

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	Camera Rig Calibration
<b>Jméno autora:</b>	Stanislav Steidl
<b>Typ práce:</b>	diplomová
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta elektrotechnická (FEL)
<b>Katedra/ústav:</b>	Katedra kybernetiky
<b>Oponent práce:</b>	Radim Šára
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	Katedra kybernetiky

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Práce se týká geometrické kalibrace hybridního systému různých typů kamer, a to jak vnitřní, tak vnější kalibrace. Tyto kalibrační problémy jsou studovány dlouhou řadu let, takže teoretické základy jsou solidní a existují dokonce dostupné softwarové moduly pro jednotlivé kalibrační úlohy. Náročnost zadání vidím v tom, že docílit kvalitního výsledku je obtížné v reálných podmínkách, kdy řada standardních předpokladů neplatí a tudíž není možné standardní řešení použít.	

Splnění zadání	splněno s menšími výhradami
<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>	
Diplomant zadání formálně splnil. Mé výhrady se týkají zpracování textu diplomové práce, zejména úplnosti, přesnosti a srozumitelnosti textu a kvality experimentálních výsledků. Recenzent mimo obor by z předložené práce nebyl schopen posoudit míru splnění zadání. Viz detailní poznámky.	

Zvolený postup řešení	správný
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Pro synchronní kamery je zvolený postup v zásadě správný. Jak diplomant nakonec sám také zjistil, pro nesynchronní kamery by bylo třeba úlohu přeformulovat. To ale nebylo podstatou zadání.	

Odborná úroveň	D - uspokojivě
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Kalibrační úloha je postavena nad existujícími softwarovými moduly. Mnoho kroků je převzato mechanicky. Matematická formulace kalibrační úlohy v práci chybí.	

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce	D - uspokojivě
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Práce obsahuje neobvyklý počet překlepů a značný počet chyb v angličtině. Některé výrazy jsou zavádějící (např. problematic → problem (p.8), iteratively → analogically (p.18), volatile → susceptible (p.20), shrinks → reduces (p.20), bellow → below (p.40), amount → number (na více místech) ). Celkově je ale práce pochopitelná.	

#### Výběr zdrojů, korektnost citací

D - uspokojivě

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.

V práci chybí přehled *state-of-the art* metod kalibrace podobných systémů kamer (senzorů), kterými se v autonomní robotice zabývali různí autoři. Například práce Taylora a Nieta, kteří kalibrují hybridní systém v mnohem méně omezených podmínkách (z volné jízdy, bez kalibračních značek).

#### 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.

#### Zásadní nedostatky a nejasnosti:

1. Kap. 3: Jak se obecně rozhodne o rozdělení kamer na *main, secondary, connecting*? Jaké podmínky musí být splněny, aby rozdělení bylo možné? Jak je splnění těchto podmínek v popsané implementaci kalibračního protokolu ověřeno?
2. Co je míněno pod pojmem *absolute pose estimate* v kap. 2.7? Jde o rotaci, translaci, ohniskovou vzdálenost a parametr v podílovém modelu radiálního zkreslení? To je zásadní otázka pro porozumění celé práci.
3. Za jakých předpokladů lze za věrohodnostní funkci pokládat prostý součet reziduálních chyb (3.1)? Znamená to, že detektor kalibračních značek nedělá chyby?
4. V kap. 6.1 chybí kvantitativní srovnání. Jak moc přispělo vyrovnání svazku ke zlepšení počátečních výsledků?
5. Z čeho plyne, že *experiments have also shown that the implemented intrinsic calibration performs [worse than] the state of the art calibration methods*? V práci jsem žádné srovnání nenašel.
6. Jaký byl zorný úhel kamer *slave* ve trifokální kameře? To je dost podstatná informace. Obrázek ze stejné pozice vozidla jako je obr. 5.2 by pomohl čtenáři porozumět obtížnosti kalibrační úlohy.
7. Co má čtenář vidět v obr. 5.3-5.5, aby si mohl ověřit tvrzení, že *semi-independent camera system provides the best results*?
8. Text působí dosti roztříštěným dojmem. Proč například bylo nutné zařadit zvláštní kapitolu 6, když experimentálním výsledkům se věnuje kap. 5?

