Geometrický model sériového robotu pro účely kalibrace

Ondřej Vaníček[1]

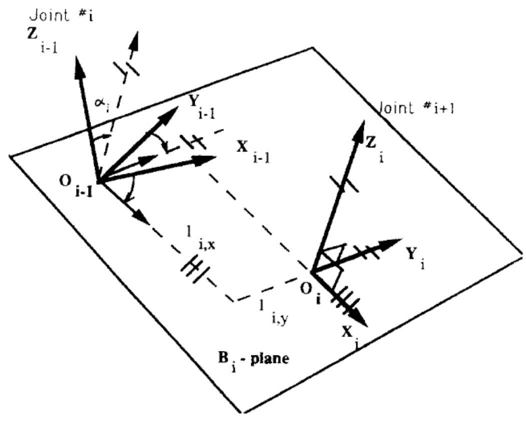
1 Úvod

Průmyslové roboty se prosazují do stále sofistikovanějších činností a s tím rostou i nároky na přesnost navádění robotických systémů. Současné průmyslové roboty disponují velmi vysokou přesností ve smyslu opakovatelnosti, která se pohybuje v řádech setin milimetru a vyjadřuje vysokou mechanickou přesnost servo pohonů a příslušných polohových snímačů. Opakovatelnost je chápána jako schopnost robotu opakovaně nastavit aktuátory ve svých kloubech velmi přesně do stanovené polohy. Co však výrobci průmyslových robotů neuvádí, je geometrická přesnost robotů, tedy například schopnost najet do stanoveného bodu v prostoru s různou konfigurací ramen. V této činnosti se totiž ukazuje, že odchylky dosahují až o několik řádů vyšších hodnot.

Geometrická přesnost je totiž kromě mechanické přesnosti kloubů ovlivňována dalšími faktory, jako jsou zejména geometrické vlastnosti jednotlivých ramen a kloubů. Řízení pohybu robotu je realizováno na základě geometrického modelu, který počítá s určitými rozměry a tvary jednotlivých ramen, jejichž, byť nepatrné, odchylky mají významný vliv na výslednou polohu koncového efektoru robotu. Odhad těchto odchylek na základě pohybování robotem a měření polohy koncového efektoru robotu je pak smyslem kalibračních algoritmů, jejichž základem je právě geometrický model.

2 MCPC geometrický model robotu

Geometrický model by měl splňovat několik základních požadavků, které vychází z potřeby popsat kinematický řetězec dostatečně podrobně, ale z hlediska estimace parametrů na druhou stranu není žádoucí nakládat s příliš mnoha redundantními parametry. Jednou z nejznámějších metod popisu kinematiky sériových robotů je tzv. *Denavit - Hartenbergova* (DH) úmluva, která popisuje každé rameno pomocí čtyř parametrů. Stejný počet parametrů používá k popisu i tzv. MCPC (*Modified complete & parametrically continuous*) přístup, avšak jeho výhodou je právě parametrická spojitost, tj. že při změně některého parametru dochází k posunům souřadných systémů uměrným změně parametru.



Obrázek 1: Konstrukce sousedního souřadného systému v MCPC modelu

Této pozitivní vlastnosti je dosaženo definicí souřadných systémů dle Obrázku 1. Na rozdíl od DH úmluvy, MCPC přístup uvažuje virtuální

[1] student doktorského studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Kybernetika, specializace Modelování, řízení a diagnostika strojů a procesů, e-mail: ovanicek@students.zcu.cz

rovinu kolmou na osu *i+prvního* kloubu procházející počátkem *i-prvního* souřadného systému. Transformace mezi sousedními klouby je pak vypočtena dle následujícího vztahu.

$$V_i = rot(z, \theta_i) \cdot rot(x, \alpha_i) \cdot rot(y, \beta_i) \cdot trans(l_{x_i}, l_{y_i}, 0) \quad pro\ i = 1, \ldots, n-1 \tag{1}$$

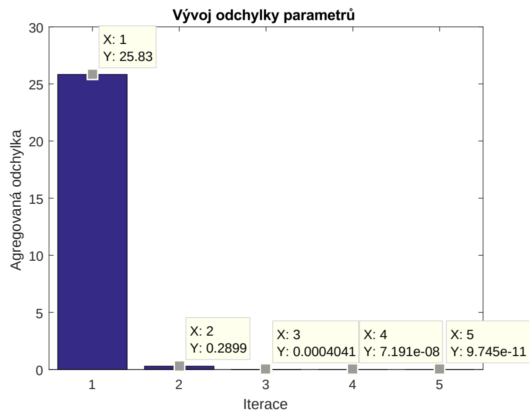
Jedinou odlišnost je nutno zohlednit u posledního kloubu $i = n$, kde je nutno provést i rotaci a translaci ve směru osy z za účelem libovolného umístění souřadného systému koncového efektoru. Na základě této konvence lze sestavit celý přímý geometrický model sériového manipulátoru jako součin dílčích transformací mezi jednotlivými sousedními klouby $\prod_{i=1}^{n} V_i$.

Pro následné vytvoření kalibračního modelu je zapotřebí vyjádřit příspěvek odchylek jednotlivých geometrických parametrů k odchylce koncového efektoru v kartézských souřadnicích. Kartézské odchylky jsou vyjádřeny na základě diferenčních transformací ve tvaru $T = T^0(I + \delta T)$, kde T_0 představuje nominální polohu koncového efektoru a δT je matice kartézských odchylek. Vztahy pro příspěvky odchylek jednotlivých parametrů odvodil Zhuang (1996).

Ze znalosti vztahů pro vliv odchylek geometrických parametrů na kartézské odchylky je s využitím měření polohy a orientace koncového efektoru robotu možné identifikovat odchylky geometrických parametrů. Identifikační model ve formě $y = J \cdot \rho$, kde y představuje vektor měřených kartézských odchylek, J matici regresorů odvozenou ze vztahů pro vliv odchylek geometrických parametrů a ρ představuje právě odchylky geometrických parametrů.

Vektor geometrických parametrů obsahuje 26 prvků, které je zapotřebí identifikovat. Ukazuje se, že mezi těmito parametry se nachází takové prvky, které jsou na základě měření polohy a orientace koncového efektoru neidentifikovatelné. Použitím vhodné identifikační metody je ale možné získat takový model sériového robotu, který zcela přesně popisuje geometrii sériového robotu ve smyslu výpočtu polohy a orientace koncového efektoru.

Na Obrázku 2 je znázorněn vývoj agregované odchylky geometrických parametrů během jednotlivých iterací algoritmu. Agregovaná odchylka je vypočtena jako prostý součet 26 odchylek geometrických parametrů ve stupních a milimetrech a slouží pouze pro ilustraci konvergence algoritmu.



Obrázek 2: Vývoj agregované odchylky parametrů

3 Závěr

Simulační ověření navrženého modelu potvrdilo možnost identifikace odchylek geometrických parametrů 6DoF sériového robotu na základě měření polohy koncového efektoru. Simulované odchylky geometrických parametrů v řádech jednotek milimetrů a desetin stupňů by rovněž mohly odpovídat reálným odchylkám parametrů současných průmyslových robotů a model se tedy jeví vhodně pro další použití a reálné experimenty.

Poděkování

Příspěvek byl podpořen grantovým projektem SGS-2019-020.

Literatura

Zhuang, H., Roth, Z. (1996) Camera Aided Robot Calibration. *CRC Press*, Boca Raton, USA.