

# Bachelor thesis evaluation

## “Motion Planning for Autonomous Car Manipulator”

Author: Veronika Pěčonková  
Supervisor: Tomáš Krajník

The goal of the thesis was to design, implement and test methods capable of planning and executing the movement of an autonomous vehicle. This vehicle must be able to transport passenger cars from a production line to a storage area. The primary focus of the thesis is to implement a capability to perform (un-)loading manoeuvres in a fast, reliable, safe and precise way. Rather than making a theoretical contribution, the thesis is oriented toward producing a reliable software component deploy it in a real logistics system and evaluate its efficiency. The work was rather challenging as deploying and testing the system on an actual vehicle required careful step-by-step testing due to the safety implications of moving a 4 ton vehicle carrying a 1.5 ton car at speeds up to 2 m/s with less than 3 cm error.

During the work that led to the system's implementation, the student was working systematically, making steady progress towards the goal. She consulted her work regularly and actively participated in experimental trials that did not concern just the implementation of the loading manoeuvre, but other components of the autonomous manipulator. The resulting work presents the systematic nature of her work as she provides an (albeit brief) overview of state of the art, following by the vehicle description and problem specification. At the beginning of the chapter, where she describes the solution, the student points to experiments that assess the kinodynamic model of the vehicle. Based on these experiments, she concludes that due to the uncertainty of the vehicle motion and reliability requirements, the best way to approach the problem is to implement plans that consist of a set of predefined motion primitives. Then, she describes the three fixed plans that she implemented, tested and evaluated. Finally, she provides a summary in the thesis conclusion.

The work performed by the student resulted in a system that implements a fixed sequence of manoeuvres leading to fast and reliable car pickup. The software component is nowadays used in a proof-of-concept logistical system at the Skoda Auto manufacturing plant at Mlada Boleslav. However, while the work performed was rather extensive, the thesis itself is relatively brief, and several technical issues are not described in detail sufficient to understand certain design decisions. In particular, the state of the art section should provide more detailed

insight into the problem background. The lack of detail might lead to misunderstanding of the thesis aim and correctness of the presented solution. While the thesis has certain drawbacks, the primary goal of the thesis was achieved and I classify the work performed as

**B** - very good.

Prague, Czechia,  
August 24, 2021

Tomáš Krajník  
FEE, CTU

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Motion planning for autonomous car manipulation
Jméno autora:	Veronika Pěčonková
Typ práce:	<input type="text" value="bakalářská"/>
Fakulta/ústav:	<input type="text" value="Fakulta elektrotechnická (FEL)"/>
Katedra/ústav:	Katedra kybernetiky
Oponent práce:	Ing. Vojtěch Vonásek, Ph.D.
Pracoviště oponenta práce:	Katedra kybernetiky

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<input type="text" value="náročnější"/>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i> Zadání práce je inspirováno aktuálním problémem autonomního parkování ve firmě Škoda auto, a.s. Jedná se o náročnější téma vzhledem k tomu, že je třeba řešit jak softwarovou část, ale hlavně z nutnosti implementovat algoritmy pro reálnou parkovací platformu.	

<b>Splnění zadání</b>	<input type="text" value="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> Zadání je zcela splněno. Studentka vytvořila jednoduchý, ale účinný plánovač pohybu a ověřila jeho vlastnosti na reálném robotu.	

<b>Zvolený postup řešení</b>	<input type="text" value="vynikající"/>
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i> Studentka analyzovala problém a na základě kinematických vlastností robotu zvolila vhodný model pohybu a navrhla pro něj základní sadu tzv. pohybových primitiv. Vzhledem k omezenému sensorickému vybavení robotu též zvolila vhodnou reprezentaci prostředí. Vzniklý „plánovač pohybu“ je navržen pro jeden konkrétní typ manévru (přiblížení parkovacího robotu pod parkované auto) a lze jej spíše považovat za regulátor, než za plnohodnotný plánovač pohybu, který by dokázal řešit i jiné, obecnější, situace. Nicméně, vzhledem k požadavkům zadavatelů práce je toto řešení naprosto v pořádku.	

<b>Odborná úroveň</b>	<input type="text" value="A - výborně"/>
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i> Při řešení byly použity základní znalosti z oblasti teorie řízení, robotiky a programování. Studentka prokázala schopnost řešit konkrétní úlohu. Kromě práce s fyzikálním simulátorem došlo i na experimenty s reálným robotem, což jistě nebylo jednoduché vzhledem k tomu, že měření probíhalo za plného provozu přímo na parkovišti Škoda auto.  Na základě popisu platformy z Figure 4 a 6 se zdá, že dva spodní boční lidary (Sick microScan3) jsou umístěny tak, že vidí pneumatiky z boku (tj. snímají vnější stranu pneumatik), zatímco na Figure 5 jsou pneumatiky zobrazeny tak, jako kdyby byl scanner ještě v ose auta a viděl pneumatiky zevnitř. Jak je možné, že na Figure 5 nejsou data odpovídající vnější straně pneumatik, ale naopak tam jsou data odpovídající poloze skeneru mezi koly auta?  Byly navrženy vhodné parkovací manévry, jeden z nich tzv. korekční, který se použije v případě, že předchozí selžou. Návrh těchto jednoduchých manévru je pro tento konkrétní případ parkování vhodnější než kompletní plánování pohybu, které by navíc bylo zatíženo problémy s nepřesnou lokalizací nebo nejistou v mapě.	

V sekci 5.3.3 jsou uvedeny pravděpodobnosti P1 (pravděpodobnost, že manévr byl úspěšný) a P2 (pravděpodobnost, že korekční manévr byl úspěšný). Lze očekávat, že úspěšnost těchto manévrů je závislá též na počátečních podmínkách. **Byly při výpočtu těchto pravděpodobností uvažovány různé počáteční podmínky (např. odchylka v pozici nebo natočení robotu od ideální počáteční pozice)?**

**Jaká je průměrný počet opakování korekčního manévru a jaká maximální hodnota byla naměřena?**

#### **Formální a jazyková úroveň, rozsah práce**

C - dobře

*Posudte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posudte typografickou a jazykovou stránku.*

Práce je psána výbornou angličtinou, během čtení jsem nenašel překlepy nebo gramatické chyby. Text je však dost úsporný a některé pasáže by bylo vhodné výrazně rozšířit. Např. v sekci 2 (str. 2) je uvedena řada základních pojmů, nicméně chybí např. srovnání výhod aktivní/pasivní nebo lokální/globální lokalizace, uvedení jejich přesností a možných problémů. Obdobně v sekci 2.2 jsou stručně (tj. jednou až dvěma větami) popsány základní plánovače pohybu. Chybí zde jejich kritické srovnání, jejich vhodnost pro zadanou úlohu, výhody a nevýhody apod. Zde by bylo vhodné uvést proč nakonec nebyl zvolen plánovač RRT (Rapidly-exploring random tree) spolu se sadou dynamických pohybových primitiv (tj. takových, u kterých lze měnit délku, rychlost apod.) a proč byla zvolena jednodušší statická primitiva.

Text je doplněn několika obrázky. Některé by šlo ještě vylepšit nebo lépe popsat. Např. Figure 5 (str. 8) – není jasné, co znamenají barvy? Ve Figure 7,8 by bylo vhodné použít jeden souřadnicový systém a více barevně oddělit parkovací robot a parkované auto, obrázek je v jeho aktuální verze těžko čitelný. Ve Figure 9,11 a 13 by bylo vhodné sjednotit velikost fontů. I přes svoji stručnost obsahuje text všechny důležité informace a je srozumitelný.

#### **Výběr zdrojů, korektnost citací**

C - 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.*

Popis state-of-the-art metod (sekce 2) je velmi stručný s minimem odkazů na existující literaturu. Tato sekce by mohla být obsáhlejší a reflektovat aktuální články jako např.:

Muhammad Khalid, Kezhi Wang, Nauman Aslam, Yue Cao, Naveed Ahmad, Muhammad Khurram Khan, From smart parking towards autonomous valet parking: A survey, challenges and future Works, Journal of Network and Computer Applications, Volume 175, 2021, 102935, ISSN 1084-8045.

Nicméně pro srozumitelnost práce není tato příliš stručná sekce velkou překážkou, neboť vše potřebné (technické detaily manévrů apod.) jsou vysvětleny, byť stručně.

#### **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.*

Z textu je patrné, že se studentka zaměřila více na praktickou část bakalářské práce a méně na psaní textu, který je příliš stručný. Je však třeba uvážit, že ovládat a řídit naprosto nestandardní robotickou platformu, navíc umístěnou ve vzdálené lokaci s omezeným časem pro experimenty, je extrémně náročné. Vložené úsilí se ale vyplatilo, což dokazují data z reálných experimentů, která jasně ukazují, že navržená metoda je funkční. Výsledek práce je praktický a to je velmi cenné.

### 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.*

I přes několik připomínek ke stručnosti textu hodnotím práci jako velmi dobrou a to zejména s ohledem na extrémně náročné provádění experimentů a také s ohledem na to, že výsledkem práce je robustní a funkční metoda pro autonomní parkování, která bylo ověřena v reálném prostředí.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm

Datum:

Podpis: