

# Posudek vedoucího závěrečné práce

Název práce: Lidar and multi-camera calibration and fusion  
Jméno autora: Martin Fischer  
Typ práce: Bakalářská  
Ústav: ČVUT v Praze  
Fakulta: Fakulta elektrotechnická  
Katedra: Katedra kybernetiky  
Vedoucí práce: Ing. Pavel Petráček, ČVUT v Praze, Katedra kybernetiky

## Náročnost zadání

Zadání je **náročnější**, a to převážně svou komplexností pro studenta bakalářského studia. Prvním cílem zadání bylo samostatné nastudování a následná implementace kalibračního procesu mezi laserovým skenerem a vícero kamerami. Druhým cílem bylo využití získané kalibrace mezi senzory k fúzi barevné informace kamer s prostorovou informací z laserového skeneru. Součástí zadání byla taktéž analýza a ověření navržených metod na zašuměných datech z reálné helikoptéry.

## Splnění zadání

Student **splnil** zadání v jeho plném rozsahu.

## Aktivita a samostatnost při zpracování práce

Student pracoval velmi aktivně. Pravidelně se dostavoval na konzultace a reagoval na mé připomínky. Doporučenou literaturu si nastudoval, určil její možné nedostatky a sám přišel se směrem vývoje, jenž si dával za cíl tyto nedostatky odstranit. Aktivitu a samostatnost studenta hodnotím stupněm **A - výborně**.

## Odborná úroveň

Použité postupy, řešení, metody a implementované algoritmy jsou popsány srozumitelně. Při návrhu technického řešení student správně odhalil velkou důležitost správné a přesné kalibrace, a připravil tak funkční kalibrační postup, jenž bude dále používán ve skupině Multi-Robot Systems. Studentem navržené kalibrační řešení navíc potlačuje i nedostatky state-of-the-art literatury [Pusztai Z., et al., Accurate Calibration of Multi-LiDAR-Multi-Camera Systems, 2018], která vyžaduje apriorní informaci o relativní poloze kalibračního vzoru vzhledem ke kalibrovaným laserovým skenerům. Za mírný nedostatek práce považuji neobecně psaný kód a absenci kvantitativního vyhodnocení použitých algoritmů pro fúzi barevné a prostorové informace. Vzhledem ale již k tak širokému rozsahu práce, jeho náročnosti a také koronavirovým omezením nepovažuji tento bod za kritický. Odbornou úroveň práce hodnotím stupněm **A - výborně**.

## Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

Formální úroveň práce je velmi dobrá. Stejně tak rozsah práce. Text práce je napsaný dobře srozumitelnou angličtinou, jejíž úroveň rostla s nabranými zkušenostmi studenta. Formální a jazykovou úroveň práce hodnotím stupněm **A - výborně**.

## Výběr zdrojů, korektnost citací

Práce obsahuje vhodně použité citace týkající se použitých algoritmů a prací podobného zaměření. Použitá literatura je citována korektně. Výběr zdrojů je v pořádku a jejich množství považuji za dostačující. Výběr zdrojů a korektnost citací hodnotím stupněm **A - výborně**.

---

## CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE

Předložená práce je z mého pohledu výborná. Student plně splnil všechny body zadání, dle kterého navrhnul vhodnou metodu kalibrace senzorů na palubě bezpilotní helikoptéry, jenž přesahuje i nejnovější přístup k řešení úloze v dostupné literatuře. Kalibraci dále využil pro fúzi barevné a prostorové informace, kde pro snížení vlivu šumu na výstup student kvalitativně ověřil několik filtrů a porovnal jejich nastavení. Navržené metody student analyzoval v simulaci a také je ověřil na datech z reálného hardwaru, což hodnotím kladně.

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

V Praze 31. května 2021

Pavel Petráček

**I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE**

<b>Název práce:</b>	Kalibrace a fúze lidarů a vícekamerového senzoru
<b>Jméno autora:</b>	Martin Fischer
<b>Typ práce:</b>	bakalářská
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta elektrotechnická (FEL)
<b>Katedra/ústav:</b>	Katedra řídicí techniky
<b>Oponent práce:</b>	Ing. Petr Čížek
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	Katedra počítačů

**II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ**

<b>Zadání</b>	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Práce se zabývá návrhem systému obarvování mračna bodů z laserového skeneru (LiDAR) pomocí snímků z RGB kamery upevněných na bezpilotním létajícím prostředku. Řešení takového úkolu vyžaduje přesnou kalibraci vzájemné polohy kamery a skeneru, projekci bodů skeneru do vizuálního pole kamery s následným obarvením bodů a jejich filtrací. Zadání považuji v rámci bakalářské práce za náročnější.	

