

**SOUHLASÍ
S ORIGINÁLEM
HODNOCENÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Oponent DP

Jméno diplomanta: Bc. Štěpánka Blažková

Garantující katedra: KKY

Název diplomové práce: Řízení pohybu robota UR3 pomocí protokolu Modbus

	Předmět hodnocení	Nadprůměrné	Průměrné	Podprůměrné
1	Jazyková a grafická úprava	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Formální a obsahová stránka práce	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Vhodnost použitých metod	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Způsob zpracování a vyhodnocení	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Správnost získaných výsledků	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Vlastní přínos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

DP práce se zabývá velmi zajímavým tématem intuitivního generování trajektorie pohybu robotů. V rámci práce je vyvinuta a implementována reálná aplikace generátoru trajektorií pohybu. Výpočetní jádro aplikace je založeno na interpolaci zadaných koincidenčních bodů (v translaci, rotace není uvažována) prostřednictvím Bezierových křivek, které umožňují operátorské tvarování trajektorie volenými řídicími body. Takový přístup je velmi vhodný pro plánování nestandardních a komplexních trajektorií pohybu.

Autorka předložila v práci poměrně podrobnou studii možných interpolačních metod (interpolace jedním polynomem s ošetřením numerických nestabilit řešení, spline interpolaci prostřednictvím Bezierových křivek). Dále se zabývala možností generování požadovaného profilu pohybu podél interpolované křivky (tzv. feedrate), kde byl opět použit rychlostní profil generovaný Bezierovou křivkou.

Přesto, že je práce dobře strukturovaná a definovaný technický problém zodpovědně analyzován, samotný text práce by si zasloužil výrazně konkrétnější podobu. Řada definic a popisů dílčích problémů je příliš vágní, k čemuž nepřidává ani fakt, že lze v předložených rovnicích nalézt (byť často formální) chyby, které komplikují pochopení dílčích myšlenek čtenářem. Konkrétní poznámky a připomínky lze nalézt dále.

Na druhou stranu se předložená práce vymyká řadě podobným, a to zejména díky své ucelenosti a finalizaci v podobě konkrétního technického řešení - implementovaná aplikace generátoru trajektorií. Funkčnost navrženého řešení je ověřena nejen simulačně, ale i na reálném robotu UR3 (Universal Robots).

Celkově hodnotím práci velmi dobře a jsem přesvědčen, že v případě dořešení některých technických detailů a problémů s komunikací s reálnými roboty (obecně složitý problém kvůli uzavřenosti průmyslových robotů), může být předložený výsledek zajímavou alternativou uživatelského programování robotů.

Doplňující otázky:

1. Jakým způsobem by byly použity uvedené ortogonální polynomy na stránce 23. v uvažované úloze interpolace/aproximace (jako vážené báze prvky?, ...)? Co budou hledané parametry?

2. Do jakého řádu je spojitá/hladká navržená Bezierova křivka na Obrázku 6.8. v prostředním (napojovacím) kontrolním bodě $P_{1,4} = P_{2,1}$?

3. V porovnání metody nejmenších čtverců s použitím ortogonálních polynomů a ortogonalizace není zřejmé, v čem se jednotlivé metody liší (interpolované křivky jsou velmi podobné). Jak (jakým ukazatelem) je možné hodnotit míru vylepšení výpočtu interpolační křivky pro zmíněné metody.

4. Na str. 40 popisujete metody výpočtu rychlosti (profil generovaný také Bezierovou křivkou) a času v každém interpolačním bodě. Z uvedeného textu není vůbec zřejmé, jakým způsobem byl čas počítán, případně jakým způsobem byla vypočítána Bezierova křivka pro rychlost s maximálním omezením

Fakulta aplikovaných věd

**SOUHLASÍ
ORIGINÁLEM**

rychlosti a zrychlení. Zde bych čekal postup jako např.: Generovaná interpolační (Bezierova) křivka s parametrem u , zadaný profil rychlosti po křivce $ds(t)/dt$, kde $s(t)$ je ujetá dráha po křivce (byť získaná aproximačně) a přepočít ze zadané $s(t)$, $v(t)$ na parametr $u(t)$, $du(t)/dt$, které parametrizuje samotnou křivku.

5. Můžete zhodnotit vhodnost komunikace s robotem UR prostřednictvím protokolu Modbus? Co jsou zásadně limitující faktory?

6. Uvažovala jste nad interpolací orientace, případně máte nějaký návrh řešení?

Další poznámky a připomínky:

Str. 11: Singulární poloha robotu nemusí nutně odpovídat singularitě v reprezentaci orientace. Singularita v reprezentaci orientace prostřednictvím Eulerových úhlů je obecný problém vedoucí na nejednoznačnost nalezení Eulerových úhlů v případě tzv. gimbal locku (zarovnání první a poslední rotační osy vlivem otočení kolem osy prostřední).

Str. 21: V rovnicích (6.2, 6.3) definujte kritériální funkce pro optimalizaci metodou nejmenších čtverců, v rovnici (6.6) je však naznačeno jen formální odvození řešení, ze kterého nevyplývá, že je uvedené kritérium minimalizováno.

Str. 22: V rovnici u L. multiplikátorů by mělo být: $C \cdot kx - X_p$ (vazba na kontrolní body X_p). Není v rovnici (6.11) (první podmínka) chybné znaménko? V rovnici 6.12 je znaménko již v pořádku. V rovnici (6.13) chybí inverze matic.

Str. 23: Pokud má polynom přesně projít N body (uvažujeme tedy pouze interpolaci), musí být jeho řád $N-1$, neboť polynom $(N-1)$. řádu má právě N neznámých parametrů, dostáváme tak N rovnic pro N hledaných parametrů. Uvedené tvrzení „Pro N pevných bodů musí být polynom minimálně řádu N nebo více, aby byla splněna podmínka průchodu křivky všemi pevnými body“, tak není pravdivé. Stejně chybné tvrzení je také v popisu obrázku 6.10. a dále v textu.

Str. 25: Vztah (6.23, 6.24) plynoucí z použití Gram-Smidtovy ortogonalizace je pravděpodobně chybně, zde bych čekal matici D ve tvaru $P^T \cdot X$.

Str. 28: Ve vztahu (6.29) bych, viz předchozí grafická interpretace algoritmu, předpokládal body P_0, P_1, P_2, P_3 .

Str. 30: Na Obrázku 6.7. jsou znázorněny Bezierovy křivky pouze s jedním řídicím bodem, to neodpovídá zavedenému stupni křivky ze vztahu (6.34).

Str. 37: Zde je celá řada nejasností: Co znamená „... integrál pro jednu Bezierovu křivku v obecném tvaru“? Co jsou neznámé a, b ? Jak vzniká aproximace integrálu vztahem (6.40), co jsou tabulkové hodnoty? Délka oblouku Bezierovy křivky je tedy počítána jen aproximačně?

Str. 43: Ve vektoru zobecněných souřadnic X UR robotu nemohou být jen polohy koncového efektoru x, y, z , ale nutně i nějaká reprezentace orientace (např. kvaterniony, Eulerovy úhly), byť je uvažována jako konstantní (pohyb robotu s konstantní orientací).

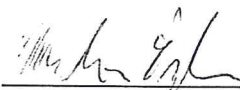
Všechny grafy s předloženými průběhy nemají ocejchované osy (s grafů nelze nic odečíst).

Str. 66 - 68: Proč jsou zadané a skutečně vykreslené trajektorie zrcadlově převrácené?

Splnění bodů zadání	<input checked="" type="checkbox"/> úplně	<input type="checkbox"/> částečně	<input type="checkbox"/> nesplněno	
Doporučení práce k obhajobě	<input checked="" type="checkbox"/> ano		<input type="checkbox"/> ne	
Celkové hodnocení práce	<input type="checkbox"/> výborně	<input checked="" type="checkbox"/> velmi dobře	<input type="checkbox"/> dobře	<input type="checkbox"/> nevyhovělo
Jméno, příjmení, titul oponenta: Ing. Martin Švejda, PhD.				
Pracoviště oponenta: KKY, ZČU v Plzni				

13. 6. 2018

Datum


Podpis