#### Menší nepřesnosti a nejasnosti:

1.  $R \in SO(3)$ , nikoliv jen  $R \in R^{3,3}$ . (str. 4)
2. Co se míní pod pojmem *scene constraints*? (str. 7)
3. Proč je dekompozice matice euklidovské transformace ve 3D výzvou? (str. 9)
4. Data nelze považovat za *prior knowledge*. (kap. 2.7.1)
5. Na str. 11 se tvrdí, že *Division model* je podobný *Kalibr model*. V jakém smyslu?
6. Co se míní pod pojmem *fully connected graph*? (str. 11) Pracuje se se dvěma grafy, jeden prostý a druhý ne, ale není jasné proč se rozlišují, k čemu přesně slouží a jaký je mezi nimi vztah.
7. Proč byl zvolen tak neobvyklý tvar matice euklidovské transformace ve vzorci (2.3)? Nechybí transpozice u rotační matice?
8. Je tedy na str. 12 kostra grafu optimální nebo není? O optimalitě v jakém smyslu se mluví?
9. Co se míní pod pojmem *median values of internal parameters*? Co se míní pod pojmem *most stable*? Co se míní pod pojmem *proposals*? Jak jsou parametry převedeny do *Kalibr radtan model*? (vše str. 15)
10. Jaké podmínky musí být splněny, aby se mohlo říci, že  $C_1, \dots, C_m$  are bundled together? Obecně vzato, úloha vyrovnání svazku není dostatečně popsána.

11. Není jasné co znamená *The main rig is constructed in a similar way* na str. 15. Podobně jako co?
12. Jaký je přesný význam vzorce (3.2)?
13. Co se rozumí pod pojmem *true outliers* na str. 33? Má to být *gross outliers*?

**Komentáře k obsahu a technickému stylu:**

1. Odkazy na číslované sekce, obrázky a tabulky se píší s velkým písmenem, bez členu, tedy například Fig. 2 a nikoliv fig. 2. (str. 8 a jinde)
2. Pokud jsou všechna čísla ve větě v rozsahu 0-9, potom se píší slovy, jinak se všechna čísla ve větě píší číslicemi. (str. 9, 10 a mnohde jinde)
3. Proč jsou některé vzorce vysázeny tučně? (např. na str. 16)
4. Stejná informace se opakuje několikrát (např. informace o trifokální a *TopView* kamerách).
5. Grafy dokumentující experimentální výsledky jsou rastrované, takže se ztrácí detail a některé jsou údaje nečitelné. (str 35, *the magenta ray* není vidět)
6. Obr. 6.5 není dostatečně popsán. Co vidíme v levém a co v pravém sloupci?

**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.*

Je nutno ocenit to, že diplomant pracoval s daty z reálného projektu, kde hardwarová omezení přinášela nemalé technické komplikace (synchronizace, kvalita dat). Na druhou stranu, takové podmínky podle mého názoru vytváří velký potenciál pro vyřešení skutečně obtížných úkolů a zodpovězení zásadních otázek. Jak kalibrovat nesynchronizovaný systém? Pokud není k dispozici interní kalibrace kamer s nelineárními zkresleními, je možné postupovat metodou *bootstrap*, kdy použijeme přesný algoritmus na počáteční kalibraci velmi zjednodušeného modelu a z takového počátečního odhadu pokračujeme kalibrací složitějšího modelu? Teoreticky takový postup nezaručuje nalezení optimálního řešení, ale prakticky se to může za určitých podmínek často stávat. Jaké ty podmínky jsou? Jak často se to stává?

Podle mého názoru student k těmto otázkám přispěl jen málo. Ukázal, že se mu podařilo sestavit kalibrační posloupnost pro interně nekalibrované kamery, kdy metoda *bootstrap* funguje na několika velmi podobných kalibračních datech. Meze tohoto přístupu nejsou ukázány. Další přínos studenta v této práci není velký. Zabýval se zejména tím, jak reprezentovat strukturu spolehlivých prvních odhadů vzájemných pozic (poloh a orientací) kamer v hybridním systému, ve kterém mají kamery velmi rozdílný úhel zorného pole. Získat tyto odhady bez interní kalibrace je velmi obtížné (jak ukazují i experimentální výsledky v kap. 6). Poté, co tyto odhady jsou k dispozici, problém externí kalibrace je standardní úloha řešená standardním software. Tato úloha je v práci ovšem popsána neúplně a nepřesně.

Pokud mělo být vedlejším výstupem diplomantovy práce přispění do reálného projektu, potom by bývalo bylo třeba, aby součástí práce byla i dokumentace toho jak se vytvořený SW systém instaluje a jak se nastavují volby (*options*) kalibrační úlohy. V práci uvedená dokumentace ale nesplňuje ani ty nejmínějšší požadavky na dokumentaci (výzkumného) software.

**Otázky do diskuse:**

1. Bral jste při výběru kalibračních snímků v úvahu také to, že kamery sice nejsou synchronní, ale lze vybrat časové okamžiky, kdy jejich časové značky jsou vzájemně blíže než v práci zmíněných 40 ms?
2. Jak byste přeformuloval kalibrační problém tak, aby bylo možno pracovat s nesynchronními kamerami (ve stejné časové bázi).
3. Proč vaše diplomová práce neděkuje projektu, který Vám poskytl data?

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **D - uspokojivě**.

Datum: 24.1.2018

Podpis: