



TDT4856 IT-STYRING AV MODERNE LASTEBILER

Truck Platooning, et konsept for fremtiden?

Gruppe 2:

Ali Aljumaili (772170)
Anders Gildberg (750003)
Håkon Prestegård (750419)
Jonas Lien (741392)
Lars Kambe Fjæra (748650)

3. Mai 2017

Innholdsfortegnelse

1. Introduksjon	1
2. Truck Platooning sett fra et samfunnsperspektiv	2
2.1. Introduksjon	2
2.2. Hva er Truck Platooning?	2
2.3. Automatisering i trafikken og nye lovforslag	3
2.4. Sjåfør	4
2.5. Sikkerhet	5
2.5.1. Statistisk sikkerhet	6
2.5.2. Cyber-sikkerhet	7
2.6. Krav til veg	7
2.7. Miljøpåvirkning og Drivstoffforbruk	9
2.8. Eksisterende teknologi	12
3. Prototype	14
3.1. Introduksjon	14
3.2. Designvalg	14
3.3. Implementasjon	15
3.3.1. Hardware	15
3.3.2. Systemarkitektur	16
3.3.3. Kommunikasjon	17
3.3.4. Avstandsregulering	18
3.4. Resultater	20
4. Konklusjon	21
Appendiks	
A. Sammenligningstabeller	I

1. Introduksjon

Denne rapporten tar omhandler temaet Truck Platooning. Rapporten tar for seg ulike sider av temaet. Først vil det være en introduksjon av konseptet Truck Platooning, etterfulgt av hvordan dagens samfunn er tilrettelagt for, eller må innrette seg mot, dette teknologiske konseptet. Det vil bli sett på hvilken grad av automasjon som er tilgjengelig per i dag, og hva som antas tilgjengelig i fremtiden. Det vil også bli sett på sikkerhet relatert til Truck Platooning, både i trafikk-, teknologi- og sjåførsammenheng. Det er i dagens samfunn et stadig økende fokus på miljø og klima, så her vil det bli undersøkt i hvilken grad Truck Platooning kan bidra til reduserte utslipp. Avslutningsvis vil noe av dagens eksisterende teknologi bli nevnt før det gis et innblikk i nye potensielle teknologier som vil omfatte samhandlingen i framtidige veinettet.

Flere produsenter av vogntog (Volvo, Scania, MAN m.fl.) eksperimenterer i dag med denne teknologien. Det er også flere uavhengige selskap som jobber med teknologi knyttet til Truck Platooning, spesielt i USA. Flere av disse har løsninger som er på et teststadie der alle vogntogene er bemannet, men følgebilene kjører autonomt eller semi-autonomt (fører styrer retning).

Gruppa hadde et ønske om å bygge en fysisk prototype. Av denne grunn har vi valgt å bygge to radiostyrte biler og å implementere et sammenkoblingssystem bilene i mellom. Bakerste bil følger den fremste bilen i en gitt avstand ved hjelp av informasjonsflyt fra fremste bil til bakerste bil, samt avstandsmåler i front av den bakerste bilen. Videre beskriver rapporten arbeidet med prototypen.

For å begrense omfanget av oppgaven valgte gruppa å kun implementere et system som holder ønsket avstand. Gruppa har ikke implementert løsninger for andre problemer som automatisk retningsstyring og deteksjon av forbikjøring, med mer.

2. Truck Platooning sett fra et samfunnsperspektiv

2.1. Introduksjon

Fokuset i denne delen av rapporten er en samfunnsmessig debatt rundt hvordan man kan legge til rette for Truck Platooning. Det vil diskuteres hvilke teknologier for automatisert kjøring og intelligent trafikk som allerede eksisterer, og hvilke som er ”rett rundt hjørnet”. Det diskuteres også sikkerhets- og lovmessige barrierer før Truck Platooning kan implementeres på veg, og hvilke krav til veg som må endres for å tillate dette. Årsaken til interessen for Truck Platooning for de fleste firmaer, er muligheten til å effektivisere og kutte kostnader. Det vil bli sett på muligheter for drivstoff-reduksjon, og det avsluttes med hvordan dette konseptet påvirker sjåføren av den moderne lastebilen.

2.2. Hva er Truck Platooning?

Truck Platooning er en metode som gjør det mulig for to eller flere lastebiler å kjøre i en såkalt ”Platoon” drevet av smart teknologi og felles kommunikasjon. Dette gir mange gevinstar som lavere drivstoffforbruk, høyere sikkerhet og økt komfort for sjåføren.

Konseptet er at alle lastebilene i konvoien skal være oppdatert med informasjon om hastigheten og hastighetsendringen til de andre lastebilene. Ved å koble lastebilene sammen på denne måten kan lastebilene reagere umiddelbart med bremsing og akselerasjon sammen på en sikker og effektiv måte. Ledebilen i konvoien vil utveksle denne informasjonen i sanntid til de andre lastebilene.

I følge Sven Ennerst, Daimlers utviklings- og tekniske sjef, se [1], utgjør lastebiltransporten ryggraden i den europeiske økonomien. Lastebiltrafikken står for $\frac{3}{4}$ av all godstransport i Europa. Ennerst mener godstrafikken bare vil øke i tiden fremover da vi vil kjøpe flere og flere varer fra internett som skal leveres. Han anslår at global transport vil være tredoblet innen 2050, noe som vil sette press på veikapasiteten. Det er derfor viktig å se på måter å effektivisere både forbruk og veikapasitet. Truck Platooning kan være et bidrag til dette.

Interessen fra bilfabrikantene og myndigheter er stor når det gjelder prosjekter knyttet til utvikling av Truck Platooning. I 2016 arrangerte myndighetene i Nederland ”European Truck Platooning Challenge”, se [2], hvor flere av de største lastebilprodusentene var med for å vise deres respektive løsninger for Truck Platooning. Målet med denne

konkuransen var å spare mest mulig drivstoff på veien fra produsentenes hjemsted til Rotterdam.

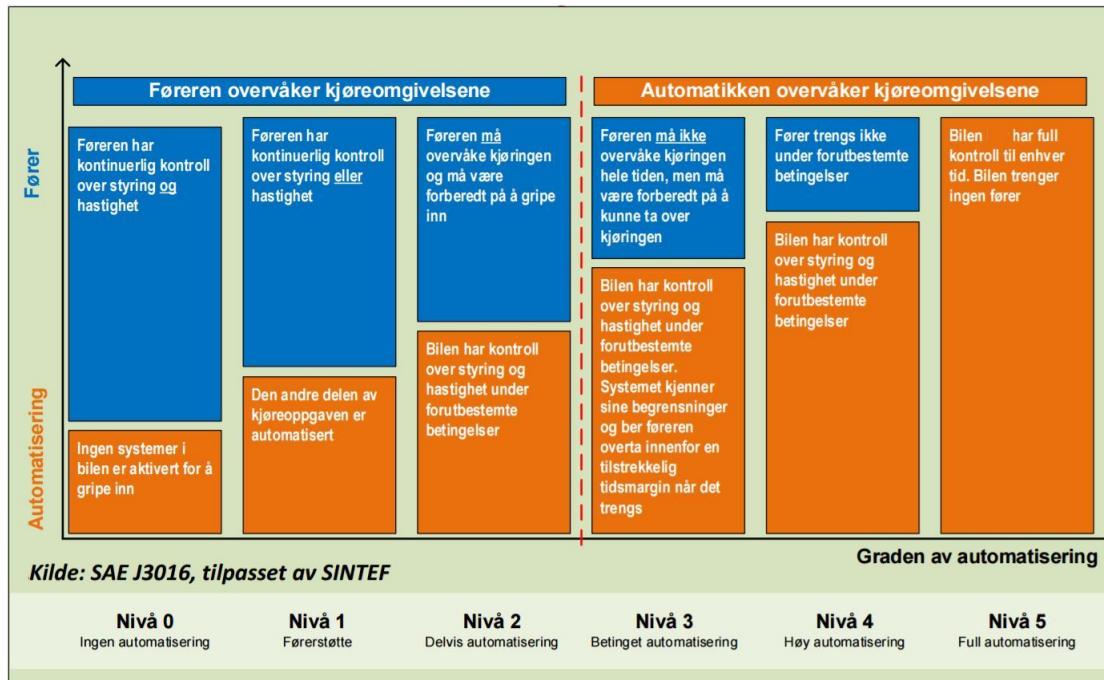
2.3. Automatisering i trafikken og nye lovforslag

I de senere år har teknologi og automatisering eksplodert i popularitet innen en rekke forskjellige arenaer. Effektivisering og økt sikkerhet er stikkord som gir gjenklang i de fleste områdene dette implementeres. Industrien kaster seg over potensialet rundt automatisering og elektronisk kommunikasjon i trafikken. Dette ser man hos bl.a. Tesla, Mercedes, Volvo, med flere. Full automatisering er fortsatt et stykke unna. Terje Moen, ved SINTEF Teknologi og Samfunn, har sammen med Samferdselsdepartementet og andre aktører utformet et forslag til en lov som i skrivende stund er ute til høring. Forslaget skal bevege automatisering i trafikken et steg videre og kommer med flere gode argumenter for hvorfor, se [3]. Under følger et utdrag fra nevnte lovforslag.

"... Utvikling av ny teknologi i transportsektoren, blant annet på kjøretøyområdet, har skjedd i et svært hurtig tempo de siste årene. Denne utviklingen fører med seg en rekke positive effekter. Utvikling og sammenkopling av stadig flere og bedre førerstøttesystemer bidrar allerede til økt trafikksikkerhet. Videre utvikling forventes å påvirke ulykkesutviklingen i positiv retning, da et betydelig antall alvorlige trafikkulykker i større eller mindre grad skyldes førerfeil. Ny teknologi har også potensielle til å bidra til økt effektivisering i trafikkavviklingen og til forenkling og økt mobilitet. Formålet med forslaget er å legge til rette for utprøving av selvkjørende kjøretøy på veg, innenfor rammer som særlig ivaretar trafikksikkerhets- og personvernherensyn..."

Ved økende grad av automatisering vil førerenes rolle endres. Figur 2.1 beskriver hvordan forskjellig grad av selvkjørende og automatiserte biler defineres gjennom forskjellige nivå [4]. Per i dag er vi på nivå 2, hvor det finnes selvstyrende systemer, som i Tesla S. Man er fortsatt pliktig til å følge med på trafikken og være klar til å gripe inn. Samferdselsdepartementet prøver med lovforslaget å få klarering til å teste automatisk kjøring på nivå 3. Det store skillet vil være at man ved nivå 3 ikke lengre vil være pliktig til å følge med og gripe inn. Skyldspørsmålet ved ulykker vil gå bort fra fører, som da trolig vil bli definert som passasjer.

Det er verdt å merke seg hastigheten på utviklingen av selvkjørende biler. De første nivå 1-bilene, med adaptiv cruisekontroll kom i år 2000. De første nivå 2-bilene, for eksempel Tesla Model S, kom i år 2015. Det er ventet at teknologien for nivå 3 er tilstede i 2018, mens det allerede i 2020 og utover er ventet å komme biler på nivå 4. Det viser til en nesten eksponentiell fremgang i utviklingen av selvkjørende biler, som kan rettferdiggjøre at lovendringer bør bli gjort nå. Skal Norge være det fremoverlente og omstillingsdyktige landet det hevder å ville være, håper gruppa at lovforslaget vil bli godkjent.



Figur 2.1.: Nivå av selvkjøring i biler

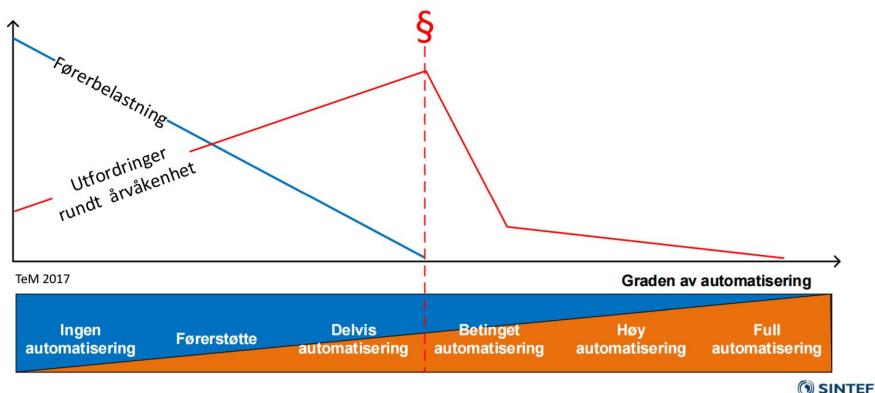
2.4. Sjåfør

Med en potensiell implementering av et Truck Platooning system vil det i større grad bli automatisert styring av lastebiler. I første omgang vil det fortsatt være behov for en menneskelig sjåfør som styrer bilen. Blant annet på strekninger hvor Truck Platooning ikke er hensiktsmessig, men også som en fail-safe. Hvordan vil den høyere graden av automatisering påvirke sjåføren? Vil det bli andre arbeidsoppgaver?

Når Truck Platooning er i drift vil arbeidsoppgavene for sjåførene endres fra styring til overvåking. Dette er noe som allerede er blitt gjort i en annen transportbransje, nemlig i flybransjen. Størstedelen av flyturen styres av autopiloten, ikke ulikt det tenkte scenariet med Truck Platooning. Hvordan påvirker dette arbeidsfordelingen, sikkerheten og sjåføren?

Undersøkelser gjort av NTSB (National Transportation Safety Board) i USA fra 1994, se [5], skyldes 31 av 37 flyulykker mellom 1978-1990 feil i overvåking av systemene. Det var ingen fysisk feil ved flyene, men overvåkingen av systemene feilet og ført til feil handling av pilotene. Graden av automasjon påvirker hvor aktiv man er i arbeidet og hvor mye man følger med. Er systemet helautomatisert vil man følge mindre med enn om man ikke har noen automatiske hjelpefunksjoner. Dermed vil også farene for ulykker øke når man plutselig går fra en overvåkingssituasjon til aktiv styring. Det beste er at data-

systemene overvåker sjåføren og retter på dens feil i stedet for at sjåføren skal følge med på datasystemene og rette på dets feil, i følge Steven Casner, doktor i Intelligent System Design fra University of Pittsburgh, se [6]. SINTEF forsker på tema rundt automatisering i trafikken. De har en utformet en graf, se Figur 2.2, som viser hvor sammenhengen mellom utfordringer rundt sjåførens årvåkenhet mot graden av automatisering. Fra grafen ser en at en økende grad av automatisering fører til flere utfordringer rundt årvåkenhet. Det er verdt å merke seg at disse utfordringene reduseres når en treffer den stiplete linjen som indikerer nivå 3-automatisering.



Figur 2.2.: Sammenhengen mellom utfordringer rundt sjåførens årvåkenhet og atomatisering.

Et viktig poeng som Truck Platooning muliggjør er besparelse av arbeidskraft ved å ha førerløse lastebiler. Gruppa ser på dette som et av de viktigste og mest attraktive elementene ved Truck Platooning. Dette kan spare transportselskap for store summer. Det kan tenkes en konvoi der kun ledebil er betjent og resten er førerløse. Dette fører til at det at det kun trengs tre sjåfører for å kunne kjøre kontinuerlig 24 timer i døgnet. Dagens kjøre- og hviletidsbestemmelser tillater ikke dette. På denne måten vil driftstiden av lastebilene kunne maksimeres. De økonomiske aspektene er en viktig årsak til at det er såpass stor interesse rundt utviklingen av Truck Platooning. Det vil selvsagt ha en negativ side ved at arbeidsmarkedet for lastebilsjåfører reduseres, og mange kan potensielt miste jobben.

2.5. Sikkerhet

Når et semi-autonomt system skal sendes ut på en veg med andre menneskelige sjåfører, stilles strenge krav til sikkerhet. Hvor sikker kan man være på at det autonome systemet er mer- eller minst like sikkert som en menneskelig sjåfør? Hvilke potensielle farer er det ved å ha et langt førerløst vogn-tog på vegen? Hvordan vil andre trafikanter føle seg, kjørende i nærheten av et slikt vogntog-system?

2.5.1. Statistisk sikkerhet

For å teste hvor sikkert et system er, må det prøvekjøres i en viss tid for å statistisk avgjøre om det er hold for påstanden. For autonome personbiler i USA har det blitt gjennomført en undersøkelse som ser på statistikken rundt hvor langt førerløse biler må kjøre uten feil for å kunne konkludere med at det er tryggere - eller minst like trygt - som en vanlig personbil med fører[7]. I USA blir 32 000 drept i trafikken årlig, og kostnader knyttet til uhell i trafikken estimeres til å være rundt 800 milliarder dollar. Over 90% av alle disse trafikkulykkene skyldes menneskelige feil. Distraksjon, trøtthet og rus er blant hovedårsakene. Disse årsakene har ikke et autonomt system. Det virker derfor å være en god idé å kunne innføre et teknologisk system som frigjør oss fra våre menneskelige feil. Men når kan man være sikker på at et selvkjørende system er tryggere enn menneskelige sjåfører?

Selv om det er mange uhell i trafikken, er ikke antallet så stort hvis man ser det i forhold til hvor mange kilometer som kjøres. Dødsraten for trafikkulykker i USA ligger på 1.09 per 100 millioner miles, eller 0.66 per 100 millioner kilometer. Raten for skade som følge av trafikkulykker ligger på 77 per 100 millioner miles, og raten for kollisjon i trafikken ligger på 190 per 100 millioner miles. For å kunne si at ens autonome system er minst like trygt, eller tryggere, må en selvkjørende bil kjøre rimelig langt uten feil for å bli statistisk signifikant. I rapporten til RAND Corporation se [7] vises hvor langt det må kjøres for å oppnå dette. Dette sees i tabellen under.

Table 1. Examples of Miles and Years Needed to Demonstrate Autonomous Vehicle Reliability

Statistical Question	Benchmark Failure Rate		
	(A) 1.09 fatalities per 100 million miles?	(B) 77 reported injuries per 100 million miles?	(C) 190 reported crashes per 100 million miles?
(1) without failure to demonstrate with 95% confidence that their failure rate is at most...	275 million miles (12.5 years)	3.9 million miles (2 months)	1.6 million miles (1 month)
(2) to demonstrate with 95% confidence their failure rate to within 20% of the true rate of...	8.8 billion miles (400 years)	125 million miles (5.7 years)	51 million miles (2.3 years)
(3) to demonstrate with 95% confidence and 80% power that their failure rate is 20% better than the human driver failure rate of...	11 billion miles (500 years)	161 million miles (7.3 years)	65 million miles (3 years)

^a We assess the time it would take to complete the requisite miles with a fleet of 100 autonomous vehicles [larger than any known existing fleet] driving 24 hours a day, 365 days a year, at an average speed of 25 miles per hour.

Figur 2.3.: Statistikk fra RAND Corporation

Fra tabellen ser man at det må kjøres sammenhengende fra 1 måned til 500 år med en flåte på 100 førerløse biler for å kunne stedfeste sikkerheten statistisk innen de gitte kravene. Noen av disse kravene ser man raskt er uoppnåelig. Her ser det ut til at man kanskje er nødt til å akseptere en viss usikkerhet dersom man skal implementere et slikt system. Eventuelt kan man definere andre krav før implementasjon. Tesla har derimot

samlet data fra hele bilparken sin når den har vært i automatisk kjøremodus. Selv om den enda ikke har nådd kilometermålet for å gjøre statistikken sikker nok, viser de de foreløpige tallene en 40% reduksjon i kollisjoner blant selvkjørende Teslaer [8]. Selv om disse rapportene er rettet mot fullt automatiserte personbiler, er det mange likheter med tanke på krav til sikkerhet for automatiseringen rundt Truck Pooling. Det er viktig å ta statistikken, kravene og sikkerheten på alvor, men her ser man allerede lovende resultater. Gruppas oppfatning er at ved mer automatisert trafikk vil ulykker grunnet menneskelige inngripener reduseres.

2.5.2. Cyber-sikkerhet

Antall prosessorer og mikrokontrollere i personbiler og lastebiler har økt drastisk de siste årene. Moderne lastebiler har gjerne minst 70 CPUer[2]. Dette gjør kjøreopplevelsen generelt sett bedre og tryggere. Men, med økt grad av teknologi og kommunikasjon mellom komponentene, øker også faren for å få systemet hacket. Det er allerede flere tilfeller hvor personbiler har blitt hacket i den grad at bilen har blitt total-kontrollert[9]. Ved implementasjon av et semi-autonomt system, er det desto mer teknologi og kommunikasjon rundt styringen av lastebilen. Dermed kan det være mulig for enda flere frihetsgrader for å infiltrere systemet og ta kontroll over lastebilen. De fleste kjøretøy benytter seg av CAN-bus teknologi, som blir kritisert for å ha få sikkerhetsbarriper[10]. Hackere har da flere mulige fremgangsmåter for å gjøre skade. Fra å totalt overta bilen, og for eksempel kjøre den ut i grøfta, til mildere kontroll, som å forskyve speedometeret til å vise lavere hastighet enn hva man faktisk kjører. Dette kan for eksempel gi fatalt utfall for en stor lastebil inn i en sving, og vil kanskje ikke bli etterforsket som noe annet enn at føreren feilbedømte sin egen hastighet. Ved implementering av 5G og ITS-løsninger som diskutert under, vil enda fler muligheter åpne seg for å få tilgang til systemer, også via internett. Gruppa mener fordelene ved nye smarte løsninger veier opp for de mulige ulempene ved hacking. Det er også sannsynlig at sikkerhetsprotokoller vil bli kraftig forbedret etterhvert som kommuniserende enheter blir mer vanlig i bil- og transportindustrien.

2.6. Krav til veg

Implementering av Truck Platooning stiller mange krav og spørsmål til utforming og bruk av veibanen. Etter samtal med professor Arvid Aakre, ved transportavdelingen hos instituttet for bygg- og miljøteknikk, NTNU, ble det klart at det var mange variabler som måtte tas hensyn til i forhold til veibane dersom Truck Pooling skulle bli en realitet.

I følge Aakre er en av de største utfordringene knyttet til plass på vegen. Dersom et tog av lastebiler skal oppta plass på vegen, hvordan vil det påvirke resten av trafikken? Om tre lastebiler skulle være koblet sammen, kan det allerede gi vansker for forbikjøring, dersom det kjøres på en to-feltsveg. Aakre var skeptisk til implementering av Truck Pooling på mindre, norske veger. I den spede barndommen som denne teknologien er

i, mente Aakre det var rimelig å anta at i første omgang vil det bli anvendt på større veger, som for eksempel Autobahn i Tyskland.

Dersom man plasserer slike vogntog i større vegbaner er spørsmålet hvilken fil det er naturlig at de ligger i. Det første og mest naturlige forslaget er da at filen lengst til høgre kan brukes. I de fleste land ligger den tregeste trafikken i feltet mest til høgre, og det er oftest her tungtrafikken ligger. Dette gjør at tungtrafikken er til mindre sjenanse for andre trafikanter. Derimot, når flere lastebiler kobler seg sammen, kan ikke lastebil-toget kjøre raskere enn det svakeste ledet i rekken. Dette vil potensielt sinke høgre felt, som kan skape hindringer for de andre formålene høyre felt har. Trafikanter som skal inn på vegbanen, må bruke høyre felt som påkjøringsfeltet. Dette kan bli et problem dersom et flere hundre meter langt tog av lastebiler uavbrutt kjører forbi. Lovmessig må dette justeres også, da det kun er militær-konvoi eller begravelsesfølge som har rettigheter for at andre trafikanter skal drastisk vike utenom normal trafikklov. Like så er det et mangfold av problemstillinger som må tenkes på og tas hensyn til før man implementerer et slikt system. Man må da ha systemer på plass som sikrer av- og påkobling av konvoien for å slippe inn forbi- og påkjørende biler.

Aakre mener videre at dersom Truck Platooning blir en realitet i stor skala vil det foregå på egne veger dedikert tungtrafikk med mulighet for Truck Platooning. Det vil også være mulig på store veger med seks felt, eller mer, ifølge Aakre. Han ser også for seg restriksjoner på antall kjøretøy i konvoien og på distansen som kan kjøres med systemet aktivert.

Egne veger dedikert spesifikt til tungtransport er mulig, men det stiller igjen spørsmål til om formålet er forsvarlig. Da hovedformålet med Truck Platooning er reduksjon i kostnader i form av mindre luftmotstand og høgere effektivitet, kan det stilles spørsmål ved om å bygge nye, egne veger vil koste mer enn det gir. Her må det også sees at veger blir bygget av staten, fra statlige midler, mens gevinsten går til private bedrifter som benytter seg av dette tilbuddet.

Fra møtet med Terje Moen ble det nevnt et tilfelle i Nord-Norge der svært dårlige værforhold kombinert med små og usikre veger har gjort kjøreforholdene svært vanskelig for lastebiltransport. I dag er det ikke uvanlig med utenlandske vogntog som kjører ut av veien eller sperrer den i snøvar og storm. Under kolonnekjøring fungerer en brøytebil som ledebil for de øvrige trafikantene. Føreren av brøytebilen har som regel svært god lokalkunnskap. Dersom Truck Platooning kan benyttes i slike situasjoner kan andre sjåfører dra nytte av denne kunnskapen og på den måten øker sikkerheten på vanskelige vinterveier.

Terje Moen har et mer optimistisk syn på implementering av ny og banebrytende teknologi enn Aakre. Dette samsvarer bedre med gruppas egne synspunkter. Per i dag har Tesla, Mercedes og flere egne bilparker med automatisert kjøreteknologi ute på vegen. Disse styresystemene er også lovlig i Norge, så her tror gruppa at Norge vil være

mer villig til å henge med i det teknologiske kappløpet, enn hva kanskje oppfattes fra Aakre.

2.7. Miljøpåvirkning og Drivstoffforbruk

En stor del av konseptet Truck Platooning er å minimere miljøpåvirkningen av transport samt å kutte kostnader relatert til drivstoffforbruk. Hele bransjen ser generelt på å kutte kostnader for kunden og å effektivisere alle sider ved tungtransport. Det er et stort potensiale å spare både utsipp og drivstoff ved å minimere luftmotstanden til lastebilen. Det største potensialet for dette ligger selvsagt hos produsentene, i form av utforming av lastebilene. Med Truck Platooning vil sjåførene i tillegg kunne spare ytterligere ved å ligge så tett som mulig slik at det ikke vil bygge seg opp turbulent luft mellom lastebilene.

Luftmotstand er en kraft som virker mot bevegelsesretningen av legemet, og kan deles inn i to deler. Friksjons-drag er den komponenten av luftmotstanden som virker parallelt på overflatene og er et resultat av skjærkrefter og viskøse effekter rundt overflatene på toppen og sidene av traileren og tilhengeren. ”Pressure-drag” eller motstands-drag er komponenten som virker i bevegelsesretningen som et resultat av trykkreftene på overflatene som er på tvers av bevegelsesretningen, altså fronten og baksiden av vogntoget. Det er ”Pressure-drag” som har størst påvirkning på luftmotstanden grunnet de store overflatene foran samt den stumpe/brå avslutningen av vogna bak som skaper wakes eller store ikke-laminære strømninger. Det er anslått at friksjonsbidraget til luftmotstanden er i underkant av 10 % av den totale luftmotstanden. Denne er derfor ikke av stor betydning.[11]

Luftmotstand eller Drag Force er definert som

$$F_D = \frac{1}{2} \times C_D \times \rho \times A \times v^2 \quad (2.1)$$

hvor C_D er Drag Coefficient, ρ er tettheten til lufta, A er det projiserte arealet og v er den relative hastigheten til legemet i forhold til lufta

Som vi kan se av formelen er tettheten av luft noe som vil påvirke luftmotstanden, og i kald luft ved -15 grader vil luftmotstanden øke med 11,6% i forhold til luft ved 15 grader.

Et enkelt regne-eksempel på hvor mye energi som brukes av et vogntog på en tur fra Trondheim til Oslo kan gjennomføres. Lastebilen kjører gjennom Østerdalen, en distanse på 495km. Dragkraften regnes dermed ved

$$F_D = \frac{1}{2} \times 0,7 \times \rho \times A \times v^2 \quad (2.2)$$

Vi antar følgende verdier; $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$, $A = 8,75 \text{ m}^2$ og $v = 19.44 \text{ m/s}$ og $C_D = 0,7$. Dette gir en Luftmotstand på $F_D = 1984 \text{ kgm/s}^2$ eller 1984 N.

Arbeidet som luftmotstanden krever på denne turen kan regnes ut fra følgende formel:

$$W = F_D \times d \quad (2.3)$$

hvor W er arbeidet som kreves, F_D er luftmotstanden, og $d = 495\text{km}$ er avstanden som luftmotstanden virker over.

Dette gir et arbeid på 982 102 968 Nm eller 982 MJ, som lastebilen må bruke på denne distansen, kun på luftmotstanden.

For å finne ut hvor mye dette betyr i drivstoff-besparelse kan vi regne videre på dette eksempelet. Hvis vi antar en besparelse i luftmotstanden på 20% vil det sparte arbeidet på luftmotstanden være $W_{spart} = 196,4\text{MJ}$ eller 54,5 kWh. EPA, United States Environmental Protection Agency, regner med at en gallon diesel tilsvarer 37,5 kWh[12]. Dette betyr at 196,4 MJ tilsvarer 1,43 gallons som tilsvarer 5,43 liter diesel spart kun på reduseringen av luftmotstand på denne reisen.

Dette eksempelet er bare et overslag, og ikke en nøyaktig modell, hvor vi antar at snitthastigheten er konstant, det er jevn kjøring og motorens utnyttelsesgrad er ikke medregnet. Men det gir en indikasjon på hvor mye det potensielt er å spare både på drivstoff-kostnader og miljøpåvirkning ved utbredt bruk av Truck Platooning.

Kilde	Urban	Motorvei
Drivlinje	10-15%	5-10%
Bremsing	35-50%	0-5%
Rullemotstand	20-30%	30-40%
Aerodynamisk motstand	10-25%	35-55%

Tabell 2.1.: Drivstoff spart

Tabell 2.1 viser et eksempel på hvor stor andel av motorkraften som blir brukt ved de typiske kjøre-situasjonene. Som vi ser er den aerodynamiske motstanden relativt liten ved urban bykjøring men betydelig stor ved typisk motorvei/landevei kjøring. Dette innebærer et stort forbedringspotensialet ved aerodynamikk for å samlet sett få ned det totale forbruket.

Hastighet	Aerodynamikk	Rullemotstand/annet
32 km/t	28%	72%
80 km/t	50%	50%
105 km/t	67%	33%
113 km/t	70%	30%

Tabell 2.2.: Motstand i prosent

Tabell 2.2 viser et eksempel prosentvis fordeling av krefter ved forskjellige hastigheter. Ettersom luftmotstanden kun er en del av det totale forbruket vil en potensiell bespar-

else i luftmotstanden på 20% utgjøre en total besparelse på forbuket på ca 10% hvis man kjører i 80 km/t eller 14% hvis man kjører i 113 km/t.

I forbindelse med Truck Platooning er det gjennomført en rekke studier for å dokumentere forskjellige effekter ved å la to lastebiler ligge tett inntil hverandre. En studie kalt "Promote Chaffeur" så på effekten på luftmotstand ved å la to lastebiler ligge tett inntil hverandre, lignende våre prototyper. Resultatene for denne undersøkelsen var som følger:

- Undersøkelsen ble gjort mellom to lastebiler med varierende avstand mellom 6 og 16 meter, og ved hastigheter på 60 km/t og 80 km/t.
- Forbruket minket lineært fra 16 meters avstand til 10 meters avstand og holdt seg omtrent på samme nivå fra 10 meter til 6 meters avstand.
- Den høyeste reduksjonen i forbruk var på 21% med 8 meters avstand.
- 15% reduksjon i forbruk ved 16 meters avstand i 80 km/t.
- Den første lastebilen oppnådde en reduksjon på 4% ved 14 meter og 10% med 10 meter ved 80 km/t.
- Den første lastebilen oppnådde en reduksjon på 4% ved 8 meter og 7% ved 5 meter ved 60 km/t.

Undersøkelsen konkluderer med at optimal avstand mellom de to bilene er 10 meter ved forskjellige hastigheter både for den første og den andre bilen. En avstand mindre enn 10 meter gav ikke betydelige utslag i resultatet.[11]

Flere lignende undersøkelser gir grunnlag for å slå fast at Truck Platooning gir betydelig reduksjon av luftmotstand, hovedsaklig for lastebilene mellom den første og siste, men også for den første lastebilen. Truck Platooning kan spare drivstoff-kostnader med 9-25% avhengig av avstand mellom bilene, hastighet og vekten på lastebilene.

Vekt er en variabel det ikke er snakket så mye om, da dette ikke er noe man får gjort så mye med tanke på Truck Platooning. Vekten er en utgjørende faktor i rullemotstanden, som er en betydelig del av hva lastebilene bruker energi på, og har derfor mye å si på drivstoffforbruket. Tunge kjøretøy er uungåelig, da transportselskapene ønsker å utnytte kapasiteten til vogntoget.

En annen viktig faktor som Truck Platooning vil påvirke er plassen lastebilene vil ta på veien. Ved å ligge tettere etter hverandre vil de bruke en vesentlig mindre andel av vei-banen enn ved normal kjøring. Dette vil frigjøre plass til andre trafikanter og øke kapasiteten på det eksisterende veinettet.

2.8. Eksisterende teknologi

Forskjellige bilprodusenter bruker for øyeblikket forskjellige metoder for å koble sammen lastebilene og utveksle informasjon. En protokoll som øker i popularitet er Vehicle to Vehicle (V2V) kommunikasjon. V2V gjør det mulig for biler å kommunisere sammen via trådløse nettverk mellom kjøretøyene. Systemet bruker en frekvens i området 5.885 – 5.925 GHz [13] i Europa, og bygger på standarden IEEE 802.11p. Dette frekvensområdet er beskyttet og brukes kun av V2V. Store selskap som Toyota, Daimler, Ford, GM og flere andre bilprodusenter har tatt i bruk denne standarden, grunnet sine fordelaktige egenskaper. Det er ingen passord-beskyttelse, som gjør at man kan kommunisere og utveksle informasjon med en gang enhetene er parret med hverandre. V2V er en underdel av Open System Interconnection, der beskyttelsen for uvedkommende er i de øvre lagene. Den har en rekkevidde på opptil 1000 meter, som bør være tilstrekkelig lengde for å kunne gi relevant informasjon til andre trafikanter i nærområdet om kjøremiljøet.

Slik situasjonen er i industrien nå, er det to teknologier som konkurerer om å få fotfeste innen autonom kjøring. Bilselskapene Daimler, Audi og BMW samarbeider med kommunikasjonsteknologiselskapene Huawei, Ericsson, Nokia, Intel og Qualcomm for å se på mulighetene for at biler kommuniserer gjennom det kommende 5G nettverket. 5G Automotive Association, som samarbeidet er kalt, bygger sitt nettverk videre på V2V protokollen med forbedringer til å støtte såkalt V2X, vehicle-to-everything communication [14]. Tanken er å bruke dette nettverket som en plattform for å bygge på funksjoner for autonom kjøring lengre ned i utviklingsstien.



Figur 2.4.: Dataflyten mellom biler og server i CAM-kommunikasjon

En annen konkurrerende teknologi kalles C-ITS, Cooperative Intelligent Transport Systems. Denne er mer rettet mot at trafikanter kun skal kommunisere med andre trafikanter og infrastruktur. Det er ikke mulighet for annen behandling av data, som media og personlig kommunikasjon. Målet er å øke veisikkerheten, effektiviteten og komforten i trafikken ved å hjelpe sjåføren å ta riktige avgjørelser og tilpasse seg til situasjoner i trafikken [15]. Systemet er bygd slik at alle biler har diverse sensorer og sendere innebygd, som sender informasjon til hverandre. Servere som står ved veikanten videreforsyner data til andre servere og trafikanter. Dette er bygget på CAM, Cooperative Awareness Message, i kombinasjon med ITS-G5. For den observante leser, må ikke

ITS-G5 forveksles med 5G Automotive Association, da det er to forskjellige standarder [4].

Et autonomt eller semi-autonomt fartøy er avhengig av en rekke sensorer for å kunne operere trygt. Det må til enhver tid vite hvor det befinner seg (localization), hvor det skal (path-planning), hvordan det kommer seg dit (path-tracking) og hvor det har vært (map-building). I tillegg må det vite om det er på kollisjonskurs med noe (obstacle detection), i så fall hva det er (obstacle classification) og hvordan det kan unngå kollisjon (obstacle avoidance). Den siste delen er spesielt viktig for kjøretøy som skal ferdes på veier med andre trafikanter. Det har derfor vært stort fokus på å kartlegge omgivelsene korrekt for automatiserte kjøretøy.

I dag brukes en rekke sensorer til dette. Systemene bruker GPS til å finne sin egen posisjon med kamераer for å finberegne denne, for eksempel til å ligge riktig i kjørebanen og å følge veimerkingen.

For å beregne avstanden til foranliggende kjøretøy brukes ofte radar, kaméraer, ultralydsensorer eller LIDAR (**L**ight **D**etection **A**nd **R**anging). Radar eller kamerasyn, evt. en kombinasjon, er mye brukt i førerassistentsystemer som adaptiv cruise-control og blindsonevarsling. For en nærmere sammenligning av noen disse sensorene se A.2 I autonome kjøretøy er LIDAR den foretrukne teknologien til å kartlegge omgivelsene, men de andre sensorene brukes også for å komplementere disse målingene (sensor fusion).

I tillegg til de overnevnte utfordringene må også autonome kjøretøy ta hensyn til andre trafikanter samt trafikklovene. Dette innebærer bl.a. å bremse ned ved en evt. forbikjøring og å slippe andre trafikanter inn fra påkjøringsramper. Dette er spesielt viktig for store kjøretøy som vogntog. En utfordring spesifikk til Truck Platooning er dynamisk av- og påkobling når f.eks. en personbil legger seg mellom vogntogene.

Produsenter som eksperimenterer med selvkjørende kjøretøy og Truck Platooning har implementert en rekke undersystemer for å løse disse utfordringene. Det er egne undersystemer for å holde korrekt avstand, detektere forbikjøringer/påkjøringer, detektere mulige kollisjoner m.m.

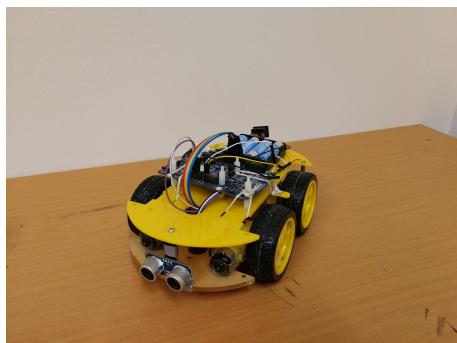
For å begrense arbeidet med prototypen har vi valgt å kun fokusere på et system som tillater av- og påkobling og holder riktig avstand til ledebil.

3. Prototype

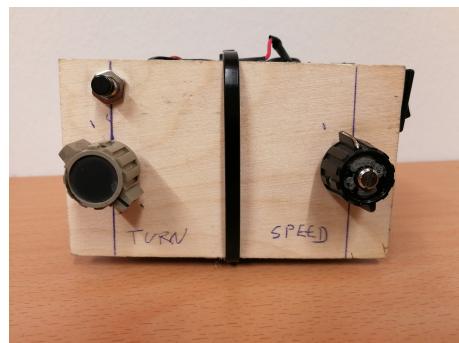
3.1. Introduksjon

Gruppa ønsket å finne egne løsninger på noen sentrale utfordringer ved Truck Platooning. Fokuset har vært på radiokommunikasjon lastebilene i mellom, og å lage en regulatingsalgoritme som får lastebilene som kjører etter hverandre til å holde konstant avstand. Målet var å lage to fungerende radiostyrte biler med nødvendig utstyr på, slik at det er mulig å teste at samkjøring fungerer som ønsket. Prototypene kan sees i figur 3.1 og 3.2

I samkjøringen tenkes det at fremste lastebil er personstyrt. Denne kalles ledebil, og bilene bak kalles for følgebiler. For at samkjøring skal fungere må følgebilene sørge for at avstand til bilen foran blir opprettholdt til enhver tid. For å holde god nok reaksjonstid er det her avgjørende at det kommer en informasjonsflyt om at ledebil kommer til å gi en økning eller reduksjon i hastighet. Denne informasjonsflyten går fra ledebil til følgebil og videre gjennom hele konvoien av lastebiler. Derimot ved sving er det rom for at fører utøver svinging selv, eller at dette også automatiseres. Dette betyr at følgebil i samkjøringsmodus minst er semi-autonom. Dette er i tråd med nivå to i figur 2.1



(a) Bil med ultralydsensor i front

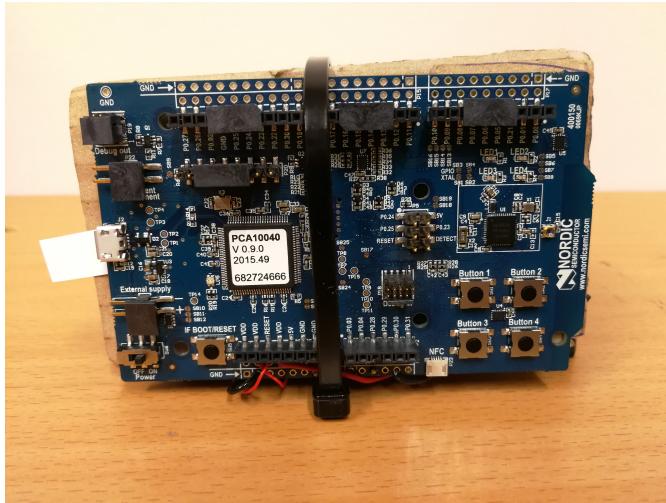


(b) Fremside av fjernkontroll med knapp og skrupotmetere

Figur 3.1.: Prototype

3.2. Designvalg

Prototypen gruppa har laget består av to radiostyrte biler. Disse brukes for å implementere avstandsreguleringen. Under samkjøring styres følgebils retning manuelt, mens



Figur 3.2.: Bakside av fjernkontroll med Nordic Semiconductors nRF52. Kortet brukes også i bilene.

avstand til bil foran reguleres automatisk av følgebilen. Følgebilen utstyres med avstandsmåler i front slik at følgebilene kan regulere seg inn til optimal avstand selv. Dette kombinert med informasjonsflyt om hastighetsendring fra ledebil utgjør basis for reguleringsalgoritmen som utarbeides.

Kommunikasjon lastebilene i mellom er et sentralt tema. Prototypen består av to radiostyrte biler med hver sin fjernkontroll. Fjernkontroll og bil skal fungere som normalt under vanlig kjøring, men med mulighet for å aktivere samkjøring fra fjernkontrollen. Når samkjøring er aktivert vil det for følgebilens fjernkontroll kun være mulig å endre retning på følgebilen. Bilene skal også kommunisere med hverandre for å utveksle meldinger om ledebils hastighetsendring.

3.3. Implementasjon

3.3.1. Hardware

Byggesettet vi har brukt inneholder ramme, motordriver og fire DC-motorer. Bilene går på batteri og er utstyrt med fire 1.5V batterier som gir en driftsspenning på 6V. I fronten av den ene bilen er det montert en ultralydsensor av typen HC-SR04. Dette er en billig sensor som kan måle avstander fra 2cm til 4m med en oppløsning ned til 3mm.

I tidlig fase av prototypearbeidet ble det laget fjernkontrollere med joysticker. Disse ble senere faset ut til fordel for fjernkontrollere med skrupotmetere for å regulere fart og retning. Dette av den enkle grunn av at bilene i seg selv ikke er enkle å kontrollere. De trekker skjevt og er veldig ømfintlige for endringer i retning. Med skrupotmetere er det mulig å korrigere for stasjonære feil ved å skru litt den ene eller andre veien. Dette

ble fort vanskelig å korrigere for med joystick hvor det ikke er mulig å sette et fast avvik når ønsket retning er rett fremover.

Til å kontrollere både biler og fjernkontrollere brukes utviklerkort fra Nordic Semiconductor. På disse sitter mikrokontrolleren nrf52. Denne har innebygd støtte for radiokommunikasjon, analog-digital konvertering for lesing av potmetere, og puls-bredde modulasjon for styring av motorenes hastighet. På utviklerkortet er det også flere knapper og lysdioder. Utviklerkortet tilbyr en komplett samling av de egenskaper det er behov for i prototyparbeidet.

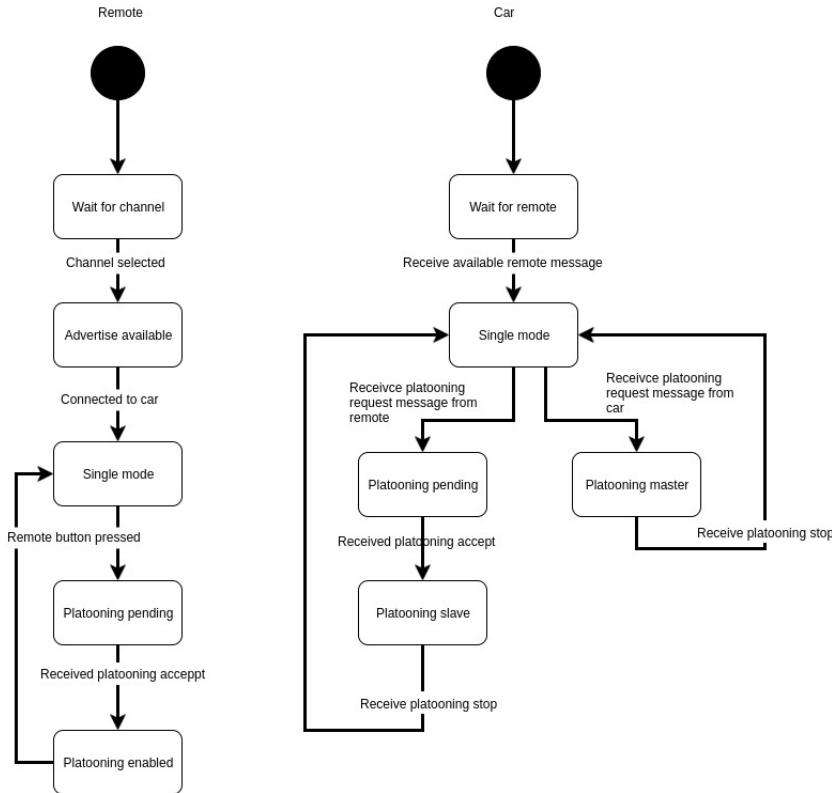
Det har blitt lagt ned mye arbeid i å sette opp systemet. Før bilene kan kjøres må de forskjellige enhetene systemet benytter seg av konfigureres riktig. Dette innebærer for eksempel å skrive drivere for alle periferienhetene som brukes. Det være seg å sette opp mulighet for å printe statusmeldinger tilbake til datamaskin, lese avstand med ultralyd, kontrollere motorer, lese potmetere, i tillegg til å få radiokommunikasjonen til å fungere.

3.3.2. Systemarkitektur

For at bilene skal kunne operere i forskjellige tilstander, implementerte gruppa en tilstandsmaskin som sørger for at bilene og fjernkontrollene oppfører seg som ønsket i de forskjellige tilstandene.

Bilene må få kontakt med en fjernkontroll før de kan kjøres. Dette skjer ved at det på fjernkontrollen velges hvilken bil fjernkontrollen skal kontrollere, og det sendes da riktig informasjon til riktig bil. Etter at bil og fjernkontroll er koblet sammen kan bilen kjøres fritt, der både pådrag og styring er kontrollert fra fjernkontrollen. Ved å trykke på fjernkontrollens knapp sendes en forespørsel til den andre bilen om å aktivere platooning. Dersom denne forespørselen godkjennes vil både bilene og fjernkontrollene skifte tilstand til henholdsvis *Platooning master* eller *Platooning slave* og *Platooning enabled*, der lede- og følgebil blir tildelt etter hvilken fjernkontroll som trykket på knappen. I denne modusen sendes det pådragsdata fra ledebil til følgebil og følgebilens hastighet bestemmes utifra denne informasjonen samt data fra ultralydsensoren. For å avbryte platooning trykkes det på samme knapp igjen. Tilstandsdiagrammer for fjernkontroll og bil kan sees i figur (3.3).

For å sikre systemets virkemåte er det lagt inn en flere sikkerhetsmekanismer for å forhindre uønskede endringer av tilstand, samt for å sikre at kommunikasjonen til riktig fjernkontroll opprettholdes. Det er for eksempel ikke mulig å igangsette platooning dersom bilen er i ledebil-tilstand (*Platooning master*), eller å avbryte platooning fra følgebil uten at dette registreres hos ledebil.



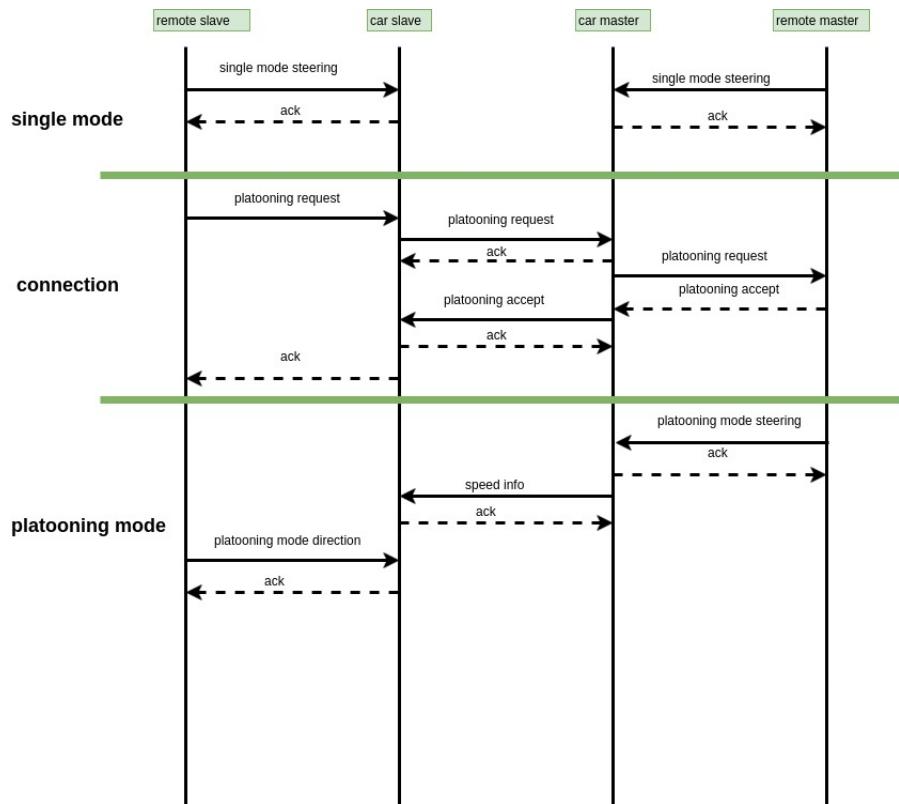
Figur 3.3.: Tilstandsdiagrammer for fjernkontroll og bil

3.3.3. Kommunikasjon

I prototypen benyttes *Enhanced Shock Burst*-protokoll, se [16], av den enkle grunn at denne er støttet i hardware av Nordic Semiconductor sin nrf52-chipp. Dette betyr at chippen har mulighet til å automatisk detektere at det har kommet inn en melding, og ta seg av sending uten å bruke prosessorkraft på det. Denne protokollen kringkaster alle meldinger slik at alle enheter i systemet kan motta og benytte seg av informasjonen fra alle meldingene som sendes. Radioen på nrf52-chippen opererer i 2.4Ghz-båndet og plasserer sin senterfrekvens slik at den ikke kolliderer med bluetooth eller wifi sine senterfrekvenser. Dette gjør at det potensielt skal være lite tapte meldinger. Tap av meldinger er likevel tatt høyde for. Det er lagt inn flere sikkerhetstilta for å opprettholde kommunikasjonen dersom det blir meldingstap. Når fjernkontrollen sender en melding til bilen kreves det at bilen svarer tilbake til fjernkontrollen med en *ack*-melding. Dersom det ikke kommer en *ack*-melding innen en gitt tid sendes samme melding på nytt. Antallet ganger med sending av samme melding før fjernkontrollen får svar kan varieres ut ifra hvilke krav man stiller til systemet med tanke på responstid. Hvis fjernkontrollen ikke mottar svar fra bilen etter et gitt antall forsøk går fjernkontrollen inn i tilstand *advertise available*. Da starter fjernkontrollen å søke etter tilgjengelige biler. Det samme gjelder for bilen. Hvis bilen ikke mottar melding fra fjernkontrollen innen en gitt tid går bil

inn i tilstand *wait for remote*. Her slås alle motorer av og bilen søker etter tilgjengelige fjernkontroller.

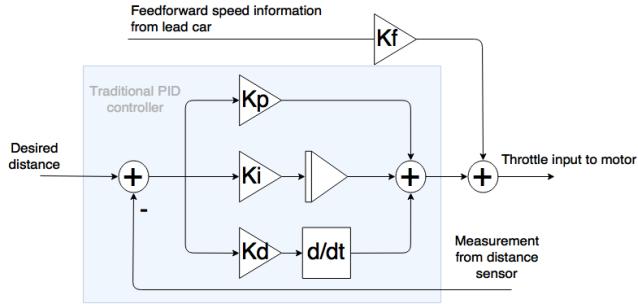
Gruppa har utviklet sin egen kommunikasjonsprotokoll på toppen av *Enhanced Shock Burst*-protokollen. Det er definert hvilke typer meldinger som må komme når, og hvilke meldinger om er gyldige gitt av hvilken tilstand systemet befinner seg i. Figur 3.4 viser hvilke meldinger som må komme når, for å igangsette samkjøring. Her starter begge biler og fjernkontrollere med å kjøre individuelt i *single mode*. Det trykkes på en knapp på den kommende slavens fjernkontroll. Den kommende slavebilen sender en forespørsel til kommende masterbil. Ledebilen spør sin fjernkontroll om lov til å starte samkjøring. ledefjernkontrollen svarer til ledebilen at dette er greit. Ledebilen svarer slavebilen at det er greit, og slavebilen bekrefter at den har mottatt forespørselen til slavefjernkontrollen. Når slavefjernkontrollen mottar denne bekrefelsen er hele systemet i samkjøringsmodus. Nå deler masterbil sin hastighetsinformasjon med slavebil.



Figur 3.4.: Sekvensdiagrammer for fjernkontroll og bil for å igangsette samkjøringsmodus

3.3.4. Avstandsregulering

For å sikre at påfølgende biler holder riktig avstand må en bruke sensordata og reguleringstekniske metoder for å beregne riktig gasspådrag. I gruppas prototype måles distansen



Figur 3.5.: Blokkskjema av kontrollsløyfe.

til bilen foran ved hjelp av en ultralydsensor. Styringssystemet til bilen leser denne avstanden og beregner pådraget ved å bruke en lineær PID-regulator samt pådragsdata fra ledebilen. Uttrykket for å beregne pådraget er:

$$u(t) = K_p e(t) + K_d \dot{e}(t) + K_i \int_0^T e(\tau) d\tau + K_f f(t)$$

der $e(t) = d(t) - d_{ref}$ er avviket i distanse fra en forhåndsbestemt referanseverdi. $\dot{e}(t)$ er avviket derivert med hensyn til tiden og $f(t)$ er pådragsverdien fra ledebilen. I prototypen er d_{ref} satt til 10cm. Kontrollstrukturen kan sees i figur (3.5).

Koden som prototypen kjører beregner pådragsverdien diskret og ikke kontinuerlig som i uttrykket over. Det diskrete uttrykket for pådraget er:

$$u_k = K_p e_k + K_d \dot{e}_k + K_i i_k + K_f f_k$$

Subskriptet k indikerer den diskrete tiden. Den diskrete feilen, den diskrete deriverte feilen (\dot{e}_k) samt det diskrete integralet (i_k) beregnes som følgende:

$$\begin{aligned} e_k &= d_k - d_{ref} \\ \dot{e}_k &= \frac{e_k - e_{k-1}}{h} \\ i_k &= i_{k-1} + \frac{e_k - e_{k-1}}{2} h \end{aligned}$$

der h er størrelsen på det diskrete tidssteget, som for prototypen er $h = 0.01s$.

Størrelsen på kontroller-konstantene ble funnet ved å teste forskjellige verdier. Prototypen oppfører seg omtrent som forventet med følgende verdier:

$$\begin{aligned} K_p &= 3.3 \\ K_d &= 0.12 \\ K_i &= 0.1 \\ K_f &= 0.8 \end{aligned}$$

Ultralydsensoren som ble benyttet leverer relativt ustabile målinger. Det er en billig sensor og måledataen fluktuerer mye. For å få bakt med dette problemet implementerte gruppa et enkelt Kalman filter. Dette er et stokastisk filter som innenfor enkelte forutsetninger gir et eksakt estimat av en tilstand[17]. I prototypen er parameterne i filteret funnet ved prøving og feiling. Gruppa plottet resultatet av filtreringen i sanntid for å finne filtervekter som gav en tilfredstillende rask og presis respons i dataene fra ultralydsensoren.

3.4. Resultater

For å oppnå bedre resultater ville en modellbasert tilnærming til reguleringsproblemet vært bedre. Ved å lage en matematisk modell som representerer bilen kunne kontrolleren blitt justert ved hjelp av velutprøvd analytiske teknikker. Det samme gjelder også for parameterne i Kalmanfilteret. Ulineære effekter i motorene i tillegg til sammehengen mellom motorrespons og tilstanden til batteriene, gjør dette til et krevende modellering- og reguleringsproblem. Dette ville krevd en betydelig innsats og siden gruppa var enige om å prioritere å bygge en prototype og få denne til å fungere, ble det lagt til side.

Det er ingen garanti for at samplingfrekvensen på 10Hz er konstant. Gruppa har ikke brukt ressurser på å kjøre systemet med et operativsystem beregnet for strenge sanntidskrav. Til tross for dette er programmet som kjøres lite krevende for mikrokontrolleren som kjører på 64 MHz, og loop-tiden for en iterasjon vil være veldig liten sammenlignet med hviletiden som er 100 millisekund. Med bakgrunn i dette vil samplingfrekvensen for regulatoren være noe lavere enn 10Hz men avviket antas å være neglisjerbart.

Til tross for dette fungerer regulatoren såpass bra at følgebilen holder en tilnærmet konstant avstand under stabile forhold. I akselerasjonsfasen er responsen avhengig av hvordan ledebilen akselererer. Ved en rolig hastighetsøkning er avviket fra ønsket avstand svært liten. Under hardere positiv og negativ akselerasjon øker avviket en del, men avviket minimeres når akselerasjonen flater ut. Dette er som forventet da regulatoren ikke er optimalt justert.

Et annet problem som oppstod under utprøving av regulatoren var verdiene levert av ultralydsensoren når den grenset til operasjonsområdet. Dersom avstanden blir mindre enn 2 cm vil ultralydsensoren tolke dette som sin maksimale avstand på 4m. Dette fører til at regulatoren vil akselerere i en situasjon der den egentlig bør bremse hardt. Det kunne blitt implementert en løsning for dette i software, men det ble ikke prioritert da gruppa var enige om at bilene uansett ikke skulle operere i den avstanden.

Det ble raskt tydelig at bilene trekker skjevt. Under testing skjedde det en rekke ganger at ledebilen drev ut av ultralydssensorens målområde. Også i dette tilfellet vil systemet tolke det som om at nærmeste hindring er 4m lengre fremme. Gruppa løste dette ved å styre retningen på bilene manuelt og etter litt trening gikk det greit.

4. Konklusjon

Gjennom arbeidet med dette prosjektet har gruppa lært mye om konseptet Truck Platooning. Ulike aspekter rundt selve konseptet i tillegg til hva det krever av infrastruktur er utforsket.

Fra et teknologisk standpunkt er dagens konseptløsninger i stand til å utføre Truck Platooning der alle vogntogene er betjent. Dette gjelder især på strekninger med god infrastruktur som motorveier. Truck Platooning der hele eller deler av konvoien er fullstendig automatisert er fortsatt et stykke frem i tid. Det pågår mye aktivitet i fagfelter som berører automatiserte kjøretøy, og gruppas inntrykk er at vi absolutt kan forvente å se dette i fremtiden. Når det gjelder Truck Platooning i Norge har vi en for dårlig standard på store deler av veinettet til at dette skal bli utbredt i større skala. Unntaket er muligens de nye motorveiene på Østlandet som bygges etter europeisk standard. I tillegg er det en del utfordringer på norske veier som ikke finnes i like stor grad i andre områder der Truck Platooning vil være mer aktuelt (Europa, USA). Dette er for eksempel problemer med snødrev som hemmer sensorer og glatte veier der systemet ikke vil være i stand til å reagere på en forsvarlig måte. Gruppa har inntrykk av at utenlandske sjåfører forårsaker store trafikkproblemer om vinteren og i fremtiden vil kanskje Truck Platooning gjøre det tryggere og enklere for disse ved å følge en ledebil gjennom vanskelige forhold, typisk kolonnekjøring over fjelloverganger.

En større hindring for Truck Platooning er lovverket i ulike land. I Norge er det ute et lovforslag om å tillate utprøving av automatiserte systemer i trafikken under oppsyn av en ansvarlig sjåfør. Flere andre land jobber også med juridiske problemstillinger rundt selvkjørende kjøretøy. I tillegg til at det må bli lovlig å benytte slike systemer må også vegtrafikkloven endres med tanke på minimumsavstand til kjøretøy foran for at Truck Platooning skal ha en drivstoff- og miljøbesparende effekt. Den optimale avstand er ifølge undersøkelsen "Promote Chauffeur", se [11], 10m. Det tilsvarer en avstand på under 0.5 sekund i 80 km/t. I dag vil en så kort avstand medføre førerkortbeslag.

Ved å benytte avanserte kontrollsistemer og kommunikasjon mellom vogntogene vil reaksjonstiden på oppbremsing være betydelig bedre enn ved en menneskelig sjåfør. Gruppa ser derfor ingen grunn til å ikke tillate mindre avstand dersom slike systemer er aktivert.

Gruppas mål med prototypen har hele tiden vært å utvikle et småskala system som demonstrerer Truck Platooning. Målet var å ha en fungerende prototype klar til demonstrasjonen som tar sted på presentasjonsdagen i faget. Her klarte vi å vise frem et

fungerende system. Det er vi veldig fornøyde med. Avstandsregulatoren kunne vært mer nøyaktig, men under stabil hastighet fungerer den bra.

I tillegg til dette har gruppa hatt ekstra fokus på kommunikasjonen i systemet. Prototypens kommunikasjonen er i samråd med ideen bak V2V-protokollen, se [13]. For nærmere detaljer se A.1 Gruppa ønsket å lage en kommunikasjonsprotokoll som er virkelighetsnær i form av at den har elementer av hvordan dagens kommunikasjon mellom biler er. Det har blitt gjort en del forenklinger i form av sikkerhet. Det er per idag svært enkelt å motta og lese meldingene som sendes, for så å sende sine egne meldinger i mellom. Dette kan potensielt brukes til å overta styringen av følgebil for å så å gjenomføre kapring av lastebilen eller å kjøre den ut i grøfta. Det har ikke blitt prioritert å utvikle eller å bruke kjente mekanismer for kryptering av meldiger. Dette må gjøres i fremtiden for å heve sikkerhetsnivået til prototypen.

Appendiks

A. Sammenligningstabeller

Tabell A.1.: Sammenligning av kommunikasjon: vår prototype vs eksisterende teknologi

Funksjon	Enhanced Shockburst (ESB)I	Vehicle to Vehicle (V2V)
Radiobånd	2.4 GHz	5.86-5.92GHz
Rekkevidde	70 - 100 meter @256 kps	opptil 1000 meter
Data båndbredde	250kbps, 1Mbps og 2Mbps	3-27Mbps
Følsomhet	-85dBm @1Mbps	Ukjent
Mobilitet	Testet med 1.2 km/t	opptil 97 km/t

Tabell A.2.: Sammenligning av sensorer: vår prototype vs eksisterende teknologi

Funksjon	Ultralyd (HC - SR04)	Laser
Rekkevidde	2 cm - 4 meter	opptil 1000 meter
Frekvens	Lydbølger 2 MHz - 15 MHz	Lysbølger
Pris	lavt innkjøpspris	høy innkjøpspris
Oppløsning	3 mm	0.1 mm
Nøyaktighet	høy nøyaktighet	Høyere enn ultralyd

Kilder

- [1] Miles per gallon gasoline equivalent, Wikipedia. [http://www.mercedes-benz.no/content/media_library/norway/vans/kundemagasin_nyttekjoretoy/kundemagasin_1_2016.object-Single-MEDIA.download.tmp/MB+Transport+1-2016-Nett-enkle+\(002\).pdf](http://www.mercedes-benz.no/content/media_library/norway/vans/kundemagasin_nyttekjoretoy/kundemagasin_1_2016.object-Single-MEDIA.download.tmp/MB+Transport+1-2016-Nett-enkle+(002).pdf). (visited on 21/03/2017).
- [2] European-Truck Platooning Challenge 2016. <https://www.eutruckplatooning.com/support/handlerdownloadfiles.ashx?idnv=437626>. (visited on 08/03/2017).
- [3] Høring av forslag om lov om utprøving av selvkjørende kjøretøy på veg. <https://www.regjeringen.no/contentassets/bf935d9072f94c87b3db23f212c4b7ee/hnotat121216.pdf>. (023/2017).
- [4] PowerPoint om Truck Platooning 2017. Terje Moen. (Presentert 31/03/2017, privat kilde).
- [5] Springfield Virginia Department of Commerce, National Technical Information Service. A review of flightcrew-involved, major accidents of U.S air carriers, 1978 through 1980. <http://libraryonline.erau.edu/online-full-text/ntsb/safety-studies/SS94-01.pdf>. (visited on 03/05/2017).
- [6] Maria Konnikova. The hazards of going on autopilot. <http://www.newyorker.com/science/maria-konnikova/hazards-automation>. (visited on 08/03/2017).
- [7] Nidhi Kalra & Susan M. Paddock. Driving to Safety. http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR1400/RR1478/RAND_RR1478.pdf. (visited on 08/03/2017).
- [8] Can self-driving cars ever really be safe? https://www.linkedin.com/pulse/can-self-driving-cars-ever-really-safe-shelly-palmer?trk=eml-email_feed_ecosystem_digest_01-hero-0-null&midToken=AQHBU0R8sDZg9Q&fromEmail=fromEmail&ut=3JhFOePk-QKnI1. (023/2017).
- [9] Hackers Remotely Kill a Jeep - With Me In It. <https://www.wired.com/2015/07/hackers-remotely-kill-jeep-highway/>. (visited on 08/03/2017).
- [10] Researchers prove how disturbingly easy it can be to hack a truck or bus. <https://www.yahoo.com/tech/researchers-prove-disturbingly-easy-hack-194429385.html>. (visited on 08/03/2017).

- [11] *Review of Aerodynamic Drag Reduction Devices for Heavy Trucks and Buses.* <https://www.tc.gc.ca/eng/programs/environment-etv-menu-eng-2939.html#s634>. (visited on 22/02/2017).
- [12] *Miles per gallon gasoline equivalent, Wikipedia.* https://en.wikipedia.org/wiki/Miles_per_gallon_gasoline_equivalent#Conversion_to_MPGe. (visited on 015/03/2017).
- [13] *Miles per gallon gasoline equivalent, Wikipedia.* https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicular_communication_systems#cite_note-V2V_spectra-11. (visited on 21/03/2017).
- [14] *BMW, Audi, Daimler join telecom bigwigs in new 5G Automotive Association.* BMW, Audi, Daimler joint telecom bigwigs in new 5G Automotive Association. (visited on 05/04/2017).
- [15] *Cooperative, connected and automated mobility.* https://ec.europa.eu/transport/themes/its/c-its_en. (visited on 05/04/2017).
- [16] *Referansemanual for Enhanced Shock Burst protokoll.* http://infocenter.nordicsemi.com/index.jsp?topic=%2Fcom.nordic.infocenter.sdk5.v12.2.0%2Fesb_users_guide.html&cp=4_0_1_5_2. (01/05/2017).
- [17] R.S. Bucy R.E. Kalman. *New Results in Linear Filtering and Prediction Theory*, 1961.