

Prof. Ing. Jiří Pospíšil, CSc.
katedra speciální geodézie
Stavební fakulty ČVUT v Praze
Česká republika

V Praze 30. 9. 2015

OPONENTSKÝ POSUDEK

na disertační práci

„Kalibrace snímačů pro multispektrální datovou fúzi v mobilní robotice“

autorky Ing. Petry Kocmanové

Disertační práce je z vědního oboru geodézie a kartografie, má 117 stránek textu včetně 16 tabulek, 100 obrázků a citací 102 prací. Práce je doplněna přehledem publikací autorky vztahující se k disertační práci v rozsahu 3 stran s 20 prameny a 3 přílohami v rozsahu 4 stran a CD mediem, které obsahuje text disertační práce, program MultiSensCalib a korekční koeficienty pro měření vzdáleností dálkoměrné kamery Swissranger SR4000. Jmenovaná je doktorandem Ústavu geodézie na Stavební fakultě Vysokého učení technického v Brně. Školitelem je doc. Ing. Josef Weigel, CSc..

- **Aktuálnost zvoleného tématu**

V současnosti probíhá dynamický rozvoj v oblasti náhrady lidských činností robotickými systémy. Často jde o plnění různých důležitých funkcí v záchranných a průzkumných misích. Tato práce se zabývá senzorickými systémy dvou robotů, a to mapovacím robotem EnvMap a robotem Orpheus-X3 z multisenzorického systému Cassandra. Každý senzor musí být kalibrován a vystupující multispektrální data všech sloučena. Z tohoto důvodu je potřeba navrhnout a realizovat kalibraci jednotlivých senzorů a sloučení dat. Posuzovaná **disertační práce** se těmito problémy zabývá, a proto **je velmi aktuální**.

- **Splnění cíle disertační práce**

Cílem disertační práce bylo vyřešení následujících tří dílčích úkolů

1. Zlepšení přesnosti měření dálkoměrných snímačů použitých na robotech systému Cassandra.
2. Kalibrace kamer senzorické hlavičky robotu Orpheus-X3.
3. Multispektrální fúze dat ze snímačů senzorické hlavičky robotu Orpheus-X3.

ad 1. Byl navržen postup kalibrace, určeny korekční parametry pro měření vzdáleností a ověřena přesnost.

ad 2. Byl navržen kalibrační terč pro kalibraci kamer měřících v různých spektrech a provedena jejich kalibrace. Byl vytvořen program a manuál pro kalibraci.

ad 3. Byl navržen algoritmus fúze dat z kamer sensorické hlavičky. Výpočetní postupy jsou vytvořeny v programu Matlab a jsou uvedeny na CD nosiči v příloze disertační práce.
Stanovený **cíl byl úspěšně splněn.**

- **Postup řešení, výsledky disertace a přínos doktorandky**

V rámci disertační práce doktorandka navrhla metodiku pro kalibraci TOF kamery SwissRanger SR4000 (výrobce deklaruje přesnost jen v centrální oblasti kamery), laserových skenerů Velodyne HDL-64 a Velodyne HDL-32. Tyto zařízení jsou součástí robotického systému Cassandra. Doktorandka musela vyřešit návrh kalibračního terče použitelného pro snímače ve třech různých spektrech záření. První terč koncipovala tak, aby dostatečného kontrastu šachovnicové mřížky bylo dosaženo pouze rozdílnou emisivitou a odrazivostí hliníkové desky a speciální matné černé samolepicí folie, kterou na ni nalepila. Kontrast těchto dvou materiálů byl dostatečný jen ve směru normály. Proto navrhla druhou eloxovanou hliníkovou desku s otvory vyřezanými laserem, kde za ní ve vzdálenosti 5 mm umístila dřevotřískovou desku s černým povrchem. K zvýšení kontrastu šachovnicového pole je možnost nahřátí pouze hliníkové desky. Jedinou změnou mezi tímto návrhem a třetí finální verzí je aktivní vyhřívání kalibrační desky. Na základě poznatků z literatury testováním určila optimální konfiguraci snímků pro kalibraci sensorické hlavičky. V disertační práci navrhuje postup kalibrace sensorické hlavičky v programu *MultiSensCalib*. Po určení prvků vnitřní a vnější orientace se zabývá určením oprav vzdáleností z TOF kamery. Pro centrální oblast (12 pixelů x 12 pixelů) se směrodatná odchylka zlepšila z 60 mm na 30 mm, pro kruhovou oblast ohraničenou zorným úhlem 17° se odchylka zlepšila ze 79 mm na 35 mm a pro oblast ohraničenou zorným úhlem 27° z 95 mm na 50 mm. Okrajová oblast je nespolehlivá, a proto není využívána.

Kalibrace hybridních skenerů je třífázová. V první fázi je určeno podmínkovým vyrovnáním šest parametrů shodnostní transformace mezi souřadnicovými systémy. Druhá fáze zahrnuje výpočet rovnice kalibračních rovin podmínkovým vyrovnáním. V třetí fázi jsou odhadnuty korekční parametry. Doktorandka navrhla nový model vyrovnání, který vychází z podmínkového vyrovnání. Pro singularitu matice pro výpočet N^+ použila Moore-Penroseovu pseudoinverzi. Data pro kalibraci byla získána z měření kalibračního pole (vytvořeného ze dvou svislých kolmo se protínajících rovin osazených 372 terči). Pro skener Velodyne HDL-64 se směrodatná odchylka měřené vzdálenosti kalibrací zlepšila z 37 mm na 26 mm, pro skener Velodyne HDL-32 z 23 mm na 4 mm.

