



OPTIMALIZÁCIA DRÁHY PRI MANIPULÁCII S TÝM ISTÝM OBJEKTOM

PATH OPTIMIZATION IN HANDLING THE SAME OBJECT

Marek Vagaš

Abstract

In this paper, there is presented an industrial robot trajectory optimization method for series of point-to-point type movements. Also contain an optimization strategy that has been built using through proposed automated optimizing system for handling. The optimized trajectories must lead to avoid exciting mechanical resonance modes of the industrial robot structure. This can be achieved by applying of robot interpolation. The testing results show that the trajectory optimization through this method is feasible for industrial robots.

Key words

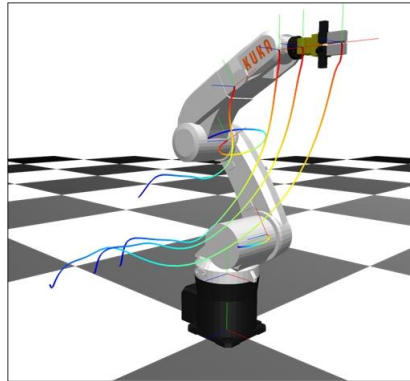
Industrial robot, trajectory optimization, handling

Úvod

V súčasnej dobe, kedy je trend nasadzovania priemyselných robotov čoraz viac v praxi presadzovaný v kombinácii s priaznivými cenami a vyššou výrobnosťou či stabilitou kvality vyvstávajú otázky na optimalizáciu a overovanie metód trajektórií priemyselných robotov. Problematika riešenia optimalizácie trajektórií je riešená po niekoľko desaťročí a bolo vyvinutých mnoho prístupov, ktoré boli zverejnené pre nájdenie optimálnej trajektórie medzi dvoma zadanými bodmi. Výskum pre optimalizáciu trajektórie, plánovanie a riadenie priemyselných robotov má dôležitý praktický význam pre zlepšenie pracovnej výkonnosti. Správna optimalizácia trajektórie je nevyhnutná, pretože dráha musí byť vykonaná bez akýchkoľvek obmedzení vzhľadom na mechanické poškodenie spôsobené namáhaním v štruktúre priemyselného robota [1]. Optimalizovaná dráha musí byť zadaná v pracovnom priestore pomocou bodov a do úvahy je potrebné vziať vonkajšie obmedzenia (prekážky) a vnútorné obmedzenia (napr. limity mechanickej konštrukcie), viď obr. 1.

V prípade, že budeme brať do úvahy iba jedinú kritérium napr. čo najkratšiu dráhu vykonania riskujeme vznik nežiaducich vibrácií a v konečnom dôsledku nám vznikne nepresná trajektória. Bodové riadenie (PTP - point to point) je typ riadenia, ktorý sa využíva v prípade, keď je potrebné v pracovnom priestore robota dosiahnuť určité body, medzi ktorými nie je žiadna súvislosť. Ide o najčastejší druh plánovania pohybu pričom rýchlosť a poloha koncového efektora je neustále kontrolovaná v každom bode trajektórie. Hlavné požiadavky, ktoré je potrebné zobrať v úvahu pri návrhu trajektórie sú:

1. Optimalizované dráhy musia byť výpočtovo jednoduché a rýchlo vytvárané.
2. Nežiaduce účinky pri pohybe robota musia byť čo najmenšie (snaha vyhnúť sa nepravidelným zakriveniam trajektórie pri interpolácii bodov, ktoré definujú dráhu)
3. V tomto prípade uvažujeme v pracovnom priestore robota so statickými prekážkami.



Obr. 1 Kinematická schéma mechanizmu trojčlánkového prsta

Cieľ optimalizovania trajektórie dráhy je daný súčtom dvoch protichodných podmienok:

- Prvá podmienka je priamo úmerná času vykonania trajektórie
- Druhá podmienka je priamo úmerná integrálu štvorcových pohybov pri pohybe robota.

