Sensorer i Autonoma bilar

Maximilian Wernér 34687

Handledare: Hannu Toivonen

2018

# Abstrakt

TODO: uppdatera

Denna kandidatavhandling ger en inblick i världen av autonoma fordon samt de utmaningar och möjligheter som kan uppstå till följd av nya autonoma fordonsteknik (AV) -teknik. AV-teknik kan minska transportkostnaderna och öka tillgängligheten för låginkomsthushåll och personer med rörelsehinder. Denna framväxande teknik har också långtgående tillämpningar och konsekvenser bortom alla nuvarande förväntningar. Avhandlingens fokus ligger främst på att jämföra de olika sensorer som krävs för att möjliggöra förarlös drift. Jag jämför också för- och nackdelar i en SWOT analys av de olika sensorerna som används.

Nyckelord: autonoma fordon, sensorer, radar, lidar, kamera

Innehållsförteckning

[Abstrakt 1](#_Toc510612307)

[1. Inledning 3](#_Toc510612308)

[2. Autonoma bilar 5](#_Toc510612309)

[2.1. Nuläget 5](#_Toc510612312)

[2.2. Automationsnivåer 6](#_Toc510612314)

[3. Sensorer 9](#_Toc510612315)

[3.1. LiDAR 9](#_Toc510612316)

[3.2. Radar 11](#_Toc510612317)

[3.3. Kamera 14](#_Toc510612318)

[3.4. Ultraljud 14](#_Toc510612319)

[4. Avslutning 16](#_Toc510612320)

[Källförteckning 17](#_Toc510612321)

# Inledning

För att uppnå autonoma fordon i urbana situationer med oförutsägbar trafik måste flera realtidssystem kunna agera sinsemellan, inklusive omgivningssensorer, lokalisering, planering och kontroll. Dessutom behövs en stabil fordonsplattform med lämpliga sensorer, hårdvara för beräkningar, nätverk och annan programvaruinfrastruktur. Att kunna analysera omgivningen är A och O. Medan bilen kör skannar den sin närmaste omgivning. Därefter klassificerar och katalogiserar den olika objekt för att kunna bedöma om det är säkert att köra. Detta sker med centimeters precision. Idag klarar sensorerna av att klassificera upp till 98% av omgivningen. Exempel på fel som kan uppstå är om en fotgängare står nära ett annat objekt, t.ex. en stolpe vid övergångsstället. Då smälter fotgängaren och stolpen ihop och blir en enda stillastående varelse.

På senare tid har algoritmerna för att uppfatta omgivningen blivit så pass avancerade att bilen klarar av att spåra och klassificera cyklister, fotgängare (med undantag för enstaka fall), fordon och till och med trafikljus. Ett nytt planeringssystem använder all denna inkommande data för att generera tusentals valmöjligheter per sekund för att sedan välja den optimala vägen dynamiskt. Den förbättrade kontrollenheten väljer kontinuerligt gasreglage, broms- och styrmoment för att maximera komforten och minimera körfel. Dessa algoritmer fungerar oberoende väder, både i sol och regn och under dag och natt.

Med hjälp av de tidigare beskrivna realtidsalgoritmerna har forskare lyckats köra autonomt i flera miljoner mil i olika väder- och trafikförhållanden. Utvecklingen har gått så långt att tidigare utmaningar som smala vägar, korsningar och trafikljus nuförtiden är fullt hanterbara. Fast bilarna i stort sett klarar sig själva måste alltid en säkerhetsförare vara på plats för att förebygga oförutspådda fel. Deras jobb går ut på att åka omkring i timmar och vänta på att ett fel inträffar. Då växlar de till manuell kontroll och manövrerar sig genom problemet medan bilen registrerar vad som sker för att senare själv kunna hantera en liknande situation. Detta kallas maskininlärning. Efter att bilens centralenhet har samlat tillräckligt med data börjar den själv ”förstå” hur den ska tolka nya situationer på basen av tidigare liknande händelser.

Medan det här bara är en liten titt bakom kulisserna i världen av självkörande bilar återstår fortfarande många hinder. Det finns fortfarande inget fordon som uppvisat en förmåga att navigera genom byggzoner, olycksfallsområden och andra liknande omgivningar med en människas precision och omdöme. Om vi dessutom bortser från de enorma samhälleliga förändringarna som krävs för att detta ska kunna bli verklighet, återstår fortfarande flera etiska problem. Om du sitter i din självkörande bil och åker genom en stad, en bil kommer körandes i motsattriktning mot dig och plötsligt springer ett barn ut på vägen, hur ska då din bil hantera situationen. Det primära målet är att du ska klara dig oskadd. Därefter ska alla skador minimeras. Du kan inte väja in i bilen som kommer mot dig, inte köra på barnet, då kvarstår bara att köra ut till höger och antagligen skada dig själv. Dilemmat härstammar i Isaac Asimovs ”robotikens tre lagar” som lyder:

1. En robot får aldrig skada en människa eller, genom att inte ingripa, tillåta att en människa kommer till skada.
2. En robot måste lyda order från en människa, förutom om sådana order kommer i konflikt med första lagen.
3. En robot måste skydda sin egen existens, såvida detta inte kommer i konflikt med första eller andra lagen.

Vi får helt enkelt vänta med spänning och se om nästa steg i människans bekvämlighetsjakt kan bli sann. En relevant analogi går att hitta i bankvärlden, specifikt under tiden då bankautomater togs i bruk. Istället för att gå till ett bankkontor för att sköta dina ärenden använder du en nätbank, bankautomat eller en telefontjänst. Det tog ca 40 år för den teknologin att mogna och accepteras av allmänheten.

# Autonoma bilar

TODO: text

1.
2.

## Nuläget

Självkörande bilar är ännu en sällsynt syn på våra gator. Ända sedan 2009 har Alphabets dotterbolag Waymo haft självkörande bilar på allmänna vägar och idag har de tillsammans tillryggalagt över 8 miljoner kilometer. [1] Än så länge befinner sig dessa bilar på automationsnivå fyra (se nästa kapitel) men Velodyne, en av världens ledande tillverkare av lasersensorer, har nyligen lanserat en ny modell som påstås möjliggöra automationsnivå fem. TODO: källa

* 1.

## Automationsnivåer

The Society of Automotive Engineers International (SAE) är en amerikansk organisation som utvecklar standarder för diverse industrier. För att göra det lättare att definiera ett fordons automationsnivå har SAE utvecklat en skala från noll till sex där noll innebär ingen automation och sex full automation. För mer utförlig info se bilaga 1. Nedan listar jag exempel på de olika automationsnivåernas funktion för att bättre illustrera idén. OBS KÄLLOR

Nivå 0 – Ingen automation:

* ”Lane Change Assist” (LCA): Systemet övervakar området på båda sidor av bilen och upp till 50 meter bakom och varnar för faror genom att blinka med lamporna på sidospeglarna. (Volkswagen).
* ”Park Distance Control” (PDC): Systemet hjälper med parkering i trånga utrymmen genom att beräkna avståndet från hindret till bilen utgående från en akustisk eller optisk signal. (BMW).
* ”Lane Departure Warning” (LDW): Systemet varnar föraren visuellt och med en varningston om bilen oavsiktligt avviker från körbanan. (Nissan).
* ”Forward Collision Warning” (FCW): Systemet mäter din hastighet och hastigheten på fordonet framför samt avståndet mellan bilarna. Om bilarna kommer för nära varandra varnar systemet föraren. (Nissan).

Nivå 1 - Förarassistans:

* ”Adaptive Cruise Control” (ACC): Föraren väljer önskad hastighet och ett avstånd till framförliggande bil. Systemet upprätthåller därefter hastigheten relativt till bilen framför.
* ”Park Assist” (PA): Föraren aktiverar parkeringsassistenten som därefter tar över styrningen. Med hjälp av ultraljuds sensorer skannar parkeringsplatsen och avgör om det är möjligt att parkera fordonet. Därefter placerar systemet bilen i optimal position för att sedan navigera in den i parkeringsrutan. http://www.volkswagen.co.uk/technology/parking-and-manoeuvring/park-assist (Volkswagen, Mercedez Benz, Peugeot)
* ”Adaptive cruise control with stop & go” (ACC inklusive Stop & Go): Ett system som innehåller körsträcka-kontroll (vid hastigheter från 0 till 250 km/h) och detekterar närliggande fordon. Systemet håller önskat tidsintervall genom att automatiskt bromsa och gasa, även i långsamma trafikflöden. (BMW)
* ”Lane Keeping Assist” (LKA): Systemet aktiveras automatiskt över en viss hastighet (ca 60 km/h). Systemet detekterar filmarkeringar och bestämmer på så vis fordonets plats. Om fordonet kör av körbanan mot kanten leder systemet tillbaka föraren till rätt körlinje. Om den korrigering som krävs är större än det maximala som systemet tillåter eller körhastigheten faller under gränsvärdet, varnar systemet föraren till exempel med rattvibrationer. Därefter ansvarar föraren för att justera körlinjen korrekt. (Toyota)

Nivå 2 – Partiell automation:

* Parkeringsassistent: Delvis automatiserad parkering som fungerar både på en t.ex. en allmän parkeringsplats och i ett privat garage. Parkeringsprocessen startas genom att trycka på knappen och fordonet parkeras helt självständigt (styrning, acceleration, bromsning). Föraren måste dock övervaka omgivningen och avbryta parkeringen om det behövs. (BMW).
* ”Traffic Jam Assist”: Fordonet spåras av systemet trafik vid låga hastigheter (upp till 60 km/h) samtidigt som målavståndet bibehålls till fordonet framför, därefter justeras fordonets hastighet och hjälper till att hålla fordonet i körbanan (ACC + LKA). Föraren är dock är skyldig att hålla händerna på ratten och att observera miljön. (BMW)

Nivå 3 – Villkorlig automation:

* ”Traffic Jam Assist”: Systemet upprätthåller lämplig hastighet för att bibehålla ett säkert avstånd till bilen framför. Därefter navigeras fordonet med hjälp av LiDAR och kortdistansradar. Föraren måste aktivera systemet, men inte övervaka det kontinuerligt. Föraren kan när som helst stänga av systemet. (Continental Automotive)
* ”Cruising Chauffeur”: Ett villkorbaserat automatiserat system, som fungerar i hastigheter upp till 130 km/h på motorvägar. Föraren måste aktivera systemet, men inte övervaka det hela tiden. Föraren kan när som helst stänga systemet. Systemet ber föraren att ta över fordonet om situation kräver det. (Continental Automotive).

Nivå 4 – Hög automationsnivå:

* ”Parking Garage Pilot”: Mycket automatiserat parkeringssystem som inkluderar automatisk fickparkering. Föraren behöver inte övervaka systemet på en parkeringsplats och kan lämna bilen när systemet är aktiverat. Fordonet startas med en smarttelefon eller nyckel. (Audi)
* ”Highway Pilot”: Ett automatiserat system som kan aktiveras när föraren manövrerat ut sitt fordon på motorvägen. Detta är bilvärldens version av flygplanens autopilot och klarar således av att accelerera, bromsa och manövrera självständigt. Föraren måste själv aktivera systemet, men inte övervaka det kontinuerligt. Systemet kräver inte att föraren tar kontroll över fordonet så länge det befinner sig på motorvägen). (Mercedes Benz)

Nivå 5 – Fullständig automation:

* Ett totalt automatiserat fordon kan självständigt köra från punkt A till punkt B. Exempelvis en hyrbil kan själv köra tillbaka till sin startpunkt. (Waymo)
* TODO text

# Sensorer

För att en bil ska kunna ta sig fram obehindrat krävs att bilen kan skapa en bild av omgivningen och analysera den data som kommer in för att därefter fatta ett beslut. I det här kapitlet listar jag därför de huvudsakliga sensorer som behövs för att möjliggöra autonom drift. Olika biltillverkare använder sig av olika sensorer för ändamålet. Dessutom gör jag en kort SWOT analys för varje sensor. SWOT står för Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats och är en vanlig metod för att ge en övergripande bild av ett objekts styrkor, svagheter, möjligheter och hot. Sensorer delas in i två kategorier: proprioceptiska och exteroceptiska. Den förstnämnda mäter interna värden som bilens batterinivå, hjulposition och dylikt. Den andra analyserar omgivningen. [2] Jag kommer att fokusera på de exteroceptiska sensorerna i den här avhandlingen i och med att de ansvarar för identifieringen av objekt på och nära vägen.

## LiDAR

LiDAR (står för Light Detection and Ranging) är ett lasersystem som tillverkas av Velodyne. Namnet påminner om radar eller sonar vilket lämpar sig bra i och med att LiDAR fungerar på samma sätt, nämligen med ekolokalisering. Ekolokalisering innebär i all enkelhet att skjuta ut något, i det här fallet en laserstråle, och sedan mäta hur länge det tar för det att återvända. Se figur 1.



Figur Källa: <http://www.lidar-uk.com/how-lidar-works/>

Det går att studsa radio-, ljud- och ljusvågor. Radiovågor duger bra till att lokalisera fasta föremål på långt avstånd men de kan också passera genom några föremål utan att studsa. Ljudvågor kan försvinna snabbt och de reser relativt långsamt. Sammantaget gör det dem otillräckliga för objektdetektering på avstånd över fyra meter. LiDAR använder laserstrålar för att skicka ut korta pulser av ljus och mäta den tid det tar att ta emot ljuset. Det använder laseruppsättningar utanför det synliga spektrat. Det är möjligt att bygga en stor 3D-karta över objekt som omger sensorn från de uppmätta avstånds- och riktningsdata från de studsade pulserna.

LiDAR upptäcker inte närliggande föremål tekniskt sett. I stället skapar de en profil av objekten runt omkring och analyserar rutten för en reflekterad stråle. 3D-kartan, även kallad Point Cloud, i utrymmet runt sensorerna kan vara väldigt detaljerad och bestå av miljoner pulser per sekund och slutföra hundratals cykler i sekunden. Och eftersom LiDAR producerar en relativt detaljerad 3D-bild kan datorsyn upptäcka skillnaden mellan olika föremålstyper, till exempel bil, fotgängare, cykel etc. Detta är viktigt eftersom dessa föremål påverkar bilens framfart på olika sätt och kräver därför olika åtgärder. Ska bilen sakta ner, göra mer utrymme på sidan eller något annat? De bästa sensorerna kan i dagens läge upptäcka objekt på upp till 100 meters avstånd.



Figur Velodynes LiDAR-system. Den nyaste modellen saknas. [3]

LiDAR är den dyraste av alla sensorer som används i autonoma bilar. Deras 64 kanalers version kostar ca 85 000 USD [4], för att inte tala om vad deras nyaste modell kommer att kosta. Med vidareutveckling och senare massproduktion av självkörande bilar kommer priset förhoppningsvis att sjunka. LiDAR har dess gränser också. Det kan inte läsa tecken eller bokstäver eftersom de är plana. Tung snö eller dimma kan störa systemet relativt enkelt. Snarare än att använda LiDAR som ensamstående sensor är det en bra idé att använda den i kombination med andra sensorer samtidigt. Ett annat problem med LiDAR är att de producerar en stor mängd data, som behöver bearbetas vidare.

De flesta av de nuvarande autonoma fordonsutvecklarna anser LiDAR vara en väsentlig teknik för autonom körning. Å andra sidan hävdar Tesla att deras autonoma fordon inte behöver det och förlitar sig på en annan uppsättning av sensorer. Detta är tvivelaktigt eftersom kameror inte fungerar bra i förhållanden med brist på ljus eller för starkt ljus och radar inte kan känna av objekt med lika stor detaljrikedom som LiDAR.

## Radar

Genererar elektromagnetiska vågor och upptäcker reflektionen av dessa vågor när de studsar tillbaka från närliggande objekt. Både kortdistans- och långdistansradarer på antingen 24 GHz eller 77 GHz används i autonoma bilar. Fördelarna med 77 GHz ligger främst i den högre noggrannheten för avstånd och hastighetsmätningar såväl som i den mer exakta vinkelupplösningen. Ytterligare fördelar över 24 GHz är den mindre antennstorleken och det lägre störningsproblemet. De viktigaste skillnaderna ligger mellan SRR-program (kortdistansradar) och MRR/LRR (medellängdsradar/långdistansradar) applikationer.

Kortdistansradioapplikationer inkluderar:

* Blind Spot Detection (Blind Spot Monitoring)
* Lane och lane-change assistent
* Bakre radar för kollisionsvarning eller kollisionsundvikande
* Park Assist
* Övervakning av trafiken

Exempel på MRR / LRR-applikationer är:

* Bromshjälp
* Nödbromsning
* Automatisk fjärrkontroll

SSR-applikationerna är i grund och botten utformade för att ersätta ultraljudssensorer och för att stödja högautomatisk körning. För detta ändamål placeras sensorerna vid varje hörn av fordonet och en framåtriktad sensor för långdistansdetektering placeras på fordonets framsida. För att få en så kallad kokongbild av bilen placeras extra sensorer på fordonets sidor.

Idealt sett skulle dessa radaravkännare använda 79 GHz-frekvensbandet med en bandbredd på 4 GHz. Men globala frekvensspecifikationer hittills tillåter endast 1 GHz bandbredd vid 77 GHz. Idag är en gemensam partitionering för en radar MMIC (integrerat monolitiskt mikrovågs kretskort) tre överföringskanaler (TX) och fyra mottagningskanaler (RX) som är monolitiskt integrerade. I diskussionen i branschen är det om det är vettigt att integrera basbandshanteringen i MMIC eller om det är bättre att koncentrera sig på en rådataradarsensor.

Skillnaden är att utgången från basbandsprocessorn ger så kallade ”för-mål”, vilket innebär att det är förbehandlad data, såsom overifierad information om hastighet, avstånd, signalstyrka, horisontell vinkel och vertikal vinkel för varje detekterat objekt. Rådataradarensorn tillhandahåller ofiltrerad rådata, som ECU:n sedan behandlar.

Radarn kan bestämma ett objekts distans, vinkel och hastighet. En kortdistansradar har en räckvid på 30 meter, vilket lämpar sig bäst för låga hastigheter. Radar är bra för att upptäcka och mäta rörelse runt fordonet. Den är inte lika beräkningstung som en kamera och hanterar mycket mindre data än LiDAR. Medan radarn inte har lika bra vinkelprecision som LiDAR fungerar den däremot i alla väder och ljusförhållanden. Dessutom kan den se igenom föremål, vilket är speciellt bra för att känna av objekt framför de omkringvarande bilarna. Detta är möjligt genom att reflektera vågorna bakom föremålen i närheten. Långdistansradar används för högre hastigheter och kan upptäcka objekt på över 200 meters avstånd. Dessa radarer mäter vanligtvis hastigheten på fordonet framför och är monterade framför fordonet. Autonoma fordon förlitar sig på data från både radar och LiDARs där de korsvaliderar inkommande data.

## Kamera

Kamerabaserade system är antingen av typen monovision dvs med en ”synkälla” eller stereovision dvs en uppsättning av multipla (vanligtvis två) monovisionskameror, precis som mänsklig syn. Beroende på behoven kan de monteras på de främre gallren, sidospeglarna, bakdörren, bakrutan osv. De övervakar noggrant de närliggande bilarna, körfältet, trafikskyltar, strålkastare mm och varnar föraren när bilen står i fara för en överhängande kollision med en fotgängare eller ett fordon. De mest avancerade kamerasystemen upptäcker emellertid inte bara hinder utan identifierar även dem och förutspår deras omedelbara banor med hjälp av avancerade algoritmer.

## Ultraljud

Genererar ljudvågor med högre frekvens än det mänskliga örat kan uppfatta och upptäcker reflektionen av dessa vågor när de studsar tillbaka från ett nära objekt. De använder också ekotider från ljudvågor som studsar från objekt i närheten. En ultraljudsradar kan se ett mjukt föremål som en hund eller ett barn och fungera i alla hastigheter, men lämpar sig bäst för korta avstånd. Vanligtvis finns det ett par ultraljudsradarer utspridda runt bilen för att skapa en 360 graders objektmodell av omgivningen. Med hjälp av ultraljudssensorer kan t.ex. bilar som befinner sig i den döda vinkeln upptäckas.

# Avslutning

TODO: text

# Källförteckning

|  |  |
| --- | --- |
| [1]  | Waymo, ”Waymo,” [Online]. Available: https://waymo.com/ontheroad/. [Använd 20 Mars 2018]. |
| [2]  | ”Robotik Sistem,” [Online]. Available: http://www.robotiksistem.com/robot\_sensors.html. |
| [3]  | Velodyne, ”Velodyne LiDAR Products,” [Online]. Available: http://velodynelidar.com/products.html. [Använd 24 Mars 2018]. |
| [4]  | Velodyne, ”Velodyne LiDAR,” [Online]. Available: http://velodynelidar.com/docs/news/This%20Palm-Sized%20Laser%20Could%20Make%20Self-Driving%20Cars%20Way%20Cheaper%20\_%20WIRED.pdf. [Använd 24 Mars 2018]. |
| [5]  | Morgan Stanley & Co. LLC, ”Autonomous Cars Self-Driving the New Auto Industry Paradigm,” 6 November 2013. [Online]. Available: https://orfe.princeton.edu/~alaink/SmartDrivingCars/PDFs/Nov2013MORGAN-STANLEY-BLUE-PAPER-AUTONOMOUS-CARS%EF%BC%9A-SELF-DRIVING-THE-NEW-AUTO-INDUSTRY-PARADIGM.pdf. [Använd 5 Februari 2018]. |

*Bilaga 1 SAE (2014) https://web.archive.org/web/20170903105244/https://www.sae.org/misc/pdfs/automated\_driving.pdf*