uvádí: „V některých úsecích je HPE větší než HPL, nastává tedy nebezpečná chyba“. V tomto případě se správně jedná o zavádějící informaci (Misleading Information), která nemusí být nebezpečná, pokud bude HPE ležet pod úrovní HAL.
- Pro body 1, 2a, 2b na Obr. 45 a Obr. 46 chybí alespoň slovní hodnocení, jak tyto body souvisí s matematickým aparátem. Tzn. proč je HPE nulová pro bod 1, proč je VPE nulová pro body 2a, 2b, zatímco HPE není nulová v těchto bodech a proč se chyba VPE projevuje střídavě na jednu a na druhou stranu.
- Na str. 69 se vyskytuje zavádějící definice pojmů falešný alarm a selhání detekce, protože se zde neuvažuje detekční mez T_h a parametr HAL.
- Nebyly analyzovány projevy chyb vznikající u stavu *bez závady* (fault-free).
- Pro účely hodnocení simulací v kap. 6.4 chybí informace, jaký je vzájemný vztah mezi skutečnou chybou polohy (HPE , VPE) a chybou způsobenou injekcí chyby do pseudovzdálenosti ($e_{horizontal}$, $e_{vertical}$). Není vysvětleno, v čem spočívá odlišnost těchto veličin a jakým způsobem je tedy možné tyto veličiny vzájemně porovnávat. Proto není zřejmé, čím je veličina „Odchylka modelu“ způsobena, ani proč její velikost narůstá se zvyšující se zaváděnou chybou do pseudovzdálenosti.
- Autor v kap. 6.7 nesprávně vyhodnocuje chybové stavy jako TA (True Alarm). Ve všech případech se jedná o případ FA (falešný alarm), protože HPE se nachází pod úrovní HAL.

Splnění cílů disertační práce

Cíle disertační práce jsou vymezeny na str. 10.

První cíl práce, „Posouzení závislostí mezi chybami polohy GNSS ve vertikální a horizontální rovině pomocí simulací chyb v pseudovzdálenostech na základě reálných naměřených GNSS dat“, byl splněn částečně. Posouzení závislostí autor zrealizoval pouze pro případ právě jedné chyby na vybrané pseudovzdálenosti. Pro tento případ však nebyly představeny i jiné možnosti přístupu, jako např. změna konstelace vyloučením satelitu apod. Nebyly uskutečněny simulace demonstrující všechny typy poruchových stavů metody. U hodnocení simulací nebyly dostatečně vysvětleny všechny skutečnosti. Autor se nezabýval experimentálním zkoumáním projevů chyb na více pseudovzdálenostech současně.

Druhý cíl práce, „Analýza teoretických vztahů používaných pro výpočet polohy pomocí GNSS a vztahů popisujících chyby GNSS provedená za účelem výběru nejvhodnějšího matematického modelu“, je částečně splněn v kap. 3. Za nedostatky považuji nejen špatnou formální úpravu kap. 3.1 a kap. 3.2, ale především chyby ve výrazech (9) a (12), nesprávnému tvrzení, že se výrazem (9) vypočítává poloha přijímače, nesrovnalost výrazu (13) vzhledem k (14), duplicitu vztahů (15) až (19) vzhledem k (20) až (24) a nesprávnost výrazů (26) a (27).

Třetí cíl práce, „Vypracování matematického / pravděpodobnostního modelu chování detektoru chyby polohy v horizontální rovině na základě teoretických i experimentálních výsledků“, není dle mého názoru splněn z následujících důvodů:

