

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Construction of 3D Point Clouds Using LiDAR Technology
Jméno autora:	Tomáš Trafina
Typ práce:	bakalářská
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

<b>Zadání</b>	<b>mimořádně náročné</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Svou komplexností se jednalo o velmi náročné zadání. Cílem práce bylo vytvořit skener 3D prostředí založený na bázi LiDARu. Autor musel integrovat řadu hardwarových senzorů, provést potřebné interpolace a fúze dat, transformovat data mezi různými souřadnými systémy, identifikovat možné zdroje nepřesností a odstranit je. V práci byla realizována řada praktických testů vyvinuté technologie.	

<b>Splnění zadání</b>	<b>splněno</b>
<i>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.</i>	
Všechny cíle vytýčené v zadání práce byly splněny.	

<b>Aktivita a samostatnost při zpracování práce</b>	<b>A - výborně</b>
<i>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 samostatně tvůrčí práce.</i>	
Autor se práci věnoval samostatně v rámci studentské odborné činnosti. S autorem jsem komunikoval velmi intenzivně, rozsah aktivit výrazně překračuje obvyklé bakalářské práce. Dokázal navrhnout postupy řešení, implementovat je a ověřit jejich výstupy. V případě zjištění nedostatků metod a postupů identifikoval jejich příčiny a odstranil je.	

<b>Odborná úroveň</b>	<b>A - výborně</b>
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Práce je odborně na vysoké úrovni. Autor využil celou řadu poznatků získaných během studia a to z oblastí sensoriky, robotiky i informatiky. Autor implementoval řadu interakčních protokolů pro různé senzory (dva různé LiDARy, IMU jednotka, RTK GNSS přijímač), zabýval se interpolací a časovou synchronizací získaných údajů, transformací mezi několika souřadnými systémy. Provedl celou řadu experimentů zaměřených na analýzu vlastností jednotlivých senzorů a jejich vzájemnou kompatibilitu (např. rušení IMU motorem z LiDARu). Výsledný software umožňuje několik módů operace pro online i offline provozní režim, funguje na různých operačních systémech i na počítačích architektury ARM využívané na palubě bezpilotního prostředku. Autor při své práci využíval řadu nástrojů třetích stran (zejména software pro manipulaci se soubory formátu .las). Autor porovnal výsledky poskytované různými LiDARy a dále i výstupy z fotogrammetrických metod.	

<b>Formální a jazyková úroveň, rozsah práce</b>	<b>B - velmi dobře</b>
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Práce je po formální stránce kvalitně zpracována, obsahuje všechny náležitě části, je vhodně členěna do kapitol a sekcí. Typograficky je na vysoké úrovni. Práce je napsána v anglickém jazyku, přičemž má občas autor problémy se správně technicky vyjádřit. Práce obsahuje gramatické chyby, tyto nicméně zásadně neovlivňují čitelnost. Rozsah práce přesahuje požadavky kladené na bakalářské práce.	

## 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. Posudte, 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.

Zdroje odkazované v práci se týkají převážně manuálů k použitým sensorům. Uvítal bych více odkazů na odbornou literaturu, ze které by bylo možné čerpat podrobnosti k použitým metodám. Použité zdroje jsou v práci řádně citovány.

## 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.

Oceňuji vysokou úroveň vytvořeného programového řešení, kdy se autor musel zabývat celou řadou aspektů, včetně optimalizace kódu pro využití na palubě malých bezpilotních prostředků. Autor vytvořil řadu pomocných utilit pro vizualizaci a analýzu dat, kódy jsou v jazycích Matlab a Java. V rámci práce byla provedena celá řada dílčích experimentů, které vyžadovaly velmi náročné zpracování pro identifikaci zdrojů nepřesností a jejich odstranění. Vytvorený systém bude dále využíván na katedře počítačů k výzkumné činnosti.

## III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE

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

Lze konstatovat, že všechny cíle vytýčené v zadání práce byly splněny. S přístupem autora i s dosaženými výsledky ve formě funkčního 3D skeneru jsem velmi spokojený. Autor věnoval práci velké množství času a úsilí a prokázal schopnost samostatně vyřešit velmi komplexní problém.

Při obhajobě doporučuji položit autorce následující dotaz:

1. Jakým způsobem je možné vyřešit problém s nepřesnou informací o azimutu získávanou z IMU, jež způsobuje nepřesnosti výsledného 3D modelu diskutované v závěru práce?

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

Datum: 15.6.2016

Podpis: Milan Rollo

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	Construction of 3D Point Clouds Using LiDAR
<b>Jméno autora:</b>	Tomáš Trafina
<b>Typ práce:</b>	bakalářská
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta elektrotechnická (FEL)
<b>Katedra/ústav:</b>	Katedra řídicí techniky
<b>Oponent práce:</b>	doc. Ing. Jan Faigl, Ph.D.
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	Katedra počítačů

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<b>náročnější</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Téma bakalářské práce je zaměřeno na mapování prostředí do podoby 3D mračna bodů s využitím laserových dálkoměrů (LiDAR). Jedná se o aktuální téma a v současné době je k dispozici relativně velké množství literatury v podobě konferenčních a časopiseckých publikací v oboru mobilní robotiky a počítačového zpracování obrazu. Proto z hlediska řešeršní části práce považuji zadání za náročnější.	
<b>Splnění zadání</b>	<b>splněno s většími výhradami</b>
<i>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.</i>	
S ohledem na první tři body zadání, jsem v textu práce nenalezl kromě kusých informací v části 4.1 a úvodního obrázku 1.1 diskusi o způsobu využití dálkoměrných senzorů pro stavbu 3D mapy ani diskusi hodnocení kvality mapy, či jak se mapa dále používá nebo zpracovává. V práci též postrádám identifikované požadavky pro vytvářený 3D model, např. požadavek časové synchronizace dat z více senzorů a dále pak diskusi zdrojů nepřesností. Je možné, že během řešení bakalářské práce byly tyto obecné problémy diskutovány, v práci však chybí odpovídající kapitoly, které by problémy a řešení přiblížovaly čtenáři. Dále v práci postrádám motivaci a specifikaci prostředí, pro která bude 3D mapa vytvářena, neboť to má zásadní význam pro výběr vhodné metody. V textu jsou uvedeny pouze závěry z realizované implementace a provedených experimentů. Dostatečnost výsledků nelze z textu vyvodit, neboť předpokládané požadavky nejsou v textu uvedeny.	
<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>částečně vhodný</b>
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
V práci je zvolen přístup mapování 3D mračna bodů z laserového dálkoměru založený na předpokladu lokalizovaného senzoru. Uvedená argumentace v části 4.1 odůvodňuje tento přístup pouze částečně, neboť práce neobsahuje souhrn řešerše a aktuálních výsledků v oblasti mapování terénu vzdušnými prostředky, zejména metodami současné lokalizace a mapování, které lze doplnit informacemi z GPS i IMU jednotek, ale které také pracují i bez signálu GPS. Jediná citovaná literatura je z roku 2006, což pro tento dynamický obor považuji za nedostatečné. Argumentace offline a „real-time“ zpracování mi přijde lichá, neboť většina současných technik spíše funguje v offline režimu, ve kterém lze výrazně zvýšit přesnost tzv. metodami uzavírání smyček, či zpracování snímku po snímku. Navíc tyto metody fungují též v on-line režimu, ve kterém je například využito menší snímkovací frekvence zpracování dat, ale data jsou ukládána všechna pro offline precizaci mapy. V práci dále postrádám jasně čitelný argument požadavku on-line zpracování dat, např. pro on-line rozhodování na základě vytvořené mapy.	
<b>Odborná úroveň</b>	<b>D - uspokojivě</b>
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Práce se výhradně zabývá využitím laserových dálkoměrů (LiDAR) pro rekonstrukci prostředí. Úvodní kapitoly velmi stručně představují princip činnosti. Z uvedeného popisu mi není zřejmé, zdali popisované senzory skutečně používají laserovou rovinu pro měření. Zpravidla se totiž jedná o rozmítaný laserový paprsek použitím rotujícího zrcátka. Práce relativně zdlouhavě diskutuje souřadné systémy robotu a senzorů a jejich vzájemný převod, což lze považovat za standardní. Naopak práce nezmiňuje jak přesně určit parametry transformačních rovnic, či zdali je možné použít nějakou formu auto-kalibrace. Jedním z cílů práce je vytvoření přesného modelu prostředí, v práci však není uvedeno žádné kvalitativní kritérium blíže specifikující co je to přesný model. V popisu experimentálních výsledků jsou předkládány pouze obrázky rekonstruovaného	

prostředí. V literatuře lze najít několik způsobů jak měřit kvalitu modelu. Z důvodu chybějící motivace a aplikačního scénáře není zřejmé, zdali je cílem inspekce nějakého objektu (kde lze využít porovnání známého modelu s vytvořeným modelem) nebo lokalizace, kdy lze využít nějakého referenčního systému, nebo pouze vizuálně přijatelného výsledku, kde lze pravděpodobně kvalitu řešení hodnotit na základě zpětné vazby uživatelů.

**Formální a jazyková úroveň, rozsah práce**

**C - dobře**

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

Práce je psána anglicky a kromě překlepů a drobných chyb (členy, čárky), které jsou pro první větší text pochopitelné, je jazyková úroveň přiměřená technickému textu. Práce je podrobně členěna na malé pojmenované odstavce mnohdy o jedné nebo dvou krátkých větách, které dle mého názoru ruší plynulost textu a snižují čtivost. Nadpisy tabulek se zpravidla umísťují nad tabulku. Pozitivně hodnotím ilustrační obrázky, i když z hlediska zaměření na LiDAR senzory považuji za vhodné dokumentovat též vnitřní princip činnosti rotačních laserových dálkoměrů, které až na výjimky pracují na principu pevného vysílače a přijímače a rozmítaného laserového paprsku otočným zrcadlem.

**Výběr zdrojů, korektnost citací**

**E - dostatečně**

*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.*

Text práce obsahuje převážně odkazy na technické specifikace a manuály. V práci je citována pouze jediná odborná publikace a to z roku 2006. S ohledem na aktuální vývoj v oblasti vzdušného mapování malými robotizovanými prostředky považuji tento výběr za nedostatečný. U on-line zdrojů chybí data citace.

**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 textu práce je patrné, že nemalou část časové dotace na řešení práce bylo nutné strávit hardwarovou integrací senzorů a experimentováním. Přesto se domnívám, že vyhodnocení a vzájemnému porovnání metod mohlo být věnováno více času. Vzhledem k existenci knihoven jako jsou PCL pro zpracování mračka bodů a několika dostupných SLAM řešení, bych očekával srovnání s existujícími přístupy, také proto, že místo vzdušného prostředku bylo použito pozemní vozidlo pro sběr dat. Samotné porovnání s fotogrammetrickými metodami pro vytvoření modelu jednoduchého objektu nepovažuji za příliš přínosné, nejen z důvodů chybějící kvalitativního zhodnocení, ale také z důvodu chybějící motivace, zdali je taková 3D rekonstrukce jediného objektu v souladu s původním cílem mapování poněkud rozlehlejších prostředí vzdušnými prostředky.

**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.*

I přes výše uvedené připomínky mohu na základě předloženého textu konstatovat, že student prokázal schopnost nastudovat problematiku a navrhnout vlastní řešení, které experimentálně ověřil v několika reálných experimentech. Návrh řešení je spolu se zjištěnými vlastnostmi prezentován v textu práce. V práci postrádám zejména hlubší rešerši souvisejících přístupů a detailnější popis principu činnosti laserových dálkoměrů, na které je práce zaměřena. Za podstatný nedostatek považuji chybějící kvalitativní a též kvantitativní hodnocení mapy prostředí jako 3D mračka bodů získané LiDAR senzorem. K obhajobě mám následující otázky:

- Ve zmiňovaných zdrojích nepřesností je uvedena také časová synchronizace dat. Jakou roli v tomto problému hraje připojení jednotlivých senzorů k palubnímu počítači? Je možné problém synchronizace eliminovat HW řešením, například využitím operačního systému reálného času nebo dedikovaným výpočetním modulem, např. s využitím FPGA?
- Dalším zdrojem nepřesností je chybný odhad natočení z IMU. Je možné s ohledem na použitý Kalmanův filtr v IMU jednotce získat přístup také k odhadům neurčitosti odhadu natočení? Pokud ano, jakým způsobem lze tuto informaci využít pro další zpracování?

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **C - dobře**.

Datum: 12.6.2016

Podpis: