

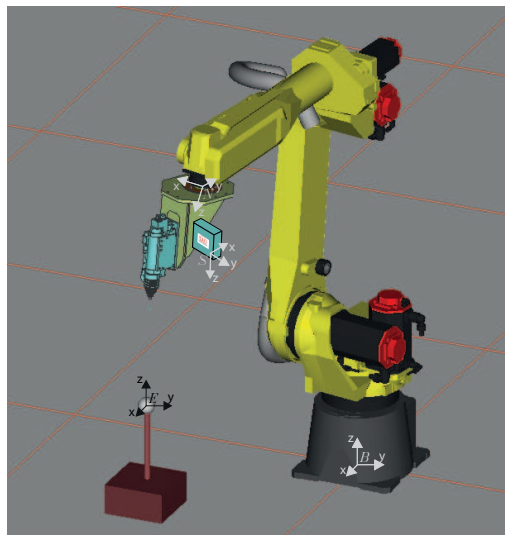
Kalibrace laserového snímače v úloze robotického svařování

Ondřej Vaníček¹

1 Úvod

Průmyslové roboty se, podobně jako v ostatních odvětvích, výrazně prosazují i v oblasti svařování zejména pro svou výkonnost a přesnost. Potřebná přesnost navádění koncového efektoru se odvíjí od použité svařovací technologie. Standardní svařování obloukovým výbojem dovoluje přítomnost nepřesností 0.2 mm až 1 mm . Tato technologie je však v poslední době často nahrazována svařováním pomocí laserového paprsku, které přináší mnohé výhody, avšak vzhledem k vlastnostem laserového paprsku vyžaduje řádově vyšší přesnost navádění robotu s tolerancí pod 0.1 mm .

Přesnost polohování robotu je, kromě jiných faktorů, významně ovlivňována správností nastavení vzájemné polohy příruby robotu a akčních prvků. Právě tato vzájemná poloha je hledaným výstupem kalibračních algoritmů, které jsou standardně součástí kontrolérů robotů pro kalibraci standardních pracovních nástrojů s fyzicky dostupným *TCP* (z *angl. tool center point*). V případě optických senzorů, jakým je i laserový profilový snímač, který je předmětem této práce, se však *TCP* nachází v ohnisku optické soustavy usměrňující laserové paprsky uvnitř těla senzoru a aplikace standardních metod selhává.

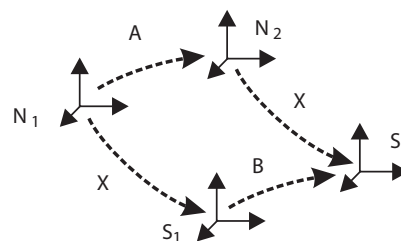


Obrázek 1: Robotický systém a významné souřadné systémy

2 Hand-eye kalibrace

Metody výpočtu polohy optických senzorů uchycených na přírubě robotických manipulátorů se souhrnně označují termínem *Hand-eye* kalibrace. Podstatou těchto algoritmů je výpočet vzájemné polohy snímače a příruby robotu na základě informací o poloze příruby robotu a dat získaných měřením známého kalibračního objektu během snímání statického kalibračního objektu z různých směrů a vzdáleností.

Hledání kalibrační transformace představuje řešení maticové kalibrační rovnice $AX = XB$, kde členy A a B označují dílčí pohyb příruby robotu resp. optického snímače a proměnná X označuje hledanou kalibrační transformaci. Zatímco přechodovou matici A lze vypočítat na základě známé polohy příruby



Obrázek 2: Význam členů rovnice Hand-eye kalibrace

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

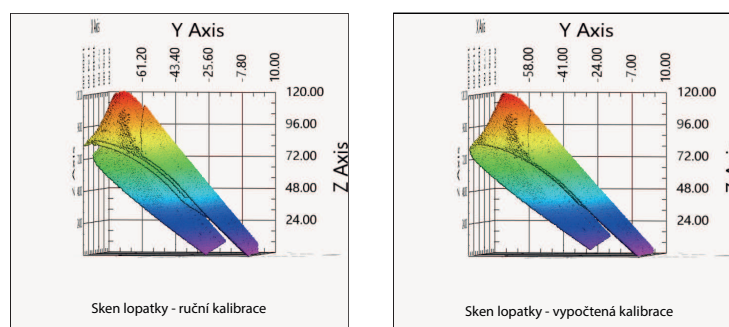
robotu v polohách 1 a 2, matici posunu profilového snímače B je kvůli neznalosti kalibrační transformace X nezbytné vypočítat na základě dat měřených snímačem v polohách 1 a 2. K nalezení řešení této rovnice je zapotřebí nejméně tři různých měření z odlišných pozic, avšak pro potlačení šumu je vhodné využít větší počet měření a řešení určit jako argument minima kritéria chyby.

Řešení aplikované v rámci této práce využívá standardní kouli coby kalibrační objekt. Koule sice ze své podstaty neposkytuje dostatečně bohatou informaci pro určení kompletní vzájemné polohy (poskytuje pouze translaci, nikoliv rotaci), avšak na rozdíl od kalibračních hranolů nepřináší komplikace spojené s řešením soustav nelineárních rovnic. Minimalizované kritérium bylo zvoleno jako kvadrát rozdílu levé a pravé strany kalibrační rovnice.

Algoritmus implementovaný v rámci této práce provádí nejprve výpočet orientace snímače na přírubě polohováním senzoru lineárně ve směru jednotlivých os světového souř. systému. V jednotlivých krocích pohybu jsou zaznamenány polohy příruby ve světovém souřadném systému a polohy středu koule v souřadném systému senzoru, těmito sadami bodů jsou proloženy přímky a jejich směrové vektory následně tvoří sloupce rotačních matic, které jsou vůči sobě pootočené právě o hledanou rotační část kalibrační transformace.

Translační část kalibrační transformace je následně vypočtena standardní minimalizací zvoleného kritéria ve smyslu nejmenších čtverců s využitím vypočtené rotační matice a sady dat získaných při měření kalibrační koule z pseudonáhodně vygenerovaných pozic snímače.

Kombinací vypočtených dílčí částí je sestavena hledaná kalibrační transformace jejíž nahrazení za kalibrační transformaci získanou ruční kalibrací snímače na přírubě robotu tříbodovou metodou přinese znatelné zpřesnění celého systému. Přínos kalibrační transformace je ilustrován Obrázkem 3, který ukazuje zlepšení zarovnání a návaznosti jednotlivých skenů lopatky.



Obrázek 3: Přínos aplikace vypočtené kalibrační transformace

3 Závěr

Simulační ověření navržených algoritmů ukázalo odchylku vypočtené kalibrační transformace pod požadovanou hranicí na úrovni $80 \mu\text{m}$ v translační a 0.1° v rotační části od zvolené transformace při simulování šumů o intenzitě odpovídající praxi. Odchylku od správné kalibrační transformace při reálném experimentu bohužel nelze stanovit vzhledem k neznalosti skutečných parametrů, avšak testování i Obrázek 3 ukazují výrazné zlepšení oproti dosud používanému přístupu a aplikace algoritmu na snímač pro robotické svařování přináší uspokojivé chování celého systému.

Poděkování

Příspěvek byl podpořen projektem MPO ČR FV-TRIO, PID: FV10668.