POSUDEK VEDOUCÍHO ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	**Kalman filter application for localizationimprovement of multi-copter UAV**
Jméno autora:	**Tomáš Trafina**
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra řízení
Vedoucí práce:	Tomáš Meiser
Pracoviště vedoucího práce:	Katedra počítačů

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání **náročnější**

Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.

Téma diplomové práce je založeno na vylepšení dlouhodobého projektu snímací laserové platformy pro UAV, na kterém student velmi intenzivně participuje již několik let. Kromě splnění definovaných cílů zadání student také v práci popisuje řešení indukovaných problémů, které se sebou přináší vývoj reálného zařízení pro reálné profesionální použití. Z tohoto pohledu je práce silně aplikační a inovativní.

Splnění zadání **splněno**

Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.

V rámci zadání práce byl zvolen nejvhodnější postup pro ověření výsledků práce, který byl proveditelný vzhledem k technickému vybavení, jímž skupina bezpilotních prostředků disponovala. Ověření výsledků na základě vizuálního porovnání kvality výsledných 3D modelů však v nakonec nebylo možné a to z důvodů poruchy laserového skeneru. Tato porucha byla nepředvídatelná a vedoucímu práce se nepodařilo zajistit náhradu do termínu odevzdání práce. Student tak byl nucen flexibilně zvolit alternativní metodu ověření svých výsledků, což se mu podařilo. Proto považuji zadání za zcela splněné.

Aktivita a samostatnost při zpracování práce **A - výborně**

Posuďte, zda byl student během řešení aktivní, zda dodržoval dohodnuté termíny, jestli své řešení průběžně konzultoval a zda byl na konzultace dostatečně připraven. Posuďte schopnost studenta samostatné tvůrčí práce.

Student pracoval samostatně a své výsledky předkládal a konzultoval pomocí pokročilých nástrojů pro správu projektu. Student prokázal vysokou míru flexibility a kreativity a to především vzhledem k vypořádání se s nastalými problémy s HW.

Odborná úroveň **A - výborně**

Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.

Práce je na vysoké odborné úrovni a to vzhledem k množství nastudovaných znalostí, tak vzhledem k odbornému vyjadřování a použité terminologii.

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce **A - výborně**

Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.

Práce je psaná anglicky a student správně využívá odborných termínů z oboru.

Výběr zdrojů, korektnost citací **A - výborně**

Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

Student při řešení použil relevantní zdroje a správně je odlišil od vlastních výsledků a úvah. Citace jsou prováděny k pramenům a zároveň k nejaktuálnějším výsledkům poznání v daném oboru.

Další komentáře a hodnocení

Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

Student se v plné míře a do hloubky seznámil s problematikou, poznatky korektně aplikoval a své výsledky vyhodnotil nejlepším možným způsobem a to i vzhledem k nepředvídatelným problémům s reálným HW vybavením, na kterém práce závisela.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení.

Student v této práci vylepšil systém snímací laserové platformy, jíž byl sám spoluautorem v předchozích letech, o mechanismus zpřesnění lokalizace bezpilotní multikoptéry aplikací Kalmanova fitrování.

V průběhu práce prokázal student schopnost analytické rozvahy problému, samostatného studia zdrojů a výběru nejvhodnějšího řešení. Toto řešení pak bylo implementováno a testováno v nadprůměrné kvalitě. Na vypracování práce student svědomitě pracoval a věnoval jí větší než obvyklé množství času.

Z výsledků práce je patrné, že student, přes potíže s nefunkčním senzorem, dosáhl všech stanovených cílů.

Práce je psaná anglicky s využitím termínů odpovídajících absolventovi magisterského studia.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **A - výborně.**

Datum: 11.6.2018 Podpis:

POSUDEK OPONENTA ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	**Kalman filter application for localization improvement of multi-copter UAV**
Jméno autora:	**Tomáš Trafina**
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra řídicí techniky
Oponent práce:	Doc. Ing. Jan Roháč, Ph.D.
Pracoviště oponenta práce:	Katedra měření, FEL

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání **náročnější**

Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.

Vyřešit navigační úlohu a dosáhnout vysoké míry spolehlivosti a robustnosti není jednoduchá úloha, i když na toto téma existuje celá řada literatury a vědeckých článků. Náročnost spočívá ve správném vyladění parametrů fúze a ve způsobu validace dat. Model jako takový náročný není.

