

AUTOMATISK TRIMNING AV INDUSTRIROBOT

Stig Moberg¹, Mats Isaksson¹, Jonas Öhr², Geir Hovland³, Sören Quick¹, Sven Hansen¹

¹ ABB Technology Products AB – Robotics - Motion Control Group
S-721 68 Västerås, Sweden
stig.moberg@se.abb.com
mats.isaksson@se.abb.com
soren.quick@se.abb.com
sven.hansen@se.abb.com

²Uppsala University - Signals and Systems Group
P O Box 528
S-751 20 Uppsala, Sweden
jonas.ohr@signal.uu.se

³ ABB Corporate Research - Automation and Control Systems Group
CH-5405 Baden-Dättwil, Switzerland
geir.hovland@ch.abb.com

Abstract: De modellbaserade reglerkoncept som används för styrning av en modern industrirobot kräver bra modeller för att ge roboten tillfredsställande prestanda. I denna rapport beskrivs TuneMaster, en av författarna utvecklad applikation som används för automatisk trimning av dessa modeller. TuneMaster ger ökad prestanda samt förkortad utvecklingstid för nya robottyper. *Copyright © 2002 IFAC*

Keywords: Identification, Tuning, Control, Model, Robot

1. BAKGRUND

I de fysikaliska modeller som är grunden för den modellbaserade regleringen är vissa parametrar på förhand kända medan andra måste identifieras. Exempelvis är motoreernas tröghetsmoment kända medan robotens flexibilitet (vekhet) måste identifieras. En av trenderna i industrirobotvärlden är vigare robotar med större hanteringsvikt. Detta leder till att vekheten i robotarmar och växellådor får en större inverkan på prestanda och måste modelleras med större precision. Detta har tillsammans med önskemål om att ersätta det manuella trimningsarbetet med automatik motiverat utvecklingen av en applikation för automatisk identifiering och trimning av vekhetsmodeller.

1.1 Introduktion till styrning av industrirobot

I styrsystemet skickas rörelsekommandon till en bangenerator som beräknar referenser till regulatorn. Dessa referenser är följbara, d.v.s. hastigheter och accelerationer är begränsade så att varken system- eller användardefinierade gränser överskrids. Exempel på en användardefinierad gräns är maximal acceleration av verktyget och exempel på en systemgräns är maximalt tillåtet vridmoment i en växellåda.

Regulatorns uppgift är att styra armarna så att kraven på rörelseprestanda, så som maximalt tillåtna banfel och överslängar, uppfylls. Kraven på modellernas noggrannhet är höga eftersom endast motoreernas positioner, och inte armarnas, mäts.

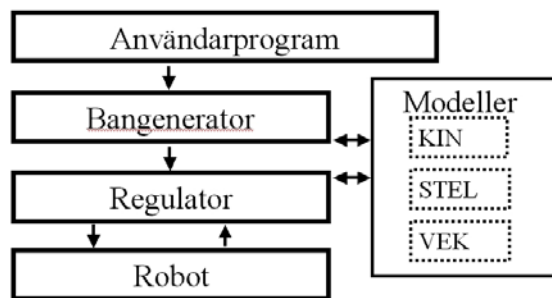


Fig. 1. Modellbaserad styrning av industrirobot.

Modellerna som används av bangenerator och regulator kan indelas i följande: Kinematisk modell för transformationer mellan kartesiska koordinater (x - y - z - orientering) och armvinklar, stel dynamisk modell samt vek dynamisk modell. Dessa modeller används inte bara av den grundläggande rörelsestyrningen enligt ovan utan också av avancerade funktioner som kollisionsdetektering och lastidentifiering.

2. AUTOMATISK TRIMNING AV VEKUHETSMODELL

Metoden för automatisk trimning är indelad i två steg. I det första steget identifieras de sökta modellparametrarna och i det andra steget fintrimmas modellparametrarna för optimala rörelseprestanda.

2.1 Identifiering av modellparametrar:

En sexaxlig robot är ett komplext system att identifiera. Med kännedom om de fysikaliska kopplingarna mellan axlarna kan positioner väljas så att dessa kopplingar, och därmed dimensionen på systemet, minimeras. På så sätt kan steg för steg alla okända parametrar i den fysikaliska modellen identifieras.

Linjär identifiering. I denna identifiering väljs exciteringsrörelserna så att olinjäriteter påverkar resultatet så lite som möjligt. Detta gäller t.ex. den olinjära friktionen i växellådorna samt coriolis- och centripetalkrafter som verkar mellan robotarmarna. Exciteringen är typiskt en svepande sinus (chirp) överlagrad en fyrkantsvåg.

En enkel modell som kan användas vid identifieringen visas i figur 2. Två robotarmar modelleras här som två kopplade enaxliga system där fjädrar och dämpare är okända modellparametrar och där motor-, arm- samt kopplat tröghetsmoment är kända parametrar.

En metod som används utgår från multivariabel frekvensanalys i closed loop, se (Hovland, et al., 1999). Denna metod är modifierad för icke sinus-excitering samt med lämplig utjämning av estimerad överföringsfunktion.

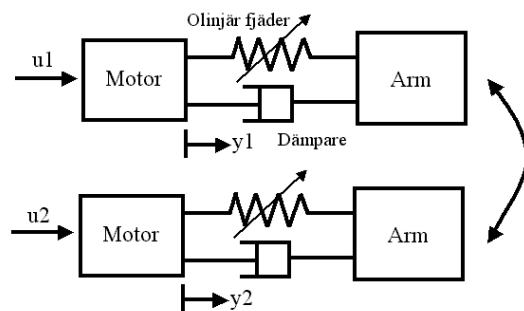


Fig. 2. Modell av två robotarmar.

För att identifiera de okända modellparametrarna används en sökrutin som minimerar avvikelserna mellan estimerad överföringsfunktion (enligt ovan) och den ansatta modellens överföringsfunktion enligt en vald målfunktion.

Den utvecklade metoden som kan kallas "frekvensplansbaserad gray box identifiering" har visat sig fungera bra och har fördelar framför tidsplansmetoder genom sin enkelhet och robusthet samt möjligheten att prioritera vissa modell-egenskaper framför andra. Ett exempel på identifierad modell visas i figur 3.

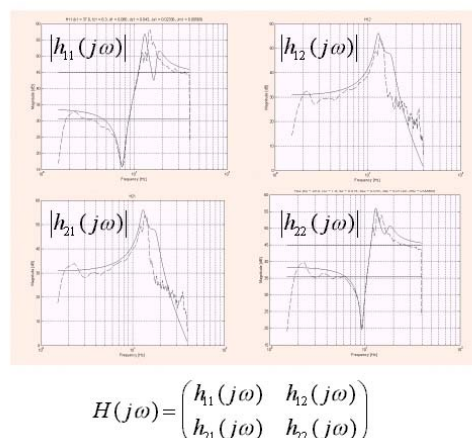


Fig. 3. Överföringsmatrisens elementvisa amplitudkurvor för ett 2 x 2 system (se figur 2) enligt frekvensanalys samt enligt gray box identifierad fysikalisk modell.

Olinjär identifiering. Styvheten i växellådan beror på det pålagda momentet och är mycket olinjär. Den modell som ansatts är en styckvis linjär fjäder och målet är att identifiera fjäderkonstanten i lämplig arbetspunkt. Metoden som används är att identifiera det (antaget) linjära systemet för olika exciteringsamplituder med metoden beskriven ovan. Ur dessa identifieringar kan sedan den sökta fjäderkonstanten approximativt uppskattas. I figur 4 visas exempel på en överföringsfunktion för olika exciteringsamplituder.

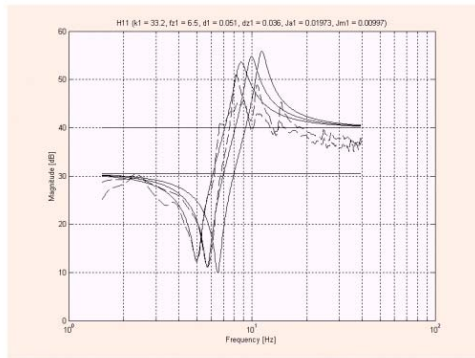


Fig. 4. Överföringsfunktion för olika exciteringsamplituder.

2.2 Automatisk trimning av modellparametrar

De modellparametrar som identifieras enligt ovan ger i allmänhet inte tillfredställande rörelseprestanda. För att uppnå detta måste parametrarna fintrimmas under speciellt utvalda rörelser. De identifierade modellparametrarna används som startvärden för denna trimning.

Resultatet utvärderas genom att till exempel armens estimerade position studeras (fig. 5). För denna estimering används en reducerad observatör då endast mätningar av motorns position finns tillgängliga. Armrörelsen bedöms med lämpligt kriterium som kan vara översläng, insvängningstid eller någon lämplig signalnorm. Andra signaler som kan användas för utvärdering är exempelvis motorns moment eller hastighet vars norm ger en bra uppfattning om rörelsens kvalitet.

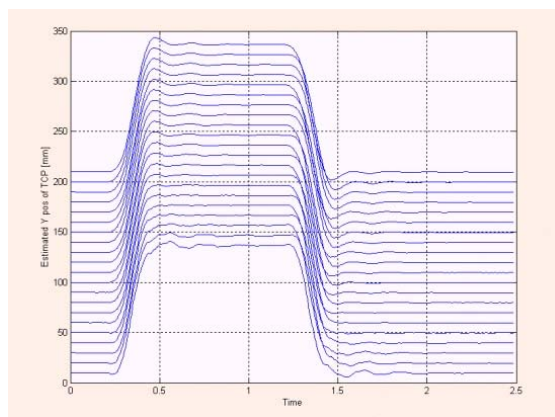


Fig. 5. Estimerad armposition för olika värden på sökt modellparameter.

Den modellparameter eller kombination av modellparametrar som ger minsta värden på den valda kriteriefunktionen blir slutligen den valda trimningen (fig. 6, 7).

I vissa arbetspunkter är kopplingen mellan olika axlar stark och uppgiften att hitta optimala modellparametrar manuellt är mycket tidsödande. Detta hanteras här dels genom automatiken i

fintrimningen och dels genom de startvärden som fås från den inledande identifieringen.

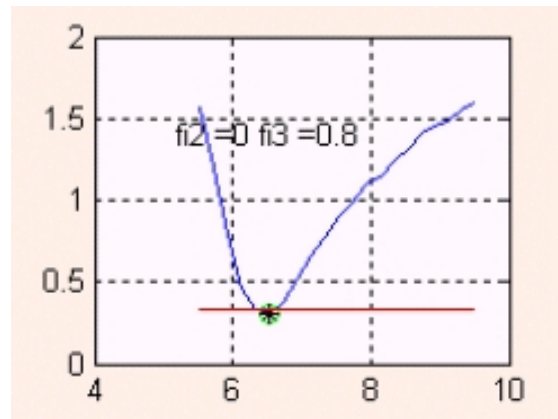


Fig. 6. Kriteriefunktion då en modellparameter söks.

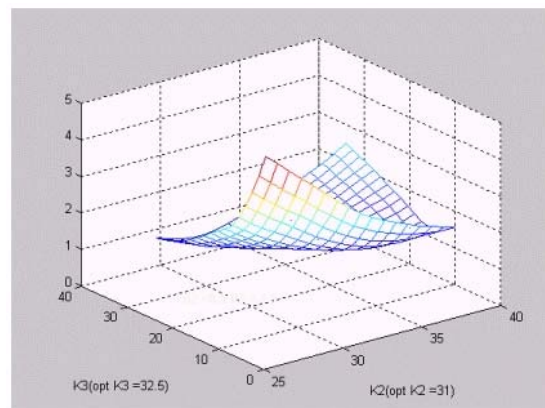


Fig. 7. Kriteriefunktion då två modellparametrar söks.

2.3 Framtida optimeringar av algoritmen

Tidsåtgången för automatisk trimning skulle minska om enbart identifieringssteget behövde utföras. För att klara detta måste den fysikaliska modellens komplexitet öka, vilket innebär högre ordningstal och exaktare modellering av olinjäriteter.

I en framtidsvision tänker vi oss därför identifiering av en analytisk högre ordningens olinjär gray box modell. En sådan modell skulle vara användbar även i andra sammanhang än för automatisk trimning.

2.4 Applikationen TuneMaster

Metoden för automatisk trimning är för närvarande implementerad i en Matlab applikation kallad TuneMaster. Användaren väljer vilka parametrar som skall trimmas och för vilka robotpositioner trimningen skall utföras. TuneMaster utför sedan hela den ovan beskrivna trimningsprocessen automatiskt och presenterar sedan de optimala modellparametrarna.

3. SLUTSATSER & DISKUSSION

Den beskrivna metoden för automatisk trimning reducerar tidsåtgången för att trimma vehetsmodellen på en ny robot från ett antal veckor till ett antal dagar. I många fall förbättrar metoden också robotens rörelseprestanda.

En viktig erfarenhet från detta arbete är vikten av att utvecklingsarbetet bedrivs i samarbete med de personer som har erfarenhet av manuellt trimningsarbete. Detta är viktigt dels för att få in så mycket erfarenhet som möjligt i det verktyg som konstrueras och dels för att verktygen skall få en utformning som verkligen passar användaren.

Förutom att vara ett verktyg för automatisk trimning är TuneMaster också ett utmärkt verktyg för automatisk datainsamling och kommer att få en stor användning i kommande vidareutveckling av identifierings- och reglermetoder.

Användning av identifiering och automatisk trimning kommer att öka inom robotområdet. För att klara utvecklingen av nya robottyper, ökande prestandakrav och fortsatt kostnadsreduktion är det av största vikt att ha stor kompetens på detta område.

REFERENSER

Hovland, G., Berglund, E and Sördalen O. (1999). "Identification of Joint Elasticity of Industrial Robots". In: *Proceedings of the 6th International Symposium on Experimental Robotics, March 26-28, 1999, pp. 201-210, ISBN:1-85233-210-7, Springer-Verlag.*