

Utmaningar för autonoma fordon inom trafiken

Sebastian Sjödahl

Datavetenskap

Fakulteten för naturvetenskaper och Teknik

Åbo Akademi University

Åbo, Finland, 2021

Innehållsförteckning

1.	Inledning.....	3
1.1	Bakgrund.....	3
1.2	Nivåer av automation	4
1.3	De icke autonoma nivåerna	4
1.4	De autonoma nivåerna	5
1.5	Avgränsningar.....	6
1.6	Syfte.....	6
2.	Sensorer	6
2.1	Kamera.....	7
2.2	Radar	7
2.3	LiDAR.....	8
2.4	Sensorfusion	9
3.	Maskininlärning inom autonoma fordon.....	9
3.1	Att ta hänsyn till andra väganvändare.....	10
3.2	Hantering av extremfall.....	10
3.3	Etiskt beslutsfattande i autonoma fordon	11
4.	Begränsningar och Samhällets acceptans	12
4.1	Infrastruktur	13
4.2	Säkerhet och övervakning av autonoma fordon	13
4.3	Statligt regelverk.....	13
4.4	Ansvarsskyldighet.....	13
5	Avslutning.....	13
	Källförteckning.....	13

1. Inledning

TODO

1.1 Bakgrund

Forskningen och experimenten kring att utveckla autonoma fordon hade sitt ursprung redan på början 1900-talet, med den första semi-automatiska bilen utvecklad år 1977 av Japans Tsukuba Mechanical Engineering Laboratory. Det fordonet krävde vägar som tydligt hade blivit markerade på förhand och som sedan avlästes av två kameror för att räkna ut hur fordonet skulle köra [10].

Sedan dess har det utvecklats fordon som kan köra av sig själv och endast behöver en minimal översikt av människor. Exempel på detta är bland annat företaget Waymo i USA, som blivit det första företaget att introducera taxin utan förare [8]. Dessa fordon fungerar på en "hög automationsnivå" (SAE nivå 4, figur 1) enligt SAE Internationals (tidigare Society of Automotive Engineers) definition med personer som övervakar fordonens beteende i realtid. Inget av dessa fordon är dock ännu tillgängliga att köpa för allmänheten och sedan den femte mars 2021 finns det endast fordon som blivit klassade som "villkorligt automatiska" (SAE nivå 3, figur 1) tillgängliga att hyra för allmänheten. Dessa fordon är tillverkade av Honda Motor Co. i Japan och tillåter föraren att lagligt ta ögonen av vägen under specifika förhållanden, såsom att köra på motorvägen [9].

Det finns alltså flera nivåer av automation ett fordon kan ha och för att uppnå de högre nivåerna måste fordonet utrustas med ett antal olika sensorer för att läsa av sin omgivning. Utöver sensorerna behöver fordonen även ett sätt att avläsa denna uppsamlade data, och sedan fatta ett beslut grundat på detta. För att ett fordon ska kunna klassificeras som fullt autonomt krävs det alltså att fordonet själv kan navigera sig inom trafiken under alla förhållanden, utan behov av mänskligt inslag.

1.2 Nivåer av automation

År 2014 utfärdade SAE International en sammanfattning av definitioner för automatiserad körning för att både förenkla kommunikationen samt arbete inom tekniska och politiska områden. Denna sammanfattning har kommit att bli en standard för att beskriva nivåer av autonomi ett fordon kan ha. Enligt formen finns det sex olika nivåer (0–5) av autonomi som sträcker sig från ingen automatisering, till fullt automatiserad (figur 1). Dessa sex nivåer av automation kan vidare delas in två kategorier. Till den första hör nivåerna 0 – 2, var det är föraren som övervakar körmiljön (SAE level 0–2, figur 1), medan den andra kategorin består av nivåerna 3 – 5, var det är det automatiserade körsystemets uppgift att övervaka miljön (SAE level 3–5, figur 1) [7].