Splnění zadání **splněno s většími výhradami**

Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.

Nikde v práci jsem nenašel cokoliv se vztahující na užití „visual odometry" za účelem lokalizace, viz bod 1 zadání. Dále si nejsem jist, zda byl splněn bod 4 zadání. V práci se sice píše o vzniklých problémech s LIDARem, což předpokládám bránilo k ověření výstupů práce při reálných experimentech. Nedostatek však shledávám v nedostatečném ověření výsledků.

Zvolený postup řešení **částečně vhodný**

Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.

Užití Kalmanovy filtrace pro fúzi dat je určitě správný způsob řešení. Nicméně mi tam chybí jakýkoliv blok validace dat. Student věří, že data z GNSS přijímače budou vždy validní, což je špatný předpoklad. U inerciálních dat se to dá s vysokou mírou pravděpodobnosti předpokládat, ale u jiných typů senzorů či měřicích systémů je daleko bezpečnější validovat data před tím, než je s nimi počítáno v KF.

Odborná úroveň **D - uspokojivě**

Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.

Bohužel špatně užitá terminologie a velké nedostatky v praktickém ověření dosažených výsledků, viz komentáře níže, snižují odbornou úroveň práce.

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce **C - dobře**

Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.

Práce je velmi dobře napsaná a většinou i srozumitelná až na užitou terminologii. Terminologie je značně zavádějící, viz níže. Z pohledu gramatiky jsem našel pár chyb, nicméně v takto rozsáhlé práci počet chyb byl zanedbatelný. Rozsah práce je větší. Doporučoval bych se spíše soustředit na praktické ověření, než se tolik rozepisovat v části teoretické.

Výběr zdrojů, korektnost citací **B - velmi dobře**

Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

Dle mého student užívá citace s rozmyslem, i když by si to mnohdy zasloužilo odkazovat více, např. kapitola 5 je skoro bez

citací/odkazů. Takovýchto případů lze však najít více.

Další komentáře a hodnocení

Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

1. Věta v abstraktu „Důraz je kladen především na vylepšení dat z GNSS senzoru, neboť přesnost dat z IMU již splňuje požadované nároky." je velmi zavádějící. GNSS senzor dle mého neexistuje, neboť by se mělo jednat o GNSS přijímač. Dále nerozumím, co student myslí tím „přesnost dat z IMU již splňuje požadované nároky". Otázkou tedy je, jaké student má nároky, ale užitá navigační jednotka těžko může splňovat požadavky na přesnost v „stand-alone" režimu.
2. Student s oblibou používá IMU pro sofistikovanější úlohy, např. určení orientace v prostoru. Nicméně, IMU je běžně používaná pro poskytování inerciálních dat doplněných příp. o data z magnetometru/tlak. čidla. Výpočty orientace či pozice/rychlosti jsou součástí až vyšší úrovně navigačních jednotek a to v podobě AHRS či INS, IRU apod. IMU jen měří či maximálně upravuje data z pohledu filtrace či deterministických chyb, nic moc jiného.
3. Odometrie nemá nic společného s „inertial localization" (str.7) a ani „visual odometry" není „inertial method" (str.9)
4. str.8 – „The accuracy depends mainly on the presence of unobservable events which adds the errors." – věta velmi zavádějící.
5. student v práci užívá úhlové zrychlení a dokonce jej i měří pomocí IMU. Díval jsem se na danou jednotku a nic takového jednotka neposkytuje, nevím tudíž, co má student výrazem „angular acceleration" na mysli. Nicméně předpokládám, že se jedná o úhlovou rychlost. Senzory pro měření úhlového zrychlení sice rovněž existují, ale v předložené práci nejsou podle dostupných informací užity.
6. akcelerometry užívané v navigačních jednotkách NEMĚŘÍ zrychlení, ale specifickou sílu.
7. kap. 3.1.3 –
   "Advanced units often incorporate GNSS sensor to provide direct position measurement (without integration)." – nevím, jak si toto vyložit. Levné jednotky mají mizerné snímače, takže 2x integrovat za účelem získání pozice je bezpředmětné. Proto se musí řešit fúze IMU dat s GNSS daty, aby se jednotka alespoň k něčemu dala použít. Jinak ji není možné užít pro lokalizaci, ale jen pro určení orientace (AHRS). V případě fúze IMU/GNSS tak jednotka slouží jen jako "GNSS data smoother", která bez GNSS dat nemusí fungovat ani půl minuty.
8. V případě GNSS přijímače je rovněž žádoucí užít poskytovanou rychlost. V práci jsem tuto variantu nenašel.
9. kap. 3.2.1 -
   - je běžně známo, že v případě magnetometru je nutné nejdříve kompenzovat vliv okolí na rozložení zemské magnetického pole kolem navigovaného objektu
   - při použití GNSS za účelem určení kurzu je nutné brát v úvahu vliv směru větru (pro letecké aplikace) a nespolehlivost při malých rychlostech
   - užití dvou antén je vhodné, nicméně určení kurzu ze znalostí pozic daných antén je značně nevhodné, řeší se to jinak za pomocí fáze nosného signálu
   - celá kapitola je značně zavádějící a nic neříkající. To, že jednotka umí vyřešit správně inicializaci sama samokalibrací, mi nepřipadá jako reálné a to kvůli nutným postupům při kompenzaci vlivu mg. měkkých a mg. tvrdých materiálů v blízkosti IMU na mg. pole Země.
10. U modelu mi chybí jednoznačné uvedení vstupů/výstupů, např. vektor měření jsem nikde nenašel. „Líbí" se mi, že student rozebírá poměrně obsáhle vektor řízení a nakonec jednou větou konstatuje – neměří se/není pozorovatelné, tudíž se nepoužije (str.62).
11. Obr. 5.6 a 5.7 - modelování šumu jen jako šum bílý je velmi zjednodušený přístup, přinejmenším by se mělo užít modelu exponenciálně korelovaného procesu, což modeluje nestabilitu biasu, pak náhodná konstanta pro ofset a pak bílý šum.
12. kap. 5.3.2 -
    druhý odstavec – nejsem si jist, zda jej chápu, neb popis je značně zavádějící. Co znamená, že každý senzor měří více veličin? To se mi nezdá. Myslí student IMU v jeho chápání? Pokud ano, tak myslí navigační jednotku, která v sobě již obsahuje KF, měří specifickou sílu a úhlovou rychlost a k tomu přes KF vyhodnocuje i polohové úhly. Takže se nedivím, že polohové úhly jsou korelované s úhlovými rychlostmi, neb jsou z nich počítány. V navigační oblasti je velmi neobvyklé, aby matice R měla nenulové prvky mimo diagonálu.
13. pro ladění filtru se často používají rekurzivní algoritmy založené na sledování bělosti inovací.
14. Obr.6.1/2 – čím je to měřeno? + je zavádějící to pojit s RPY viz legenda grafů
15. Obr. 6.4 – jste si jist měřením? hodnoty cca (2-5)g mi připadají příliš vysoké. 5g v ose x není ani reálné!

16. Obr. 6.5/6 – zobrazení odchylek dává smysl, ale zobrazení jejich absolutních hodnot již nikoliv. Vždy je třeba sledovat bělost, resp. střední hodnotu, což takto nejde.
17. Obr.6.9/10 – ani jeden z obrázků není správný – první – přílišná důvěra v měření, druhý – zatlumený a tudíž se zpožděním. Dobrý by byl kompromis v chování z těchto dvou.
18. Obr. 6.11/12 – nerozumím důvodům pro dané obrázky, chybí mi k nim jakékoliv zhodnocení či komentář.
19. V kapitole 6 mi všeobecné chybí podrobné zhodnocení dosažených výsledků.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

Práce má dozajista zajímavé zadání, bohužel provedení není dotaženo. Ověření výsledků ať už pomocí simulace, tak i s reálnými daty není vhodně provedeno a spíše ukazuje na špatné vyladění modelu. V práci postrádám rozbor výsledků a jejich zhodnocení. Zase na druhou stranu kladně hodnotím, že si dal student práci s formální stránkou, takže práce je přehledně strukturovaná a i po grafické stránce hezká.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm C - dobře.

Datum: 11.6.2018