

Posudek oponenta na disertační práci

Ing. Jana Čejky

Rychlé heuristické metody numerického řešení úlohy inverzní kinematiky

Práce je členěna do pěti kapitol. Předchází krátká pasáž, kde autor uvádí čtenáře do tématu inverzní kinematiky, naznačuje důvody pro vyšetřování problematiky a vyjmenovává cíle disertace.

V kapitole 1 (Úvod) autor uvádí zkoumanou problematiku: přímou a inverzní kinematickou úlohu v robotice pro velké soustavy lin. rovnic a řešení soustav lineárních algebraických rovnic s tím spojených. Při zkoumání numerických metod v rámci programování uvedených úloh byly vyvinuty dva nové algoritmy. Jde o metodu relaxace úhlu (ARM)(angle relaxation method), která je určena pro řešení soustav lineárních algebraických rovnic. Může být také nepřímo pužita pro řešení inverzní kinematické metody v robotice. Druhý algoritmus je přímo určen pro řešení inverzní kinematické metody v robotice. Jde o metodu relaxace délky (LRM).

V Kapitole 2 autor přináší princip metody relaxace úhlu pro řešení systému lineárních rovnic. Opírá se o velmi sofistikovaný postup, založený na geometrických úvahách. Obdrží tak iterační metodu, která v každém kroku postupně počítá residuum a s tím zpřesňuje řešení. Autor ukazuje konvergenci ARM. Autor pak uvádí rozsáhlou řadu nejrůznějších testů, které potvrzují jeho teoretické závěry. Přináší srovnání ARM s reprezentativní kolekcí numerických metod (Jacobiho, Gaussova-Seidelova, metoda sdružených gradientů, pseudoinverze). S pseudoinverzí i pro obdélníkové matice. Ukazuje též na vliv čísla podmíněnosti na rychlost konvergence a tedy i na dobu výpočtu. Přitom nepříznivá doba výpočtu pro ARM i rychlost konvergence, zdá se, koreluje s rostoucím číslem podmíněnosti. Nabízí se zkusit výraznější předpokládání (jak ostatně autor navrhuje na str. 36). Autor uvádí množství dalších významných poznatků. V závěru autor konstatuje, že ARM vykazuje tak vysoký nárůst výpočetního času v závislosti na velikosti matice a na číslu podmíněnosti matice soustavy, že se nedá uvažovat jako nová obecná metoda pro výpočet soustav lineárních rovnic. Nicméně pro mne autor projev il úžasnou invenci a výsledky této kapitoly považuji za významné a myslím, že se na nich dá ještě stavět.

Otázka do diskuse: Soubor numerických metod, které používáte je dostatečně reprezentativní. Nicméně proč jste vynechal tzv. metodu prosté iterace?

Kapitola 3 se zabývá výpočty inverzní kinematické úlohy v robotice na základě metody relaxace úhlu.

Stejně jako pseudoinverze je ARM schopná pracovat s obdélníkovými maticemi.

Autor ovšem připouští ne právě nejlepší časové výsledky v úlohách s velkými systémy rovnic.

Pro inverzní kinematickou úlohu v robotice autor zmiňuje nejprve linearizaci pomocí Newtonovy metody nebo pseudoinverzí Jacobiho matice nebo algoritmem Levenberg-Marquardta. Autor opět

uvádí výsledky řady testů. např. časové srovnání ARM s pseudoinverzí. Autor dochází k poznatku, že pokud se manipulátor nachází mimo singulární polohu, pak je metoda inverze Jacobiho matice a metoda Levenbergova-Marquardtova postavená na metodě relaxace úhlu srovnatelná s výsledky Mooreovy-Penroseovy pseudoinverze.

V kapitole 4 autor prezentuje metodu relaxace délky, která je založena na obdobném principu jako dříve uvedená metoda relaxace úhlu. Metoda relaxace délky je přímo určena pro řešení inverzní kinematické úlohy v robotice.

Kapitola 5 (Závěr) obsahuje velmi příjemně podané shrnutí hlavních výsledků disertace.

Práce je doplněna seznamem použitých značek a symbolů, seznamem obrázků a seznamem tabulek.

V seznamu literatury lze najít i čtyři autorovy publikace.

Práce je zpracována pečlivě i po typografické stránce a výklad je přehledný. Jazyková úroveň je velmi dobrá.

Práce obsahuje výsledky, které mají význam nejen pro uvedené aplikace v robotice ale i pro teoretické bádání.

Těžiště práce spatřuji v kapitole 2, která osvědčuje autorovu erudici, ale i důslednost v analýzách a pečlivost zpracování.

Souhrnně lze konstatovat, že disertační práce je vysoce kvalitním dílem, které dokumentuje vysokou úroveň autora.

Z výše uvedených důvodů doporučuji předložit disertační práci k obhajobě.

Praha, 6. července 2019

Prof. RNDr. Pavel Burda, CSc.

prof. Dr. Ing. Petr Novák
Katedra robotiky, Fakulta strojní
VŠB-technická univerzita Ostrava, 17.listopadu 15, 708 00 Ostrava - Poruba
e-mail: petr.novak@vsb.cz

OPONENTSKÝ POSUDEK

disertační práce

Název práce	Rychlé heuristické metody numerického řešení úlohy inverzní kinematiky
Autor	Ing. Jan Čejka
Vedoucí práce	doc. Ing. Josef Černohorský, Ph.D.
Pracoviště	Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
Obor	2612V045 – Technická kybernetika
Rozsah práce	86 číslovaných stran

Oponentský posudek je vypracován na základě dopisu

Prof. Ing. Zdeňka Plívy, Ph.D. – děkana Fakulty mechatroniky, informatiky a mezioborových studií - Liberec, JID: 00388564, ze dne 28.5.2018 2019.

Disertační práce Ing. Jan Čejky obsahuje 86 stran textu. Autor ve své práci vychází ze 42 odkazů, které jsou uvedeny v seznamu literatury. Sám se podílí jako autor 4 titulů.

Cílem předložené disertační práce bylo rozšířit, případně vylepšit funkcionalitu používaného software SKODA TOOL. Autorem práce byly vyvinuty, odladěny a kriticky porovnány a ohodnoceny (s jinými metodami) dva algoritmy: relaxace úhlu – pro řešení soustav lineárních rovnic o více proměnných. Tato metoda je nepřímo použitelná i pro řešení inverzní úlohy kinematiky. Druhým algoritmem je metoda relaxace délky. Tato metoda je již přímo určena pro řešení inverzní úlohy kinematiky. Jedná se vlastně o optimalizovanou variantu metody FABRIK. Mimo text popisující výše dvě uvedené metody práce obsahuje také velice čtivý a dobře zpracovaný popis přímé a inverzní úlohy kinematiky.

Text práce je rozdělen do tří hlavních kapitol, z kterých první se věnuje popisu metody relaxace úhlu, následující pak popisu přímé a inverzní úlohy kinematiky a poslední pak popisu relaxace délky. Jako původní lze považovat první a třetí kapitolu. Zajímavé je ale také porovnání vybraných používaných numerických metod řešení inverzní úlohy kinematiky provedené v druhé kapitole.

Cíle disertační práce autor definoval následovně:

- Popsat metodu relaxace úhlu a ukázat její vlastnosti z pohledu stability a rychlosti konvergence, porovnat ji s jinými numerickými metodami pro řešení soustav lineárních rovnic. Aplikovat tuto metodu pro řešení inverzní úlohy kinematiky.
- Popsat metodu relaxace délky a porovnat ji (včetně metody relaxace úhlu) s jinými algoritmy pro řešení inverzní úlohy kinematiky.
- Popsat postup dráhové optimalizace robotu prostřednictvím software SKODA TOOL a nové heuristické metody relaxace úhlu.

Aktuálnost tématu

Předložená a oponentem posuzovaná disertační práce popisuje autorem navržené algoritmy pro řešení inverzní kinematické úlohy v oblasti robotiky. Prvá je metoda relaxace úhlu a druhá pak metoda relaxace délky. Dosažené výsledky byly implementovány do aplikace SKODA TOOL, který je používán pro kontrolu a případnou optimalizaci rozsáhlých robotických soustav ve svařovnách firmy ŠKODA AUTO a.s.

Z pohledu současných trendů v oblasti robotiky se jedná o náročné, aktuální a zajímavé téma, kterému se věnují i další pracoviště.

Splnění cílů

Splnění cílů vyžadovalo zvládnutí mnoha disciplín, od programování, přes solidní teoretické i praktické znalosti řešení a použití přímé a inverzní úlohy kinematiky v robotice. Autor provedl celou řadu testů a porovnání jím navržených metod s existujícími a kriticky je vyhodnotil. Konstatuji, že stanovené cíle byly v práci úspěšně dosaženy.

Musím autora pochválit i za velice dobře formulovaný, graficky vhodně doprovázený a čtivý text práce - může dobře posloužit jako obecný úvod do této problematiky i pro další zájemce.

Po prostudování práce mohu konstatovat, že uvedené cíle byly splněny.

Význam práce pro praxi, přínosy práce

Přínos předložené práce spatřuji v oblasti dalšího výzkumu zabývajícího se touto problematikou. Vyvinuté metody byly použity v programu SKODA TOOL. Například odvozená metoda relaxace délky, principiálně vycházející z metody FABRIK, uvedenou metodu optimalizuje a při nižším počtu stupňů volnosti kinematického řetězce vykazuje kratší dobu výpočtu.

Formální a jazyková úroveň

Po formální, jazykové i grafické úrovni je předložená práce na velmi dobré úrovni. Práce je čtivá, srozumitelná, kapitoly na sebe logicky navazují. V práci je minimum překlepů (např. Process Simulace má být Process Simulate – str. 13, další na str. 41, nesprávné číslo odkazu 68 (má být 69) na str.72. Jedná se však o drobnosti, jinak nesnižující kvalitu práce.

Připomínky

V seznamu publikací autora, na samém konci textu práce, jsou uvedeny 4 tituly, z toho 3 se týkají tématu disertační práce. U prvního odkazu je pravděpodobně uvedeno chybně místo konání konference Experimental Fluid Mechanics 2011 – ta se konala v Novém Jičíně (alespoň podle údajů uvedených na internetu). U tohoto odkazu nejsou dále uvedeny další údaje. To by mělo v disertační práci být samozřejmostí. Z uvedených publikací je patrně pouze jedna registrována v Scopusu/WoS – [3]. Což je poněkud málo, na tak zajímavé téma práce.

Dotazy k obhajobě práce

1. V úvodu (str.12) zmiňujete důvody vedoucí k vývoji SW SKODA TOOL. Bylo by možné použít i jiné, komerčně dostupné SW? Např. Prosess Simulate? Případně jiné?
2. Je součástí SW SKODA TOOL dynamický model(y) simulovaných průmyslových robotů? Pokud ne, jak provádíte dráhovou optimalizaci zmiňovanou v textu práce?

Závěr

Na základě posouzení disertační práce lze konstatovat, že Ing. Jan Čejka se orientuje v problematice řešené v předložené práci. Práce je zpracována na dobré odborné i formální úrovni a je použitelná i jako vstupní informace pro další zájemce o tuto problematiku. Cíle práce autor splnil a proto ji i přes uvedené připomínky

d o p o r u č u j i k o b h a j o b ě

prof. Dr. Ing. Petr Novák

V Ostravě dne 30.6.2019