
Kalibrering och implementering av robot för detektering av röntgenstrålning

Björn Bring, Lunds Tekniska Högskola

Sedan 2017 har strålröret NanoMAX vid synkrotronljusanläggningen MAX IV öppnat upp för externa forskare att bedriva experiment. För att underlätta denna forskning har en industriell robot installerats som manövrerar en detektor runt provet som bestrålas. Noggrannheten i robotens positionering av detektorn är avgörande för kvalitén i de erhållna forskningsresultaten, och detta åstadkommes genom en kalibrering av robotens länkar och leder.

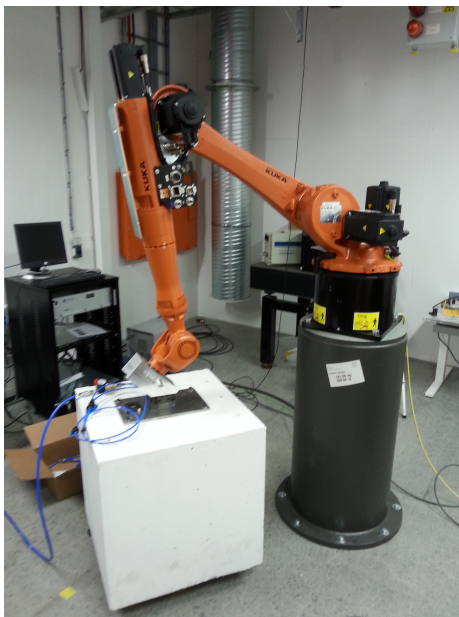
Traditionellt sätt har industrirobotar använts för repetitiva uppgifter, såsom att flytta föremål från ett ställe till ett annat, eller för svetsning. För detta fordras att roboten kan upprepa rörelserna med stor tillförlitlighet, medan noggrannheten i den faktiska positioneringen av roboten är av mindre betydelse. Medelfelet på positionsavvikelserna efter en kalibrering kan

ofta reduceras till en tredjedel av vad som specificeras av fabrikskalibreringen. Vanligtvis ligger noggrannheten i positionering av industrirobotar kring någon enstaka mm. Således har industrirobotar som använts till applikationer med höga krav på positionering varit i behov av kalibrering.

När en robot ska kalibreras kan detta utföras på flera olika nivåer. En nivå avser kalibrering av robotens kinematiska modell, som beskriver dimensionerna av robotens länkar samt hur rotationsaxeln för en led är orienterad relativt föregående led. Med en parametrisering av den kinematiska modellen samt en uppsättning ledvinklar kan följaktligen en unik position och orientering av robotens fläns erhållas. Utöver den kinematiska strukturen spelar ledernas dynamik en avgörande roll för den slutgiltiga noggrannheten. Lederna kan modelleras med flera olika fysikaliska effekter, såsom glapp i växlarna, friktion på led- och arm-sida samt styvhet i motorerna. Det är fram-

förlatt styvheten som bidrar till positionsavvikelse, vilket beror på att tyngden från bärlasten och roboten själv resulterar i utböjningar av lederna, vars storlek bestäms av styvheten.

För att identifiera ledernas styvhet och glappen i växlarna förankrades robotens fläns i ett massivt betongblock, se Fig. 1. Därefter flyttades robotens leder en åt gången för att mäta det vridmoment som uppstår i motorerna vid belastningen, i vad som kallas *clamping*.



Figur 1: Uppställning vid *clamping*testerna.

Kalibreringen av robotens kinematik utfördes med hjälp av en kamerabaserad koordinatmätmaskin samt tre infraröda lysdioder som monterades på robotens fläns, se Fig. 2. Nikonkameran består av tre kam-

eralinser som var och en mäter vinklarna till de tre lysdioderna och utifrån detta bestämmer robotens position och orientering genom triangulering. Genom att samtidigt logga ledvinklarna kan en kinematisk modell optimeras till mätdatan. Kalibreringen utfördes för så stort arbetsområde som möjligt och med flera olika konfigurationer, t.ex. med armbåge upp och ner, eller inverterad handled etc.



Figur 2: Nikonkameran vid kinematiska kalibreringen.

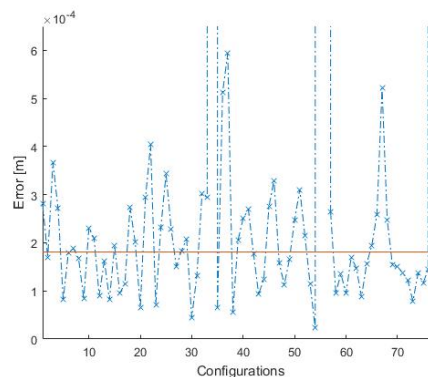
Verifieringen av kalibreringen kan ses i Fig. 3, där medelvärdesfelet på $181 \mu\text{m}$ visas i rött. Eftersom pixelstorleken för detektorn är $55 \mu\text{m}$ innebär detta att detektorns position kommer vara exakt sånär som på 3-4 pixlar. Utöver detta har roboten en uppmätt repeterbarhet på ungefär $20 \mu\text{m}$. Detta kan ställas i kontrast till specifikationen på $\pm 0.5 \text{ mm}$ för noggrannheten enligt den kalibrering som utfördes vid tillverkningen av roboten. Mät-punkterna för verifieringen valdes utmed

en åttondel av en sfär med radien 950 mm, vilket har fördelen att det efterliknar de experiment som roboten kommer användas till i framtiden.

En nackdel med verifieringen var att ett av stifthålen i robotens bas inte gick att använda för att mäta upp basen, vilket möjligtvis kan ha introducerat osäkerhet i den mätningen.

Den kinematiska modell som erhöles från kalibreringen implementerades sedan off-line, alltså utan att styrsystemets interna kinematiska modell ändrades. Detta gjorde det möjligt att manövrera roboten med hjälp av sfäriska koordinater som sedan omvandlas till ledvinklar.

Den första gången roboten användes var i april 2018, då dess manövrering av detektor var till stor nytta under ett experiment.



Figur 3: Uppmätt kartesiskt fel vid verifieringen.

Detta är en populärvetenskaplig sammanfattning av examensarbetet *Calibration and Implementation of Robot for Detection of X-rays*. Rapporten kan laddas ner från <http://www.control.lth.se/Publications.html>.

Referenser

Bring, B., Calibration and Implementation of Robot for Detection of X-rays, Department of Automatic Control, Lund University, Sweden, Master's Thesis ISRN LUFTD2/TFRT-6050-SE, 2018.