

Oponentský posudek doktorské disertační práce

Pokročilé techniky snímání lesklých a obtížně detekovatelných materiálů

Ing. Ondřej Matůšek

Hlavním cílem disertační práce je studium a příprava metodiky pro získání dat k vytvoření virtuálního 3D modelu objektu s lesklým a obtížně detekovatelným povrchem, jakým je například sklo, a uplatněním vybraných metod v průmyslové praxi. Autor se zaměřuje také na aplikování metod pro práci s robotickým systémem (metoda odebírání výrobků „bin picking“) při práci s lesklými objekty v přepravce. Velká část práce se zaměřuje na kvalitativní hodnocení lesklých transparentních a semi-transparentních objektů s pomocí vhodného technického řešení, zejména pak s využitím konfokálních snímačů pro kontrolu zakřivení tvarových skel.

Předložená disertační práce je zajímavým a aktuálním příspěvkem k řešení problematiky robotické manipulace, zejména pak s lesklými, resp. transparentními objekty. Za přínos lze považovat získání a popis zkušeností s použitím konfokálních snímačů s cílem získání 3D dat pro virtuální model autoskel pro kontrolu kvality a aplikování senzorové fúze při využití informací z více senzorů k získání dat v prostoru. Práce předkládá významnou část výsledků autorova osobního podílu výzkumné práce na Katedře sklářských strojů a robotiky Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci.

Disertační práce má v mnohém povahu rešeršního díla, často pak formou popisu zvoleného postupu a deklarace dosaženého výsledku. Bohatě odkazuje na prameny či autorovy další výzkumné práce. Většina citovaných pramenů pochází z časopisů, materiálů ze seminářů, resp. z internetových odkazů. Přestože tematika práce je vysoce aktuální, z poslední doby je poměrně malá část pramenů. Naopak autorův přínos do problematiky je díky jeho článkům poměrně široký.

Konkrétní metody a jejich popis, včetně použitého programového řešení, bychom v práci hledali marně. U konkrétního řešení se tak můžeme dovědět autorův komentář, že „...v současné době je software vytvořen pouze v základní verzi a neumožňuje řešit některé reálné situace...“, případně že „...z časových důvodů nebyla další softwarová a hardwarová opatření implementována do prezentovaného pracoviště“ (na str. 75). Práce by si zasloužila více vysvětlit interpretaci naměřených dat na obr. 4.22, resp. 4.23. Formálně lze práci vytknout jen pár drobností, například uváděný formát dat „ASCI“ má být správně „ASCII“ (na str. 94), nebo nesjednocení psaní výrazu „bin picking“.

Za významný přínos práce pro její praktické aplikování lze považovat návrh, vývoj a realizaci variant úchopových hlavic. Lze také souhlasit s autorovým tvrzením, že „...pro problematiku metody „bin-picking“ neexistuje univerzální metodika a je nutné pro každý případ aplikovat individuální softwarové a hardwarové řešení“ (na str. 118). Za velmi zajímavý přínos k řešení problematiky lze považovat testování použitelnosti konfokálních čidel pro přesné měření transparentních objektů (skla) a také autorovo tvrzení, že „...k inspekci tvarově členitých objektů se ukázalo jako vhodné snímat objekt pomocí spojitých linií měření, případně vytvořit ortogonální síť ze spojitého měření linií. Takto získané mračno bodů je poté možné vpasovat do CAD modelu metodou“ (na str. 119).

Disertační práce shrnuje významnou část výzkumné práce autora a jeho přístup k řešení problematiky robotické manipulace s předměty z lesklého nebo obtížně detekovatelného materiálu. Předkládá řadu podnětů a modelově ověřených způsobů řešení pro robotickou manipulaci. Zde je nutno ocenit autorův přístup k tématu, protože problematika efektivní robotické manipulace je vsutku komplexním problémem vyžadujícím návrh a ověření možností řešení z oblasti konstrukce účinného úchopového mechanismu, způsobu kamerové detekce i programové části úlohy. Čtenář dychtící po praktickém aplikování výsledků si jistě povzdychne, že v práci není hlouběji uvedeno programového řešení (dozvíme se, že bylo vytvořeno v prostředí LabVIEW, resp. Matlab), resp. způsob vyhodnocování dat. Tím by se práce stala pro aplikování v širší oblasti robotické manipulace jistě mnohem atraktivnější.

Práce svým rozsahem, formální i odbornou úrovní splňuje požadavky kladené na doktorskou disertační práci.

Doporučuji disertační práci k obhajobě.

V Jablonci nad Nisou, 27. března 2019



Ing. Jaroslav Vlček, Ph.D.

Oponentní posudek disertační práce Ing. Ondřeje Matúška

„Pokročilé techniky snímání lesklých a obtížně detekovatelných materiálů“

Námět práce zcela odpovídá oboru disertace „*Konstrukce strojů a zařízení*“. Téma disertační práce přináší do oblasti robotiky nové principy detekce skleněných komponent, textilních struktur a další výrobků, které se špatně rozpoznávají pomocí stávajících principů kamerového vidění. Aplikační část disertace představuje špičková řešení, která výrazně rozšiřují možnosti robotiky a automatizace. Zvolené téma je teoreticky náročné, zasahuje zejména do oblasti klasické a vlnové optiky, vln elektromagnetického pole, akustiky, ale i do částicové fyziky. Jeho praktický význam je vysoký.

Práce je v souladu se současným stavem poznání v tomto oboru.

Hlavní osnova disertace je přehledná a správná. Cíle práce jsou dobře definované. Teoretický úvod předkládá dostatečný rozbor současného stavu poznání. Grafická stránka práce je na odpovídající úrovni. Práce je napsána srozumitelně. Formální nedostatky jsou na snesitelné úrovni, bohužel místy ruší plynulost jinak logického výkladu disertanta.

Například: Srozumitelnost teoretického výkladu zhoršuje to, že v přehledu symbolů (str. 8) nejsou uvedeny fyzikální jednotky a některé symboly jsou uvedeny vícekrát s různým fyzikálním výkladem (např. symbol g v rovnici 2.42). Definice gradientu (g_x , g_y) má svou matematickou definici. Jaký je jeho význam v tomto případě? Symboly rychlosti světla a zvuku by bylo vhodné také rozlišit jinými obecně používanými symboly. Ne vždy je dodržen typ písma u označení vektorů a skalárů. Je vidět, že práce byla psána s velkými časovými přestávkami. Například tvrzení (.....obraz se dá získat i jinak) na str. 11 nezapadá do přehledu principů, který je uveden na str. 14.

Výklad (str. 32) získání 3D obrazu je stěžejní pro pochopení významu práce, přitom je příliš stručný. Tvrzení jsou pravdivá, ale fyzikální výklad není přesvědčivý.

Výklad mezi str. 34 a 35 by měl být oddělen samostatnou kapitolou, jsou spolu smíchány různé fyzikální principy. Z textu práce není zcela zřejmé, proč je jako příklad použit model trupu (str. 46, obr. 2.11).

Vyjádření k odborné úrovni práce: Provedená rešerše objektivně shrnuje současný stav poznání. Technická řešení představená disertantem mají špičkovou úroveň. Většina výsledků byla získána intuitivně, ale je nutné konstatovat, že jsou správné. Student příliš spoléhá na modely v MATLABu. Většinou chybí vlastní, alespoň orientační výpočty.

V praktické části je nutné vyzdvihnout například aplikaci, která řeší detekci vad na textilním povrchu (žmolkovitost). Z textu práce je zřejmé, že student navrhl kompletní hardware, SW řešení vychází z platformy Visual Servoing včetně navádění MOEMS. Toto řešení bylo realizováno v rámci stáže ve Femto Besancon. Student postavil mikrorobotické pracoviště. Tyto výsledky byly publikovány, viz odkazy [A6, A8, A9, A10, A12, A13]. Další zajímavou aplikací je sledování adheze kotoučů textilních strojů, na které se disertant podílel jako spoluautor řešením HW části [A16].

Jako jeden z hlavních výsledků uvádí disertant aplikaci bin-picking, náhodného výběru volně ložených dílů v bednách. Tento výsledek má vysoký aplikační potenciál, jedná se o kvalitní inženýrskou aplikaci, ale vědecký přínos není výrazný. Disertant byl členem širšího řešitelského kolektivu.

Jedinečným vědeckým výsledkem disertanta je vývoj aplikace konfokálů pro rozpoznání zvlněných okrajů a jednoduchých tvarů v porovnání s laserovou metodou. Tento výstup byl autorem publikován, viz [A11, A17, A19, A20, A22, A24].