Samozrejme, že potlačenie prvej podmienky vedie ku trajektórii, ktorá bude charakterizovaná veľkými hodnotami kinematických veličín (rýchlosť, zrýchlenie atď..), zatiaľ čo druhá podmienka nás privedie ku plynulejšej trajektórii. Kompromis medzi týmito dvoma tendenciami môže byť vyjadrený vhodným prispôbením vážnosti oboch podmienok:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{kde:} \\ \min k_T N \sum_{i=1}^{vp-1} h_i + k_j \sum_{j=1}^N \int_0^{t_j} \left(\ddot{q}_j(t) \right)^2 dt \\ \text{Platí pre:} \\ \left| \dot{q}(t) \right| \leq VC_j, \quad j=1, \dots, N \\ \left| \ddot{q}(t) \right| \leq WC_j, \quad j=1, \dots, N \\ \left| \dddot{q}(t) \right| \leq JC_j, \quad j=1, \dots, N \end{array} \right. \quad (1)$$

Použité symboly v rovnici (1) sú vysvetlené nižšie:

N – počet stupňov voľnosti robota
 Vp – počet prechádzajúcich bodov trajektórie
 h_i – časový interval medzi týmito bodmi

$\dot{q}(t)$ - rýchlosť j-tého bodu
 $\ddot{q}(t)$ - zrýchlenie j-tého bodu



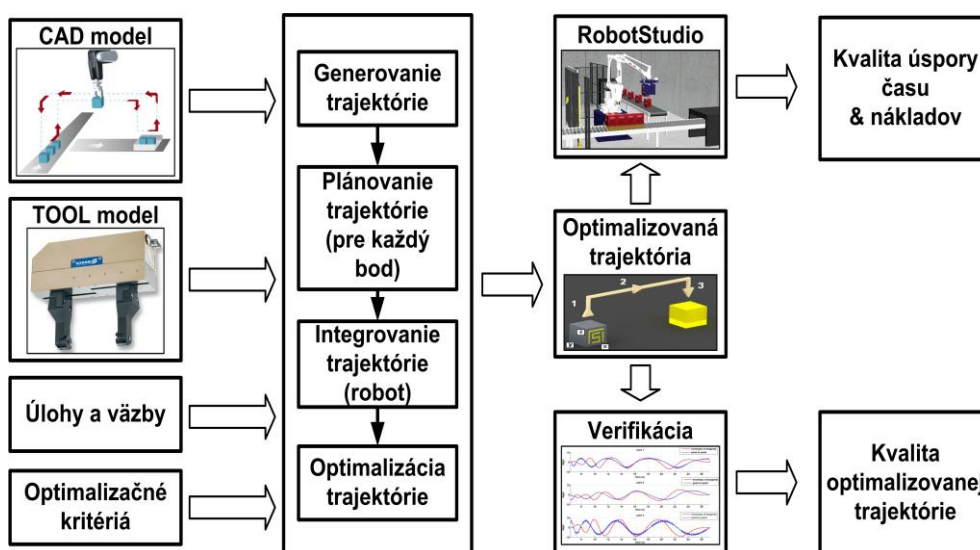
$\ddot{q}(t)$ - vektor zmeny zrýchlenia j-tého bodu
 k_t - vážnosť kritéria zameraného na optimalizáciu vykonaného času trajektórie
 k_j - vážnosť kritéria zameraného na optimalizáciu vektora zmeny zrýchlenia trajektórie

t_f - vážnosť kritéria zameraného na celkový čas trajektórie
VC_j - limit rýchlosti pre j-tý kĺb robota (symetrické)
WC_j - limit zrýchlenia pre j-tý kĺb robota (symetrické)
JC_j - limit vektora zmeny zrýchlenia pre j-tý kĺb robota (symetrické)

Riešením optimalizačného problému je výpočet dvoch ľubovoľných susediacich prechádzajúcich bodov počas časového intervalu h_i . Samozrejme, že optimalizačný problém musí tiež spĺňať interpolačné podmienky pre všetky prechádzajúce body, rovnako ako počiatočné a konečné podmienky pre rýchlosť, zrýchlenie a ďalšie.

