



Blindesyn ved ultralyd

Torkel Feet Wølner

Master i kybernetikk og robotikk

Innlevert: februar 2017

Hovedveileder: Sverre Hendseth, ITK

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for teknisk kybernetikk

Oppgavebeskrivelse

Tittel: **Blindesyn med ultralyd**

Student: **Torkel Feet Wølner**

Beskrivelse

En tradisjonell "polaroid" ultralydsensor brukes ofte for å måle avstand til en flate eller bare for å detektere om noe er i veien, ved å trigge på "første vesentlige refleksjon". Vi kan imidlertid tenke oss at det reflekterte signalet kan brukes til å hjelpe blinde med å unngå å gå på objekter. Formålet med denne oppgaven er derfor å utforske i hvilken grad et reflektert ultralydsignal kan være av nytte for å skape et "blindesyn".

Problemstillingen for arbeidet er:

- Gjøre rede for hvordan ultralyd i luft er brukt i andre applikasjoner.
- Gjøre rede for hvordan ultralyd i luft fungerer og de tradisjonelle utfordringene som gjør at ultralyd i luft ikke er en mer utbredt sensor enn det er.
- Sette opp en eksperimentoppstilling for å teste om et reflektert ultralydsignal kan brukes i blindesyn.
- Gi en vurdering av nytteverdi for blinde og eventuelle bruksområder av et slikt reflektert signal.

Veileder: Sverre Hendseth, førsteamanuensis på ITK ved NTNU

Forord

Denne prosjektrapporten kommer som et resultat av faget “TTK4900-masteroppgave” ved fakultetet Informasjonsteknologi og Elektronikk (IE) ved Norges Teknologiske naturvitenskapelige Universitet (NTNU) i Trondheim. Prosjektet er den avsluttende oppgaven på det 5-årige masterløpet i “Kybernetikk og robotikk”. Arbeidet med oppgaven ble gjennomført høsten 2016 og januar 2017.

For over 100 år siden ble ultralyd for første gang brukt som sensor, og teknologien har utviklet seg mye siden den gang. Den nesten blinde flaggermusen bruker ultralyd til å navigere perfekt i høyt tempo i alt fra skoger til åpne sletter. Dette skulle man tro kunne overføres til mennesker, men likevel har det ikke blitt utviklet noen signifikante ultralydprodukter til å hjelpe blinde og svaksynte med å navigere. Arbeidet med denne oppgaven har dreid seg om å undersøke og belyse nettopp spørsmålet om det er mulig å bruke ultralyd for å hjelpe mennesker med synshemminger å ta seg fram i ulike omgivelser.

Å arbeide med oppgaven har vært svært lærerikt. Kunnskap jeg har tilegnet meg i løpet av utdanningen, har vært relevant og nyttig. I tillegg har ny kompetanse, opparbeidet gjennom dette prosjektet, blitt tatt i bruk for å svare på problemstillingen. Mange har bidratt slik at arbeidet med masterprosjektet har gitt godt faglig utbytte: Jeg vil gjerne takke min veileder, Sverre Hendseth, for stor hjelp under prosjektet. En stor takk må også rettes til familie og venner for støtte i arbeidet og korrekturlesing av oppgaven.

Trondheim, februar 2017

Torkel Feet Wølner

Sammendrag

Synshemming kan bidra til å gjøre navigasjon vanskelig og begrense mobilitet. Til tross for hjelpemidler som hvit stokk og førerhund, kan det være problematisk å ta seg frem på en trygg måte for sterkt synshemmede. I denne oppgaven undersøkes det om ultralydteknologi kan bidra til at blinde og svaksynte kan navigere lettere, altså ved bruk av ultralyd som en form for "blindesyn". Ultralydteknologi er mest brukt i vann, fordi dette mediet gjør det lettere å få overført effekten av lydsignalet, sammenliknet med luft. Det er likevel mulig å bruke ultralyd i luft etter at det er blitt utviklet sensorer som er spesielt egnet til å takle disse problemene. Ultralyd i luft brukes i dag blant annet i industri og til ryggesensorer i biler.

I dette masterprosjektet brukes ultralyd ved at det detekteres nøyaktig reisetid for ultralydsignalet fra sender til objektet og tilbake. Ved bruk av denne metoden kan avstanden til objektet regnes ut. En eksperimentoppstilling for å teste om et slikt reflektert ultralydsignal kan brukes i "blindesyn", ble laget og deretter brukt til å teste om "blindesyn" ved bruk av ultralyd er praktisk mulig. Testene ble gjort ved avstandsmåling med ultralyd med én og to sensorer. Det ble først testet med én sensor hvor god avstandsmålingen var, og om det er mulig til å bruke én sensor til navigasjon. Deretter ble det testet oppsett med to sensorer for å vurdere om det gir bedre avstandsmåling og hvorvidt det kan bedre navigasjonen. Testing av navigasjon foregikk ved at en testperson med høretelefoner gikk rundt i et rom og mottok lydsignaler som "pep" raskere når et objekt var nært.

Fra testene viste det seg at avstandsmålingen med én og to sensorer var omtrent like nøyaktige. Testene viste også at det er mulig å bruke ultralydavstandsmålinger til å navigere i et rom. Testpersonen hadde større "synsfelt" med to sensorer enn med én, og det var derfor lettere å navigere. Det var enkelte ting som ikke ble detektert, som f.eks. objekter på gulv og døråpninger. Dette gjør at det må flere og mer nøyaktige sensorer til for å kunne "se" et helt rom. Overføringsmetoden for det reflekterte ultralydsignalet brukt i denne oppgaven, er ikke optimal fordi testpersonen ikke hørte mye annet enn pipingen til sensoren mens han gikk rundt. I sum betyr dette likevel at ultralyd kan ha nytteverdi for blinde, dersom disse problemene blir håndtert.

Abstract

Visual impairment contributes to limited mobility at home, at work and during your free time. There are aids like a white cane and a guide dog that will help someone visually impaired to navigate. Even with this it is still hard to navigate safely and easily when you do not see. In this thesis it was investigated if ultrasound technology can be used to create some sort of "vision" for the blind. Ultrasound is mostly used in water, with SONAR, but also to some degree in air. In air ultrasound is used, among others, in industry and car sensors. It is today's technology that has given the opportunity to use ultrasound in air.

In this thesis the time of flight of the ultrasound signal is measured. Then the distance of the object that the signal reflects of can be calculated. An experiment, to test how accurate this kind of distance measurements is and to see if ultrasound can be used to navigate for the visually impaired, was set up. The setup could use one or two sensors. Tests were done with one and two sensors to see if the distance measurements were accurate. The sensors had a consistent accuracy and were the same if one or two sensors were used. In the next test headphones were connected and a test person walked around blindfolded to see if it was possible to navigate by sound. It worked by hearing a "peeping" sound in the headphones, and the frequency of the "peeps" increased as an object came closer.

The test results show that it was easier to use two sensors for navigating than one. This was because the "field of vision" was wider with two sensors. One problem that arose was when the test person looked down to see if there were any obstacles on the ground, the sensors either detected the floor or the signal did not bounce back to the receiver at all. The test person "saw" the floor or nothing at all. Another problem was doorways. The sensors picked up the distance to the walls around the doorway when the test person was too far away. To compensate for these problems the sensors must be more accurate and some sensors must be placed by the floor. The thesis concludes that the method to hear how far it is to the object with "peeping" is not optimal. The test person heard almost nothing else. If a solution to the two problems with the sensors and the method of communication between man and machine are found, ultrasound as an aid to the blind can be viable.

Innhold

Oppgavebeskrivelse	i
Forord	ii
Sammendrag	iii
Abstract	iv
Innhold	v
1 Innledning.....	1
1.1 Motivasjon	1
1.2 Mål og problemstilling.....	2
1.3 Oppbygning av oppgaven	3
2 Bakgrunn	5
2.1 Eksisterende bruksområder for ultralyd i luft	5
2.2 Annen forskning på området.....	6
2.3 Oppsummering	7
3 Teori.....	8
3.1 Ultralydteori.....	8
3.1.1 Ultralyd i luft	8
3.1.2 Lydbølger.....	9
3.1.3 Lydens hastighet	10
3.1.4 Refleksjon og absorpsjon	10
3.1.5 Bølgelengde og interferens.....	13
3.1.6 Frekvens	14
3.1.7 Ultralydtransdusere	14
3.1.8 Oppsummering	18
3.2 Signalbehandling.....	19
3.2.1 Ekko og støy	19
3.2.2 Konvulsjon.....	20
3.2.3 Krysskorrelasjon	20
3.2.4 Signaldeteksjon	22

3.2.5 Oppsummering	24
3.3 SONAR.....	24
3.3.1 Avstandsmåling.....	24
3.3.2 Retningsmåling.....	26
3.3.3 Hastighetsmåling (Doppler skift)	28
3.3.4 Avansert ekkotolkning	28
3.3.5 Oppsummering	29
3.4 Oppsummering	29
4 Eksperimentoppstilling.....	31
4.1 Hardware	31
4.1.1 Ultralydavstandsmodul HC-SR04	31
4.1.2 MyRIO.....	33
4.2 Software.....	35
4.2.1 LabVIEW	36
4.3 Oppsett av eksperimentoppstilling og kode.....	36
4.3.1 Oppsett med én sensor.....	37
4.3.2 Oppsett med to sensorer	40
4.4 Oppsummering	43
5 Tester og resultater	44
5.1 Tester med én sensor	44
5.1.1 Test kodeoppsett 1	44
5.1.2 Test kodeoppsett 2	45
5.2 Tester med to sensorer	46
5.2.1 Test kodeoppsett 3	46
5.2.2 Test kodeoppsett 4	48
5.3 Feilkilder og oppsummering	49
6 Diskusjon	50
6.1 Teoretisk utgangspunkt	50
6.2 Teknisk oppstilling og gjennomføring av testene.....	51
6.2.1 Sentrale faktorer ved den tekniske oppstillingen.....	51
6.2.2 Praktisk bruk	53

6.3 Praktisk nytteverdi for blinde og svaksynte	54
6.3.1 Brukervennlighet.....	54
6.3.2 Tilgjengelighet.....	55
6.3.3 Bruksområder	56
6.4 Oppsummering	56
7 Konklusjon og videre arbeid.....	58
Referanser	61
Vedlegg.....	64
A.....	64
Blokkdiagram én sensor, trigger- og mottaksdel.....	64
B.....	65
Blokkdiagram av triggerdel med to sensorer.....	65
Blokkdiagram av mottaksdel med to sensorer	66
C.....	67
Blokkdiagram av lyddel for to sensorer	67
D.....	68
Vedlagte filer.....	68

1 Innledning

På Norges Blindforbunds nettsider blir det beskrevet noen av utfordringene blinde og svaksynte har med å navigere, trene og være aktive på egenhånd. Disse sitatene er illustrerende eksempler:

- *Mobilitet og orientering er et eget fagområde som har med det å ta seg fram fra et sted til et annet på en sikker og trygg måte.*
- *Unngå å støte borti ting når du går på gaten: Gå etter en annen person og hold følge med denne personens rygg. Det bør helst være tydelig fargeforskjell mellom ryggen og omgivelsene.*
- *Treningskontakt: Personer som har problemer med å få gjennomført trening på egenhånd, kan søke kommunen om treningskontakt. Ikke alle kommuner har treningskontakt. [14]*

I hjemmet, på arbeid og i fritiden kan synshemming bidra til å gjøre navigasjon vanskelig og begrense mobiliteten. Det finnes hjelpemidler, for eksempel hvit stokk, førerhund og ledsager, som kan lette orienteringen for blinde og svaksynte. Likevel viser sitatene over at det å orientere seg og ta seg fram på en trygg måte, kan være problematisk. I mitt masterprosjekt ønsker jeg derfor å undersøke om ultralydteknologi kan bidra til at blinde og svaksynte kan navigere lettere ved hjelp av ultralyd brukt som en form for "blindesyn". I dette innledningskapitlet vil jeg presentere prosjektet mitt: Først vil jeg gjøre nærmere greie for motivasjonen bak valg av oppgavetema, deretter beskrives prosjektets formål og problemstilling. Til slutt i dette kapitlet vil jeg skissere oppbygging av oppgaven.

1.1 Motivasjon

Bakgrunnen for mitt valg av oppgavetema kan deles i to: interesse for muligheter ved bruk av ultralydteknologi og engasjement i idrett både som utøver og trener. Ultralyd har lenge vært brukt innenfor medisin og marin teknologi, men man kan undres på hvorfor ultralyd i luft ikke er mer utbredt. I naturen benytter flaggermus på en imponerende måte ultralyd til å navigere i tette skoger på jakt etter insekter. Flaggermusen gjør dette ved såkalt "ekkolokalisering" [17]. Ekkolokaliseringen går ut på å sende ut et bredt ultralydsignal og

motta ekko med ørene. Den klarer da å beregne avstanden ut fra hvor lang tid det tar for ekkoet å returnere fra objekter det treffer. Forskjell i tidspunkt ekkoet treffer hvert av ørene, og intensiteten til ekkoet, gjør at flaggermusen også kan finne retningen til objektet [16]. Dette viser at det burde være mulig å bruke ultralyd til å navigere for oss mennesker også.

For svaksynte og blinde kan navigering ved hjelp av ultralyd tenkes å være et godt hjelpemiddel, og dessuten en rimeligere løsning enn enkelte av dem som finnes nå. I dag kan det blant annet brukes øyeimplantater koblet direkte til synsnerven. Dette innebærer dyre operasjoner som ikke alle synshemmede har råd til, og som kanskje heller ikke er en egnet behandling for alle. En både enklere og billigere løsning ville være å ta på seg et par "ultralydbriller" bygget på samme teknologi som flaggermusenes. En slik "brille" vil kunne gjøre hverdagen til blinde og svaksynte enklere. Aktivitet og mosjon er viktig både som fornøyelse og for å ivareta egen helse, og de fleste av oss tar det som en selvfølge at vi kan dra på trening og drive med ulike idrettsaktiviteter. For personer med synshemning er det like viktig å være aktive og trene som for alle andre, men ikke like selvfølgelig. På bakgrunn av dette har jeg valgt å undersøke om ultralyd kan brukes til å gi svaksynte og blinde en form for "syn" som kan være et nyttig redskap i deres hverdagsliv.

1.2 Mål og problemstilling

I dette prosjektet skal det undersøkes om det finnes gode bruksområder for ultralyd som hjelp til blinde. Det blir undersøkt om det er teoretisk og praktisk mulig å bruke ultralyd til å detektere forskjellige deler av et rom, som for eksempel dører, vinduer, stoler, benker osv. Formålet er å utforske i hvilken grad et reflektert ultralydsignal kan være av nytte for å skape et "blindesyn". En tradisjonell enkel "polaroid" ultralydsensor brukes ofte for å måle avstand til en flate eller bare for å detektere om noe er i veien, ved å trigge på "første vesentlige refleksjon", altså måle "Time of Flight" fra sending av signal til første mottatte del av ekkoet. På samme måte gjør flaggermusen det, og dette signalet kan være nyttig for å hjelpe blinde "å se".

Hensikten med oppgavearbeidet er å beskrive og undersøke egenskaper ved ultralydteknologi brukt i luft, og på bakgrunn av det vurdere om og i hvilken grad et

reflektert ultralydsignal kan brukes for å gi blinde og svaksynte en form for "syn". Dette er problemstilling for prosjektet:

- Gjøre rede for hvordan ultralyd i luft er brukt i andre applikasjoner.
- Gjøre rede for hvordan ultralyd i luft fungerer og de tradisjonelle utfordringene som gjør at ultralyd i luft ikke er en mer utbredt sensor enn det er.
- Sette opp en eksperimentoppstilling for å teste om et reflektert ultralydsignal kan brukes i blindesyn.
- Gi en vurdering av nytteverdi for blinde og eventuelle bruksområder av et slikt reflektert signal.

Problemstillingen krever både teoretisk og praktisk tilnærming. I den teoretiske delen blir det beskrevet hvordan ultralyd i luft brukes i andre applikasjoner, blant annet som ultralydavstandssensor. Videre blir det gjort greie for hvordan ultralyd i luft fungerer og hvilke problemer dette ofte medfører. Et punkt i den sammenhengen er å vurdere om det er mest nyttig å bruke enkel avstandsmåling ved å "trigge" på første vesentlige refleksjon eller om noe mer av signalet kan brukes. I den praktiske delen skal det skal bygges et sensoroppsett med én og to sensorer for enkel avstandsmåling i luft, og lages tilhørende software i LabVIEW. Målet med denne eksperimentoppstillingen er å undersøke om det er mulig å bruke enkel avstandsmåling til "blindesyn". Dessuten er det et mål å gjøre oppstillingen så enkel som mulig, slik at det kan være kommersielt lønnsomt og derved et reelt tilbud for blinde og svaksynte. Teori, eksperimentoppstilling og praktiske tester vil danne grunnlag for vurdering av hvilken nytteverdi ultralydsignal kan ha for svaksynte og eventuelle bruksområder.

1.3 Oppbygning av oppgaven

Oppgaven tar utgangspunkt i nåværende bruk av ultralyd i luft og annen forskning på ultralyd. Dette blir presentert i kapittel 2 "Bakgrunn". Teorigrunnlag for prosjektet finnes i kapittel 3, der teori om ultralyd, signalbehandling og SONAR er sentralt. I kapittel 4 vil det praktiske arbeidet knyttet til eksperimentoppstillingen bli beskrevet, med oppsett av både hardware og software. Tester og resultater blir presentert i kapittel 5. I det påfølgende

kapittel 6 blir resultatene fra teori, eksperimentoppstilling og praktiske tester diskutert, og her blir også nytteverdien for blinde og svaksynte vurdert, sammen med mulige bruksområder. Oppgaven avsluttes med konklusjon i kapittel 7 der også videre arbeid innenfor dette feltet blir tatt opp. Bakerst i oppgaven finnes referanseliste og vedlegg.

2 Bakgrunn

Bruk av ultralyd har lang tradisjon og har lenge vært brukt innenfor medisin og marin teknologi. På tross av det er ikke bruk av ultralyd i luft særlig utbredt. I dette kapitlet blir bruk av ultralyd i andre applikasjoner presentert, og i tillegg gjør jeg kort greie for annen forskning på dette området. Hensikten med kapitlet er å peke på forskning som er relevant for dette masterprosjektet.

2.1 Eksisterende bruksområder for ultralyd i luft

Et av de vanligste bruksområdene til ultralyd er SONAR, som enkelt kan forklares som avstandsmåling med ultralyd i vann. Den samme teknologien er også brukt i luft, i f.eks. ryggesensorer på biler, hvor det enten piper når man nærmer seg et objekt eller det vises en grafisk presentasjon på dashbordet i bilen [18]. Ultralyd brukes også i enkle håndholdte avstandsmålere, hvor du peker på f.eks. en vegg og får opp tall som viser hvor langt unna den er. Hvordan SONAR og denne typen avstandsmåling fungerer, blir utdypet i kapittel 3.3 i oppgaven.

Ultralyd brukes også i "Ultrasound identification" (USID). Det er et "Real time Locating System" (RTLS) eller et innendørs posisjoneringssystem. Det fungerer ved at enkle noder som er festet på objekter, sender ut et ultralydsignal til en mottaker med informasjon om hvor objektet befinner seg. Denne typen RTLS ses på som et mer robust alternativ til "radio frequency identification" (RFID) og brukes innendørs i f.eks. sykehus [15].

En annen vanlig bruk av ultralyd er å bruke denne teknologien til å vaske og rense f.eks. smykker, linser, klokker, industrielle deler og andre små, detaljrike ting. En slik ultralydvasker bruker frekvenser fra 20 til 40 kHz. Den fungerer ved kavitasjon. Kavitasjon er dannelsen av gassbobler som imploderer i en væske. Dette fungerer ved at energi blir sluppet fri fra kollapsen av millioner av disse gassboblene i fuktigheten nær den skitne overflaten, og denne kollapsen lager små jetstrømmer som er rettet mot overflaten av objektet og renser det for skitt. Med samme virkemåte som ultralydvaskere, kan et høyenergiultralydsignal bli brukt til å drepe bakterier [19]. Dette brukes blant annet til å drepe bakterier i kloakk.

Det har også blitt forsket på å bruke ultralyd som et antiopprørsvåpen. Våpenet har vært basert på å sende sterke ultralydssignaler mot angripere hvor ultralydlydbølgene vil uskadeliggjøre og slå ut dem som blir truffet. Dette fungerer ved at ultralydbølger med ekstremt høy effekt kan ødelegge trommehinner til mennesker og forårsake voldsom smerte og svimmelhet. Ved å bruke litt svakere ultralydbølger, vil det kunne gi mennesker kvalme. Denne typen våpen kan brukes til å stoppe store folkemengder og i antiterrorisme [20].

