

## OPONENTSKÝ POSUDOK DIZERTAČNEJ PRÁCE

Doktorand:	<b>Ing. Pavel Chmelář</b>
Názov práce:	<b>Systém automatického mapování 3D prostoru</b>
Študijný obor:	Informační, komunikační a řídicí technologie
Pracovisko:	Fakulta elektrotechniky a informatiky, Univerzita Pardubice
Školiteľ:	Ing. Martin Dobrovolný, Ph.D.

---

### a) Aktuálnosť zvolenej témy

V predloženej dizertačnej práci sa autor zaoberá veľmi zaujímavou a vcelku aktuálnou problematikou automatického skenovania a mapovania 3D priestoru pre pohyb robotov. Navrhnutý model systému umožňuje skenovaním neznámeho priestoru vytvoriť trojrozmernú vektorovú mapu priestoru. Dôraz pri riešení problematiky bol položený na vývoj metód analýzy mračien bodov za účelom detekcie plôch, získanie popisných parametrov skenovaného prostredia s potlačením redundancie. Autor sa na 129 stranách textu v 6 kapitolách venuje podrobne analýze problematiky mapovania 3D priestoru, spracovaniu nameraných dát a detekcie objektov v snímanom prostredí.

Doktorand vo svojej práci čerpal z dostatočného rozsahu aktuálnych literárnych prameňov. Celkom bolo v práci uvedených 80 prameňov, z ktorých v texte bolo citovaných iba 57, čo nesvedčí o dôslednosti pri konečnom spracovaní práce. Čo sa týka aktuálnosti použitých prameňov, tak 40 pochádzalo z obdobia nie staršieho ako 5 rokov a 9 nie staršieho ako 10 rokov. Pozitívne je potrebné hodnotiť 14 publikácií autora, na ktoré sa v práci odvoláva. Z toho vyplýva, že uvedenou problematikou sa doktorand zaoberá dlhšiu dobu a výsledky svojho bádania priebežne publikoval.

### b) Splnenie cieľa dizertačnej práce

Doktorand definoval explicitne jeden cieľ práce to vytvoriť ucelený automatizovaný systém skenovania a mapovania neznámych priestorov, ktorý autor uviedol veľmi nezvyčajne, v úvode práce. Úvod slúži k uvedenie do problematiky a definovaniu potreby riešenia problému. Z textu práce sa dajú vyčítať aj čiastkové ciele, ktoré mal autor explicitne uviesť v samostatnej kapitole a nie nechať na posudzovateľovi, aby ich hľadal v práci. Cieľ dizertačnej práce, event. metodika práce ma byť v samostatnej kapitole.

Autor v práci teoreticky definoval a matematicky popísal problematiku v jednotlivých etapách skenovania priestoru. Analyzoval získané mračná bodov v procese reálneho skenovania priestoru, na ktoré aplikoval navrhnuté metódy analýzy a spracovania mračien bodov s cieľom vytvoriť obraz vhodný pre konečnú orientáciu robota v priestore. Navrhnuté algoritmy sú obecné funkčné a využiteľné pre primárne využitie skenovania v uzatvorených priestoroch.

Riešená problematika je pomerne obsiahla a náročná. Aj napriek uvedeným niektorým nedostatkom objavujúcim v práci je možné konštatovať, že cieľ dizertačnej práce tak ako bol definovaný sa autorovi podarilo splniť.

### c) Zvolené metódy spracovania

V rámci riešenia dizertačnej práce boli použité metódy analýzy, algoritmicizácie, komparácie a validácie dosiahnutých výsledkov. Spracovanie a vizualizácia nameraných dát bola realizovaná v prostredí Matlab s využitím navrhnutých funkcií, ktorých pseudokódy autor zaradil do prílohovej časti. Zvolené metódy spracovania vychádzali z definovaného cieľa práce.

Doktorand sa v práci zaoberal celou skupinou problémov počínajúc návrhom a realizáciou meracej platformy pre skenovanie a mapovanie priestoru, kalibráciou meracieho systému, korekciou skreslenia, optimalizáciou, návrhom algoritmov pre detekciu laserovej čiary, detekciou plôch a ďalšími problémami s cieľom optimalizovať celý proces skenovania a mapovania sú detailne popísané v jednotlivých kapitolách dizertačnej práce. Jednotlivé výstupy a postupy sú vhodne textovo, matematicky a graficky popísané.

### d) Výsledky dizertačnej práce s uvedením aké nové poznatky prináša

Oponovaná dizertačná práca sa venuje automatizovanému skenovaniu a mapovaniu priestoru. V práci sa autor venoval návrhu optického merača vzdialenosti, tvorby mračien bodov vznikajúcich v procese skenovania priestoru, fúzii dát z rôznych priestorov monitorovaného prostredia. Problematika vizualizácie je spojená aj s riešením zníženia pamäťových nárokov. V kapitole 5 je prezentovaný systém automatického skenovania a mapovania priestoru. Dizertand sa zaoberá úpravou mračien bodov a porovnávaním výsledkov registrácie realizovanej navrhnutými algoritmi.

Medzi originálne a zaujímavé riešenie vytvárania priestorového mračna bodov oproti iným systémom monitorovania a skenovania priestoru spočíva v jeho možnosti určenia pozície ľubovoľného bodu v priestore na detekovanej vertikálnej laserovej čiare bez nutnosti vychýľovania optického merača, okrem rotácie okolo vlastnej osy.

Na zostavenie mračna bodov monitorovaného priestoru boli použité dva hlavné metódy a to založené na algoritme registrácie mračien bodov minimalizujúcom vzdialenosti medzi nimi označenou ako ICP a algoritmu využívajúcom štatistický popis priestoru označený ako NDP. V práci sú tieto algoritmy porovnané a charakterizované pre praktické potreby.

V poslednej kapitole sa autor venuje metódam spracovania mračien bodov vrátane detekcii základných elementov plôch, ich priestorovému popisu, vektorizácii a vizualizácii. Popisuje navrhnutý algoritmus pre tvorbu hĺbkového obrazu. Aplikáciou navrhnutých algoritmov spracovania obrazu je umožnené hĺbkový obraz meniť. Navrhnuté metódy spracovania mračien bodov pomocou úrovňového obrazu ponúkajú široké možnosti využitia v spracovaní obrazov. Vytvorený úrovňový obraz umožňuje znížiť požiadavky na pamäť pre uchovanie dát. Navrhnuté a použité metódy spracovania sa vyznačujú dostatočnou originalitou.

### e) Význam pre prax alebo vývoj vedy

Autor v rámci zostavovania mračien bodov systémom automatizovaného skenovania a mapovania priestoru sa zaoberal otázkou tiež fúzie dát a to len na úrovni spracovania bodov od jedného senzora z rôznych miest skúmaného priestoru. V práci je naznačené možné využitie rôznych typov senzorov na vybudovanej platforme. Toto riešenie je vhodnou témou a problémom pre ďalšie rozpracovanie navrhutej metódy spracovania, ktorej predmetom by mohla byť aj s realizáciou fúzie dát od rôznych typov senzorov.

Spracovanie mračna bodov metódou vyhodnotenia úrovňového obrazu ponúka ďalšie možnosti pre spracovanie obrazov. Rovnako uvedený spôsob spracovania mračien bodov môže byť východiskom pre návrh pokročilejších metód spracovania pre potrebu detekcie objektov v priestore snímania, navigácie robotických systémov a pod. Ďalšie trendy rozvoja je

možné vidieť v analýze obrazov s pohľadu detekcie základných geometrických tvarov, ktoré môžu v konečnom dôsledku zjednodušiť zobrazenie pozorovanej scény.

## Záver

Posudzovaná práca sa svojim rozsahom zaraďuje medzi rozsiahlejšie, čo vyplýva aj z podstaty riešenej problematiky. Zvolená štruktúra práce však plne nezodpovedá prácam tohto charakteru a ani nie je členená v súlade s čl. 15 Studijného a zkušebného rádu Univerzity Pardubice. Absentuje tu rozdelenie práce na základne časti, ako analytickú, metodologickú a návrhovo experimentálnu. Všetky tieto oblasti sa do určitej miery vzájomne prekrývajú. Z uvedeného konštatovania vyplýva aj skutočnosť, ako už bolo uvedené, že napr. cieľ práce je stručne uvedený v úvode a v závere je potrebné pracne hľadať prínosy a poznatky pre ďalší rozvoj.

Po formálnej stránke je práca spracovaná na dobrej úrovni, v texte sa nachádza primeraný počet gramatických a štylistických chýb, ktoré pri danom rozsahu práce neznižujú jej hodnotenie ako celku. Práca je doplnená prehľadom jednotlivých obrázkov, tabuliek a zoznamom skratiek čo ju značne aj sprehľadňuje. Z formálnych nedostatkov by som v stručnosti uviedol niektoré chyby, ktorých by sa mal autor do budúcnosti vystríhať, ako napr.:

- s.26 nízke ohniskové číslo – malé ohniskové číslo. Číslo je malé alebo veľké.
- s.116<sub>16</sub> – ...detajly... – detaily.
- s.38 – ...na obr.3.22 a obr.3.23 „respektive“ a na s.103<sup>5</sup> – ...další úrovně „respektive“... – asi je to mix štylizácie češtiny s angličtinou (respectively), čo nie je spisovné.
- s.117<sub>3</sub> – ... diskutujú výsledky... – štylizácia prevzatá z angličtiny.
- mnoho anglikanizmov. Keď je text písaný v češtine má sa používať spisovný český jazyk. Nie na všetko vie korektor reagovať

Pri obhajobe žiadam o odpoveď na nasledujúce otázky:

1. Na s.12 v poslednom odseku sa zmieňujete o nadštandardných senzoch. Vysvetlite aké sú to podľa vás.
2. V kap.5.1.1 na s. 83-84 je riešená eliminácia odľahlých bodov. Vysvetlite ako sa dostali do mračna odľahlé body, keď monitorovaný priestor bol uzatvorený.
3. Vysvetlite bližšie problematiku hĺbkovej mapy, ako je spomínané na s. 94 v úvode kap. 6.1
4. Objasnite význam použitia rotácie hĺbkového obrazu o  $-40^{\circ}$  uvedený na obr. 6.6.

Konštatujem, že oponovaná dizertačná práca ma potrebnú úroveň a splňuje podmienky tvorivej vedeckej práce. Doktorand preukázal, že má dostatočný prehľad a je rozhladený v oblasti skúmania a sám sa venuje riešenej problematike dlhšiu dobu. Čiastkové výsledky svojej práce prezentoval v celkom v 31 publikáciách vo vedeckých časopisoch a na významných sledovaných vedeckých konferenciách.

Na základe predloženej dizertačnej práce v súlade s príslušnou legislatívou navrhujem, aby po úspešnej obhajobe bol udelený pánovi Ing. Pavlovi Chmelářovi titul „Ph.D.“ v príslušnom študijnom programe študijného oboru.

V Uhorskej Vsi 8. 3. 2019

doc. Ing. Jozef TKÁČ, PhD.