

Projektdokumentation
AU2
Den intelligente bil
Gruppe 1

4. Semesterprojekt E4PRJ4
Ingeniørhøjskolen, Aarhus Universitet
Vejleder: Arne Justesen

26. oktober 2015

Navn	Studienummer	Underskrift
Kristian Thomsen	201311478	
Philip Krogh-Pedersen	201311473	
Lasse Barner Sivertsen	201371048	
Henrik Bagger Jensen	201304157	
Kenn Hedegaard Eskildsen	201370904	
Karsten Schou Nielsen	201370045	
Jesper Pedersen	201370530	

Indhold

Indhold	iii
1 Projektformulering	1
1.1 Problemformulering	1
1.2 Projektbeskrivelse	1
1.3 Ordforklaring	2
2 Kravspecifikation	5
2.1 Systemoversigt	5
2.2 Aktør-kontekstdiagram	8
2.3 Aktørbeskrivelser	8
2.4 Funktionelle krav	9
2.5 Ikke-funktionelle krav	9
2.6 Use Cases	10
2.6.1 Use Case beskrivelser - Initiering og Formål	11
2.6.2 Fully Dressed Use Cases	13
3 Systemarkitektur	25
3.1 Indledning	25
3.2 Bil	25
3.2.1 BDD for AU2	25
3.2.2 BDD for bil	26
3.2.3 IBD for bil	26
3.2.4 IBD for bilens forsyninger	27
3.2.5 IDB fremdrift	27
3.2.6 IBD styretøj	27
3.2.7 IBD for PI	27
3.2.8 IBD for sensorer	27
3.2.9 MPU-6050 Accelerometer/Gyroskop	30
3.3 Software	31
3.3.1 Application model	31
4 Accepttest	33
4.1 Funktionelle Krav	34
4.2 Ikke-funktionelle krav	47

1 Projektformulering

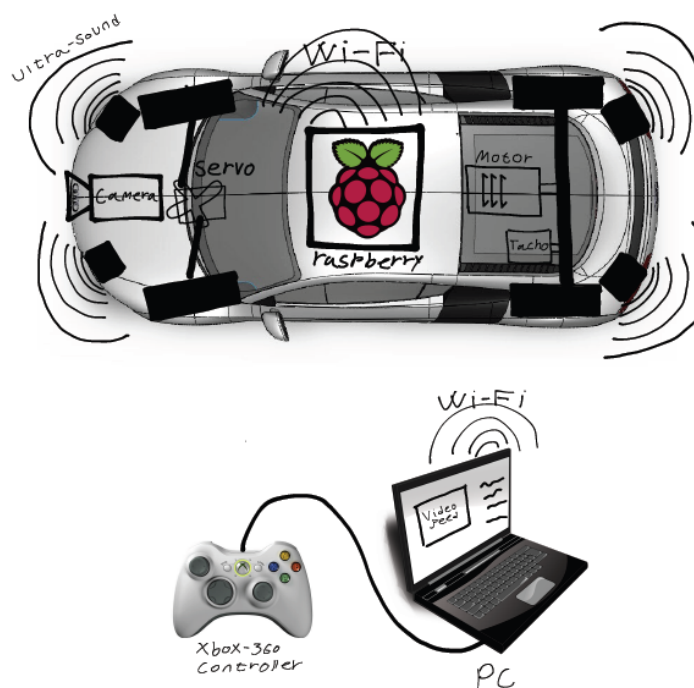
1.1 Problemformulering

Ifølge Niklas Alexander Chimirri, forsker inden for områder som barndom, psykologi og teknologi ved Roskilde Universitet, er leg en vigtig del af børns opvækst. Det er essentielt for deres fremtid da det gør børnene sociale, robuste, kreative og ikke mindst nysgerrige. Med til at skabe rammerne for børns leg er legetøj, og i dag er det vigtigt at børn har mulighed for at anvende den teknologi der er til rådighed i dagens Danmark. Dette bekræftes i en artikel der er udgivet på Roskilde Universitets hjemmeside i november 2014. Han konkluderer at der er for stor forskel imellem den virkelighed børnene møder i, og uden for børnehaven ift. den teknologi der i dag er til rådighed.

1.2 Projektbeskrivelse

Projektet skal bidrage til eller i det mindste sætte fokus på, at det er vigtigt at børn har muligheden for at lege... og gerne med moderne teknologi. Derfor omhandler projektet design og implementering af en fjernstyret bil. Det skal ikke være en almindelig fjernstyret bil - den skal være intelligent og den får navnet "AU2". En skitse af bilen er vist på figur 1.

Den intelligente del består af sensorer samt en kommunikationsenheder, som gør det muligt at styre bilen over et trådløst netværk. Brugeren har hermed mulighed for at navigere bilen ved at betragte en computerskærm, der viser et live-stream med video fra et kamera monteret på bilen. Er bilen inden for synsfeltet kan den selvfølgelig også styres ved at se direkte på den. For at undvige forhindringer på kørebanen, implementeres et anti-kollisionssystem bestående af afstandssensorer på bilen, placeret sådan at de kan detektere om bilen nærmer sig en forhindring. Således kan bilen selv kan standse eller undvige, hvis den nærmer sig en forhindring hurtigt. Anti-kollisionssystemet har til formål at forhindre en evt. kollision og derved beskadigelse af bilen eller dens omgivelser.



Figur 1: Rigt billede af systemet i sin helhed

1.3 Ordforklaring

System

Det totale system indeholder bil, software på PC og kommunikation mellem Bil og PC.

HID (Human Interface Device)

Et interface som en bruger anvender til at interagere med en computer fx. tastatur og mus. I dette projekt anvendes desuden en Xbox-360 controller, med følgende funktionalitet:

- Right Trigger (RT)
- Left Trigger (LT)
- Flere knapper her.

Hovedvindue

Hovedvinduet i software på PC indeholder videostream, status på bilen samt muligheder for at konfigurere og kalibrere systemet.

Bil

Med bil menes den hardware der fysisk er placeret på bilen, dette være sig bla. bilens controllerenhed, her et Raspberry Pi 2 board, afstandssensorer, tachometer samt accelerometer.

Pi (Raspberry Pi 2 B)

En Raspberry Pi er en single board computer i kreditkortstørrelse. Den anvendes i dette system som en controller til at styre bilen med.

Wi-Fi netværk

Trådløst netværk af standarden "IEEE 802.11", som Bil og PC kommunikerer over. Dette netværk sættes op lokalt til brug udelukkende for kommunikationen imellem Bil og PC.

AKS (Anti-kollisionssystem)

Et system på bilen bestående af fire afstandssensorer, samt signalbehandling- og reguleringssoftware som er i stand til at forhindre en kollision ved at overtage styring fra Bruger i tilfælde af forestående kollision. Der differentieres mellem "Undvig forhindring" og "Tænd/Sluk AKS".

- Tænd/Sluk bruges i forbindelse med at koble AKS til eller fra, således at bilen ikke vil undgå en kollision hvis AKS er slukket, men vil undgå en kollision hvis AKS er tændt.
- Undvig forhindring bruges i forbindelse med en forestående kollision. Her overtager AKS styring af bilen indtil forhindringen er undvejet.

Afstandssensorer

Afstandssensorerne er de 4 ultralydssensorer der er påmonteret bilen. Disse kan herefter benævnes som følgende:

- Front Left (FL)
- Front Right (FR)
- Rear Left (RL)
- Rear Right (RR)

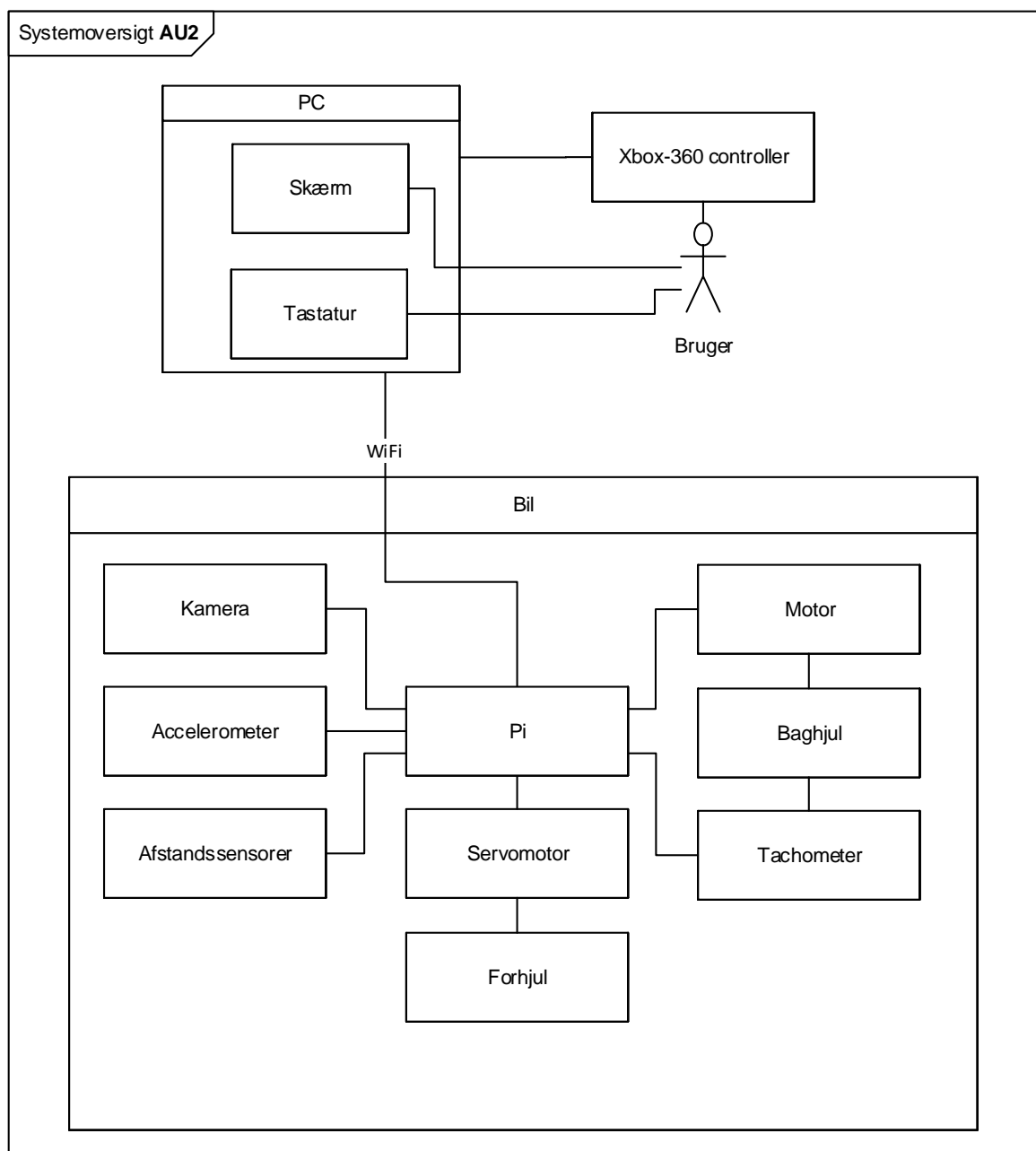
UC (Use Case)

En use case er en standard for et brugsmønster til at afdække funktionalitet for et system.

2 Kravspecifikation

2.1 Systemoversigt

På figur 2 ses den overordnede systemoversigt med kommunikationsveje og mekaniske forbindelser. Diagrammet skal give læseren et hurtigt overblik over det samlede system. I afsnittet beskrives blokke og kommunikationsveje mere detaljeret. Under figur 2 er blokkene kort beskrevet.



Figur 2: Overordnet systemoversigt

Pi

Systemets kerne er et Raspberry Pi 2 board. Pi'en står for at processere data fra afstandssensorene, og håndtere streaming af video. Derudover afvikles regulering til motor, samt styring af servo også fra Pi'en.

Servomotor

Servomotor har til opgave at omsætte signal fra Pi'en til mekanisk styring af bilens forhjul.

Afstandssensor

Bilens 2 fremadrettet og 2 bagudrettet afstandssensorer har til formål at indsamle data om eventuelle forhindringer i bilen kørebane.

Accelerometer

Der er påmonteret et accelerometer der anvendes til regulering af hastighed.

Kamera

Bilens kamera streamer video til PC'ens skærm så Bruger har mulighed for at navigere på baggrund af visuel feedback

PC

PC afvikler den software hvorigennem bilen kontrolleres, konfigureres og kalibreres. Det er ligeledes via computeren at Bruger får visuel feedback fra bilens kamera.

Xbox-360 Controller

Til at kontrollere bilen, benyttes en Xbox-360 controller. vha. en række trykknapper og styrepinde kan bilens hastighed, såvel som retning bestemmes.

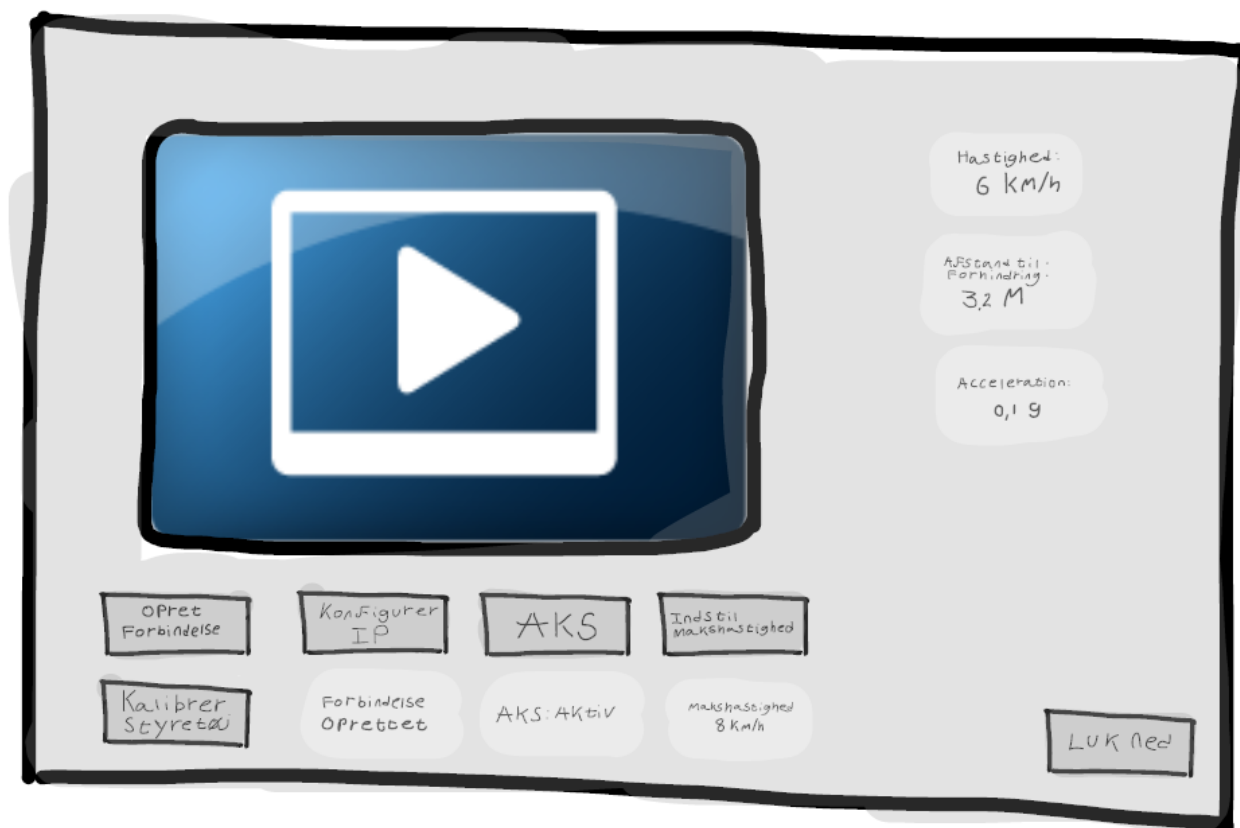
Motor

Motoren omsætter data, herunder regulering fra Pi'en til mekanisk styring af bilens hastighed.

Tachometer

Motorens omdrejningshastighed kan via tachometeret aflæses og herefter benyttes til databehandling og regulering.

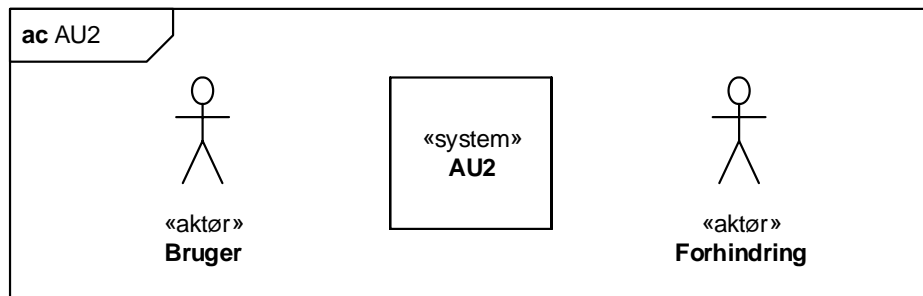
I figur 3 vises en skitse af hovedmenuen i softwaren på PC.



Figur 3: Skitse af hovedmenu

2.2 Aktør-kontekstdiagram

På figur 4 ses aktørkontekstdiagram over systemet.



Figur 4: Aktør kontekst diagram for AU2.

2.3 Aktørbeskrivelser

Som figur 4 viser, er der 2 aktører til systemet. *Bruger* og *Forhindring*.

Bruger - Primær Aktør

Brugeren vil typisk være et barn med alder over 8 år, men kan også være en voksen med interesse for fjernstyrede biler.

Bruger kan:

- Starte og stoppe systemet
- Styre bilen over et Wi-Fi netværk.
- Konfigurere og kalibrere system.

Forhindring - Sekundær Aktør

Forhindring er objekter i det miljø bilen kører i, og som der dermed er risiko for at bilen kan kollideres med.

2.4 Funktionelle krav

Ambitionen for dette projekt er som absolut minimum at realisere nedenstående punkter under ”skal”. Det forventes desuden at punkterne under ”bør” realiseres, men de har lavere prioritet. Punkterne under ”kan” forventes ikke realiseret, og punkterne under ”vil ikke...” realiseres med sikkerhed ikke. Sidstnævnte punkter kan ses som udviklingsmuligheder i forhold til senere versioner af systemet.

Systemet...

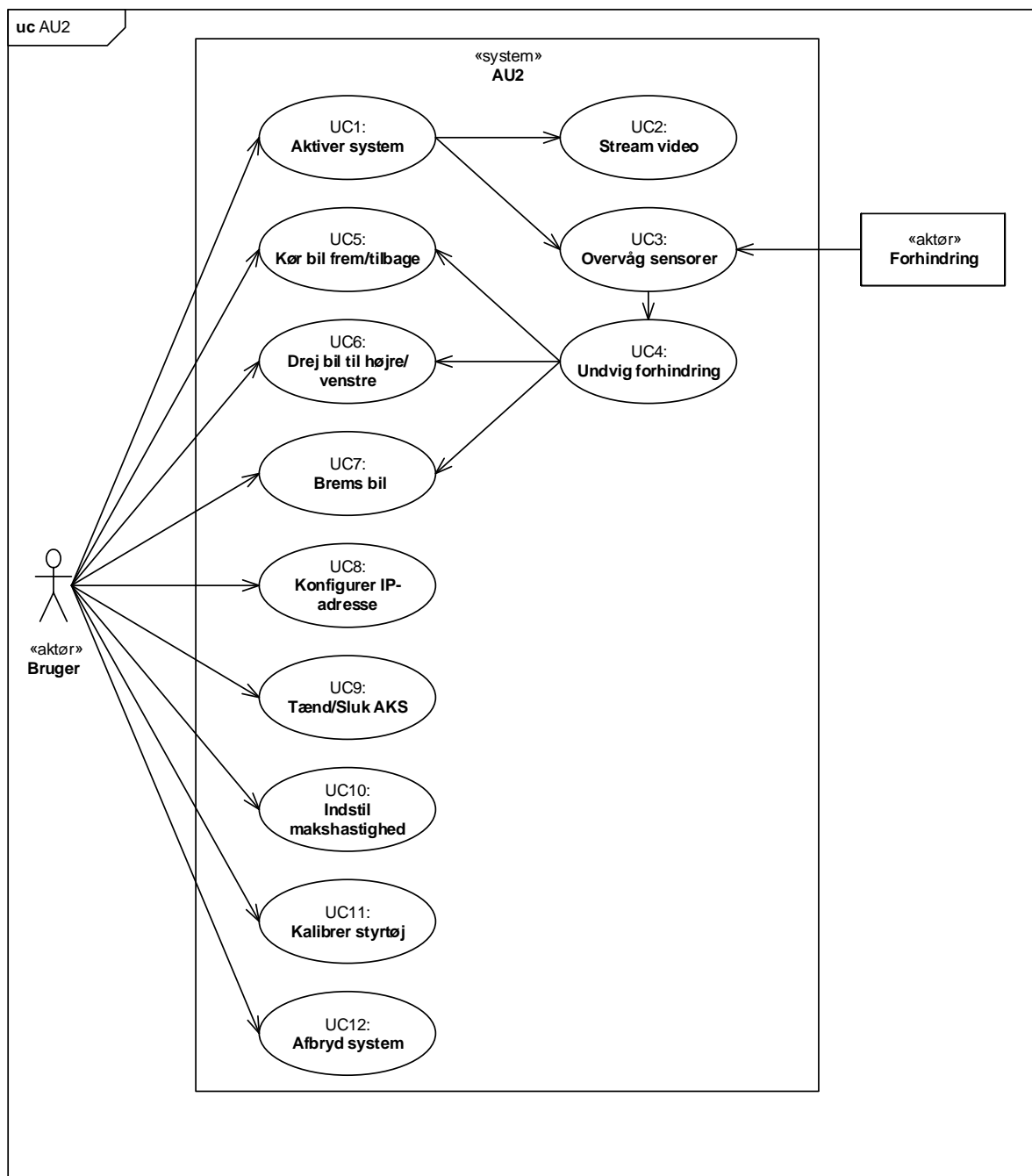
1. ... *Skal* kunne køre frem og tilbage.
2. ... *Skal* kunne dreje.
3. ... *Skal* kunne regulere hastigheden på bilen.
4. ... *Skal* give Bruger mulighed for at begrænse maksimumshastighed.
5. ... *Skal* give Bruger mulighed for manuel styring via Xbox-360 controller af hastighed og retning.
6. ... *Skal* via Wi-Fi netværk kunne kommunikere mellem bil og PC.
7. ... *Skal* kunne identificere forhindringer foran og bag bilen.
8. ... *Skal* indeholde et anti-kollisionssystem baseret på afstandssensorer.
9. ... *Skal* via. anti-kollisionssystem kunne undvige og/eller stoppe før kollision.
10. ... *Skal* indeholde et kamera til at streame video.
11. ... *Bør* give Bruger mulighed for at aktivere/deaktivere anti-kollisionssystemet på bilen.
12. ... *Bør* have bremselys, som aktiveres når bilen bremser.

2.5 Ikke-funktionelle krav

1. Bilens maksimumshastighed uden begrænsning er $10km/t \pm 1km/t$
2. Bilens bremselængde ved maksimumshastighed uden begrænsning må ikke overstige 1 m.
3. Bilen skal kunne accelerere fra $0km/t$ til maksimumshastighed uden begrænsning på højst 6 s.
4. Forsinkelse fra brugerinput til at bilen reagerer må ikke overstige 50ms.
5. Afstandssensorerne skal kunne identificere en forhindring i form af et kvadrat med en sidelængde på $S = \sqrt{K \times L}$, hvor $K = 0.015m$ og L er afstanden og det gælder at $0.20m < L < 6.00m$. Kvadratet skal være vinkelret på bilen, således at fladen på kvadratet vender direkte mod bilen. På afstande over $6m$ er det ikke et krav at systemet kan detektere forhindringen.
6. Mister bilen forbindelsen med PC i mere end $50ms$, standser bilen automatisk.
7. Kameraet skal minimum have en opdateringshastighed på 15 billeder i sekundet.
8. Systemet skal vise video-stream med en opløsning på 640×480 pixels i hovedvinduet.
9. PC skal som minimum sende kommandoer til bilen 60 gange i sekundet.
10. HID skal bestå af en Xbox-360 controller, tastatur og mus.

2.6 Use Cases

På figur 5 ses use case diagram over de funktionelle krav.



Figur 5: Use case diagram for AU2.

2.6.1 Use Case beskrivelser - Initiering og Formål

UC1: Aktiver system

Initieres af: Bruger

Denne UC giver Bruger mulighed for at aktivere systemet. Bruger åbner software på PC, og sætter bilens "ON/OFF"-knap til "ON" for at tilslutte batteriet. Herefter konfigureres bilen, UC2 + UC3 initieres og PC'en viser hovedvinduet.

UC2: Stream Video

Initieres af: UC1: Aktiver system

Denne UC initierer videostream fra kameraet, og forbindelsen over Wi-Fi netværket oprettes.

UC3: Overvåg sensorer

Initieres af: UC1: Aktiver system

Denne UC initierer overvågning af bilens sensorer, herunder, de 4 afstandssensorer, tachometer, samt accelerometer. Use casen kører kontinuerligt og henter løbende data fra sensorerne.

UC4: Undvig forhindring

Initieres af: UC3: Overvåg sensorer

Denne UC har til formål at lade AKS overtage styring af bilen under kørsel hvis en forhindring detekteres enten foran eller bagved bilen. Når forhindringen er undvejet overgives styringen igen til Bruger.

UC5: Kør bil frem/tilbage

Initieres af: Bruger

Denne UC har til formål at give Bruger mulighed for at ændre hastighed på bilen via de trykfølsomme "LT" og "RT"-knapper på Xbox-360 controlleren. Bruger trykker på "LT" og bilen kører fremad, eller Bruger trykker på "RT" og bilen bakker.

UC6: Drej bil til højre/venstre

Initieres af: Bruger

Denne UC har til formål at lade Bruger ændre bilens retning. Bruger benytter venstre styrepind på Xbox-360 controlleren. Føres styrepinden til venstre, drejer bilens forhjul til venstre. Føres styrepinden til højre, drejer bilens forhjul til højre. Det har ingen betydning hvis styrepinden samtidig føres lidt opad eller nedad.

UC7: Brems bil

Initieres af: Bruger

Denne UC har til formål at lade Bruger sænke bilens hastighed. Bruger trykker "X" på Xbox-360 controlleren, jo længere tid knappen holdes nede jo mere sænkes bilens hastighed. Deaccelerationen er konstant.

UC8: Konfigurer IP-adresse

Initieres af: Bruger

Denne UC har til formål at lade Bruger konfigurere PC'ens IP-adresse således at der kan opnås forbindelse til bilen.

UC9: Tænd/sluk AKS

Initieres af: Bruger

Denne UC har til formål at give Bruger mulighed for at vælge om AKS skal være tændt eller slukket. Bruger kan via "Hovedvindue" på PC'en vælge status for AKS.

UC10: Indstil makshastighed

Initieres af: Bruger

Denne UC har til formål at give Bruger mulighed for at indstille en maksimumhastighed på bilen. Hastigheden indstilles via PC'ens "Hovedvindue".

UC11: Kalibrer styretøj

Initieres af: Bruger

Denne UC har til formål at give Bruger mulighed for at kalibrere bilens styretøj, så den kører ligeud når styrepinden ikke påvirkes. Bruger indtaster via menuen "Kalibrer styretøj" en værdi der angiver center for styretøjet.

UC12: Afbryd system

Initieres af: Bruger

Denne UC har til formål at lade Bruger afbryde hele systemet. Bruger afslutter software på PC, og sætte bilen "ON/OFF"-knap til "OFF" for at afbryde forbindelse til batteriet.

2.6.2 Fully Dressed Use Cases

Use Case 1: Aktiver system

Navn:	UC1: Aktiver system
Mål:	At aktivere system
Initiering:	Bruger
Aktører:	Bruger
Reference:	UC2: Stream video, UC3: Overvåg sensor, UC8: Konfigurer system
Antal samtidige forekomster:	En
Forudsætning:	Netværksforbindelse er opsat og fungerende
Resultat:	Bil er initieret, PC viser Hovedvindue, UC2 og UC3 er initieret
Hovedscenarie:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bilens "ON/OFF"-switch sættes til "ON". 2. Bruger starter software på PC. 3. Hovedvindue fremkommer på skærmen. 4. Bruger trykker på "Opret forbindelse" 5. PC opretter forbindelse til bilen. <ul style="list-style-type: none"> • [Ext 5.a : Forbindelse kan ikke oprettes] 6. UC2: Stream video initieres af System. <ul style="list-style-type: none"> • [Ext 6.a : Initiering af UC2 fejler] 7. UC3: Overvåg sensorer initieres af System. <ul style="list-style-type: none"> • [Ext 7.a : Initiering af UC3 fejler] 8. PC prompter "Forbindelse oprettet" 9. UC1 afsluttes
Udvidelser:	<p>[Ext 5.a : Forbindelse kan ikke oprettes]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. System prompter "Forbindelse kan ikke oprettes". 2. UC8: Konfigurer IP. 3. Systemet fortsætter fra punkt 3 i hovedscenariet. <p>[Ext 6.a : Initiering af UC2 fejler]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. System prompter "Videostream kan ikke oprettes". 2. UC1 fortsætter fra punkt 3. <p>[Ext 7.a : Initiering af UC3 fejler]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. System prompter "Initiering af sensorer fejlet". 2. UC1 fortsætter fra punkt 3.

Tabel 1: UC1: Aktiver system

Use Case 2: Stream Video

Navn:	UC2: Stream video
Mål:	At starte videostreamen
Initiering:	UC1: Aktiver system
Aktører:	Ingen
Reference:	UC1
Antal samtidige forekomster:	Én
Forudsætning:	UC1 frem til punkt 6 er fuldført
Resultat:	Videostream er initieret og kørende
Hovedscenarie:	<ol style="list-style-type: none">1. Bilen initierer kameraet.<ul style="list-style-type: none">• [Ext 1.a: Initiering af kamera fejler]2. Bilen streamer video fra kamera til PC via Wi-Fi netværket.
Udvidelser:	[Ext 1.a : Initiering af kamera fejler] <ol style="list-style-type: none">1. System prompter PC med "Kamera-initiering fejlet".2. UC2 afsluttes.

Tabel 2: UC2: Stream video

Use Case 3: Overvåg sensor

Navn:	UC3: Overvåg sensorer
Mål:	At overvåge sensorer
Initiering:	UC1: Aktiver system
Aktører:	Ingen
Reference:	UC1
Antal samtidige forekomster:	En
Forudsætning:	UC1 frem til punkt 7 er fuldført
Resultat:	Sensorer overvåges løbende
Hovedscenarie:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bilen initierer tachometer <ul style="list-style-type: none"> • [Ext 1.a: Initiering af tachometer fejler] 2. Bilen initierer accelerometer <ul style="list-style-type: none"> • [Ext 2.a: Initiering af accelerometer fejler] 3. Bilen initierer afstandssensorer. <ul style="list-style-type: none"> • [Ext 3.a: Initiering af afstandssensorer fejler] 4. Bilen overvåger sensorer.
Udvidelser:	<p>[Ext 1.a : Initiering af tachometer fejler]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Systemet prompter PC med "tachometer-initiering fejlet". 2. UC2 afsluttes. <p>[Ext 2.a : Initiering af accelerometer fejler]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Systemet prompter PC med "accelerometer-initiering fejlet". 2. UC2 afsluttes. <p>[Ext 3.a : Initiering af afstandssensorer fejler]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Systemet prompter PC med "afstandssensor-initiering fejlet". 2. UC2 afsluttes.

Tabel 3: UC3: Overvåg sensorer

Use Case 4: Undvig forhindring

Navn:	UC4: Undvig forhindring
Mål:	At bilen undviger en evt. kollision med en forhindring.
Initering:	UC3: Overvåg sensor
Aktører:	Forhindring
Reference:	UC3, UC6: Drej bil til højre/venstre, UC7: Brems bil
Antal samtidige forekomster:	Én
Forudsætning:	UC1 er gennemført, UC3 er gennemført, bilen er på vej mod en forhindring.
Resultat:	UC5, UC6 og/eller UC7 gennemføres og UC3 fortsætter.
Hovedscenarie:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bilen analyserer indsamlet data fra afstandssensorer, kører den fremad analyseres de forreste sensorer ditto bagud. 2. AKS overtager styring fra Bruger midlertidigt. 3. <ul style="list-style-type: none"> • [ALT a: UC6: Drej bil til højre/venstre aktiveres, hvis en enkelt sensor registrerer en forhindring] • [ALT b: UC7: Brems bil aktiveres hvis begge sensorer registrer en forhindring] 4. Bilen giver igen styring tilbage til brugeren. 5. UC4 afsluttes.
Udvidelser:	

Tabel 4: UC4: Undvig forhindring

Use Case 5: Kør bil frem/tilbage

Navn:	UC5: Kør bil frem/tilbage
Mål:	At få bilen til at køre frem eller tilbage.
Initiering:	Bruger
Reference:	Ingen
Antal samtidige forekomster:	Én
Forudsætning:	UC1: Aktiver system er fuldført og systemet er operationelt.
Resultat:	Bilens hastighed er ændret.
Hovedscenarie:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bruger ændrer position af RT på Xbox-360 controlleren. <ul style="list-style-type: none"> • [Ext 1.a: Bruger ændrer position af LT.] 2. Controllerens input streames til bilen. 3. Bilen ændrer fremadgående hastighed i henhold til brugerens input. Et hårdere tryk resulterer i en højere hastighed og et lettere tryk resulterer i en lavere hastighed. 4. UC5 afsluttes.
Udvidelser:	<p>[Ext 1.a : Bruger ændrer position af LT.]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Controllerens input streames til bilen. 2. Bilen ændrer bagudgående hastighed i henhold til brugerens input. Et hårdere tryk resulterer i en højere hastighed og et lettere tryk resulterer i en lavere hastighed. 3. Systemet fortsætter fra punkt 4 i hovedscenariet.

Tabel 5: UC5: Kør bil frem/tilbage

Use Case 6: Drej bil til højre/venstre

Navn:	UC6: Drej til højre/venstre
Mål:	At få bilen til at dreje mod højre eller venstre
Initiering:	Bruger
Aktører:	Bruger
Reference:	UC3
Antal samtidige forekomster:	En
Forudsætning:	UC1: Aktiver system er fuldført og systemet er operationelt
Resultat:	Retningen på bilens forhjul er ændret
Hovedscenarie:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bruger ændrer position på den venstre styrepind på xbox-360 controlleren. <ul style="list-style-type: none"> • [Ext 1.a: AKS bliver anvendt.] 2. Controllerens input streames til bilen. 3. Bilen behandler input fra Bruger, hvis styrepinden føres til venstre drejes forhjulene til venstre, hvis styrepinden føres til højre drejes forhjulene ligeledes til højre. 4. UC6 afsluttes.
Udvidelser:	<p>[Ext 1.a : AKS bliver anvendt.]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bilen analyserer input fra UC3. 2. Bilen drejer til højre, hvis sensor FL registrerer en forhindrer, ditto venstre og FR. 3. Bilen undviger forhindringen. 4. Systemet fortsætter fra punkt 3 i hovedscenariet.

Tabel 6: UC6: Drej til højre/venstre

Use Case 7: Brems bil

Navn:	UC7: Brems bil
Mål:	At få bilen til at bremse
Initiering:	Bruger
Aktører:	Bruger
Reference:	UC3
Antal samtidige forekomster:	Én
Forudsætning:	UC1: Aktiver system er fuldført og systemet er operationelt
Resultat:	hastigheden på bilen er sænket
Hovedscenarie:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bruger trykker på "X" knappen på Xbox-360 controlleren. <ul style="list-style-type: none"> • [Ext 1.a: AKS er anvendt.] 2. Controllerens input streames til bilen. 3. Bilen tjekker input, hvis bremsekommando modtages sænker bilen hastigheden. 4. UC7 afsluttes.
Udvidelser:	[Ext 1.a : AKS er anvendt] <ol style="list-style-type: none"> 1. Systemet initierer UC4 2. Systemet fortsætter fra punkt 3 i hovedscenariet

Tabel 7: UC7: Brems bil

Use Case 8: Konfigurer IP-adresse

Navn:	UC8: Konfigurer IP-adresse
Mål:	At konfigurere bilens IP-adresse til PC'en
Initiering:	Bruger
Aktører:	Bruger
Reference:	Ingen
Antal samtidige forekomster:	En
Forudsætning:	UC1: Aktiver system er udført til punkt 3, bilen og PC er på samme netværk, systemet viser "Hovedvindue" samt at systemet er operationelt
Resultat:	IP adressen på bilen er indstillet
Hovedscenarie:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bruger trykker på "Konfigurer IP". 2. Konfigurationssmenuen for IP-adressen vises, og der er mulighed for at indtaste en IP-adresse. 3. Bruger indtaster bilens IP-adresse. 4. Bruger trykker "Gem" og system viser "Hovedvindue". 5. Bruger trykker på "Opret forbindelse". 6. Hovedvindue viser "Forbindelse oprettet". <ul style="list-style-type: none"> • [Ext 6.a Hovedvindue viser "Forbindelse ikke oprettet".] 7. UC8 afsluttet.
Udvidelser:	[Ext 6.a Hovedvindue viser "Forbindelse ikke oprettet"] <ol style="list-style-type: none"> 1. Bruger gentager fra punkt 2 i hovedscenarie.

Tabel 8: UC8: Konfigurer IP-adresse

Use Case 9: Tænd/sluk AKS

Navn:	UC9: Tænd/sluk AKS
Mål:	At tænde eller slukke for AKS på bilen
Initiering:	Bruger
Aktører:	Bruger
Reference:	UC11: Kalibrer styretøj
Antal samtidige forekomster:	En
Forudsætning:	UC1: Aktiver system er udført, bilen og PC er på samme netværk, at systemet viser "Hovedvindue" samt at systemet er operationelt
Resultat:	
Hovedscenarie:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bruger trykker på "AKS". 2. System viser "AKS-menu". 3. AKS-menu giver Bruger mulighed for at tænde/slukke for AKS . 4. AKS-menu viser status for AKS. 5. Bruger trykker tænd/sluk efter ønske. 6. Bilen tænder/slukker for AKS systemet efter brugerens ønske. 7. "Hovedvindue" indikerer nuværende status af AKS.
Udvidelser:	

Tabel 9: UC9: Tænd/sluk AKS

Use Case 10: Indstil makshastighed

Navn:	UC10: Indstil makshastighed
Mål:	At konfigurere bilens makshastighed
Initering:	Bruger
Aktører:	Bruger
Reference:	UC8: Konfigurer IP-adresse
Antal samtidige forekomster:	En
Forudsætning:	UC1: Aktiver system er udført, bilen og PC er på samme netværk, at systemet viser "Hovedvindue" samt at systemet er operationelt
Resultat:	
Hovedscenarie:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bruger trykker på "Indstil makshastighed". 2. Systemet præsenterer menu makshastighed med mulighed for indtastning af makshastighed fra 1-10 km/t. 3. Menuen indikerer bilens nuværende makshastighed. 4. Bruger indtaster bilens nye makshastighed. 5. Bruger trykker på "Opdater". 6. "Hovedvindue" viser den nye værdi som makshastighed. <ul style="list-style-type: none"> • [Ext 1. "Hovedvindue" viser ikke den nye makshastighed]
Udvidelser:	[Ext 1. Menuen indikerer ikke den nye makshastighed] <ol style="list-style-type: none"> 1. Bruger går til UC8

Tabel 10: UC10: Indstil makshastighed

Use Case 11: Kalibrer styretøj

Navn:	UC11: Kalibrer styretøj
Mål:	At kalibrere systemet så bilen kører ligeud når brugeren slipper styrepinden på Xbox-360 controlleren
Initiering:	Bruger
Aktører:	Bruger
Reference:	Ingen
Antal samtidige forekomster:	En
Forudsætning:	UC1: Aktiver system er udført, bilen og PC er på samme netværk, at systemet viser "Hovedmenu", at systemet er operationelt samt bilen holder stille
Resultat:	Bilens styretøj er kalibreret
Hovedscenarie:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bruger vælger "Kalibrer styretøj". 2. Systemet viser menu for Kalibrering med mulighed for indtastning af værdi mellem -50 og 50, hvor -50 svarer til fuldt udslag til venstre og 50 vil fuldt udslag til højre. 3. Bruger indtaster værdi. <ul style="list-style-type: none"> • [Ext 3.a : Bruger indtaster ugyldig værdi] 4. Bruger trykker på "Gem". 5. Systemet gemmer værdien på bilen. 6. Forhjulene drejer en absolut værdi mod enten, højre eller venstre: positiv værdi oversættes til højre, og negativ værdi oversættes venstre. 7. Systemet returnerer til "Hovedvindue"
Udvidelser:	[Ext 3.a : Bruger indtaster en ugyldig værdi] <ol style="list-style-type: none"> 1. Systemet prompter: "Ugyldig værdi, indtast en gyldig værdi." 2. Systemet fortsætter fra punkt 2 i hovedscenariet.

Tabel 11: UC11: Kalibrer styretøj

Use Case 12: Afbryd system

Navn:	UC12: Afbryd system
Mål:	At lukke systemet ned
Initiering:	Bruger
Aktører:	Bruger
Reference:	Ingen
Antal samtidige forekomster:	En
Forudsætning:	UC1: Aktiver system er udført, bilen og PC er på samme netværk, at systemet viser "Hovedvindue" samt at systemet er operationelt
Resultat:	Systemet er lukket sikkert ned og forsyning til batteriet er afbrudt
Hovedscenarie:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bruger lukker ned for softwaren på PC'en. <ul style="list-style-type: none"> • [Ext 1. Bilen er løbet tør før strøm] 2. Bruger skubber kontakten "ON/OFF" på undersiden af bilen til position "OFF". 3. Strømmen til bilen afbrydes.
Udvidelser:	[Ext 1. Bilen er løbet tør før strøm] <ol style="list-style-type: none"> 1. Systemet lukker korrekt ned og forbindelse afbrydes til softwaren på PC'en. 2. Uce Case 12 fortsætter fra punkt 3 i hovedscenariet.

Tabel 12: UC12: Afbryd system

3 Systemarkitektur

Version

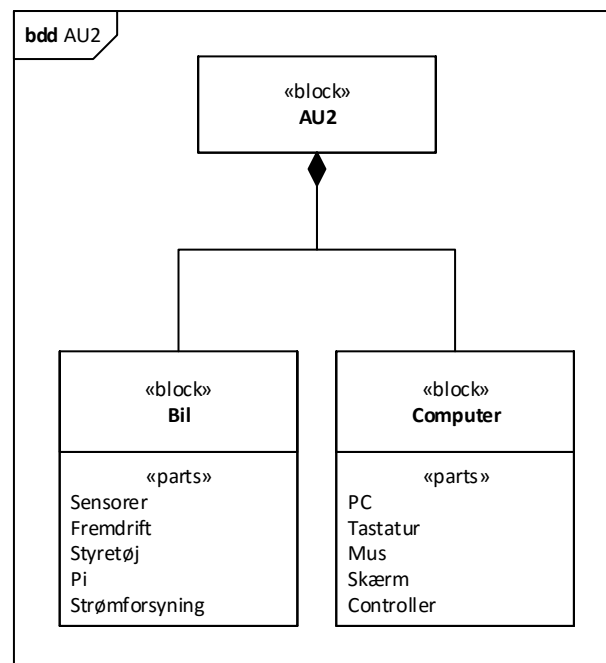
3.1 Indledning

Følgende afsnit beskriver arkitekturen for hardware- og software delene af projektet. BDD og IBD er lavet mhp. forståelse og indblik i systemet, således alle grænseflader og interne dele af systemet bliver forklaret. Til hvert diagram vil der være en kort forklaring, som beskriver det yderligere.

3.2 Bil

3.2.1 BDD for AU2

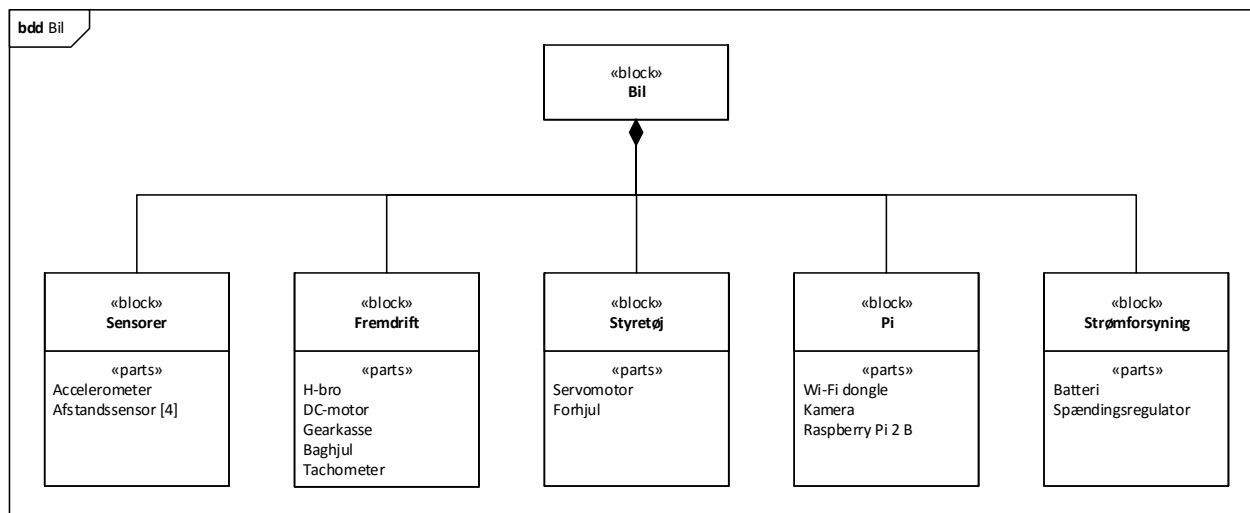
På figur 6 ses det overordnede blokdiagram for AU2. Der vises tilhørsforhold og sammenhæng med det samlede system, som senere bliver uddybet mere.



Figur 6: Overordnet BDD for AU2

3.2.2 BDD for bil

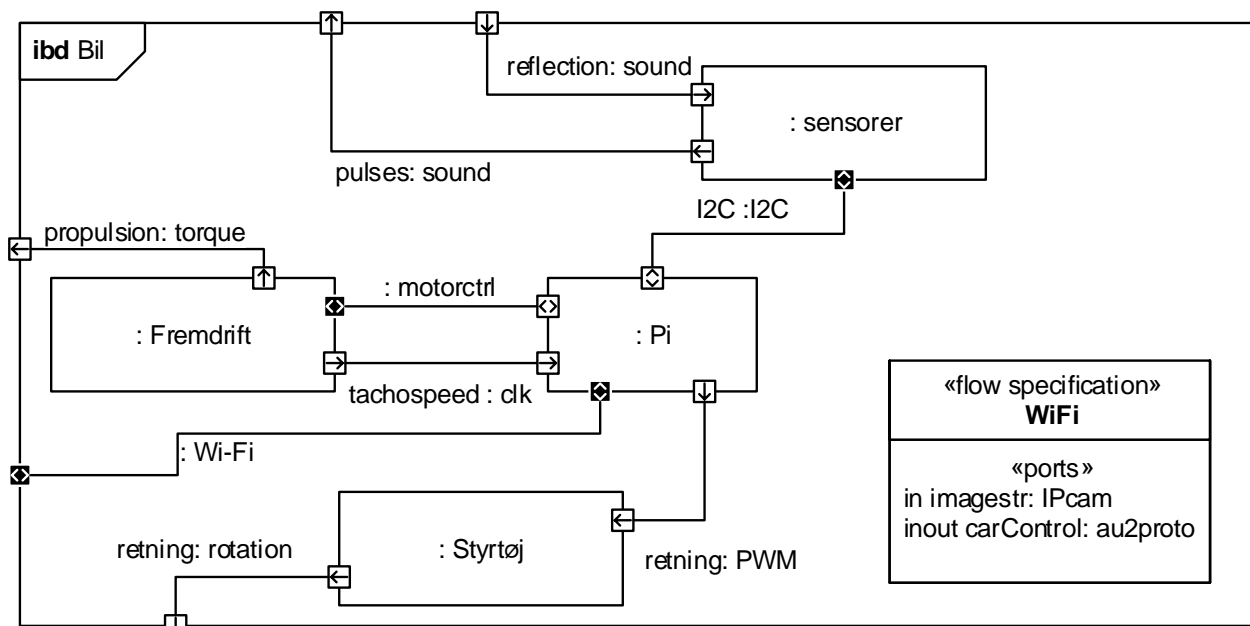
Dette diagram viser blokken bil fra figur 6. Blokken 'bil' skal forstås som alle mekaniske og elektriske som er fastgjort på køretøjet. Således er



Figur 7: BDD for bil

3.2.3 IBD for bil

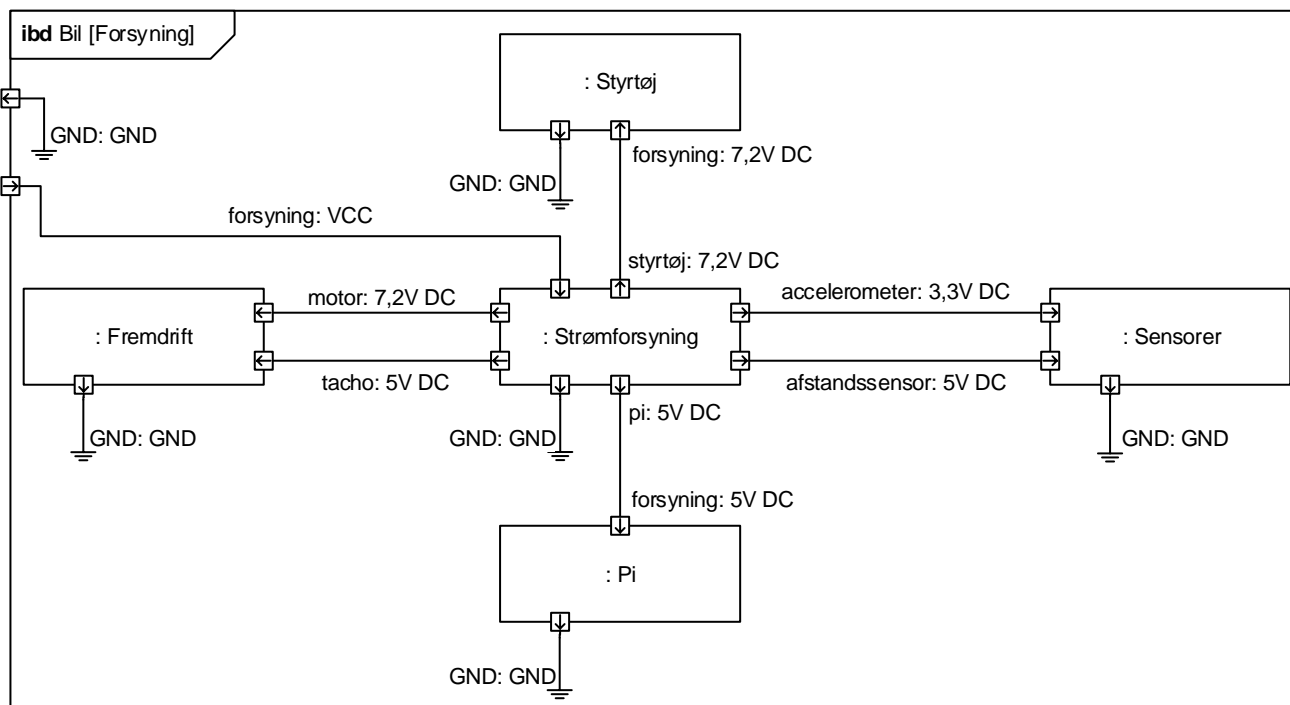
På figur 8 ses de interne forbindelser for figur 7. Diagrammet skaber et overblik over hvilke signaler der sendes og modtages. Signalerne bliver beskrevet yderligere i signalbeskrivelsen på side ?? . Bemærk at alle forsyninger ikke er taget med på diagrammet, men istedet er lavet i et diagram for sig. Forsyningerne kan ses på figur 9.



Figur 8: IBD for bil

3.2.4 IBD for bilens forsyninger

Diagrammet på figur 9 tilsvarende direkte figur 8, blot med beskrivelsen af forsyning. Dette giver forbedret overblik da de to diagrammer sat sammen bliver uoverskueligt.



Figur 9: IBD for bilens forsyninger

3.2.5 IDB fremdrift

Bilens fremdrift forårsages af motoren samt tilhørende elektronik, hvilket er beskrevet på figur 10. Det skal igen noteres at forsyningen til H-broen ikke er på diagrammet, men findes på figur 9. Motoren trækker altså ikke sin strøm fra signalet motorCtrl.

3.2.6 IBD styretøj

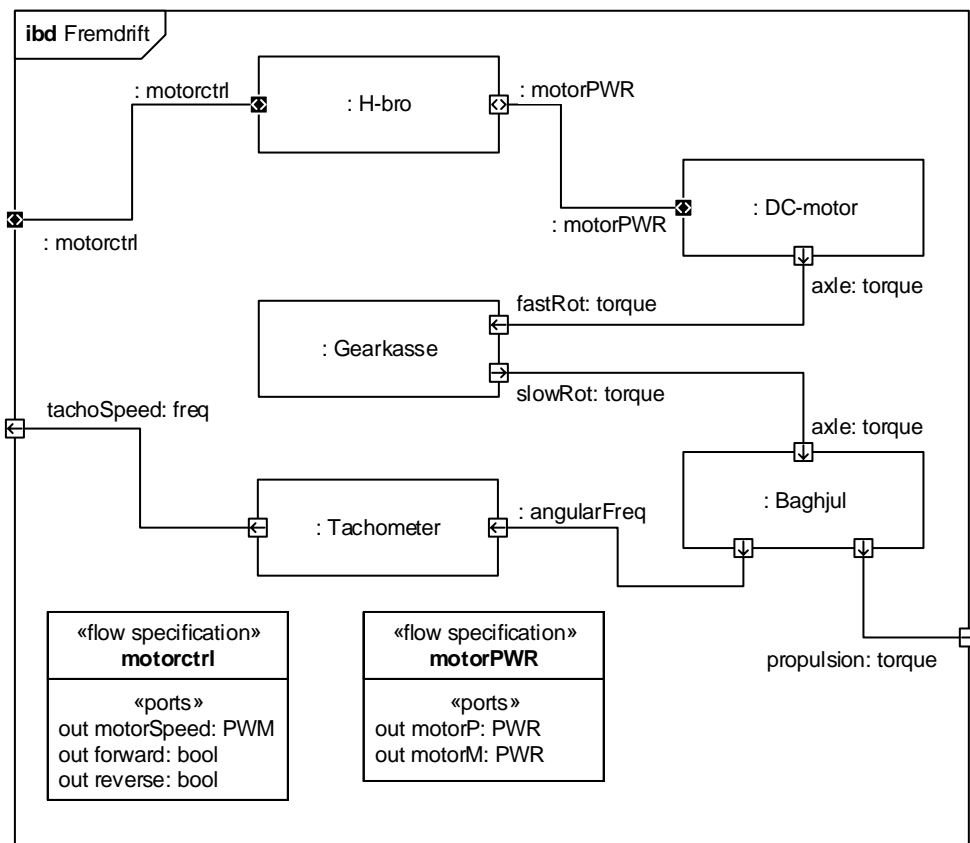
De interne signaler for blokken styretøj er beskrevet nedenfor i figur 11.

3.2.7 IBD for PI

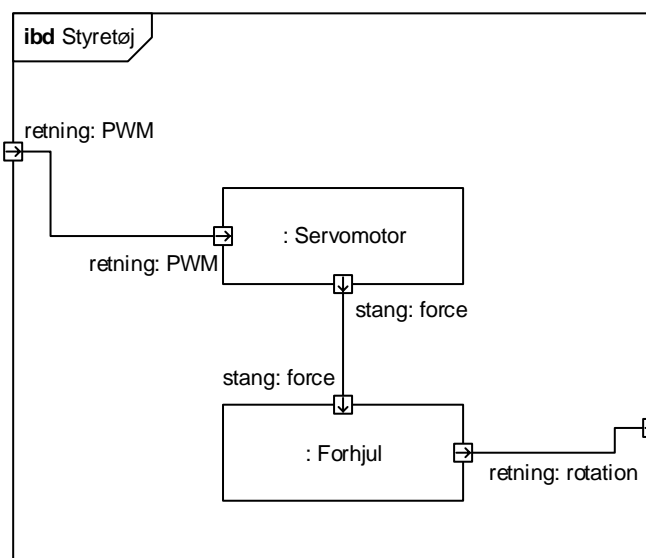
Her beskrives intern kommunikation for controlleren PI i systemet.

3.2.8 IBD for sensorer

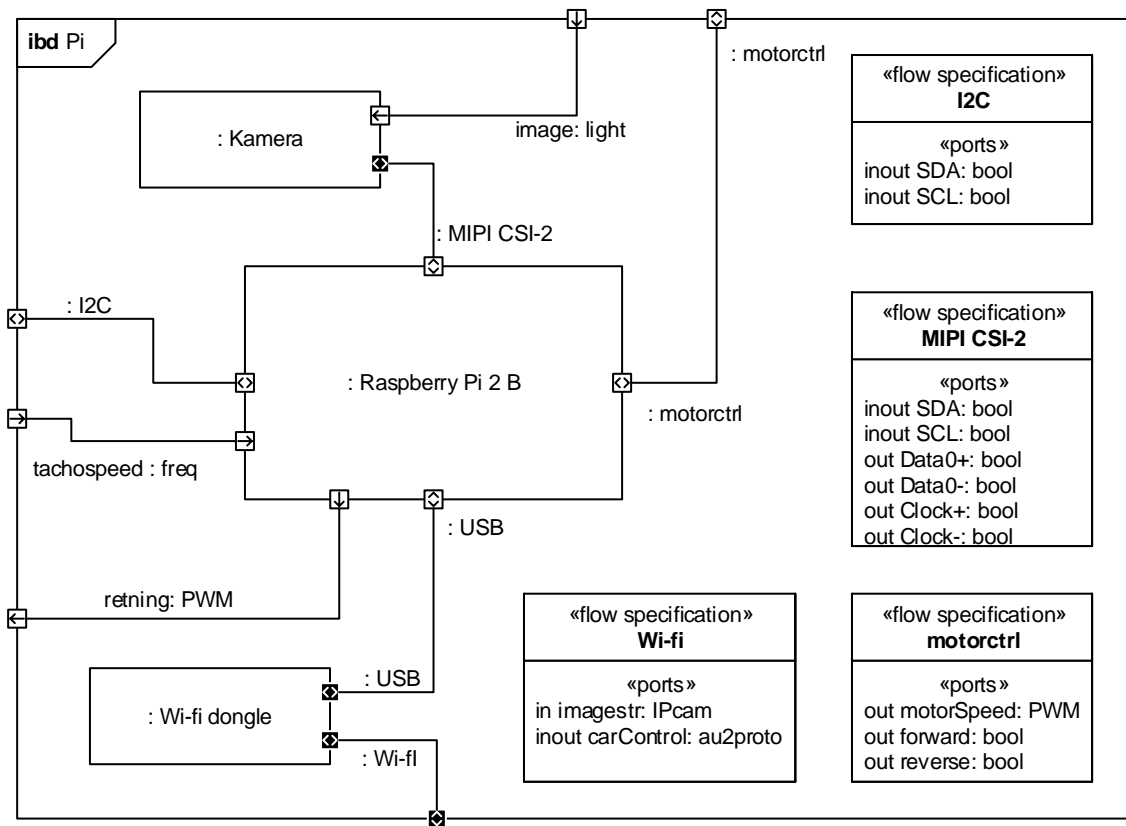
På figur 13 ses de interne signaler for blokken PI.



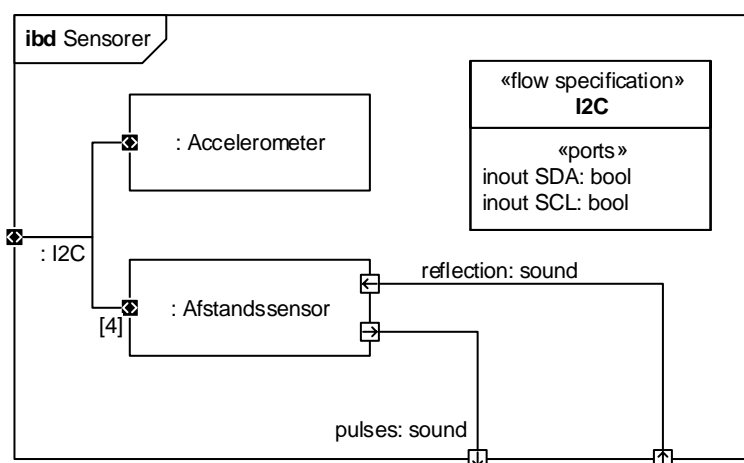
Figur 10: IBD for blokken fremdrift



Figur 11: IBD for blokken styretøj



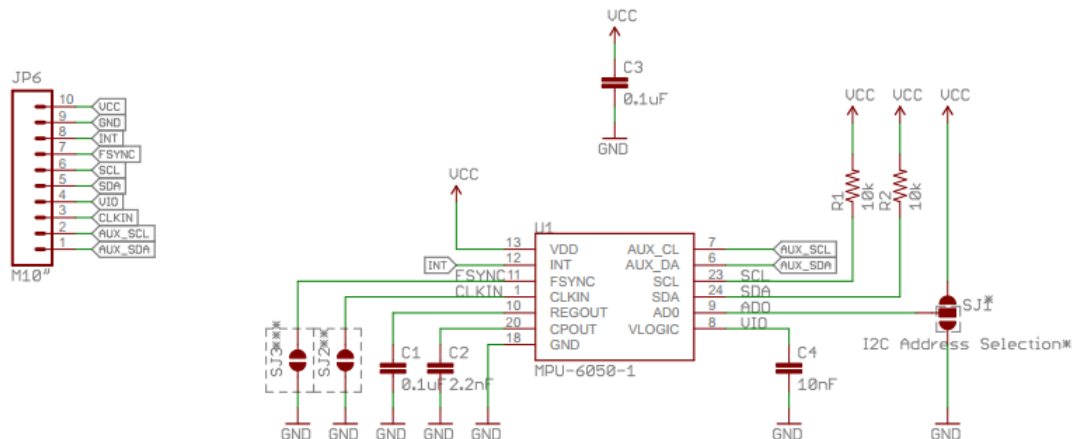
Figur 12: IBD for blokken PI



Figur 13: IBD for blokken sensorer

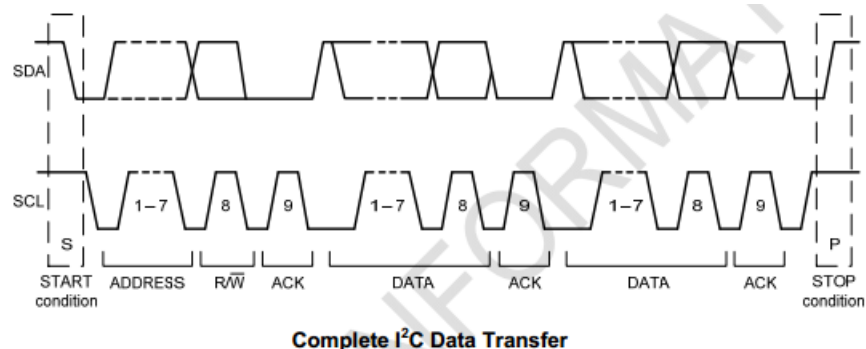
3.2.9 MPU-6050 Accelerometer/Gyroskop

MPU-6050 er en kombination af et accelerometer, et gyroskop, begge med 3 akser og et termometer. Det betyder for systemet at det er i stand til at registrere en ændring i acceleration og/eller orientering i alle retninger. Sensoren er blevet valgt til projektet på baggrund af et I²C interface, som derved kan tilkobles en samlet bus sammen med andre sensorer på bilen. Udover dette giver det konstruerede breakoutboard mulighed for nem tilslutning, men fortsat lille størrelse på sensoren. Sensoren fungerer altid som en slave med adressen 0b110100X, hvor X bliver bestemt af det logiske niveau på pin AD0, der som standard er lav.



Figur 14: MPU-6050 diagram

Diagrammet for sensoren er vist i figur 14. Maksimal bushastighed for MPU-6050 er 400kHz, men da der er andre sensorer som arbejder langsommere end MPU-6050 i systemet, passer den fint ind. Accelerometeret er en MEMS-type, hvor der er bygget mikroskopiske kondensatorer ind i chippen, som kan fjedre og bevæge sig, hvilket registreres som en ændring i kapacitans. Denne ændring kan omregnes til nogle brugbare værdier, og kan herfra anvendes til bl.a. retningsbestemmelse. Der er i alt 7 16-bits registre i sensoren, som hver især er tilknyttet til en ADC på hver akse, med undtagelse af register nr. 7, som er tilknyttet termometeret. Protokollen for kommunikation med sensoren ser således ud:



Figur 15: I²C protokol for MPU-6050

Som det ses i figur 15, starter masteren med at sætte en startsekvens ud på SDA (HIGH-to-LOW),

mens SCL er høj. Herefter betragtes bussen som optaget, indtil der bliver sendt en stopsekvens på SDA (LOW-to-HIGH) af masteren, mens SCL ligeledes er høj. Efter startsekvensen bliver der sendt en 7-bits adresse og en R/W bit. Data der bliver transmitteret over I²C bliver sendt i pakker af 8 bits. Når der først er sendt en startsekvens, er der ingen begrænsning på hvor meget data der må sendes, udover at der efter hver pakke, skal registreres en acknowledge. MPU-6050 indeholder desuden en DMP (Digital Motion Processor), som har til opgave at håndtere noget af dataproceseringen fra selve MPU-6050.

3.3 Software

Svissen

Svassen

3.3.1 Application model

4 Accepttest

Version

Dato	Version	Initialer	Ændring
29 September	1	Alle	Første udkast.
	2		
	3		
	4		

4.1 Funktionelle Krav

Use case under test		UC1: Aktiver system		
Scenarie		Hovedscenarie		
Forudsætning		Netværksforbindelse er opsat og fungerende		
Step	Handling	Forventet Resultat	Resultat	Godkendt / Kommentar
1.1	Bruger sætter bilens "ON/OFF"-switch til "ON".	Visuel test: Lampe på bilens strømforsyning lyser.		
1.2	Bruger starter software på PC.	Visuel test: Hovedvinduet vises på skærmen.		
1.3	Bruger trykker på "Opret forbindelse".	Visuel test: Hovedvindue viser "Forbindelse oprettet".		
1.4	Bruger observerer hovedvinduet.	Visuel test: Videostream vises i hovedvinduet.		
1.5	Bruger observerer hovedvinduet.	Visuel test: Bilens aktuelle hastighed vises i hovedvinduet.		
1.6	Bruger observerer hovedvinduet.	Visuel test: Bilens aktuelle tyngdeacceleration vises i hovedvinduet.		
1.7	Bruger observerer hovedvinduet.	Visuel test: Data fra bilens afstandssensorer vises i hovedvinduet.		

Tabel 13: Accepttest for UC1: Aktiver system

Use case under test		UC2: Stream Video		
Scenarie		Hovedscenarie		
Forudsætning		UC1 frem til punkt 5 er fuldført		
Step	Handling	Forventet Resultat	Resultat	Godkendt / Kommentar
2.1	Bruger har Wireshark åbent på samme computer. Wireshark er opsat til at overvåge det pågældene netværk.	Visuel test: I Wireshark observeres der for overføring af pakker fra bilens IP-adresse til computerens IP-adresse.		
2.2	Bruger åbner AU2 softwaren på PC'en og trykker "Operet forbindelse".	Visuel test: Der vises et live-feed fra bilens kamera.		

Tabel 14: Accepttest for UC2: Stream Video

Use case under test		UC3: Overvåg sensor		
Scenarie		Hovedscenarie		
Forudsætning		UC1 frem til punkt 6 er fuldført		
Step	Handling	Forventet Resultat	Resultat	Godkendt / Kommentar
3.1	Bruger observerer terminalen i Raspberry Pi 2en, igennem en SSH forbindelse.	Visuel test: Terminalen udskriver "Tachometer initializing... Done".		
3.2	Bruger observerer terminalen i Raspberry Pi 2en, igennem en SSH forbindelse.	Visuel test: Terminalen udskriver "Accelerometer initializing... Done".		
3.3	Bruger observerer terminalen i Raspberry Pi 2en, igennem en SSH forbindelse.	Visuel test: Terminalen udskriver "Distancesensors initializing... Done".		

Tabel 15: Accepttest for UC3: Overvåg sensor

Use case under test		UC4: Undvig forhindring		
Scenarie		Hovedscenarie		
Forudsætning		UC1 er gennemført, UC3 er gennemført.		
Step	Handling	Forventet Resultat	Resultat	Godkendt / Kommentar
4.1	Bruger styrer bilen fremad mod en forhindring på min. (30cm × 30cm) vinkelret på bilens kørebane vha. Xbox-360 controlleren, således at bilen er umiddelbart til venstre for objektet.	Visuel test: Bruger observerer at bilen ændrer kurs til højre på trods af brugerinput.		
4.2	Bruger tester om det er muligt at styre bilen igen med Xbox-360 controlleren.	Visuel test: Bruger observerer at bilen reagerer på brugerinput.		
4.3	Bruger styrer bilen fremad mod en forhindring på (30cm × 30cm) vinkelret på bilens kørebane vha. Xbox-360 controlleren, således at bilen er umiddelbart til højre for objektet.	Visuel test: Bruger observerer at bilen ændrer kurs til venstre på trods af brugerinput.		
4.4	Bruger styrer bilen fremad mod en forhindring på (30cm × 30cm) vinkelret på bilens kørebane vha. Xbox-360 controlleren, således at bilen har retning lige mod objektet.	Visuel test: Bruger observerer at bilen standser på trods af brugerinput.		

4.5	Bruger bakker mod en forhindring på $(30cm \times 30cm)$ vinkelret på bilens kørebane vha. Xbox-360 controlleren, således at bilen er umiddelbart til venstre for objektet.	Visuel test: Bruger observerer at bilen ændrer kurs til venstre på trods af brugerinput.		
4.6	Bruger bakker bilen mod en forhindring på $(30cm \times 30cm)$ vinkelret på bilens kørebane vha. Xbox-360 controlleren, således at bilen er umiddelbart til højre for objektet.	Visuel test: Bruger observerer at bilen ændrer kurs til højre på trods af brugerinput.		
4.7	Bruger bakker bilen mod en forhindring på $(30cm \times 30cm)$ vinkelret på bilens kørebane vha. Xbox-360 controlleren, således at bilen har retning lige mod objektet.	Visuel test: Bruger observerer at bilen standser på trods af brugerinput.		

Tabel 16: Accepttest for UC4: Undvig forhindring

Use case under test		UC5: Kør bil frem/tilbage		
Scenarie		Hovedscenarie		
Forudsætning		UC1: Aktiver system er fuldført og systemet er operationelt.		
Step	Handling	Forventet Resultat	Resultat	Godkendt / Kommentar
5.1	Bruger holder "RT" på Xbox-360 controlleren halvt nede.	Visuel test: Bruger observerer at bilen accelererer fremad til halv makshastighed og holder denne.		
5.2	Bruger holder "RT" på Xbox-360 controlleren helt nede.	Visuel test: Bruger observerer at bilen accelererer fremad til makshastighed og holder denne.		
5.3	Bruger holder "RL" på Xbox-360 controlleren halvt nede.	Visuel test: Bruger observerer at bilen accelererer bagud til halvdelen af makshastighed og holder denne.		
5.4	Bruger holder "RL" på Xbox-360 controlleren helt nede.	Visuel test: Bruger observerer at bilen accelererer bagud til makshastighed og holder denne.		

Tabel 17: Accepttest for UC5: Kør bil frem/tilbage

Use case under test		UC6: Drej bil til højre/venstre		
Scenarie		Hovedscenarie		
Forudsætning		UC1: Aktiver system er fuldført og systemet er operationelt		
Step	Handling	Forventet Resultat	Resultat	Godkendt / Kommentar
6.1	Bruger ændrer position af den venstre styrepind på Xbox360-controlleren til venstre yderposition.	Visuel test: Bilens forhjul drejer 30° til venstre i forhold til udgangspunktet.		
6.2	Bruger ændrer position af den venstre styrepind på Xbox360-controlleren halvvejs til venstre yderposition.	Visuel test: Bilens forhjul drejer 15° til venstre fra udgangspunktet.		
6.3	Bruger ændrer position af den venstre styrepind på Xbox360-controlleren til højre yderposition.	Visuel test: Bilens forhjul drejer 30° til højre fra udgangspunktet.		
6.4	Bruger ændrer position af den venstre styrepind på Xbox360-controlleren halvvejs til højre yderposition.	Visuel test: Bilens forhjul drejer 15° til højre fra udgangspunktet.		
6.5	Bruger ændrer position af den venstre styrepind på Xbox360-controlleren til center mellem højre og venstre yderposition.	Visuel test: Bilens forhjul går tilbage til udgangsposition.		

Tabel 18: Accepttest for UC6: Drej bil til højre/venstre

Use case under test		UC7: Brems Bil		
Scenarie		Hovedscenarie		
Forudsætning		UC1: Aktiver system er fuldført og systemet er operationelt.		
Step	Handling	Forventet Resultat	Resultat	Godkendt / Kommentar
7.1	Bruger trykker på "X" knappen på Xbox-360 controlleren.	Visuel test: Bruger observerer at bilens hastighed sænkes hvis i fart, ellers tændes bilens bremselys blot.		

Tabel 19: Accepttest for UC7: Brems Bil

Use case under test		UC8: Konfigurer IP-adresse		
Scenarie		Hovedscenarie		
Forudsætning		UC1: Aktiver system er udført, bilen og PC er på samme netværk, at systemet viser "Hovedvindue" samt at systemet er operationelt.		
Step	Handling	Forventet Resultat	Resultat	Godkendt / Kommentar
8.1	Bruger trykker på "Konfigurer IP".	Visuel test: Konfigurations menuen for IP-adressen vises, og der er mulighed for at indtaste en IP-adresse.		
8.2	Bruger trykker på bilens IP-adresse. Og trykker "Gem".	Visuel test: Systemet viser "Hovedvindue".		
8.3	Bruger trykker på "Opret forbindelse".	Visuel test: System viser at der er "Forbindelse oprettet".		

Tabel 20: Accepttest for UC8: Konfigurer IP-adresse

Use case under test		UC9: Tænd/sluk AKS		
Scenarie		Hovedscenarie		
Forudsætning		UC1: Aktiver system er udført, bilen og PC er på samme netværk, at systemet viser "Hovedvindue" samt at systemet er operationelt.		
Step	Handling	Forventet Resultat	Resultat	Godkendt / Kommentar
9.1	Bruger trykker på "AKS".	Visuel test: System viser "AKS-menu" med mulighed for at tænde/slukke for AKS og status for AKS.		
9.2	Bruger trykker på "Tænd AKS".	Visuel test: "Hovedvindue" indikerer status af AKS for tændt.		
9.3	Bruger trykker på "AKS".	Visuel test: System viser "AKS-menu" med mulighed for at tænde/slukke for AKS og status for AKS.		
9.4	Bruger trykker på "Sluk AKS".	Visuel test: "Hovedvindue" indikerer status af AKS for slukket.		

Tabel 21: Accepttest for UC9: Tænd/sluk AKS

Use case under test		UC10: Indstil makshastighed		
Scenarie		Hovedscenarie		
Forudsætning		UC1: Aktiver system er udført, bilen og PC er på samme netværk, at systemet viser "Hovedvindue" samt at systemet er operationelt.		
Step	Handling	Forventet Resultat	Resultat	Godkendt / Kommentar
10.1	Bruger trykker på "Indstil makshastighed".	Visuel test: Hovedvindue viser menu med mulighed for at indtaste makshastighed fra 1-10 km/t.		
10.2	Menuen viser bilens nuværende makshastighed.	Den nuværende makshastighed vises.		
10.3	Bruger indtaster bilens ønskede makshastighed.	Menuen viser den ønskede makshastighed.		
10.4	Bruger trykker på "Opdater".	Systemet viser den nye makshastighed.		

Tabel 22: Accepttest for UC10: Indstil makshastighed

Use case under test		UC11: Kalibrer styretøj		
Scenarie		Hovedscenarie		
Forudsætning		UC1: Aktiver system er udført, bilen og PC er på samme netværk, at systemet viser "Hovedmenu", at systemet er operationelt samt bilen holder stille		
Step	Handling	Forventet Resultat	Resultat	Godkendt / Kommentar
11.1	Bruger vælger "Kalibrer styretøj"	Visuel test: Menu med mulighed for kalibrering fremkommer.		
11.2	Bruger indtaster en værdi mellem 50 og -50 for kalibrering.	Den ønskede værdi vises.		
11.3	Bruger trykker på "Gem".	Systemet gemmer værdien på bilen og forhjulene drejer en absolut værdi mod enten højre eller venstre: positiv værdi giver udslag til højre, og negativ værdi giver udslag venstre.		
11.5	Systemet returnerer til "Hovedvindue"	Visuel test: "Hovedvindue" fremkommer		

Tabel 23: Accepttest for UC11: Kalibrer styretøj

Use case under test		UC12: Afbryd system		
Scenarie		Hovedscenarie		
Forudsætning		UC1: Aktiver system er fuldført, bilen holder stille og systemet er operationelt		
Step	Handling	Forventet Resultat	Resultat	Godkendt / Kommentar
12.1	Bruger lukker ned for softwaren på PC'en.	Visuel test: Hovedvinduet forsvinder fra skærmen.		
12.2	Bruger skubber kontakten "ON/OFF" på undersiden af bilen til position "OFF"	Visuel test: Lampe på strømforsyning slukker.		

Tabel 24: Accepttest for UC12: Afbryd system

4.2 Ikke-funktionelle krav

Krav	Test	Forventet Resultat	Resultat	Godkendt/ kommentar
1.	Der udmåles en strækning, på en vandret overflade, på 10 meter. Bilen startes således at maksimumshastighed er nået når den passerer startpunktet for den udmålte strækning. Der tages tid på bilen fra startpunkt til slutpunkt af strækningen. Herefter omregnes disse data til en hastighed.	Der måles en maksimumshastighed på 10 km/t \pm 10%.		
2.	Der udmåles en strækning, på en vandret overflade, på 1 meter. Bilen startes således at maksimumshastighed er nået når den passerer startpunktet for den opmålte strækning. Bilen sættes til at bremse indtil at bilen er i stilstand. Der observeres om bilen er kommet ud over slutpunkt for den udmålte strækning.	Bil er i stilstand inden for den udmålte stræknings start- og slutpunkt.		

3.	Bilen sættes til at accelerere ligeud på en vandret overflade. Der tages tid fra start af bilens acceleration. Ved 6 sekunders mærket tages der to billeder af bilen med et kamera med en maks. lukketid på 1/100s. Disse billeder bruges til at finde hastigheden af bilen, ved at aflæse længden bilen har flyttet sig og dividere det med tiden der er gået mellem de to billeder.	De beregnede data viser at bilen har nået maksimumhastighed på 10 km/t \pm 10%.		
4.	Bruger trykker på "B"-knappen på Xbox-360 controlleren. Der måles en tid fra tryk på knap til test-LED på bilen lyser.	Den målte tid overstiger ikke 50ms.		
5.	Der placeres en genstand der opfylder givne krav for forhindring (30cm \times 30cm) i afstanden 6m fra sensoren og der måles om sensoren detekterer pågældene genstand.	Der observeres at sensoren detekterer genstanden.		
6.	Bruger slukker for program på PC.	Der observeres at bilens bremse-LED lyser indenfor 50ms.		
7.	Datablad for kamera aflæses.	Kameraet er detekteret til at have en opdateringshastighed på minimum 15 billeder i sekundet.		

8.	Der tages et screenshot af hovedvinduet. Selve videofeedet beskæres i mspaint.exe og måles.	Den målte opløsning er 640×480 pixels.		
9.	Wireshark anvendes til at aflæse antal kommandoer sendt per sekund.	Den aflæste mængde kommandoer er minimum 60.		
10.	Bruger kigger på HID.	HID består af Xbox-360 controller og tastatur.		

Tabel 25: Ikke funktionelle krav

