

Oponentský posudek disertační práce

Ing. Marka Jonáše

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

Disertační práce Ing. Marka Jonáše je věnována nové metodě umožňující detekci horizontální chyby určení polohy vlaku na železniční trati pomocí GNSS přijímače s využitím znalosti 3D mapy tratě. Celkový rozsah textové části práce psané v českém jazyce je 103 stran. Textová část práce je rozdělena dle standardních zásad do tří stěžejních částí: úvodu s popisem současného stavu problematiky a teoretického základu nutného pro řešení, vlastního stanovení cílů disertační práce a popisu řešení vytýčených úkolů se zhodnocením v závěru.

V první úvodní kapitole doktorand seznamuje čtenáře stručně s účelem práce a stručně naznačuje zobecněný cíl disertační práce. Druhá kapitola je zaměřena na popis současného stavu problematiky. Více než metody stávajících řešení tato kapitola popisuje globální systémy pro družicové určování polohy (GNSS), systémy určování polohy drážních vozidel na železniční trati a normalizaci. Popis systémů je poněkud nesourodý především z hlediska časové posloupnosti jejich vzniku či operability. Součástí je taktéž rozbor projektů využití GNSS a jejich augmentace v železniční dopravě, z čehož plyne jednak aktuálnost tématu a rovněž také účast pracoviště doktoranda na jednom z probíhajících projektů. Třetí kapitola práce je věnována teoretickým základům, které jsou nutné pro řešení práce. V některých fázích je obsah této kapitoly příliš bazální (např. statistika nebo teorie pravděpodobnosti), na druhou stranu jsou všechny tyto teoretické pasáže následně užity pro řešení práce. Čtvrtá kapitola se věnuje technikám zajištění integrity GNSS. Z pohledu ucelenosti, by bylo lépe zahrnout tuto kapitolu do kapitoly 3, byť jde o úzce specifické metody navázané bezprostředně na GNSS systémy. Pátá kapitola jasně specifikuje cíle disertační práce a jejich význam v kontextu požadavků železniční dopravy. Šestá kapitola se již věnuje samotnému řešení, kdy v první fázi je definován experimentální systém a metodika sběru dat. Na tato data doktorand aplikuje umělou modifikaci měřených pseudovzdáleností demonstrující vícecestné šíření pro analýzu navrhované metody detekce chyby. Zde je postupně vkládána specifická chyba k pseudovzdálenosti u vybrané družice pro modelování vztahu chyby výšky a horizontální chyby. Grafické výstupy jsou uváděny v dosti mizerné kvalitě (JPEG komprese). Následuje měření a simulace pro dlouhotrvající chyby, kdy se zohlední (potlačí) vliv geometrie uměle degradovaného satelitu vůči pozorovateli. V následné části je specifikován matematický model a také ověření na reálných GNSS datech poskytnutých NSTB. Na základě dokázané korelace mezi horizontální a vertikální chybou (kterou lze komparovat se známou výškou z 3D mapy tratě) je v závěru popsána navrhovaná detekční metoda s využitím určení detekční meze na základě aktuální geometrie GNSS – měřený objekt. V samém závěru této kapitoly je provedena verifikace metody. Poslední částí stati práce je sedmá kapitola, která je závěrem shrnujícím dosažené výsledky práce. Následuje citovaná a vlastní autorská literatura. Celkově je práce na dobré úrovni, obsahuje několik drobných překlepů, největším prohrěškem je však nízká kvalita grafických výstupů.

Téma práce je velmi aktuální vzhledem k současnému stavu využití družicových navigačních systémů a technik určování polohy drážních vozidel na trati v souvislosti se standardizací a globalizací augmentačních systémů v železniční dopravě. Vlastní téma práce a vyvinutá metoda představuje podpůrný nezávislý systém detekce chyby určení polohy vlaku na trati za ztíženích lokálních terénních podmínek, kdy augmentace pomocí SBAS primárně selhává.

Z hlediska zvolených metod zpracování doktorand využil kombinaci naměřených dat (z dlouhodobých měřicích kampaní) s následnou simulací pomocí determinované chyby. Tento přístup je sice funkční a lze z něj odvodit kýžený model, na druhou stranu se lze bez měřicí kampaně zcela obejít a modelovat určování polohy GNSS přijímačem statistickými metodami. Z hlediska hledání vhodné metody detekce to však není podstatné. Navržená metoda detekce chyby je pravděpodobně

dobře využitelná, na druhou stranu aplikovat měření ze střechy budovy nebo data FAA pro letecké aplikace může přinést nečekané komplikace nasazení metody, které jsou spojené se železniční dopravou. Otázkou zůstává, zda zobecněné charakteristiky (statisticky) jsou vždy využitelné i pro případ velmi komplexního rádiového kanálu GNSS – drážní vozidlo, zda není třeba uvažovat úniky při pohybu vlaku, vliv elektrické trakce, časté vedení tratě v terénu kaňonovitého typu či typický případ vícecestného šíření ke skupině družic apod. Domnívám se, že charakteristika rádiového kanálu GNSS – vlak měla být v práci šířeji diskutována. Nejlépe by bylo provést soubor reálných měření především na tratích s kritickým charakterem ve vztahu k četnosti vícecestného šíření (hustý lesní terén, hluboká údolí apod.). Tím by bylo možné verifikovat úspěšnost nasazení metody v praxi. V práci se pro zjednodušení uvažuje konstantní výška (3D polohy vlaku). Vzhledem k možnému sklonu železničních tratí (s výjimkou horských, např. ozubnicových tratí) lze zřejmě metodu bez úprav použít, mohla však být v tomto smyslu provedena v práci prokazující analýza. Rovněž chybí jistá kvantifikace požadavků na 3D mapu (hustota sítě, chyba a rozptyl mapové výšky apod.) vzhledem k požadavkům aplikace v železniční dopravě.

Vytýčený cíl práce považují za splněný. Autor jasně specifikoval jako cíl práce nezávislou metodu detekce chyby v horizontální rovině (zajištění nezávislé integrity) s využitím 3D mapy, takovou metodu navrhl a modelově ověřil. Chybí však alespoň základní zhodnocení a srovnání s dalšími metodami (RAIM, odometrie, využití autonomní IMU), případně možnosti fúze těchto metod.

Navrženou metodu lze považovat za inovativní a ověřenou na matematickém modelu. Přístup k řešení vykazuje atributy analytické vědecké práce a celkově lze považovat práci i přes uvedené výtky za disertabilní.

Navržená metoda má zjevný význam pro praxi a rozvoj vědy v oblasti navigace v železniční dopravě. Chybějící výkonostní srovnání s dalšími metodami zajištění autonomní integrity však poněkud zastírá její vlastnosti a význam pro praxi.

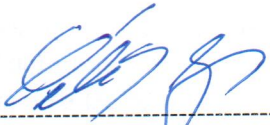
Diplomant publikoval dva recenzované články a osm dalších konferenčních příspěvků, je nutno podotknout, že všechny tyto publikace se vztahují k řešenému problému. Škoda jen, že výsledná metoda navržená v práci nebyla dosud publikována jako recenzovaný časopisecký článek.

Disertační práce Marka Jonáše i přes uvedené výhrady splňuje podmínky tvůrčí vědecké práce pro udělení titulu Ph.D. a doporučuji ji přijmout k obhajobě.

Otázky recenzenta:

1. Předpokládá se experiment či nasazení navržené metody autonomního zjištění integrity v reálném železničním provozu?
2. Lze a priori podle 3D mapy a predikce polohy GNSS družic určit signály družic postižené lokálními efekty a zavést tuto informaci do algoritmu navržené metody?
3. V práci byla naznačena analýza pro případ vícecestného šíření signálů více GNSS družic současně. V komplexních terénních podmínkách železniční tratě lze uvažovat o větší skupině signálů s vícecestným šířením (skupina družic s podobnou velkou hodnotou *slope*). Jaký to může mít vliv na detekční metodu?

V Brně dne 2.9.2019


Doc. Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.