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
Human driver monitors the driving environment						
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
Automated driving system ("system") monitors the driving environment						
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an automated driving system of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes

Figur 1. Tabell av nivåer av automation hos fordon. [7]

1.3 De icke autonoma nivåerna

Till de icke autonoma nivåerna hör de nivåer där det är förarens uppgift och ansvar att både köra bilen och övervaka miljön. Dessa är alltså SAE nivå 0, 1 och

2. De flesta fordon som används i dagens läge hör till nivå 0 och dessa fordon har ingen form av körautomatisering. De är dock inte helt utan system för att stödja föraren, eftersom system som antiblokeringsystem (ABS) vilket hindrar hjulen att låsa sig när fordonet bromsas inte kvalificeras som automation.

I nivå 1 förekommer den lägsta nivån av automatisering. Dessa fordon kan ha någon form av förarassistans såsom en farthållare eller en adaptiv farthållare, vilken även kan reglera hastigheten för att hålla avstånd till fordonet framför. Fordon med den här formen av förarassistans klassificeras som nivå 1 eftersom det fortfarande krävs att föraren övervakar resten av fordonets omgivning.

Till nivå 2 hör fordon som har en form av avancerade förarassistanssystem (ADAS) var fordonet själv kan kontrollera både hastighet och styrning.

Exempelvis Teslas Autopilot i de fordon som Tesla för tillfället producerar kvalificeras till denna nivå.

1.4 De autonoma nivåerna

Till de autonoma nivåerna hör de nivåer där fordonets uppgift är att övervaka omgivningen och till viss mån även köra fordonet, alltså SAE nivå 3, 4 och 5. Nivå 3 är alltså den första nivån där fordonet delvis själv kan köra och göra beslut inom trafiken. Exempel på en sådan situation är att köra om ett långsamt fordon på motorvägen. Föraren måste inom dessa fordon fortfarande alltid vara alert och redo att ta över ifall fordonet själv inte klarar av en viss situation.

Vid nivå 4 kan fordonet köra sig själv och behöver inte någon förutom vid extremfall inom trafiken. Dessa fordon finns redan i små mängder inom trafiken idag, men på grund av limitationer inom både infrastruktur och lagstiftning så är majoriteten av dessa riktade mot företag som erbjuder någon form av taxiservice.

Fordon som är av nivå 5 klassas som fullt autonoma fordon och behöver inte ens en ratt eller pedaler för en mänsklig förare. Dessa fordon ska självständigt kunna köra utan någon uppsyn av en människa. I dagens läge finns det inga bilar tillgängliga för allmänheten som har nått denna nivå av autonomi.

1.5 Avgränsningar

TODO

1.6 Syfte

TODO

2. Sensorer

En av de största utmaningarna inom utvecklingen av autonoma fordon har varit att framställa ett system som gör det möjligt för bilarna att se sin omgivning. För att autonoma fordon ska kunna bli mer pålitliga och bättre på att köra än människor, måste de även kunna se denna omgivning bättre. Detta steg i de autonoma fordonens utveckling har redan överkommit genom att kombinera ett antal olika sensorer för att få en tillräckligt diversifierad indata från fordonets omgivning. Trots de framsteg som gjorts inom sensorteknologi ämnade speciellt för autonoma fordon, kan sensorer fortfarande upphöra att fungera på grund av omgivningsförhållanden eller tillverkningsfel. Utöver att få en så mångsidig input som möjligt fungerar flera sensorer även som en säkerhetsanordning (fail-safe) ifall någon av de andra sensorerna skulle gå sönder. Därför är det viktigt att dessa sensorer överlappar varandras användningsområden så att de både kan komplettera varandras brister och tillfälligt ersätta varandra ifall en annan sensor upphör att fungera.

Autonoma fordon använder sig av en kombination av olika sensorer som kan kategoriseras i två huvudsakliga grupper. Till den första kategorin hör sensorer som arbetar genom att tillvarata data om fordonets dynamiska läge samt dess interna mätningar. Exempel på dessa sensorer är bland annat satellitnavigeringssystem, gyroskop och accelerometrar. Till den andra kategorin hör de sensorer som tar upp fordonets externa omgivning. Enligt Jamil Fayyad finns det inom denna kategori tre primära sensorer som autonoma fordon behöver för att uppnå sin fulla potential. Dessa är kamera, radar och LiDAR, som tillsammans hjälper fordonet att se sin omgivning från flera olika synvinklar. Den andra kategorin kan dessutom indelas i aktiva sensorer som överför energi till

omgivningen och sedan mäter dess reflektion, såsom radar och LiDAR, och passiva sensorer som bara läser av omgivningens energi, såsom kameran [1].

2.1 Kamera

Kameran är det autonoma fordonets bästa sätt att få en visuell representation av dess omgivning. Autonoma fordon är oftast utrustade med ett flertal kameror på alla sidor av fordonet för att ge en 360 graders bild av vad som befinner sig runtom fordonet. Styrkan med att använda sig av kameror är att de är relativt billiga och långt utvecklade sensorer. Till exempel har CMOS kameror blivit mindre och mer energisnåla, samtidigt som de är billiga och enkla att tillverka [2].

Kameran har dock en markant svaghet, nämligen att fordonets omgivningsförhållanden kan ha en stor effekt på dess prestationsförmåga. Olika former av störningar, såsom direkt solljus, liten ljusmängd eller dåliga väderförhållanden försämrar kvaliteten på de bilder kameran tar. Att implementera infraröda kameror i de autonoma fordonens kamerauppsättning skulle lösa de problem som uppstår vid förhållanden med svagt ljus, och till viss grad även dåliga väderförhållanden [3]. Infraröda kameror är dock väldigt dyra att implementera och förekommer därför endast i lyxmodeller. LiDAR och radar kan motverka dessa bristfälligheter.

2.2 Radar

Radarn är en viktig sensor autonoma fordon använder sig av för att samla information om sin omgivning. Radarns främsta uppgift är att komplettera kamerans indata, speciellt vid dåliga väderförhållanden då kamerans prestationsförmåga är försämrad. Radarn fungerar genom att sända ut kortvågiga radiovågor som sedan reflekteras av föremål och snappas upp av en antenn, och kan bestämma avståndet till ett föremål, dess höjd eller hastighet [4]. Det finns tre olika kategorier radarn kan delas in i enligt dess användningsområden. Dessa är kort-, medium- och låndistansradar. Kort- och mediumdistansradarn använder sig huvudsakligen av en frekvens på 24 GHz och har ett detektionsområde på 5–

70 meter, medan långdistans- och även mediumdistansradarn använder sig av en frekvens på 77 GHz och har ett detektionsområde på 100–250 meter. Att använda sig av en kombination av kort-, medium- och långdistansradar har även sina fördelar. Typiska användningsområden för kortdistansradarn är exempelvis vid övervakning av den döda vinkeln och assistering vid parkering, tack vare dess breda synfält på ca 60–80 grader [2][5].

Precis som med kameran är även radar oftast utrustad på fordonets alla sidor för att komplettera kamerans indata. Att utrusta fordonet med radar är fördelaktigt eftersom de är både mekaniskt robusta samtidigt som de generellt sätt är opåverkade av ljusmängden eller dåliga väderförhållanden såsom regn, snö, dimma och damm. Radarn är även billigare än andra aktiva sensorer, såsom LiDARn. De data som fordonet kan samla in med både kameran och radarn räcker för att uppfylla kraven för de lägre nivåerna av autonomi, men är inte tillräckligt detaljerad för att fordonet självständigt ska kunna göra säkra beslut inom trafiken. För att fordonet ska ha möjlighet att bli fullt autonomt behövs även LiDAR.

2.3 LiDAR

Radarn och kameran är relativt vanliga i moderna fordon men för att göra fordonet fullt autonomt behövs även Light detection and ranging (LiDAR). LiDAR påminner om radarn när det kommer till dess funktionssätt, men istället för radiovågor sänder LiDARn ut ljus och mäter bland annat avstånd till olika föremål. Med hjälp av det reflekterade ljuset LiDARn fångar upp, kan fordonet sedan skapa detaljerade 3D-bilder av omgivningen [6]. Precis som radarn är LiDARn inte heller påverkad av dåliga ljusförhållanden. Nackdelen med LiDAR är att den är dyr att implementera och för tillfället kan den inte heller möta de prestations- och storlekskrav som finns för att massproducera autonoma fordon på en industriell nivå. Precis som kameran är LiDARn även påverkad av väderförhållanden och kan inte prestera i dåliga väderförhållanden, såsom regn, snö, dimma eller vägdamm [2].

2.4 Sensorfusion

Med sensorfusion menas förmågan att samla in data från flera olika sensorer och sedan skapa en helhetsbild över fordonets omgivning från alla insamlade data. Denna helhetsbild över omgivningen är mer noggrann än vad de individuella sensorerna skulle åstadkomma enskilt eftersom den bygger på de styrkor de olika sensorerna har. Sensorfusion är en nödvändig process för alla autonoma fordon för att överkomma de begränsningar som individuella sensorer har. (Kapitel inte färdigt)

3. Maskininläring inom autonoma fordon

För att autonoma fordon ska kunna köra bättre och säkrare på vägen än människor, måste de förutom att kunna se sin omgivning bättre även göra bättre beslut. För detta använder autonoma fordon maskininlärningsalgoritmer. En av huvuduppgifterna dessa algoritmer har i autonoma fordon är att kontinuerligt tolka den omgivande miljön och att förutse möjliga förändringar i den. Med all denna information ska algoritmerna sedan utföra beslut över hur fordonet ska agera.

Ett av de största målen med autonoma fordon är att göra vägen säkrare för de som använder den. För att detta ska vara möjligt måste fordonet göra både bättre och pålitligare beslut än den mänskliga hjärnan. Fördelen med att använda sig av maskininläring för att göra beslut är att fordonet konstant kan "lära" sig mer om hur det ska hantera vissa situationer, samt att dessa beslut skulle vara mer konsekventa än hos en mänsklig förare. Nackdelen med maskininläring är att det behövs en stor mängd data, och träning med denna data, för att autonoma fordon ska kunna bli säkrare inom trafiken.

Den data som samlas in är inte heller komplett, alltså den täcker inte alla scenarion som dessa fordon kan stöta på. Detta är en av de svåraste utmaningarna med maskininläring, eftersom autonoma fordon inte kan börja användas inom trafiken förrän det kan garanteras att de är säkra också vid dessa extremfall.

3.1 Att ta hänsyn till andra väganvändare

En annan utmaning för maskininlärningsalgoritmerna i autonoma fordon kommer vara att förmågan att förstå mänskligt beteende och allmän etikett i trafiken. För människor är det vanligt att exempelvis vid ögonkontakt signalera åt en fotgängare att hen kan gå över övergångsstället, eller att vid en korsning signalera åt andra förare med en handgest att föraren kan köra först, fastän hen har väjningsplikt. Detta är svårt för maskininlärningsalgoritmerna att lära sig, eftersom handgester och andra signaler väganvändare använder skiljer sig från person till person. Det är likaså även svårare för andra förare att förmedla till det autonoma fordonet, eftersom det inte skulle sitta någon förare vid ratten. [11]

Situationer som erfarna förare kan förutspå i trafiken, ett så kallat sjätte sinne, kan även vara utmanande för maskininlärningsalgoritmer att lära sig. Dessa situationer kan exempelvis vara att en annan förare försöker vika in på samma fil framför det autonoma fordonet på motorvägen, eller att en bil framför kommer att panikbromsa. Dessa situationer kan även delvis förknippas med extremfall.

3.2 Hantering av extremfall

Ett extremfall är alltså en situation som sällan förekommer i praktiken, men kan förekomma under extrema förhållanden för det autonoma fordonet. Detta innebär alltså att fordonets sensorer har samlat upp data vilket fordonets maskininlärningsalgoritmer sällan, eller inte alls, stött på tidigare. Exempel på några extremfall fordonet kan stöta på är extrema väderförhållanden eller oförutsägbarheten av andra förare, men även någonting så oberäkneligt som att förutse ifall ett barn jagar en boll som rullar ut på vägen.

Eftersom de beslut som maskininlärningsalgoritmerna befattar är beroende av den mängd data algoritmen har haft till förfogande vid träningen, betyder det att dessa extremfall är väldigt svåra både att hantera och att träna för. Vad som dessutom gör detta problem ännu mer utmanande är att dessa extremfall kan leda till flera miljontals kombinationer som algoritmerna inte ännu lärt sig [2].

För att det autonoma fordonet ska kunna accepteras och anses vara säkert måste dess maskininlärningsalgoritmer även klara av dessa extremfall [2].

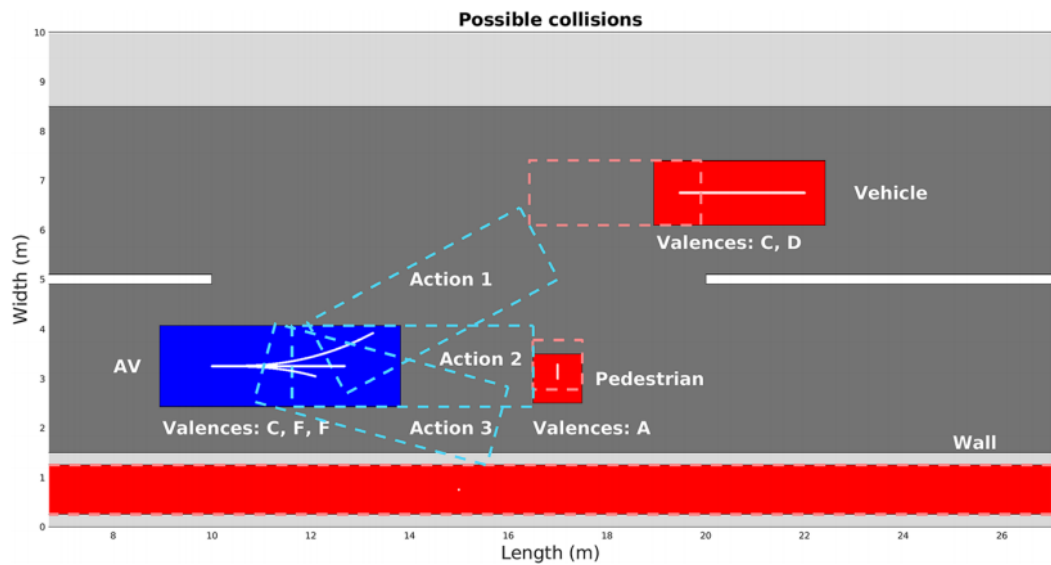
3.3 Etiskt beslutsfattande i autonoma fordon

Ett av de största målen med autonoma fordon är att göra trafiken säkrare. Med all de data som samlats in från exempelvis Waymos automatiserade fordon är det onekligt att dessa fordon är med i mindre krockar än fordon som klassificeras under SAE nivå 3 [14]. Att undvika skada är dock inte alltid möjligt, oberoende vilken nivå av automation fordonet har, och det är därför viktigt att fordonet kan agera på bästa sätt så att skadan ska bli så lindrig som möjligt. Många författare kommit med förslag för att klassificera moraliteten i dessa situationer och en av dessa teorier är Ethical Valence Theory (EVT), presenterad i forskningen Ethical Decision Making in Autonomous Vehicles: The AV Ethics Project [13].

Denna teori bygger på en form av moraliskt anspråk. Alltså alla väganvändare som identifieras av fordonet har en viss grads anspråk på fordonets beteende, samt hur detta fordon behandlar dessa väganvändare genom sina beslut.

Ett exempel på hur detta fungerar i praktiken skulle vara att en fotgängares anspråk till säkerhet skulle vara högre än en annan förare, eftersom fotgängaren troligtvis skulle bli mer skadad vid en krock med det autonoma fordonet (Figur 2). Vid denna situation var en krock med någondera av dessa väganvändare skulle vara oundviklig skulle fordonet då enligt EVT troligtvis välja att krocka med det andra fordonet för att minimera den totala skadan.

(kapitel inte färdigt)

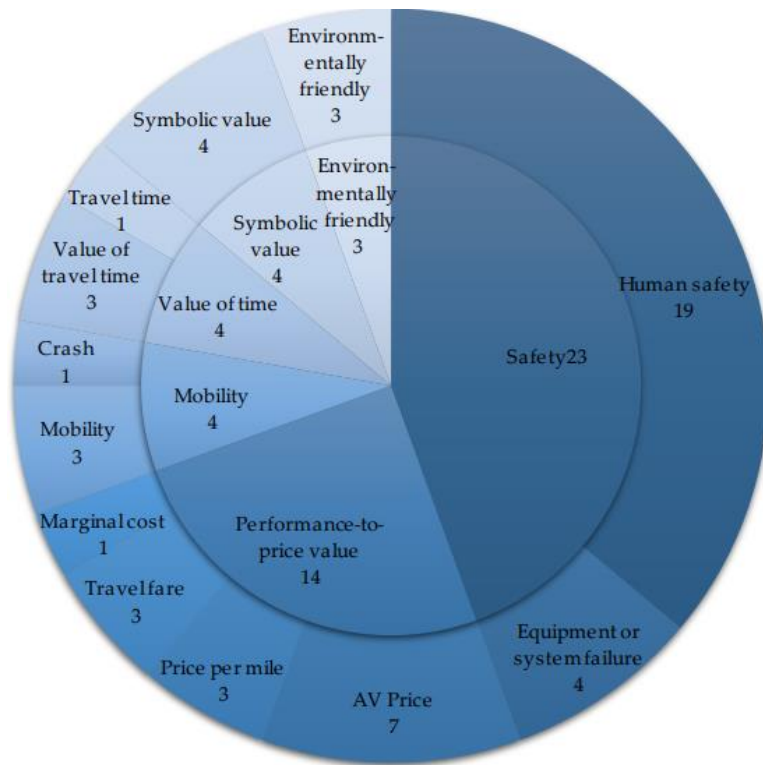


Figur 2. Exempel över möjliga handlingar för ett autonomt fordon före kollision. [13]

4. Begränsningar och Samhällets acceptans

Under de senaste åren har det amerikanska företaget Waymos autonomt navigerande fordon kört över 32 miljoner kilometer på allmänna vägar för att både testa och träna sina bilar för att skapa "världens mest erfarna förare". Detta har företaget gjort i 25 städer i USA och i Phoenix Arizona har de även skapat en förarlös taxiservice. Enligt de milstolpar som företaget nått är det tydligt att autonoma fordon i framtiden generellt sett kommer att ge en mängd fördelar inom trafik och samhälle, såsom ökad säkerhet inom trafiken, mindre trafikstockningar och även ett minskat ekologiskt fotavtryck. Trots dessa fördelar är det fortfarande många som ifrågasätter dessa fordon. Framför allt är människor skeptiska över säkerheten kring autonoma fordon. Enligt forskningen *The Determinants behind the Acceptance of Autonomous Vehicles: A Systematic Review*, framkom det i undersökningarna som utförts att en majoritet av människor värdesätter både fordonets säkerhet såväl som individens säkerhet [12].

(Kapitel inte färdigt)



Figur 3. Faktorer som påverkar acceptansen av autonoma fordon i studier utan beteendeteorier. [12]

4.1 Infrastruktur

TODO

4.2 Säkerhet och övervakning av autonoma fordon

TODO

4.3 Statligt regelverk

TODO

4.4 Ansvarsskyldighet

TODO

5 Avslutning

TODO

Källförteckning

1. Fayyad J., Jaradat M. A., Gruyer D., Najjaran H., "Deep Learning Sensor Fusion for autonomous Vehicle Perception and Localization: A Review",

29.07.2020, Tillgänglig: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/15/4220/htm>

2. Liu Z., Jiang H., Tan H. Zhao F., “An Overview of the Latest Progress and Core Challenge of Autonomous Vehicle Technologies”, 30.09.2019, Tillgänglig: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2020/04/mateconf_ictte2019_06002.pdf
3. Källhammer J-E., “Night vision: Requirements and possible roadmap for FIR and NIR systems”, 04.2006, Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/253101250_Night_vision_Requirements_and_possible_roadmap_for_FIR_and_NIR_systems
4. Meikle H., “Modern Radar Systems”, s. 1 - 4, 28.02.2008, Tillgänglig: <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.vasa.abo.fi/lib/abo-ebooks/reader.action?docID=456921>
5. Ozguner U., Acarman T., Redmill K., “Autonomous Ground Vehicles”, s. 85 - 86, 01.08.2011, Tillgänglig: <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.vasa.abo.fi/lib/abo-ebooks/reader.action?docID=829298>
6. Siegwart R., Nourbakhsh I. R., Scaramuzza D., Arkin R. C., “Introduction to Autonomous Mobile Robots, Second Edition”, s. 129 – 130, 18.02.2011, Tillgänglig: <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.vasa.abo.fi/lib/abo-ebooks/reader.action?docID=3339191>
7. SEA International, “Summary of SAE International’s Levels of Driving Automation for On-Road Vehicle. SAE INTERNATIONAL STANDARD J3016”, Tillgänglig:

https://www.sae.org/binaries/content/assets/cm/content/news/press-releases/pathway-to-autonomy/automated_driving.pdf

8. Ackerman E., "What Full Autonomy Means for the Waymo Driver", 04.03.2021, Tillgänglig: <https://spectrum.ieee.org/cars-that-think/transportation/self-driving/full-autonomy-waymo-driver>
9. The Mainichi, "Honda to start selling world's 1st level-3 autonomous car for \$103K on Fri.", 04.03.2021, Tillgänglig: <https://mainichi.jp/english/articles/20210304/p2g/00m/0bu/109000c>
10. Weber M., "WHERE TO? A HISTORY OF AUTONOMOUS VEHICLES", 08.05.2014, Tillgänglig: <https://computerhistory.org/blog/where-to-a-history-of-autonomous-vehicles/?key=where-to-a-history-of-autonomous-vehicles>
11. Osman Ors A., "The Role of Machine Learning in Autonomous Vehicles", 02.12.2020, Tillgänglig: <https://www.electronicdesign.com/markets/automotive/article/2114720/0/nxp-semiconductors-the-role-of-machine-learning-in-autonomous-vehicles?>
12. Peng J., Gang X., Yuexia C., Yuji S., Fengpin Z., "The Determinants behind the Acceptance of Autonomous Vehicles: A Systematic Review", 25.02.2020, Tillgänglig: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/5/1719>
13. Chatila R., Evans K., De Moura N., Chauvier S., Dogan E., "Ethical Decision Making in Autonomous Vehicles: The AV Ethics Project", Tillgänglig: <https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-02975071>
14. Carteni A., "The acceptability value of autonomous vehicles: A quantitative analysis of the willingness to pay for shared autonomous vehicles (SAVs) mobility services", 02.10.2020, Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590198220301354>