Stratégia optimalizácie

Táto časť obsahuje návrh stratégie pre optimalizáciu trajektórie, ktorá bola vytvorená pomocou navrhovaného automatizovaného optimalizačného modelu pre manipuláciu s tým istým objektom, vid' obr. 2. Existujú štyri hlavné vstupy do tohto systému: model pre CAD, model pre nástroj, úlohy a väzby a optimalizačné kritériá [4]. Tento optimalizačný model generuje plán pohybu efektora, ktorý môže byť overený simulačným modelom. CAD model obsahuje geometrické informácie o súčasti pre manipuláciu. V našom prípade je vstup pre optimalizáciu trajektórie reprezentovaný CAD modelom v podobe určeného pracoviska pre manipuláciu s objektmi, ktoré bolo navrhnuté v prostredí Pro Engineer.



Obr. 2 Navrhovaný optimalizačný model pre manipuláciu s tým istým objektom

TOOL model reprezentuje použitý koncový efektor pre manipulačnú operáciu s objektom. Vo všeobecnosti možno povedať, že je charakterizovaný spôsobom uchopenia, počtom čelustí atď. V našom prípade je TOOL model reprezentovaný vhodným chápadlom na báze paralelného princípu uchopovania s dvoma čelustami. Úlohy a väzby zahŕňajú uchopovacie požiadavky ako sú podmienky kinematiky, uchopovacie podmienky a ďalšie. Optimalizačné kritériá sú reprezentované hlavne skrátením doterajšieho cyklu celkového času. Optimalizačnými kritériami, ktoré pripadajú do úvahy sú čas a výkon pohybu mechanizmu



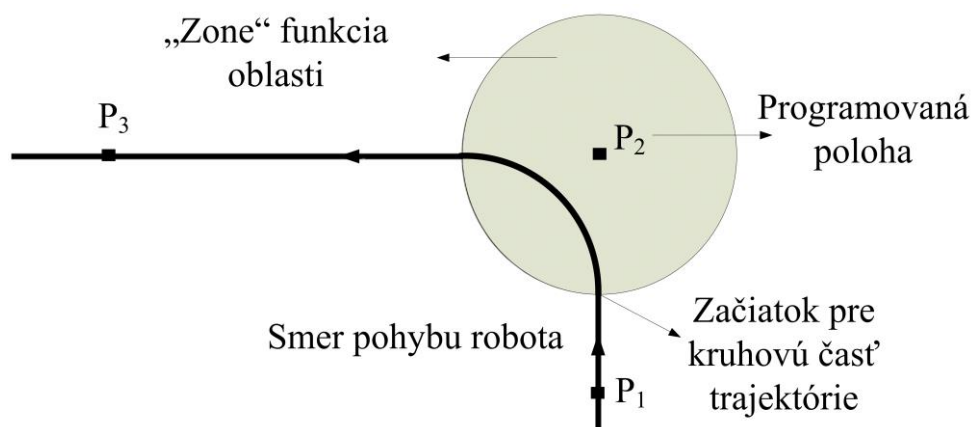
efektora. V našom prípade sú tieto kritériá zastúpené najmä touto špecifickou požiadavkou: "robot na pracovisku nedosahuje vybrané body, ale môže tieto body obchádzať vo vzdialenosti 50% hodnoty dĺžky trajektórie z bodu do bodu, ktorý sa rovná hodnote maximálnej aproximácie (100%)

Stratégia optimalizačného modelu je založená na filozofii „rozdeľuj a panuj“. Celá trajektória pre manipuláciu s tým istým objektom je najprv rozdelená do ľahko definovaných častí (priamky, kružnice). Po druhé, pre každú časť je potom možné vytvorenie jednoduchej trajektórie. Po tretie, trajektórie sú integrované do celku programu a tvoria kompletnú trajektóriu. Nakoniec zoberieme do úvahy rýchlosti nástroja, ktoré sú vypočítané a aplikované pre návrh kompletnej trajektórie [2].

Stratégia optimalizácie

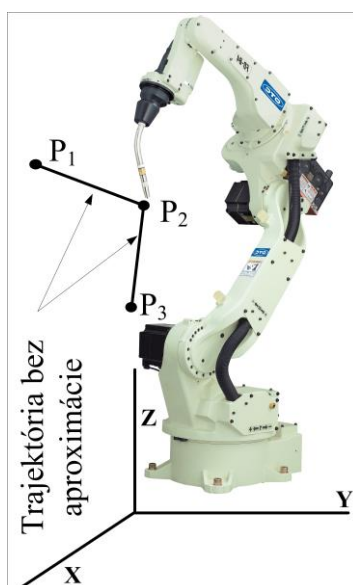
Ako je uvedené už v predchádzajúcom texte, je žiaduce, aby optimalizovaná trajektória viedla ku podmienke zabránenia vzniku mechanických rezonančných vplyvov pôsobiacich na konštrukciu priemyselného robota. To možno dosiahnuť pomocou použitia interpolácie. Interpolácia je proces pre definovanie funkcie, ktorá prechádza vybranými bodmi. Bodová, lineárna a kruhová interpolácia sa používa v robotической technike. S PTP je vhodná najmä pre pohyby, kedy robot prichádza do požadovaného bodu v programe [6].

Softvér Robot Studio poskytuje možnosti pre optimalizáciu trajektórie na dosiahnutie naprogramovaných bodov pomocou parametra zóny inštrukcie, viď obr. 3. Pre vopred definovanú dráhu, používame funkciu zone = jemná, teda robot musí dosiahnuť a zastaviť v každej polohe. Robot spomaľuje a zastaví sa v každom bode programu. Pri použití inej hodnoty zóny (t.j. zone = 100) je rýchlosť robota udržiavaná rovnomerne počas celého pohybu v blízkosti každej polohy programu.

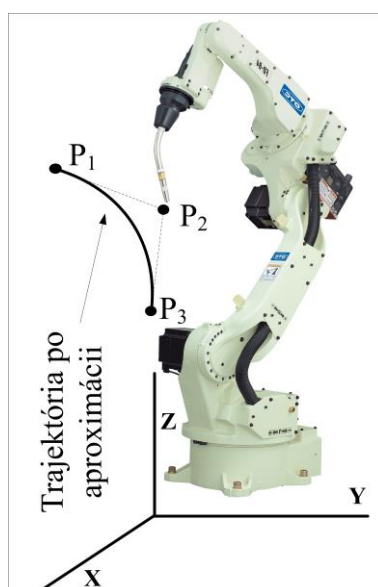


Obr. 3 Princíp optimalizácie trajektórie v programe Robot Studio

Pri pohybe robota môžeme použiť aproximačnú funkciu, ktorá umožňuje realizáciu plynulého pohybu bez spomalenia. Zvyčajne sa udáva v rozsahu 0-100%. Pričom 0% znamená, že priemyselný robot je vedený priamo k vybranému bodu (P2). V prípade iného čísla je tento bod obídený zvolenou hodnotou podľa funkcie priblíženia [3]. V lineárnom pohybe a hodnote aproximácie nastavenej na 100% priemyselný robot obíde vybraný bod P2 v polovici dráhy medzi počiatočným bodom (P1) a koncovým bodom (P3). Pohyb bez funkcie priblíženia možno vidieť na obr. 4. Trajektóriu v tomto prípade nie je možné vopred určiť. Pohyb s funkciou priblíženia možno vidieť na obr. 4.



Obr. 4 Trajektória priemyselného robota bez aplikovania aproximačnej funkcie



Obr. 5 Trajektória priemyselného robota s použitím aproximačnej funkcie

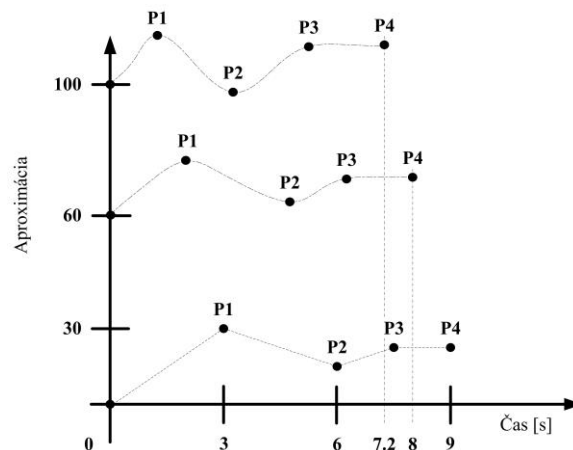
Výsledky optimalizácie a porovnanie

Dosiahnuté výsledky použitej optimalizačnej stratégie možno hodnotiť z dvoch uhlov pohľadu. Kvalita optimalizovanej trajektórie sa odráža v nižších nameraných hodnotách vibrácií počas vykonávaného pohybu robota. Použitie funkcie aproximácie prispelo ku zníženiu rázového zaťaženia robotických pohonov v jednotlivých kĺboch. Je to hlavne kvôli tomu, že nenastáva skokovitá zmena rýchlosti pri pohybe, ktorá je zodpovedná za väčšiu spotrebu pohonnej sily. Samozrejme, treba podotknúť, že aj životnosť je oveľa vyššia. Kvalita nárastu úspory času je overená v programe ABB Robot Studio, kde bol nameraný výrazne nižší čas s využitím aproximácie. Skrátene doby bolo možné aj vďaka požiadavke, ktorá sa skladá z toho, že nie je nevyhnutné dosahovať priamo vybrané body programu robota počas pohybu. Optimalizačné metódy opísané v tomto článku boli testované v simulácii pre 6 kĺbový priemyselný robot ABB. Aproximácia bola testovaná na ručne naprogramovanom, otestovanom a vygenerovanom ukázkovom programe. Ako je znázornené na obrázku 6,

maximálne priblíženie vzdialenosti bodu použitím aproximácii sú dosiahnuté výsledky s 25% úsporou času. Je to spôsobené najmä tým, že bola dosiahnutá:

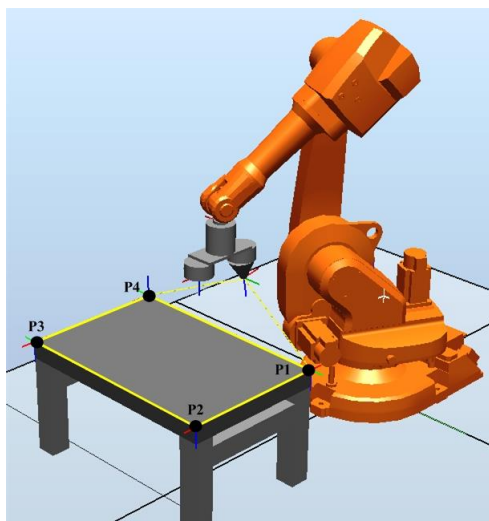
- Kratšia trajektória (kartézsky súradnicový systém)
- Kratšia doba cyklu programu robota
- Menšie výkyvy zrýchlenia v programe
- Menej fáz pre zrýchlenie v programe

Výsledky ukazujú, že použitím funkcie aproximácie dosahujeme minimálne prevádzkové časy pre toto riešenie manipulácie s tým istým objektom. V porovnaní s relatívne nižšou hodnotou parametrov aproximácie, to znamená, že môžeme dosiahnuť nižšie prevádzkové náklady [5]. Toto je zaujímavé najmä pre väčšinu podnikov typu SME, kde je potreba riešenia práve týchto problémov.

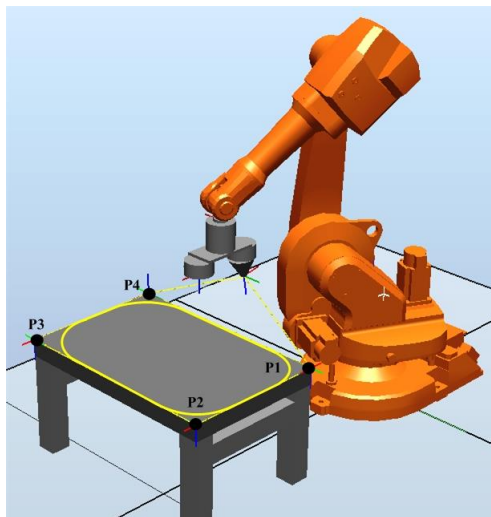


Obr. 6 Dopad aplikovania aproximácie na úsporu času cyklu programu robota

Trajektóriu bez použitia aproximačnej funkcie možno vidieť na obrázku 7. Výsledky použitia aproximácie sú aplikované na jednoduchom pracovnom stole v programe Robot Studio podľa obrázku 8. Ďalšie výsledky a viac skúšobných pokusov s rastúcou úrovňou zložitosti úlohy manipulácie s tým istým objektom môže byť realizovaná na reálnej aplikácii s robotom ABB a porovnaní so získanými výsledkami z programu.