2.2 Annen forskning på området

Ultralyd har vært et nyttig verktøy innenfor marinteknologi i ca. 100 år og på medisinfeltet i hele den "moderne tid". Det har også vært mye forskning på ultralyd innenfor medisin, maritim sektor og olje og gass. Blant annet er det etablert 17 nye sentre for forskningsdrevet innovasjon i Norge, og disse skal jobbe med ultralyd innenfor medisin, maritim og olje og gass [10]. Det er færre forskningsprosjekter knyttet til ultralyd i luft, men det finnes noen få, og her vil jeg presentere to av dem.

Ved universitetet i Illinois var det et prosjekt i 2013 som gikk ut på å lage en drakt med "spider-sense" [11]. Den ble laget av PhD-kandidat Victor Mateevitsi og studentene Brad Haggadone og Brian Kunzer. Drakten var utstyrt med ultralydsensorer som kunne detektere ting i alle retninger rundt personen, og drakten klemte på huden i den retningen et objekt var. Drakten var resultatet av faget "Human Augmentics" på universitetet i Illinois. For å teste drakten fikk studenter bind for øynene, og de skulle føle "angripere" som kom mot dem. 95 % av gangene kunne studentene føle hvor "angriperne" var. De testet også å gå rundt med drakten mens de hadde bind for øynene, noe som muligens kan hjelpe blinde i fremtiden. Mer informasjon om denne drakten finnes på [12].

Et annet prosjekt som har til hensikt å hjelpe blinde med "å se" ved hjelp av sensorer, heter "Colorophone" og foregår på NTNU nå [13]. Et forsker- og studentteam jobber med å lage et bærbart sensorsystem som kan hjelpe blinde med å orientere seg i hverdagen. Teknologien er utviklet av Dominik Osinski, universitetslektor ved "Elektrofag og fornybar energi" på NTNU. Hans metode er inspirert av det menneskelige synssystemet. Prototypen "Colorophone" består av et par briller med innebygd kamera, en avstandssensor,

hodetelefoner og en prosesseringsenhet. Kameraet tar bilde og sender digitale RGB-verdier, altså webfarger, til prosesseringsenheten. De ulike RGB-verdiene blir brukt til å lage en lydbølgeform som blir sendt til hodetelefonene. Brukeren må så lære seg å tolke lydfrekvensene for å kunne visualisere omgivelsene. Under testing av "Colorophone" greide forsøkspersonene å identifisere 14 farger etter fem minutter med opplæring, og de "hørte" riktig farge i 98,6 % av antallet ganger testen ble gjennomført [13].

2.3 Oppsummering

Denne korte presentasjonen understreker at det foregår lite forskning på bruk av ultralyd i luft, men det kommer stadig mer ettersom teknologien blir bedre. En av grunnene til at det ikke har vært så mye forskning på dette feltet, er at det er knyttet en del problemer til bruk av ultralydteknologi i luft i motsetning til i vann. Teknologien har frem til nå ikke vært god nok til å overkomme disse problemene. Det er likevel en mulighet at dagens moderne teknologi kan bidra til å få frem et elektronisk og rimelig produkt som kan hjelpe blinde å navigere i hverdagen.

3 Teori

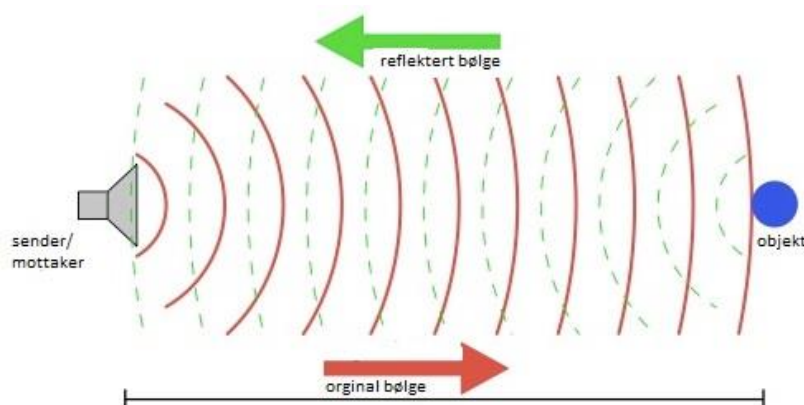
Begrepet *teori* stammer fra det greske ordet *theoria* som betyr *det å se på* eller *granske*. I denne sammenhengen er teori et nødvendig fundament for å utforske i hvilken grad et reflektert ultralydsignal kan være nyttig for å skape et "blindesyn". Her vil jeg derfor gjøre rede for hvordan ultralyd i luft fungerer og de tradisjonelle utfordringene som gjør at ultralyd i luft ikke er en mer utbredt som sensor enn det er. Dette vil igjen være grunnlag for den praktiske delen av prosjektet og vurderingen av mulig nytteverdi. Teorikapitlet er delt i tre hoveddeler: ultralydteori, signalbehandling og SONAR-teori.