Pro datovou fúzi doktorandka použila transformaci snímků. Měření dálkoměrné kamery promítá do snímků CCD a termovizních kamer. Tímto získává identické body mezi CCD a termovizní kamerou, které umožní doplňovat obraz ve viditelném spektru informacemi z termovizních kamer a naopak. Tuto datovou fúzi nezávisle ověřila porovnáním identických bodů přímo extrahovaných ze snímků pasivních kamer s objekty extrahovanými ze snímků TOF kamery a promítnutých do snímků pasivních kamer navrženým algoritmem datové fúze. Dále simulovala vliv nejvýznamnějších chyb snímačů sensorické hlavičky na datovou fúzi.

Úlohy řešila teoreticky i s praktickou realizací a výsledky hodnotila statistickými metodami, verbálními dedukcemi a závěry, doplněnými tabelárním a obrazovým znázorněním.

Disertační práce přináší nové výsledky a postupy. Doktorandka na základě experimentálních měření **vypracovala technologický postup a vytvořila program pro kalibraci všech pěti kamer sensorické hlavice** (stereovizní pár CCD kamer, stereovizní pár termovizních kamer a dálkoměrná kamera) a v programu Matlab **algoritmus datové fúze**. Tento postup představuje **novou komplexní technologii**.

- **Přínos pro další rozvoj vědy a techniky**

Hlavním přínosem disertační práce je **komplexní návrh kalibrace** dálkoměrných snímačů pracujících ve třech spektrech (blízkém infračerveném, viditelném a dlouhovlnném infračerveném) s vytvořeným programem *MultiSensCalib* a reálná možnost její aplikace libovolnou osobou bez znalosti příslušné teorie a návržení a v programu Matlab **realizování algoritmu fúze multispektrálních dat** kamer sensorické hlavice robotu Orpheus-X3 s implementací do programového systému *Theseirias*, který má umožnit ovládání robotů systému Cassandra v reálném čase. **Tyto výsledky jsou přínosné pro vědní obor geodézie a pro praxi.**

- **Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň**

Předložená práce má některé drobné formální nedostatky.

Chybí: stránkování příloh, seznam obrázků se stránkováním a seznam tabulek se stránkováním. Ne vždy je dodržena norma ČSN 01 6910 pro textové dokumenty (například na straně 20 sedmý řádek shora je chybně 40°C místo 40° C apod.).

Předložená práce má dobrou jazykovou úroveň.

- **Připomínky k práci**

s. 8¹³ 5-20 kg má být (5 kg-20 kg) a analogicky ještě na dalších místech.

s. 9₄ stav řešených problematiky ... řešené ...

s. 14-s.35 Jedná se o známé věci. Doporučuji přesunout do přílohy.

s. 16³ absorpci ...absorpce...

s. 16₁₀ absorpce ...absorpci ...

s. 18₃ zelené ...modré...

s. 34₁ ve vztahu (35) na levé straně nemá být f

s. 35¹⁰ vztah (37) není korektně napsán. Na levé straně nemůže být stejně označeno l jako na pravé straně vztahu. Podmínkové rovnice se mají rovnat 0. Bylo by dobré podrobně vysvětlit použitou symboliku, neboť se liší od u nás používané.

s. 48₇ 99% ... 99 % ... (a na všech místech práce)

s. 50⁷ souřadného ... souřadnicového ...

s. 51₆ p hlavní snímkový bod má být P

s. 51 Použité značení v Obr. 39 není přehledné (x, X se tam vyskytuje ve dvou významech).

- s. 52₃ Tetovací data ... testovací ...
- s. 52₂ uvedený odkaz neumožňuje stáhnout testovací data
- s. 62₉ 2 cm ... lépe 20 mm ...
- s. 63^{1,3,10} paprskem laseru ... osou svazku paprsků ...
- s. 68⁶ osvětlení ... osvětlením ...
- s. 68₁₁ 2 cm ... lépe 20 mm ...
- s. 70 Tab. 8 nejednotné značení desetinného místa (.,)
- s. 71⁶ 3,7 cm ... lépe 37 mm (a na dalších místech práce)
- s. 82₃ Tetovací data ... testovací ...
- s. 82₂ uvedený odkaz neumožňuje stáhnout testovací data
- s. 90₁₇ z podkapitoly 0 ... ?

- **Otázky do vědecké rozpravy**

Jakou měrou se mohou do výsledků promítnout nehomogenity prostředí?
Jak je zajištěna synchronizace snímání 5 maticovými senzory hlavičky, uvážíme-li prostorový pohyb robotu Orpheus-X3?
Jaký by byl ekonomický rozbor zkoumané senzorické hlavičky robotu Orpheus-X3?

Závěr

Doktorandka předložila práci, která **splňuje podmínky kladené na disertační práce** a prokázala schopnost samostatně tvůrčím způsobem pracovat a práce obsahuje původní **autorkou publikované výsledky** vědecké práce, a proto **doporučuji, aby na základě úspěšné obhajoby předložené disertační práce byl uchazeči udělen akademický titul philosophiae doctor – Ph.D. v oboru 3646V003 geodézie a kartografie.**



Prof. Ing. Jiří Pospíšil, CSc.