<b>Splnění zadání</b>	splněno
<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>	
Práce popisuje řešení obarvování mračna bodů mezi skenerem a jednou kamerou, zatímco v zadání se mluví o vícekamerovém setupu. Vzhledem k jednoduché rozšiřitelnosti popsané metody na více kamer ale považuji zadání za splněno.	

<b>Zvolený postup řešení</b>	správný
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Student zvolil správný postup řešení a použité postupy a nástroje jsou aktuální a dosažené výsledky tomu odpovídají. Nicméně dokumentace postupu v rámci práce není explicitní a na několika místech si čtenář musí zvolený postup na základě znalostí dané domény domyslet.	

<b>Odborná úroveň</b>	B - velmi dobře
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Navržené řešení je správné a využívá netriviálních metod strojového vidění a zpracování obrazu které student nastudoval z odborné literatury. U popisu zvoleného řešení však postrádám text který by shrnul kompaktně navržené řešení, které by bylo dále rozvedeno v jednotlivých sekcích. U některých kroků také není zjevná argumentace proč bylo zvoleno dané řešení. Například, v kapitole 5.1, proč se používá voxel grid a proč je nutné mračno bodů decimovat? Výsledky navržené metody kalibrace jsou dobře reprodukovatelné a v rámci simulačních experimentů i kvantitativně vyhodnocené. Výsledky testů samotného obarvování mračna bodů jsou pak kvalitativní s nejasným měřítkem kvality a samotný setup není dobře dokumentován (kde se vzalo simulační prostředí, v čem bylo simulováno, použilo se více snímků/skenů k poskládání skenu, jaká byla trajektorie drony, atd.)	

<b>Formální a jazyková úroveň, rozsah práce</b>	C - dobře
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Práce je psána v anglickém jazyce s minimem gramatických chyb a překlepů. Text práce je doplněn ilustracemi, které jsou ale	

občas zbytečně převzaté (např. Obrázek 4.4), místo aby ukazovali přímo výstupy vytvořeného řešení. Matematický formalismus není konzistentní. Nevidím důvod v redefinici symbolů pro dvě kapitoly různě (Tabulka 1.2). Proč např. Rovnice 2.5 nepoužívá notaci pro homogenní souřadnice. Některé symboly nejsou definovány (např. Rovnice 4.1, 4.2, 5.2). Rozsah práce odpovídá mému očekávání 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.*

Citace jsou aktuální a vhodně doplňují text práce. Všechny relevantní zdroje jsou citovány. Bibliografické údaje citací jsou až na citace [18, 24] kompletní. Citace [37] je konferenční příspěvek z konference British Machine Vision Conference. Doporučil bych také věnovat více pozornosti formátování a údajům v jednotlivých citacích, aby byli konzistentní, viz například citace [23] – není nutné vypisovat editory, [32] – u článku nedává smysl psát „accessed on“, Obecně není nutné používat v citacích měsíce, nebo místo konání konference. Tyto údaje akorát znehledňují seznam citací.

**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.*

Předložená práce shrnuje výsledky řešení projektu obarvování mračna bodů z laserového skeneru pomocí snímků z RGB kamery. Práci považuji za náročnější a navržené řešení je kvalitní. V tomto směru považuji práci za nadprůměrnou. Bohužel dokumentace postupu v práci není explicitní a na několika místech si čtenář musí zvolený postup na základě znalostí dané domény domyslet. Kromě toho není dobře použít matematický formalismus a prezentované výsledky jsou bohužel hlavně kvalitativní s nedostatečným popisem.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **B - velmi dobře.**

**Otázky k obhajobě:**

- 1) Jakým způsobem byste rozšířil navrhované řešení pro více kamer? Mohou zde vzniknout nové problémy plynoucí například z vzájemného překryvu zorného pole kamer?
- 2) U obrázku 6.1 prosím vysvětlete co je „absolutní chyba“?

Datum:

Podpis: Petr Čížek