Obr. 7 Výsledky bez aplikovania aproximácie z programu Robot Studio 5.15



Obr. 8 Výsledky s aplikovaním aproximácie z programu Robot Studio 5.15

Záver

V tomto článku je popísaná realizovateľná metodika na optimalizáciu trajektórie pre plánovanie programov priemyselných robotov. Tento návrh je podložený aplikovaním aproximačnej funkcie, ktorá šetrí čas, náklady a spotrebu energií. Spôsob optimalizácie bol použitý pre manipuláciu s tým istým objektom pri použití priemyselného robota ABB. V konečnom dôsledku bol tento prístup overovaný v simulačnom prostredí a porovnaný s výsledkami bez aproximácie. Budúca práca sa bude venovať reálnym aplikovaním týchto podmienok na robotizovanom pracovisku katedry robotiky.

This contribution is the result of the project implementation: VEGA – 1/0810/11 “Principles of profiling and cooperation multirobotic systems”.

Literatúra

- [1] Olaru, A., Olaru S., Ciupitu, L. Assisted research of the neural network by bach propagation algorithm, OPTIROB 2010 International Conference, Calimanesti, Romania, The RPS Singapore, Book, pp.194-200 , 2010. ISBN 978-1-4244-8867-4
- [2] Dan Florin Niculescu, Alexandru Daniel Tufan, Marek Vagaš: Evaluation of Vibratory Behavior and Maintenance For Misalignment of Centrifugal Pumps. In: Incer 2012: International Conference on Innovation and Collaboration in Engineering Research, Bucuresti, 02 - 04, iulie 2012, Politehnica University of Bucharest, 2012 P. 1-4. ISSN 1454-2358
- [3] SKAŘUPA, Jiří – ZELINA, Pavol: Hlavice priemyselných robotov. Ostrava 1993: 100str. ISBN 80-7078-210
- [4] L. Páchniková, R. Jánoš, Ľ. Šidlovská Manufacturing systems suitable for globalized market. In: Applied Mechanics and Materials. Vol. 282 (2013), p. 230-234. - ISSN 1660-9336
- [5] SMRČEK, Juraj – PALKO, Anton – TULEJA, Peter: Robotika uchopovacie efekторы. Košice 2007: 248str. ISBN 978-80-8073-961-4



- [6] Staš, Ondrej - Tolnay, Marián - Kravec, Dušan - Bachratý, Michal - Jedinák, Michal: Robotic manipulation system with adaptive effector reflecting different steel plate diffraction analyzed by machine vision algorithms. In: MM Science Journal. - ISSN 1803-1269(P). - Special Edition: Proceedings of the RAAD 2011. 20th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region (RAAD), October 5-7, 2011, Brno, Czech Republic. - , 2011, s. 78-83
- [7] Olaru, A., Oprean, A., Olaru, S., Paune, D. Optimization of the neural network by using the LabVIEW instrumentation, IEEE ICAMERA 2010 Proceedings, ISBN 978-1-4244-8867-4, IEEE catalog number CFP1057L-ART, pp.40-44, 2010.
- [8] Ján Semjon, Vladimír Baláž, Marek Vagaš: Robotized cell for spot welding with robot KUKA. In: OPTIROB 2007. Bren Publishing House, p. 215-218. - ISBN 9789736486562
- [9] Vagaš, M., Semjon, J., Hajduk, M., Páchniková, L., Lipčák, M.: The view to the current state of robotics. In: Optirob 2011 : International proceedings of computer science and information technology : International conference on optimalization of the robots and manipulators : Vol. 8, Sinaia- Romania. - Singapore : IACSIT press, 2011 p. 205-209. - ISSN 2010-460X
- [10] Tuleja, P., Šidlovská, Ľ., Hajduk, M.: Efector Mechanism with unilateral gripping. In: TIAM - Technologia i automatyzacja montażu. No. 1 (2013), p. 14-20. - ISSN 1230-7661

Kontakt adress

Ing. Marek Vagaš, PhD.

Technická univerzita Košice, KVTaR SjF

Němcovej 32, 041 87 Košice

tel. 055 602 2625, e-mail: marek.vagas@tuke.sk