- 1) Matematický aparát autor v kap. 6.3 odvozuje správně z topocentrické matice převzaté z [40] a správně odvozuje chyby polohy ($e_{horizontal}$, $e_{vertical}$) způsobené vektorem chyb B v pseudovzdálenostech. Matematický aparát ale není dostačující, protože v něm chybí popis skutečných chyb polohy (HPE , VPE) a vzájemná souvislost s chybami $e_{horizontal}$, $e_{vertical}$. Skutečné chyby polohy HPE a VPE jsou rozhodující a jediné veličiny chyb polohy, které se uplatňují v korektní definici chybových vztahů navrhané detekční metody.
- 2) Identifikace chybových stavů matematického modelu v kap. 6.3 dle výrazů uvedených pod Obr. 51 není provedena správně, protože se na definici jednotlivých chybových stavů nemohou podílet veličiny $e_{horizontal}$ a $e_{vertical}$, ale musí se uvažovat skutečné chyby polohy HPE a VPE . Detekční mechanismus metody musí vycházet z vertikální chyby polohy VPE , protože tato informace je dostupná (na základě znalosti 3-D mapy tratě). Detekční mechanismus se nemůže rozhodovat na základě chyby $e_{vertical}$, která je neznámá z důvodu neznámého vektoru chyb B . Obdobná situace platí pro HPE , protože o tom, zda se bude jednat o závažnou chybu polohy, musí rozhodovat výhradně skutečná chyba polohy HPE (ačkoliv je neznámá). Nelze uvažovat chybu $e_{horizontal}$, protože by došlo k narušení zajištění integrity polohy pro všechny případy, u kterých by platila nerovnost $e_{horizontal} < HAL < HPE$.
- 3) Ve výčtu chybových stavů v kap. 6.3 není pro první případ (chyba právě v jedné pseudovzdálenosti) přítomen důležitý parametr selhání detekce, jehož pravděpodobnost je v cíli práce definována jako jeden ze zásadních parametrů pro stanovení kvality navrhané detekční metody. Chybí zde informace, jaký je vzájemný vztah mezi stavem selhání detekce a ostatními stavy HMI, TA, NO a FA.
- 4) V kap. 6.3 není pro druhý případ (chyby na více pseudovzdálenostech) uveden žádný popis chybových stavů. Lze se jen domnívat, že Obr. 51 lze uvažovat i v tomto druhém případě. Pokud by tomu tak nebylo, pak pro případ výskytu více současných chyb na pseudovzdálenostech není v práci teoreticky vypracován žádný matematický model.
- 5) Chybové stavy v kap. 6.3 jsou označeny pouze anglickými názvy a nejsou v práci opatřeny bližším popisem. Jejich definice vychází z pojmů používaných v systému EGNOS, což odpovídá především potřebám avioniky a ne železniční zabezpečovací techniky. U chybových stavů není upřesněn jejich vztah k železničním atributům spolehlivosti a bezpečnosti.

Další připomínky k matematickému modelu v kap. 6.3:

- Autor nevysvětluje, jakým způsobem lze topocentrickou matici vyjádřit/ odvodit v souvislosti s chybou určení polohy dle (11), chybí tak návaznost na teorii v kap. 3.1.
- Autor používá nevhodný zápis do závorek v blízkosti výrazů (60), (61) a (63), čímž vzniká dojem použití násobení.
- Vzhledem k formálnímu pochybení má být správně na Obr. 51 a ve výrazech pod tímto obrázkem použit symbol T_h namísto T a označení HAL namísto AL.
- Korektní výrazy chybových stavů matematického modelu musí používat skutečné chyby polohy HPE a VPE namísto nesprávně uvedených chyb $e_{horizontal}$ a $e_{vertical}$. Takové pojetí chybových stavů pak bude mít zajištěnu integritu polohy určené pomocí GNSS a bude vyjadřovat poruchové stavy příslušející navrhované detekční metodě. Chování detektoru potom nebude souviset s velikostí chyby v pseudovzdálenosti, ale bude záležet výhradně na velikostech skutečných polohových chyb GNSS vzhledem k úrovním T_h a HAL. Např. stav NO (Normální Operace) nastává v případě, kdy se skutečná horizontální chyba polohy nachází pod úrovní HAL (horizontální chyba polohy není závažná) a zároveň skutečná vertikální chyba polohy bude menší než T_h (detekce neproběhla). Tímto způsobem nejen pro stav NO, ale i pro všechny ostatní stavy bude na úrovni přijímače bez ohledu na jakkoli velkou chybu v pseudovzdálenosti neustále zajištěna integrita polohy určené pomocí GNSS.