3.1 Ultralydteori

I denne delen av oppgaven vil jeg se på hva ultralyd er og teorier om hvordan ultralyd fungerer. Først vil jeg gjøre greie for hvordan ultralyd oppfører seg i luft, deretter forklare fenomenet lydbølger, lysets hastighet, refleksjon og absorpsjon, bølgelengde og interferens, frekvens og til slutt tar jeg for meg de to vanligste typene ultralydtransdusere.

3.1.1 Ultralyd i luft

Ultralyd er lydbølger med frekvens som er høyere enn det menneskelige øret kan oppfatte. Mennesker kan høre lyd med frekvenser fra 20 Hz til 20 kHz. Ultralyd har derfor frekvensområdet fra 20 kHz og oppover. Det finnes ikke noen helt klar definisjon på den øvre grensen til ultralyd, men frekvensområdet settes ofte til 20 kHz til 500 kHz. En egenskap til lydbølger i dette frekvensområdet, er at de lett reflekteres av objekter i omgivelsene.



Figur 1. Ultralydsignal mot objekt med ekko

Dette kan brukes til avstandsmålinger. Denne målemetoden går ut på å sende et signal og måle tiden det tar før ekkoet returnerer. Avstanden kan så finnes fra likning (1), hvor c er lyshastighet, t er tiden og d er avstanden til objektet.

$$d = \frac{c \cdot t}{2} \quad (1)$$

Bruk av ultralyd i luft er ikke like vanlig som bruk av ultralyd innenfor medisinsk bildedannelse og kartlegging av havbunn. Det brukes likevel i industri og forbrukerelektronikk, men har ikke gitt like gode resultater. En årsak til dette er problemene som oppstår når det er luft, og ikke væske, som er overføringsmediet. Dette skyldes blant annet at ikke all effekten fra sensoren er overført til mediet, her luft. Akustisk impedans beskriver ledningsevne for lydbølger, og er produktet av lydhastighet og tettheten i et materiale. For luft er den akustiske impedansen 428 kg/m^3 , altså mye mindre enn den f.eks. vann har: $1.5 \cdot 10^6 \text{ kg/m}^3$ [1]. Det blir derfor stor forskjell mellom impedansen i vanlige sensormaterialer og impedansen i luft. På grunn av denne impedansforskjellen blir bare en liten del av energien overført fra ultralydsenderen til lufta. Ultralyd i luft er altså vanskeligere å få til å fungere sammenliknet med ultralyd i vann, men det er likevel mulig å bruke dette til avstandsmålinger.

3.1.2 Lydbølger

Lyd er trykkbølger som forplanter seg i luft eller et annet medium. Hastigheten bølgen sprer seg i, utbredeshastigheten, er avhengig av mediet. Bølgelikningen i likning (2) kan brukes til å beskrive en bølge som forplanter seg i x-retning.

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (2)$$

I likningene er y partikkelforflytningen, t er tiden og c er utbredeshastigheten. Hvordan lydbølgene forplanter seg i et medium bestemmes ut i fra lydkilden- og mediets karakteristikk [3]. To modeller som vanligvis blir brukt som forenklete beskrivelser av forplantning av lydbølger i naturen, er parallell planbølge og sfærisk bølge. Parallell planbølge brukes ofte til å beskrive bølgeutbredelse i rør og kanaler hvor bølgefrontens areal er begrenset. Den består av en bølgefront som beveger seg som et geometrisk plan, normalt på planet. Sfærisk bølgemodell brukes når lydkilden kan beskrives som en punktkilde, og

lyden spres til alle kanter. Bølgens areal øker altså med avstanden fra kilden. Hvordan lydbølger forplanter seg i et medium, er bestemt av lydkilden- og mediets karakteristik og av at bølgene sprer seg mer når avstanden til kilden øker.