V kapitole 2.7 (str. 58 a dále) se zabývá disertant problematikou získání 3D modelu objektů s lesklým povrchem a z transparentních materiálů. Tyto objekty jsou zatíženy parazitními reflexemi od jiných (obecných) zdrojů světla. Za originální přístup je možné považovat snahu o využití lesklosti povrchu pro jeho detekci, zejména v případech, kdy část objektu má matný povrch a lesklý povrch.

Disertant má široký odborný záběr a je schopen samostatně řešit výzkumné a vývojové úlohy i v souvisejících oborech automatizace, měření fyzikálních veličin a technické kybernetiky. Což dokazuje jeho osobní podíl na řešení robotického pracoviště pro měření velkých formátů skel. Má dobré praktické zkušenosti s programováním robotů a manipulátorů pomocí PLC počítačů a měřicího SW LabView. Ve své práci zmiňuje zajímavý technický problém, který způsobuje odraz laserového paprsku. Doporučuji se tímto výzkumem zabývat i v budoucnu.

Hlavní přínos disertanta je v tom, že se snažil všemi dostupnými fyzikálními principy nalézt nové možnosti strojového vidění. Zásadním způsobem přispěl k unikátním postupům zpracování obrazových dat, které jsou nezbytné pro další rozvoj strojového vidění.

Aplikační přínos práce vidím v aktivní spolupráci s firmou Stil při vývoji nových typů konfokálů vhodných pro sklářský průmysl.

Bibliografie je poměrně rozsáhlá a výběr citovaných pramenů je správný. Disertant konkrétními příklady svých experimentů prokázal, že je samostatně schopen řešit složité autonomní kamerové systémy v průmyslu.

Otázky k obhajobě:

1. Vysvětlení k výkladu na str. 15: Kde je hranice mezi klasickým elektromagnetickým polem, vlnovou optikou a částicovým zářením? Uveďte pomocí rozsahu vlnové délky a frekvence. Je tato hranice ostrá?
2. Za jakých podmínek mohu u kamerového vidění použít klasickou optiku a kdy musím uvažovat principy vlnové optiky?
3. V jakém frekvenčním rozsahu a v jakých vlnových délkách se používá akustika v průmyslu? Jak souvisí frekvence nebo vlnová délka s odrazivostí?
4. Na straně 35 je používán termín bílé světlo. Nabízí se následující otázka. Co je cílem v kamerovém vidění? Vidět strojově i to, co člověk nevidí nebo přehlédne nebo strojové vidění přizpůsobovat vnímání člověka?
5. Je konfokální měření opravdu nezávislé na materiálu objektu? Pro jaké materiály lze toto tvrzení relativizovat?

Autor publikoval hlavní část své práce na mezinárodních konferencích. Počet příspěvků autora je nadprůměrný.

Doporučuji uvedenou práci k obhajobě a bude-li práce úspěšně obhájena, k následnému udělení akademického titulu Ph.D. panu Ing. Ondřeji Matúškovi.

V Liberci 30. 3. 2019

[Signature]
*

[Signature]
Prof. Ing. Aleš Richter, CSc.

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
Technická univerzita v Liberci

Recenze disertační práce „Pokročilé techniky snímání lesklých a obtížně detekovaných materiálů“

Ing. Ondřej Matúšek

Disertační práce má rozsah 134 stran, číslování obrázků a grafů je provedeno v rámci jednotlivých kapitol. Dokumentace výsledků a jejich hodnocení jsou v potřebném rozsahu a kvalitě rovněž součástí odpovídajících kapitol.

Práce je účelně a systematicky rozdělena do 6 kapitol. Druhá kapitola má rešeršní charakter, další tři jsou aplikační, poslední je závěr. Relativně velký objem rešeršní části je odůvodněný širokým spektrem fyzikálních principů a modifikací systémů, uplatňovaných v oblasti robotiky a snímání objektů. Rešeršní část je však i efektivní a funkční, obsahem a odkazy se propojuje s aplikačními. Předmětem aplikačních kapitol jsou řešení tří vybraných problémů oboru, poslední částí je závěr. Formální úpravy a jazyková úroveň mají požadovanou úroveň s akceptováním nezbytného prolínání anglické terminologie v oboru.

Cílem disertační práce je rozšířit uplatnění stávajících metodik získávání prostorových dat pro snímání lesklých a obtížně detekovaných materiálů. Následně se data využívají pro hodnocení kvality, orientace a polohy objektů v oblasti výzkumu robotů i v praxi. Cíle práce jsou definovány jednoznačně a konkrétně. Mají převážně využívat osvědčené viditelné spektrum záření a mohou zahrnovat i senzory s více typy snímačů. Důraz je kladen především na uplatnění hardwarových metod (úpravy „scény“). Cíle jsou aktuální a dávají předpoklad dosažení komerčně úspěšného řešení.

Metody, postupy a prostředky řešení. V kapitolách 3,4,5 jsou řešeny tři různé problémy. Již při formulaci cílů práce autor korektně zdůvodňuje, že danou problematiku nelze řešit „en bloc“ a že bude efektivní přenášet stávající metodiky separátně. Vybírá tři reprezentativní úlohy a k nim přiřazuje adekvátní řešení v souladu s vytýčenými cíly. Při řešení všech tří úloh je uplatněn podobný postup. Výběr stávajících řešení, jejich analýza, porovnání a odhad potenciálu pro přenos do nové oblasti. Následuje návrh testovacího pracoviště, zajištění výběru a úprav SW a HW. Po provedení a vyhodnocení testů jsou prezentovány výsledky. Takové postupy a prostředky řešení jsou charakteristické v oblasti aplikovaného výzkumu. *Prvním problémem* je odnímání volně ložených misek z přepravky. Výstupem řešení je původní vlastní návrh multisenzorového systému (kamera + 3 ultrazvukové senzory), který značně zlepšuje robustnost určení natočení objektu (misky). Praktickou aplikací je detekce objektů v přepravce pro bin picking.

Druhým problémem je měření tloušťky plochého skla s deformací okraje. Předmětem této kapitoly je ověření možností konfokálních snímačů pro potřeby automobilového průmyslu. Výstupem řešení je testování snímačů na etalonech (destičky, klín) a měření tloušťky gravitačně tvarovaného skla na robotizovaném pracovišti.

Třetím problémem je rekonstrukce 3D modelu transparentních či průsvitných objektů pomocí deformace laserového paprsku. Pro řešení jsou uplatněny dva přístupy. Úprava metody 2D triangulace o promítání odražené deformované linie na další průmětnu by měla vyhovovat pro transparentní materiály s lesklým povrchem. Pro případy semi-transparentního materiálu s podpovrchovým rozptylem byla použita projekce dalšího liniového laseru jiné vlnové délky. Získání 3D obrazu bylo realizováno na vybudovaném experimentálním pracovišti pomocí 2D triangulace. Výstupem projektu je , podobně jako v případě kap 4 , měření tloušťky gravitačně tvarovaného skla v automobilovém průmyslu.

Výsledky disertační práce ,prezentované v kapitolách 3,4,5, potvrzují efektivitu zvolených postupů řešení a plnění hlavního cíle. Zároveň přináší celou řadu dalších poznatků o problémech a limitách navrhovaných postupů. Takto získané a vyhodnocené informace mohou tvořit novou platformu pro formulování dalších etap výzkumu, dopracování metodik a jejich transferu do praxe.

Konkrétní přínosy výsledků disertační práce pro vědu a praxi rezultují z pozice autora , kterou je aplikovaný výzkum. Pro vědu jsou důležitá ověření vztahů a postupů na konkrétních aplikacích. Pro praxi jsou k dispozici vytyčené směry řešení ,vedoucích k potenciálnímu komerčnímu úspěchu.

Připomínky k práci

1/Je zřejmé, že autor čerpá a využívá mnoha poznatků, rezultujících z práce teamu, jehož je členem. To je přirozené a žádoucí. Z disponibilních zdrojů je však někdy obtížné rozeznat jeho původní přínos. Není však jediný důvod o samostatnosti a významu přínosu autora pochybovat. Dtto platí i pro hodnocení publikační činnosti. Je uvedeno 30 vybraných publikací, z nichž jedna je individuální. Všechny publikace jsou v oblasti příspěvků na konferencích a článků v odborných časopisech. Lze možná postrádat přihlášky vynálezů a průmyslových vzorů, některé návrhy autora mají proto určitý předpoklad ?

2/ V mnoha případech autor provádí hodnocení variant řešení. Někdy (viz jako příklad str 66) , je hodnocení provedeno snad až příliš přímočaře a svádí k představě, že mezi dvěma parametry (cena a přesnost) ,je téměř „funkční vztah“ a další parametry není potřeba uvažovat. Možná by bylo účelné zvážit využití některých z postupů multikriteriálních hodnocení.

Vyjádření:

Disertační práci bez výhrad **doporučuji k obhajobě**

15.3.2019



doc. Ing. Josef Dvořák CSc