Čtvrtý cíl práce, „Stanovení kvality detekční metody, např. pomocí určení četnosti poruch HR, nebo pravděpodobností selhání detekce a falešného alarmu (P_{MD} , P_{FA}), atp.“, není dle mého názoru splněn z následujících důvodů:

- 1) Jako zásadní nedostatek vypracované metodiky v kap. 6 spatřuji v absenci zkoumání projevů chyb na více pseudovzdálenostech současně. Navržená metodika řešení tyto situace překvapivě nijak nereflktuje, tudíž nemůže být odolná vůči působení simultánních lokálních jevů. Autor práce uvádí, že pravděpodobnost situace, „že se objeví více chyb v pseudovzdálenostech najednou a zároveň to budou zrovna takové chyby, jejichž účinky ve výšce se vzájemně odečtou“, je velmi malá. Toto tvrzení není ničím podloženo (ani kvantifikováno) a zásadně s ním nemohu souhlasit. Jak autor správně zmiňuje, železniční prostředí obsahuje mnoho různých překážek, dá se tudíž předpokládat, že k současným chybám bude v nepříznivém železničním prostředí docházet. Navíc, jak je zřejmé z opačných znamének koeficientů topocentrické matice, již jen pro dvě současně přítomné chyby bude existovat nespočetné množství kombinací, jejichž skládáním se vzájemné účinky ve vertikálním směru vyruší. Takovéto chování není dokonce pro případ právě jedné přítomné chyby v pseudovzdálenosti možné. Lze se tedy domnívat, že rozdílné chování při výskytu více současných chyb v pseudovzdálenostech může mít zásadní dopad na četnost poruchových stavů navrhované metody. Proto by měl být v této oblasti veden řádný vědecký výzkum, což tato práce ale nečiní.
- 2) Volba poruchových stavů navrhované metody s pravděpodobnostmi P_{FA} , P_{MD} dle Obr. 63 není konzistentní s chybovými stavy korektně definovaného matematického modelu (který zajišťuje pojmy z hlediska integrity polohy určené pomocí GNSS), a to z několika důvodů:
 - Pro případ *bez závady* (fault-free) se případ selhání detekce vůbec neuvažuje. Přitom distribuční funkce zasahuje i do oblasti závažných poruchových stavů HMI (není znázorněno na Obr. 63). Ve skutečnosti HMI opravdu představuje závažnou poruchu detekční metody, protože skutečná horizontální chyba překročila úroveň HAL (vznikla závažná chyba v horizontální poloze), ale detekční mechanismus tuto závažnou chybu neodhalil (skutečná vertikální chyba je menší než detekční mez T_h). Případ *bez závady* tak nemá zajištěnu ochranu proti výskytu závažných poruchových stavů HMI.
 - Pro případ *se závadou* (faulty) není falešný alarm FA dle Obr. 63 uvažován v oblasti, ve které skutečná vertikální chyba překročila detekční mez T_h (detekce proběhla) a zároveň skutečná horizontální chyba je menší než HAL (horizontální chyba polohy není závažná), což je případ poruchového stavu FA v souladu s matematickým modelem.

- Pro případ *se závadou* (faulty) pravděpodobnost P_{MD} znázorněná na Obr. 63 zasahuje podle matematického modelu do oblasti NO (Normální Operace). V této oblasti je skutečná horizontální chyba menší než HAL (chyba v horizontální poloze není závažná) a skutečná vertikální chyba je menší než T_h (detekce neproběhla), proto má v tomto případě detekční metoda skutečně uvažovat stav NO (tzn. žádná porucha polohy určené pomocí GNSS) a nemůže zahrnovat poruchový stav selhání detekce, jak je znázorněno na Obr. 63.

Autor tak pro případ výskytu právě jedné chyby v pseudovzdálenosti vybudoval způsob výpočtů pravděpodobností poruchových stavů P_{FA} , P_{MD} na nesprávné úvaze, která nemůže vést ke správnému zajištění pojmů z hlediska integrity polohy dle matematického modelu.

3) Jako další závažné nedostatky v postupech pro stanovení kvality detekční metody považují:

- V kap. 6.6 autor uvádí tvrzení, že vertikální chyba má ve stavu *se závadou* (faulty) normální rozdělení, což není nijak podloženo. Pro využití normálního rozdělení pro účely práce by měl autor prokázat platnost takového tvrzení (formou důkazu, odvozením, nebo citací literatury) a uvést parametry rozdělení. Zároveň zde vzniká rozpor s ohledem na tvrzení v předcházejícím odstavci, že „generalizované Paretovo rozdělení bylo určeno experimentálně jako rozdělení dobře pokrývající chyby způsobené lokálními efekty“.
- Stejně tak autor v kap. 6.6 neprokázal platnost tvrzení, že vertikální chyba má ve stavu *bez závady* (fault-free) normální rozdělení a měl by také uvést jeho rozptyl. Průběh grafu na Obr. 62 není dostačující k opodstatnění zmíněného tvrzení. Generalizované Paretovo rozdělení, které se dle autora používá mj. k modelování extrémních hodnot, zřejmě není vhodné uvažovat pro stav *bez závady* (fault-free), jak ale autor učinil.
- V kap. 6.7 autor definuje P_{valid} jako pravděpodobnost stavu NO (Normal Operation). P_{valid} je dle výrazu (73) doplňková k pravděpodobnosti P_{FA} . To by dle rozdělení chybových stavů matematického modelu (str. 73) znamenalo, že by P_{valid} v sobě zahrnovala nejen stav NO, ale i chybové stavy HMI a TA, což odporuje tvrzení, že P_{valid} vyjadřuje pravděpodobnost pouze stavu NO.
- Ze stejného důvodu neplatí tvrzení autora na str. 84, že „Poruchovost (F) je ekvivalentem falešnému alarmu“, neboť by se do poruchovosti podle matematického modelu nezapočítávaly i zbývající chybové a zároveň poruchové stavy HMI a TA. Protože neplatí tvrzení autora, že „ $F \cong P_{FA}$ “, není dle výrazů (74) až (76) zřejmé, jakým způsobem se bude určovat bezporuchovost F , četnost poruch λ nebo MTTF.

Část práce týkající se popisu navržené detekční metody obsahuje některé další nedostatky:

- Pod výrazem (68) autor uvádí, že „Satelit, kterému náleží *maximální směrnice* ($slope_{MAX}$), by v případě chyby pseudovzdálenosti způsobil největší chybu v horizontální rovině“. Toto tvrzení neplatí, protože největší chyba v horizontální rovině podle (61) závisí na koeficientech $s_{east,i}$ a $s_{north,i}$, ale nezávisí na $s_{up,i}$, zatímco $slope_{MAX}$ závisí na všech těchto koeficientech. I z uvedeného příkladu na str. 75 je zřejmé, že maximální horizontální chyba nastane u posledního satelitu, kterému nenáleží *maximální směrnice*.
- Při určení detekční meze T_h dle (70) autor nezohledňuje případy, u kterých vychází záporná hodnota této veličiny. U příkladu na str. 84 by k tomu došlo např. při nastavení HAL na hodnotu 10 m. V kap. 6.6 chybí postup, jakým způsobem s takovými případy nakládat, nebo jak je ošetřit.
- V kap. 6.5 autor jako testovací statistiku uvažuje absolutní hodnotu chyb ve výšce $|VPE|$, ale absolutní hodnotu neuplatňuje pro výpočet $slope_{MAX}$ v (68). Podle výrazu (68) by mohlo dojít k chybné volbě jiného satelitu než toho, který má *maximální směrnici* zápornou, ale její absolutní hodnota je nejvyšší. V numerickém příkladu na str. 84 ale autor absolutní hodnotu uvažoval správně.
- Použití absolutní hodnoty chyb ve výšce $|VPE|$ pro testovací statistiku v kap. 6.5 také znamená, že při výpočtu pravděpodobnosti P_{FA} dle výrazu (72) bude muset distribuční funkce rozdělení stavu *bez závady* (fault-free) vycházet z rozdělení vertikální chyby

v absolutní hodnotě. Autor ale tuto skutečnost nezohledňuje při numerickém vyjádření (str. 84-85), proto numerické výpočty P_{FA} nebudou vycházet správně.

- Dalším důvodem nesprávných numerických výpočtů u simulací v kap. 6.7 je skutečnost, že se autor bohužel dopustil fatální chyby při výpočtu P_{FA} , kterou počítá z hustoty pravděpodobnosti a ne z distribuční funkce. I z tohoto důvodu proto zhodnocení vlastností metody dle kap. 6.7.1 a kap. 6.7.2 nebude mít žádnou vypovídací hodnotu, neboť vychází z nesprávných numerických výpočtů. Přestože se autor dopustil fatální chyby, nepovažuji ji za neznalost, ale za hrubý přehmat, protože ve výrazu (72) autor pro výpočet pravděpodobnosti správně zmiňuje použití distribuční funkce.

Souhrnně lze konstatovat, že práce nesplnila sledovaný cíl, protože se nepodařilo úspěšně vyvinout a stanovit kvalitu navrhované detekční metody, jež by byla odolná vůči poruchám a zajišťovala integritu polohy určené pomocí GNSS pro využití v železniční zabezpečovací technice.

Hodnocení nových poznatků a přínosů

Práce přináší některé poznatky o chování polohových chyb GNSS, jež mohou vznikat působením lokálních jevů. Další přínos práce (kromě formálních pochybení a absence návaznosti na teorii v kap. 3) je ve vyjádření matematických vztahů z topocentrické matice pro výpočet chyb polohy v závislosti na chybách v pseudovzdálenostech. Invence autora spočívá v originalitě myšlenky využít znalost o výšce poskytované GNSS přijímačem k detekci horizontálních chyb. Dle mého názoru se ale tuto myšlenku nepodařilo zrealizovat, práce proto nepřináší nové poznatky na odpovědi, jak je navrhovaná detekční metoda odolná vůči poruchám a jaká je její skutečná kvalita pro využití v železniční zabezpečovací technice.

Význam pro praxi nebo rozvoj vědy

Význam vývoje diagnostických metod pro odhalení chyb z GNSS způsobených prostředím v okolí tratě je obrovský. V budoucnu tyto metody přispějí ke snížení rizik pocházejících z nepříznivých projevů lokálních jevů a budou tak spolu s technikami ARAIM a dalšími senzory na vlaku tvořit specifické prostředky systému bezpečné lokace. Vzhledem k vysokým požadavkům kladeným na zajištění bezpečnosti železničních systémů musí vývoj detekčních metod splňovat velmi přísné nároky na vědecké bádání, kterým ale tato práce neodpovídá.

Hodnocení publikační činnosti

Autor disertační práce uvádí 2 publikace v recenzovaných časopisech a 8 příspěvků ve sbornících mezinárodních konferencí v anglickém jazyce. Publikační aktivita spadá do let 2011-2015 a týká se problematiky této disertační práce. Celkově pokládám publikační činnost autora za dostačující.

Celkové hodnocení

Autor musel disertační práci věnovat nemalé úsilí, protože obsáhnul poměrně rozsáhlou problematiku několika vědních oborů: satelitních navigačních systémů, železniční zabezpečovací techniky a matematické statistiky. Na druhou stranu autor některé informace přebírá bez kritického posouzení a dopouští se tak řady nejen formálních, ale i hrubých pochybení v matematickém aparátu, jež by práci mohlo těžko činit upotřebitelnou pro potřeby vědy a výzkumu.

Nelze přehlédnout časovou náročnost provedených prací. Autor vykonal rozsáhlou experimentální činnost, ve které uskutečnil celou řadu simulací realizovaných na datech ze skutečných měření s přijímačem GNSS. Simulace ale nebyly zkoumány pro všechny možné případy projevů chyb

vznikajících působením lokálních vlivů. Vyhodnocení simulací není v některých částech dostatečně objasněno.

Bohužel ale musím konstatovat, že se autorovi dle mého názoru nepodařilo splnit hlavní cíl práce. Autor se totiž vůbec nezabýval zkoumáním účinků chyb vznikajících působením společných vlivů, jež budou hrát podstatnou roli pro správný návrh detektoru chyb této metody a kvalitu jeho odolnosti vůči poruchám. Ale ani pro případ výskytu právě jedné chyby v pseudovzdálenosti autor nepředložil odpovídající řešení. Navrhnul nedostačující matematický model, v němž se neuvažují skutečné chyby polohy, v modelu není specifikován závažný poruchový stav selhání detekce a poruchové stavy modelu nevyjadřují vztah k železničním atributům spolehlivosti a bezpečnosti. Autorem navržený detekční algoritmus metody podle techniky RAIM není v souladu s chybovými stavy korektně definovaného matematického modelu, jenž správně zajišťuje integritu polohy určené pomocí GNSS. Autor dále používá některé předpoklady, jejichž platnost dostatečně neprokázal, nebo které si vzájemně odporují, dopouští se určitých nepřesností, ale i omylů. Disertant tak v práci dostatečně neprokázal, že je schopen provádět originální vědecký výzkum tak, aby posunul dopředu problematiku oboru, jímž se zabývá.

Disertační práce Ing. Marka Jonáše **nesplňuje** podmínky tvůrčí vědecké práce pro udělení titulu Ph.D. Proto disertační práci **N E D O P O R U Č U J I** přijmout k obhajobě.

V Pardubicích dne 28.8.2019

podpis:

