POSUDEK VEDOUCÍHO ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Indoor UAV localization using ultra-wideband system
Jméno autora:	**Jakub Csanda**
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra řídicí techniky
Vedoucí práce:	Ing. Milan Rollo, Ph.D.
Pracoviště vedoucího práce:	Katedra počítačů

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání **náročnější**

Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.

Zadání práce považuji za náročnější. Autor se musel seznámit se stavem problematiky v oblasti indoorové lokalizace, senzory na principu UWB a znalosti pak aplikovat v praxi ve formě implementace algoritmů v prostředí Robot Operating System (ROS) s využitím knihoven třetích stran.

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.

Autor splnil zadání práce. Práce zahrnovala zpracování teoretického přehledu lokalizačních technologií, identifikaci vlastností UWB systému od externího dodavatele, návrh rozšíření řídicího systému vyvinutého ve skupině MRS na katedře kybernetiky a ověření v simulaci s využitím systému ROS a simulátoru Gazebo. Praktické ověření v reálném prostředí nebylo provedeno z důvodu koronavirové situace a tím souvisejícího omezení přístupu do vhodných prostor s instalovanou infrastrukturou. Po konzultaci s vedoucím práce byla rozšířena simulační část práce.

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.

Autor pracoval samostatně, k praktické realizaci přistupoval aktivně. Prokázal schopnost samostatně zpracovat zadané téma, v průběhu řešení dokázal identifikovat důležité podproblémy a tyto problémy analyzovat a vyřešit. V průběhu práce autor využíval nástroje pro kolaborativní vývoj (Git, GitLab).

Odborná úroveň **B - velmi dobře**

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

Práce je na velmi dobré odborné úrovni. Autor aplikoval v praxi znalosti z oblasti řídicích systémů a robotiky. Autor se postupně problematice lokalizace ve vnitřním prostředí, následně rozšíření stávajícího systému řízení o lokalizaci založenou na využití UWB senzorů, návrhu řídicí architektury na vyšší úrovni a ověření vlastností navržených metod řízení v simulaci. Autor provedl experimentální ověření simulací v prostředí ROS, kde prokázal funkčnost navrženého řešení. Oceňuji schopnost metody ověřit v prostředí ROS ve spojení se simulátorem Gazebo, protože prvotní konfigurace, spuštění a implementace nových metod v tomto prostředí je relativně obtížné. Autor zároveň prokázal schopnost integrovat celou řadu různých systémů, pro identifikaci vlastností senzorů využil vlastní systém založený na jednočipovém počítači. V rámci práce použil několik programovacích jazyků.

Drobné výhrady mám k relativně stručnému popisu vlastností UWB systému od společnosti ALIS Tech, který nespecifikuje žádné výrobcem udávané údaje, či podrobnosti o použitých modulech, či možnostech konfigurace systému a různých módech provozu. Druhá výtka směřuje k faktu, že autor identifikoval přesnost lokalizace tagů jako nedostatečnou pro stanovení přesného určení orientace v ose z (headingu), ovšem práce neposkytuje návrh řešení tohoto problému, autor na problém pouze odkazuje v závěrečné kapitole v sekci Future work.

ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

POSUDEK VEDOUCÍHO ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

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

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

Po formální stránce je práce dobře zpracována, je vhodně členěna do kapitol a sekcí, obsahuje všechny náležité části. Práce je zpracována v anglickém jazyce na dobré úrovni, obsahuje přijatelné množství gramatických chyb. Po typografické stránce jsou kolem některých obrázků velká odsazení, což bude pravděpodobně způsobeno vlastnostmi šablony a vzhledem k rozsahu práce to nepovažuji za zásadní.

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.

Autor se v práci odkazuje na více než 30 publikačních zdrojů, jde o kombinaci odborných publikací a webových stránek. Vzhledem ke spíše praktickému zaměření práce je počet zdrojů dostatečný. Jedná se o relevantní a aktuální publikace z nedávných let. Zdroje jsou v práci řádně citovány a odlišeny od vlastních úvah. Citace jsou v souladu s konvencemi. Citace 28 a 29 jsou špatně vysázené.

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.

Z důvodu koronavirové situace nebyl proveden experiment v reálném prostředí. Namísto něj byla posílena simulační část, kdy autor vytvořil model prostředí a kvadkoptéry v simulátoru Gazebo a do systému integroval knihovny pro detekci a rozpoznávání April tagů. Vytvořil systém pro řízení mise a reakci na neočekávané události. Vlastnosti systému jsou dokumentované ve videu přiloženém k práci.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE

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

Jedná se o kvalitní a přehledně zpracovanou práci, autor prokázal aktivní a samostatný přístup k řešení zadaného problému. Autor prokázal schopnost uplatnit zkušenosti získané během studia, v rámci práce využil celou škálu znalostí z různých oborů. Prokázal schopnost zorientovat se v cizím kódu a integrovat systémy třetích stran.

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

Datum: 31.8.2020 Podpis: Milan Rollo

Posudek oponenta závěrečné práce

Název práce:	Interiérová lokalizace bezpilotních prostředků s využitím systému UWB
Jméno autora:	Jakub Csanda
Typ práce:	Magisterská
Ústav:	ČVUT v Praze
Fakulta:	Fakulta elektrotechnická
Katedra:	Katedra řídicí techniky
Oponent práce:	Ing. Pavel Petráček, ČVUT v Praze, Katedra kybernetiky

Náročnost zadání

Zadání obsahuje rešerši odborné literatury, implementační část, simulační ověření, a provedení reálného experimentu. Díky komplexnosti zadání jej hodnotím jako **náročnější**.

Splnění zadání

Zadání hodnotím jako **splněné**. Bod č. 6 (provedení reálného experimentu) nebyl vypracován z důvodu koronavirové krize, což považuji za dostatečný důvod.

Zvolený postup řešení

Postup řešení považuji za **správný**. Student nejprve odhadl přesnost měření reálného UWB systému a výslednou statistickou analýzu použil pro návrh UWB senzorů v simulaci. Senzor byl v simulaci navržen včetně mnoha možných poruch a časových zpoždění, což hodnotím kladně. Jelikož reálný experiment nebyl vypracován, postup jeho návrhu a vyhodnocení nemohu bohužel posoudit.

Odborná úroveň

Student nastudoval, naimplementoval, zaintegroval a ověřil jak specifikovalo zadání. K odborné úrovni mám však několik poznámek.

1. Kapitola č. 2 zabývající se teoretickými porovnáními lokalizačních přístupů je dobře a zajímavě napsána a ukazuje na širší rozhled studenta v problematice. Lokalizační metody a principy jsou popsány podrobně a zároveň stručně, avšak místy velmi vágně (např., str. 25, kap. *Variants of Kalman Filter*: "..there exists an approach that..", ale již není dále rozvedeno jaký "approach" a na jakém principu pracuje) a díky tomu hodnotím porovnání této práce s podobnými metodami v odborné literatuře podprůměrné. Místo předpokládaného popisu jednotlivých state-of-the-art metod, vyzdvihnutí jejich plusů a mínusů, a porovnání s vlastní prací student pouze obecně popsal fyzikální principy a metodologii měření. Leč bych u diplomové práce očekával podrobnou rešerši state-of-the-art metod, počet referencí odborné literatury je velmi malý.

2. Navržené řešení obsahuje na bezpilotní helikoptéře 2 UWB přijímače, což implikuje odhad orientace ("heading") helikoptéry. To student však na základě surových dat v Obr. 4.7 vyhodnotil jako nespolehlivé a tudíž nepoužitelné. Vzhledem k tomuto tvrzení mi ale v práci chybí pokus o vylepšení odhadu orientace s využitím vhodného filtru k fúzi dat z obou přijímačů a použití výstupu tohoto filtru jako vstupu do estimátoru orientace dle Obr. 3.8.

3. V kapitole 4.2 je popsána přesnost měření pro několik módů dostupného UWB systému, avšak není popsáno jakým způsobem student vybral "ten správný" nebo "ten nejlepší" na základě naměřených dat.

4. U vyhodnocení přesnosti UWB lokalizace bych ocenil i další evaluační metriky, abych dokázal lépe posoudit chování systému. Vhodnou metrikou by mohla být například efektivní hodnota chyby nebo střední kvadraticá chyba.

Odbornou úroveň práce hodnotím stupněm **C - dobře**.

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

Práce je psána velmi dobrou angličtinou s malým počtem chyb rostoucím s počtem stran. Nešťastné mi však přijde místami špatné formátování (viz. Obr. 3.7.) a formální prezentace naměřených výsledků, kde obrázky a grafy obsahují redundantní informaci jak v popisku tak v titulku obrázku (viz Obr. 4.4. - 4.6. a 6.1. - 6.8.). Popisky podobrázků se navíc skoro překrývají s popiskem celého obrázku a navíc neobsahují číslování, za což pravděpodobně může použitá šablona. Velikost písma u některých obrázků je až zarážející (viz. Obr. 3.1.). Rozsah práce je pro diplomovou práci v pořádku. Struktura práce je zvolena vhodně. Kritérium formální a jazykové úrovně hodnotím stupněm **B - velmi dobře**.

Výběr zdrojů, korektnost citací

Počet citací je na diplomovou práci podprůměrný (25 referencí na odbornou literaturu), což souvisí již se zmíněným stylem provedené rešerše odborných zdrojů. Reference [2] neobsahuje titul práce. Výběr zdrojů a korektnost citací hodnotím stupněm **C - dobře**.

CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Jelikož jsou lokalizační systémy založené na principu UWB typicky plně funkční v simulačním prostředí, jejich použitelnost v reálném světě bývá často limitována. Je tedy škoda, že koronavirová krize nedovolila studentovi naměřit data na reálné helikoptéře a skutečně tak odhalit všechny výhody a nevýhody použitého lokalizačního systému. Předloženou práci hodnotím stupněm **C - dobře**.

Doplňující otázky

1. Obrázky 3.7 a 3.8 naznačují, že stavové estimátory fúzují informaci o požadovaném stavu (např., "desired heading rate") neboli stavovou referenci z kontroleru helikoptéry. Můžete vysvětlit jakým způsobem jsou požadované reference stavovými estimátory fúzovány?

2. Popište nebo poukažte na to jak byste využil změřené statistické parametry (kap. 4.2) Vámi použitého systému UWB pro návrh Kalmanova filtru lokalizačního výstupu ke zlepšení přesnosti odhadu pozice a orientace bezpilotní helikoptéry.

3. Vámi navrhnuté řešení pro navigaci bezpilotní helikoptéry (kap. 5.2.2) v úloze inspekce skladu plánuje pohyb helikoptéry mezi předem danými pozičními referencemi pouze sekvenčně. Jak byste

využil problém obchodního cestujícího "Travelling Salesman Problem" ve stejné úloze? Jak byste v řešení TSP optimalizoval inspekci skladu vzhledem k letovému času nebo vzhledem k rychlosti?

V Praze 30. srpna 2020

Pavel Petráček