

# Cloud Robotics

Fredrik Sidh  
Lunds Tekniska Högskola  
Email: fr8415si-s@student.lu.se

Alexander Larsson  
Lunds Tekniska Högskola  
Email: al6313la-s@student.lu.se

**Sammanfattning** – Rapporten ämnar att ge en översiktlig beskrivning av cloud robotics med dess arkitektur, nätverkskonfiguration och samspel med molnet. Även de viktigaste möjliggörande teknologierna som ligger till grund för cloud robotics går igenom, vilket bland annat är cloud computing och big data. Sedan diskuteras nutida applikationer såsom navigering, simultan lokalisering och greppande av objekt av robotar. Till sist behandlar rapporten möjliga framtida appliceringar av cloud robotics.

## I. INTRODUKTION

CLOUD ROBOTICS är ett brett begrepp som bygger på flertalet teknologier såsom cloud computing, big data, nätverkskonfiguration och cooperative robot learning. Resultatet är robotar som avlastas till en molnplattform och därmed blir lättare, billigare och mer kraftfulla.

Rapporten tar översiktligt upp systemets arkitektur och teknologin bakom cloud robotics och presenterar därefter begränsningar med tekniken. Huvudsakligt fokus för rapporten är sedan aktuella och framtida tillämpningar av cloud robotics.

I dagsläget är användningen av cloud robotics inte vidare utbredd, men det finns några användningsområden som presenteras senare i rapporten.

## II. TEKNISK ÖVERSIKT

I avsnittet presenteras teknikerna som möjliggör cloud robotics samt hur systemet är uppbyggt och dess arkitektur. Cloud robotics jämförs även med andra robotsystem för att visa hur det skiljer sig.

### A. Arkitektur och uppbyggnad av systemet

Grundtanken med cloud robotics är att robotar inte själva ska behöva utföra de beräkningar som krävs för att genomföra dess olika funktioner utan att detta istället ska ske på en server som roboten är ansluten till. Därför består tekniken i huvudsak av två delar: (1) den fysiska enheten eller den så kallade roboten som ska utföra en viss uppgift samt (2) molnplattformen där data lagras och bearbetas. Detta skapar i sin tur en större kapacitet i och med att roboten kan ta emot data och kommandon från serverar istället för att bearbeta all information lokalt. Systemuppbyggnaden visas i figur 1. [1]

Molnplattformen består av olika servrar som i sin tur kan plocka data från databaser och processa denna.[1] Molnplattformen innehåller bland annat en *knowledge base*, en *task planner*, *deep learning*, och *communication support*. [2] *Knowledge base* innehåller information som enheten kan behöva för att utföra sina uppgifter, men informationen kan

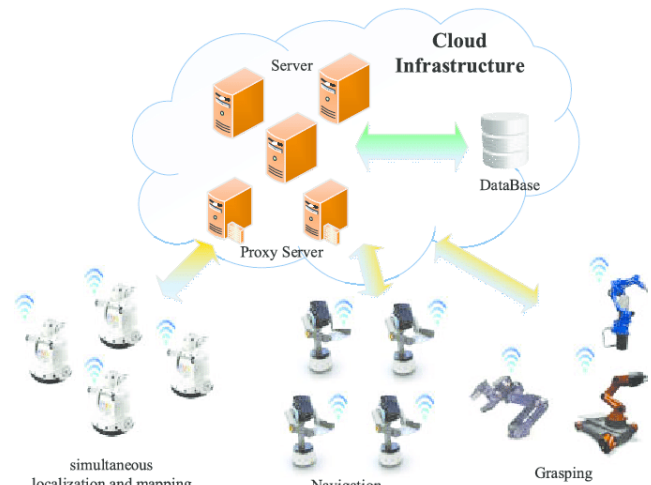


Fig. 1. Arkitekturen bakom cloud robotics med molninfrastruktur och anslutna robotar.[1]

behöva processas innan den används av enheten. *Task planner* planerar och koordinerar systemet så att enheten gör rätt uppgift vid rätt tidpunkt medan *deep learning* handlar om att molnet genom algoritmer modellerar delar av den data som skickas tillbaka från enheten till molnet för att förbättra systemet, alltså att molnet lär sig av information från omvärlden.[3] Det finns även möjlighet för en operatör att skicka in information i molnplattformen för att styra enheten genom plattformens *communication support*. [2]

### B. En jämförelse mellan robotsystem

Tre olika typer av robotsystem presenteras nedan och sammanfattas i figur 2.

I och med att flera fysiska enheter kan kopplas till samma molnplattform finns det även potential för dessa enheter att kommunicera med varandra vilket benämns "networked robotics". [1] Skillnaden mellan networked robotics och cloud robotics är att vid den förstnämnda metoden måste en lokal enhet användas som distributör av data mellan enheterna och det är på den centrala enheten som beräkningar utförs istället för i molnet. Vid cloud robotics å andra sidan, finns inget krav på en central lokal enhet, utan information kan distribueras direkt mellan molnet och robotarna. I båda systemen kan det uppstå överbelastning på grund av kommunikationen, men cloud robotics-system har däremot inte samma problem med överbelastning på grund av för stor databelastning (beräkningar och lagring) i och med att databehandling både kan ske på lokala enheter och i molnet. De två systemen kan även jämföras med en självständig robot (stand-alone robot) som kan ha stora problem när den ska behandla mycket data eftersom den inte

Category	Computing model	Resource level	Latency mainly caused by	Energy mainly caused by	Intelligence Level	Application
Stand-alone robots	On-board computing	Weak	Computing workload	Computing workload	Low	Static and structured tasks
Networked robotic system	Ad-hoc cloud computing	Medium	Computing and communication workloads	Computing and communication workloads	Medium	Real-time processing
Cloud robotic system	Hybrid computing (both cloud computing and ad-hoc cloud computing)	Strong	Communication workload	Communication workload	High	Both real-time processing, and resource-intensive applications

Fig. 2. En jämförelse mellan stand-alone, networked, och cloud robotics.[4]

har någon avlastning alls för beräkningar och datalagring.[4]

### C. Nätverkskommunikation

Kommunikationen mellan molnet och robotar samt robotar sinsemellan sker antingen med tråd eller trådlöst. Trådad kommunikation via exempelvis Ethernet innebär en säkrare dataöverföring jämfört med trådlös kommunikation där det är större risk att datapaket går förlorade. För stationära robotar fungerar det bra, men naturligtvis blir det omöjligt för icke-stationära robotar.

Sett till själva molnet så delas det ofta in i tre olika typer av molnbaserade infrastrukturer: offentliga moln, privata moln samt hybrider mellan dessa (public, private och hybrid clouds). Ett offentligt moln innebär att all infrastruktur ägs och hanteras av leverantören genom Internet. Användaren delar även lagringsutrymme, nätverks-enheter och maskinvara med alla andra användare. Till skillnad från det offentliga molnet är ett privat moln begränsat till en enskild organisation som använder det. Det innebär att organisationen har full kontroll av infrastruktur och därmed är säkerheten bättre än för ett offentligt moln. Till sist finns hybridmoln som är ett mellanting av privata och offentliga moln. De känsliga delarna av en verksamhet kan förläggas till det privata molnet, medan sådant som inte har samma krav på säkerhet kan lämnas till det offentliga molnet. Vilken typ av moln som är att föredra beror på organisationens behov och krav på bland annat kostnad, intern kompetens, säkerhet, flexibilitet och löpande underhåll.[5]

Kommunikationen mellan robotar å andra sidan ställer höga krav på prioritering. Robotar kan ses som noder i ett större nätverk och prioritering måste hanteras på ett överordnat vis. En enhet måste välja mellan att transferera data som en nod i ett led eller att utföra sina egna uppgifter. Det måste således finnas en överordnad uppgift för samtliga robotar som de bidrar till i sin egen roll. Det traditionella sättet att staka ut den mest kostnadseffektiva vägen för dataöverföring som sedan används statiskt, kan leda till långa ledtider i ett system som bygger på dynamiska robotar. Cloud robotics kräver alltså en mer dynamisk optimering av datorkommunikationen så att kommunikationsvägarna är mer flexibla.[1]

### D. Cloud Computing

Tekniken för cloud computing går ut på att resurser för framför allt beräkningar och lagring finns tillgängliga för en enhet via någon form av kommunikation över vanligtvis Internet. Beräkningarna och lagringen sker egentligen på en

server på annat håll, men enheten kan ändå dra nytta av resurserna utan att uppfylla de systemkrav som uppgifterna ställer krav på.[2]

Cloud computing passar alltså bra för beräkningsintensiva uppgifter såsom bild- och röstigenkänning samt uppgifter som kräver tillgång till större databaser såsom metoder som bygger på hantering av mycket stor data. I praktiken innebär det att datorsystem kan organiseras så att enheter endast behöver ha tillgång till en server och därmed kan konstrueras med lägre komplexitet i form av processorkraft, lagringsutrymme och uppdateringstakt. Resultatet blir en lägre kostnad för varje enhet som är kopplad till molnet.[6]

### E. Big Data och RoboEarth

Data som är för stor för att kunna hanteras i konventionella databaser definieras som big data. Det kan röra sig om kartor, bilder, videos, finansiella transaktioner och realtidsapplikationer. Molnet möjliggör tillgång till gigantiska mängder data som inte skulle varit möjligt att lagra lokalt på en enskild enhet. Algoritmer för machine learning kan sedan utnyttja big data för funktioner såsom bild-igenkänning och gripande av objekt.[6]

Open-source RoboEarth är ett exempel på användningen av big data på ett system som möjliggör för robotar att ta del av varandras "erfarenheter". Ramverket innehåller en databas som samlar in data som skapats av människor och robotar och som även gör om datan till ett format som kan läsas av maskiner. Datan innefattar bland annat kartor för navigation, task knowledge som kan användas av molnplattformens task planner, samt algoritmer för bildigenkänning. Systemet är utvecklat av European Union's Seventh Framework Programme och riktar sig framförallt mot självkörande bilar och drönare som kräver mycket data för navigation.[2]

### F. Collective Robot Learning

Cooperative robot learning är en viktig del av cloud robotics. Tekniken innebär att flera robotar kan samarbeta och lära sig av varandra och därigenom lösa svårare uppgifter och arbeta mer effektivt än tidigare.

Det är möjligt att använda sig av big data och databaser likt RoboEarth för att dela lärdomar mellan robotar, men då flera robotar arbetar med en uppgift tillsammans så blir det snabbt mer komplicerat. Vid samarbete är det istället bättre om robotarna kan dela information med varandra istället för genom en extern enhet först. Kommunikationen mellan robotar medför att de kan rätta till fel som kan uppstå då de genom machine

learning lär sig av stora dataset.[8]

### G. Tekniska svårigheter och begränsningar

Med cloud robotics kommer även antalet tekniska svårigheter som måste tas i beaktning vid vidare utveckling av tekniken. Som tidigare nämnts är bland annat RoboEarth ett system som har utvecklats för att omvandla data som samlas in från människor och robotar kopplade till systemet till ett standardformat. I och med att molnplattformen samlar in data från många olika enheter, kommer de olika formaten på datan att vara ett problem när den ska processas och användas tillsammans med annan data.[1]

Vidare uppkommer även problem med data-säkerheten i och med information ofta skickas trådlöst från enhet till moln och vice versa. För att motverka detta jobbar utvecklare bland annat med fler integrerade verifikationer i algoritmerna som används.[1]

Realtidskommunikation innebär en svårighet inom cloud robotics eftersom det är svårt att skicka den stora mängd data som behövs för att utföra beräkningsintensiva uppgifter och sedan skicka tillbaka ett kommando till roboten. För realtidsapplikationer uppstår då en avvägning mellan hur mycket av beräkningarna som ska göras lokalt på enheter och hur mycket som ska skickas för att hanteras i molnet.[1] I och med att enheten inom systemet även är mycket beroende av uppkoppling till molnet kan detta skapa problem om det uppstår tillfälliga störningar i nätverket som den är kopplat till.[2] Skapas störningar och fördröjningar i system där flera enheter kommunicerar simultant kan hela systemet haverera. Detta sätter stora krav på de algoritmer som används inom cloud robotics och att dessa även kan anpassas vid olika fördröjningar.[1]

## III. NUTIDA TILLÄMPNINGAR

Under senare år har cloud robotics växt och tekniken appliceras idag på ett antal olika områden. Cloud robotics möjliggör tekniker där mycket data behandlas och lagras genom användning av en molnplattform och cloud computing. Det är än så länge ingen kommersiellt utbredd teknik, men nedan presenteras ett antal appliceringsområden där tekniken till viss del används idag.[8]

### A. Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)

SLAM är en teknik som används för att en enhet utan förkunskaper ska kunna bygga upp en karta av ett okänt område samtidigt som den har koll på sin egen position. Tekniken kan även användas för uppdatera en karta inom ett redan känt område och kan bland annat användas för obemannade flygplan och självkörande bilar.[9] För att tekniken ska fungera, framförallt för large-scale mapping, krävs stor processkapacitet och datalagring. Med hjälp av cloud robotics kan mycket av den lagring och databehandling som krävs ske på molnplattformen. Detta har lett till att tekniken blivit mer precis och att den kan appliceras på områden så som självkörande fordon som kräver hög precision över stora geografiska områden.[1]

### B. Grasping

Begreppet grasping innefattar att en enhet greppar tag om ett föremål med okänd geometri. Tekniken kan bland annat vara användbar inom industrin för att automatisera produktion och förutsätter stor datahantering. Med hjälp av sensorer kan enheten som ska greppa ett föremål skicka information om objektet. Denna data kan tillsammans med ytterligare big data och cloud computing behandlas i molnplattformen för att bestämma geometrin på objektet i fråga. Därefter kan molnplattformen skicka kommandon om hur enheten ska greppa föremålet. Den data som hanterats kan även sparas i molnet för framtida användning om liknande scenarion skulle uppstå.[1]

### C. Navigation

Navigation är en teknik som används av enhet för att den ska nå en given destination genom bestämning av kurs, position och fart.[10] I navigationssystem möjliggör cloud robotics att en stor mängd data kan lagras för att bestämma en enhets position i ett stort geografiskt område. Genom molnplattformen kan navigationssystemet även tillgå kommersiella kartor, såsom Google maps, för mer precis navigering.[1]

## IV. FRAMTIDA TILLÄMPNINGAR

I dagsläget är cloud robotics ingen utbredd teknik och det finns som tidigare nämnt vissa svårigheter så som realtidskommunikation som begränsar antalet applikationsområden. I framtiden kan vi möjligtvis få se lösningar på problemen som finns vilket möjliggör ett antal appliceringsområden där några presenteras nedan.

### A. Självkörande bilar

Framtidens självkörande bilar kan mycket väl bygga på cloud robotics. Att skapa en självkörande bil ställer höga krav på bildigenkänning och på att kunna samspela med andra bilar. I dagsläget finns redan exempel från Google vars självkörande bilar bygger på cloud robotics. De använder en enorm databas av kartor såsom satellitbilder och gatubilder från molnet och kombinerar detta med egna sensorer för att kunna navigera med centimeter-precision. Så småningom när bilarna fått mer erfarenhet kan de genom maskininlärning bli allt bättre, samtidigt som de delar med sig av sina förbättrade algoritmer till andra självkörande bilar.[2]

### B. Industri 4.0

Industri 4.0 brukar en revolution inom produktionsindustrin kallas där större delen av produktionen blir automatiserad och självgående. Detta betyder att produktionslinan kommer bestå av robotar som kommer ta egna beslut utan kommandon från en mänsklig faktor. Cloud robotics är en teknik som möjliggör denna revolution inom industrin genom dess användning av intensiva molnbaserade beräkningar. Genom tekniken kan robotar både använda sig av funktioner så som SLAM och grasping och dessutom ta in information från resten av

produktionslinan. Detta möjliggör en beslutsfattande robotenhet som både blir självständig och automatiserad.[2]

### C. Assistive Robots

Inom sjukvården finns goda möjligheter att underlätta arbetet i framtiden. Att ställa diagnoser innebär att många olika källor ska kombineras och här kan cloud robotics vara ett system som underlättar för läkare och andra som arbetar inom sjukvården. Robotar kan genom molnet ha tillgång till databaser som bygger på big data med sjukdomar, patientjournaler och behandlingar, och sedan använda dessa tillsammans med kraftfull datorkraft från molnet. Därmed kan robotarna assistera vid exempelvis diagnostisering och operationer.[2] I detta fall möjliggör cloud robotics tillgången till processorkraft och stora databaser, samtidigt som robotarna kan vara mindre komplicerade och därmed kan spridas till fler sjukhus.

En annan möjlig applikation inom ett närbeläget område är äldrevården. Här är det framför allt övervakningen som underlättas. Äldre personer kan då få hjälp som de behöver, utan att kräva ständig övervakning av någon person.[2] Cloud robotics innebär då att robotar kan produceras till en låg kostnad och därmed blir tillgängliga för allt fler.

## V. SLUTSATSER

Cloud robotics är en teknik som använder sig av en molnbaserad plattform för att möjliggöra avancerade funktioner som både kräver dataintensiv beräkning och information från omvärlden. Det finns vissa svårigheter med tekniken i dagsläget, såsom realtidskommunikation och kravet på den ständiga uppkopplingen till molnet, som begränsar dess appliceringsområden.

Det sker en hel del forskning och utveckling kring området i dagsläget som i framtiden kan möjliggöra att tekniken blir mer utbredd. Tekniken har potential att appliceras inom många olika områden vilket gör att investeringar kommer från flera olika branscher och banar vägen för att vi i framtiden kommer se tekniken inom bland annat bil- och produktionsindustrin samt sjukvården. Vidare kan utvecklingen av 5G och dess överföringshastigheter bidra till att cloud robotics kan användas i större utsträckning i och med att cloud robotics bygger på en molnbaserad plattform som hela tiden är uppkopplad mot olika robotenheter.[12] För att robotar ska kunna utföra sina uppgifter vid rätt tidpunkt krävs både datorer som kan hantera stora datamängder och höga överföringshastigheter. Det finns därför flera faktorer som tyder på att cloud robotics i framtiden kommer förändra hur vi ser på teknik.

## REFERENSER

- [1] J.Wan. "Cloud robotics: Current status and open issues", Ieexplore. June 1st, 2016. [Online] Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7482658>
- [2] Wikipedia. "Cloud robotics". Nov 11, 2019. [Online] Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud\\_robotics](https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_robotics)
- [3] Wikipedia. "Djupinlärning". Dec. 7, 2019. [Online] Available: <https://sv.wikipedia.org/wiki/Djupinl%C3%A4rning>
- [4] W.Chen. "A study of Robotic Cooperation in Cloud Robotics: Architecture and Challenges". Jul. 25, 2018. [Online] Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8403209>
- [5] Microsoft Azure. "Vad är offentliga och privata moln samt hybridmoln". [Online] Available: <https://azure.microsoft.com/sv-se/overview/what-are-private-public-hybrid-clouds/>
- [6] B.Keoh. "A Survey of Research on Cloud Robotics and Automation". Jan. 12, 2015. [Online] Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7006734>
- [7] M.Waibel. "RoboEarth". June 16, 2011. [Online] Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5876227>
- [8] L.Hardesty. "Collaborative learning – for robots". June 25, 2014. [Online] Available: <http://news.mit.edu/2014/collaborative-learning-for-robots-0625>
- [9] Wikipedia. "Simultaneous localization and mapping". Jan. 6, 2018. [Online] Available: [https://sv.wikipedia.org/wiki/Simultaneous\\_localization\\_and\\_mapping](https://sv.wikipedia.org/wiki/Simultaneous_localization_and_mapping)
- [10] Wikipedia. "Navigation". Aug. 5, 2019. [Online] Available: <https://sv.wikipedia.org/wiki/Navigation>
- [11] R.Kazala. "Wireless Network for Mobile Robot Applications". 2015. [Online] Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896315027123>
- [12] Ericsson. "What will 5G bring to industrial robotics?". 2019. [Online] Available: <https://www.ericsson.com/en/blog/2018/12/what-will-5g-bring-to-industrial-robotics>