



LUNDS
UNIVERSITET

Robotprogrammering på hög nivå

Martin Karlsson

Institutionen för Reglerteknik

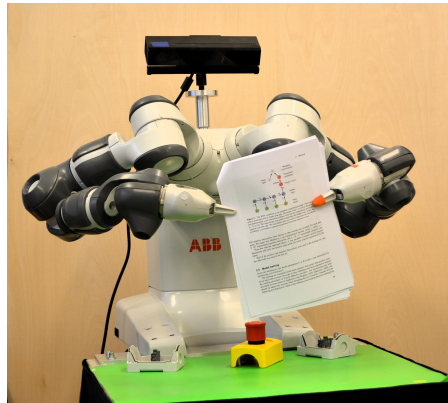
Populärvetenskaplig sammanfattning av doktorsavhandlingen *Human–Robot Interaction Based on Motion and Force Control*, april 2019. Avhandlingen kan laddas ner från: <http://www.control.lth.se/publications>

Robotar ska hjälpa människor med uppgifter som vi inte kan eller vill göra. Ordet robot kommer från det tjeckiska ordet *robota*, som betyder arbete. Det kan finnas många anledningar till att en uppgift är olämplig för människor. Den kan vara onyttig eller farlig, monoton och tråkig, kräva för stora krafter, och så vidare.

Tyvärr är robotar svåra att programmera, eftersom de behöver försees med väldigt detaljerade och konkreta instruktioner. Medan vi människor kan kommunicera med varandra på jämförelsevis höga abstraktionsnivåer, exempelvis genom naturligt språk, behöver robotar i slutändan veta hur stora motorströmmar som behövs i lederna vid varje tillfälle. I den här avhandlingen presenteras algoritmer som låter oss programmera robotar på en högre nivå, det vill säga mer intuitivt och mindre detaljrikt.

Tack vare reglerteknik och automation går det sedan tidigare att programmera robotar på högre nivå än motorströmmar. Robotprogram består oftast av en serie förutbestämda rörelser, specificerade med exempelvis hastighet och slutposition. Regulatorer används sedan för att beräkna lämpliga ledmoment, och givet dessa används inre regulatorer för att beräkna motorströmmar. När det kommer till att utföra snabba och precisa rörelser utan vila är industrirobotar betydligt bättre än människor. Därför har de blivit väldigt viktiga inom exempelvis biltillverkning.

Att specificera program för detta kräver dock mycket ingenjörsarbete, och alla förändringar i arbetsområdet måste förutses under programmeringen. Det mesta som vi utträtt är varierande och kräver anpassning efterhand, vilket är anledningen till att vi sällan ser robotar göra nytta i vår vardag. Det finns specialiserade maskiner såsom diskmaskiner och robotdammsugare, men sådana behöver betydande



En samarbetsrobot som "läser" forskningsresultat.

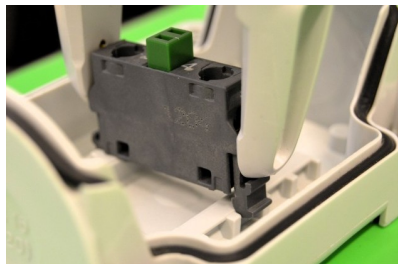
hjälp av människor för att fungera väl.

En tillsynes monoton uppgift, som skulle vara bra att robotisera, är montering av mindre elektronikprodukter som robotdammsugare och smartphones. Det räcker dock inte att genomföra en serie noggranna rörelser för att klara en sådan uppgift. Anledningen är den, att det finns små osäkerheter i hur delarna som ska monteras är utformade och placerade. Dessa osäkerheter är större än toleranserna när delarna ska passa ihop. Dessa uppgifter är å ena sidan alltför monotona för att vara lämpliga för människor, men å andra sidan inte tillräckligt repetitiva för traditionella robotprogram. Robotar skulle behöva bli mer följsamma, och använda kontaktkrafter för att bestämma hur de ska röra sig.

Robotprogram behöver kunna köras på låg nivå, det vill säga med hög detaljrikedom, medan programmering på hög nivå, där vi i förväg inte behöver beskriva alltför noggrant, är bekvämare för oss. Kanske kan vi möta robotar på halva vägen? Att programmera genom att demonstrera hur uppgifter ska genomföras verkar vara en lovande kompromiss. I den här avhandlingen presenteras nya metoder som låter oss göra detta. Metoderna är baserade på reglering av krafter och rörelser, samt maskininlärning.

Stora industrirobotar är farliga att vara nära när de kör, eftersom de rör sig fort med stor massa. Det börjar bli vanligare med mindre industrirobotar som är gjorda för att vara säkra för människor, så kallade samarbetsrobotar. Genom att ta tag i en sådan robot och leda runt den, kan vi lära den nya rörelser och förfina rörelser som programmerats tidigare. Jämfört med traditionell programmering, som sker genom att skriva kod med ett tangentbord, är detta ett väldigt snabbt och intuitivt sätt att förmedla rörelser på. I avhandlingen visas också hur robotars förmåga att omplanera kan förbättras. Detta är viktigt om roboten behöver ta en omväg på väg till sitt mål, till exempel för att undvika ett hinder.

Från exempel får robotar också lära sig att känna igen när en viss deluppgift är avslarad, för att veta när det är dags att gå över till nästa. Vissa uppgifter, som till exempel monteringsuppgifter, ger upphov till kontaktkrafter mellan robotens verktyg och föremålet som ska monteras. Dessa kan mätas direkt med kraftsensorer, men sådana är dyra och ibland besvärliga att montera. Som tur är ger kontaktkrafterna upphov till ledmoment, som alltid är tillgängliga att mäta i robotar. Dessa ledmoment använder vi för att automatiskt detektera lyckad montering. Maskininlärning används för att skapa en modell för detekteringen. Först låter vi roboten träna på uppgiften för att samla in uppmätta ledmoment. Detta ger oss så kallade tränings-

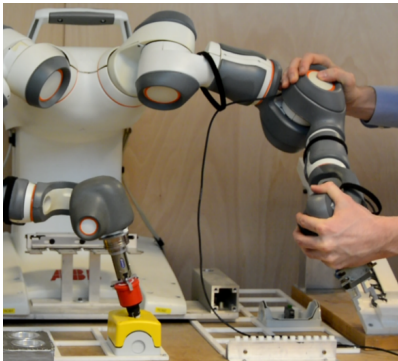


En robot monterar fast en strömbrytare genom att trycka den nedåt. När strömbrytaren sätts fast ordentligt, uppstår en karakteristisk kontaktkraft som roboten lärt sig att känna igen från tidigare erfarenhet.

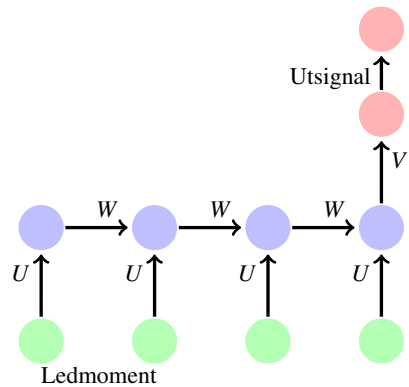
data, som används för att skapa modellen. Modellen består av ett artificiellt neuralt nätverk, inspirerat av biologiska hjärnor men betydligt enklare.

Vid demonstration av kontaktkrafter, är det viktigt att roboten kan skilja på kontakt med människan och med föremålet. För att separera dessa, har vi utvecklat en metod som låter oss fjärrstyra robotar. Vi använder två robotarmar, där den ena kan flyttas direkt av en människa, medan den andra utför samma rörelser och kan ha kontakt med föremålet. Kontaktkrafterna skattas och överförs mellan regulatorerna som styr de båda robotarmarna, så att människan får känslan av att ha direktkontakt med föremålet. De demonstrerade kontaktkrafterna kan sparas och användas när roboten själv ska genomföra uppgiften.

Med utvecklingen av robotar som hjälper oss med uppgifter som tillverkning, medicinska operationer, utforskning av andra planeter och bilkörning, går vi en spännande framtid till mötes.



En robot lär sig att montera stoppknappar. Den ena robotarmen flyttar knappen, och rör sig enligt den andra armen, som styrs av en människa.



Arkitekturen för ett artificiellt neuralt nätverk som används i avhandlingen. Moment i robotens motorer utgör insignal, och pilarna visar hur informationen flödar mellan artificiella neuroner. Parametrarna U , V och W , används för att beräkna en utsignal, som indikerar huruvida en deluppgift har klarats av.