3.1.3 Lydens hastighet

Lydens hastighet er en viktig konstant i ultralydteori. Denne konstanten varierer med temperatur, tetthet, volum av mediet og trykket. Ved å se på sammenhengen mellom trykk, tetthet, volum og temperatur, er det mulig å utlede uttrykket i (3) for lydhastigheten i en gass [2].

$$c = \sqrt{\frac{\frac{c_p}{c_v} * R * T}{M}} = \sqrt{\frac{\frac{c_p}{c_v} * R * (t_0 + t_e)}{M}} \quad (3)$$

I uttrykkene står c_p og c_v for spesifikk varmekapasitet, R er universell gasskonstant, T er absolutt temperatur, t_0 er kelvintemperaturen ved 0° C, t_e er temperatur i omgivelsene målt i ° C og M er molekylmassen. Uttrykkene viser at lydhastigheten varierer med temperaturen, men også med luftfuktigheten. Luftfuktighet neglisjeres ofte fordi variasjon i luftfuktighet påvirker hastigheten mye mindre enn variasjon i temperatur og høyde over havet er neglisjerbart i praktiske sammenhenger. Lydhastigheten ved 20° C blir da:

$$c = \sqrt{\frac{1.4 * 8.315 * (273 + 20)}{28.8 * 10^{-3}}} = 344,14 \frac{m}{s}$$

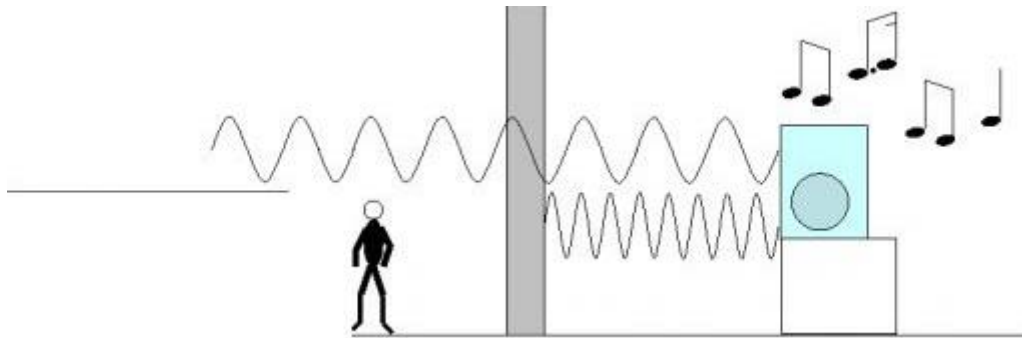
Konstantene er hentet fra [3]

Lydens hastighet er altså den viktigste konstanten innenfor ultralyd, og den varierer etter forholdene.

3.1.4 Refleksjon og absorpsjon

En lydbølge som treffer et objekt, blir reflektert eller absorbert på en måte som avhenger av objektets medium og størrelse. Fra tette, harde flater som glass, stein osv., blir det meste av lydbølgen reflektert, mens bare en liten del blir absorbert. Fra porøse flater som for

eksempel klær og isopor, blir det meste av lydbølgen absorbert. Hvor stor del som blir reflektert og absorbert fra et gitt materiale, kan avhenge av frekvensen til lydbølgen, se figur 2.

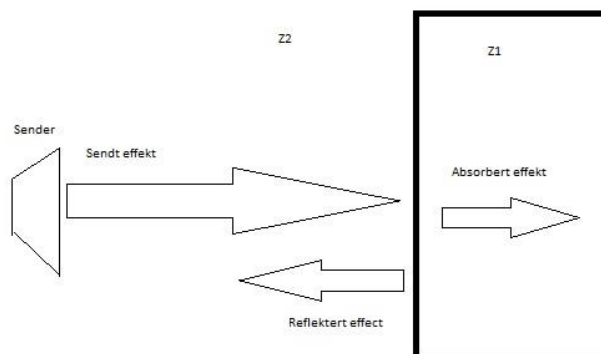


Figur 2. Lave frekvenser går gjennom materialet, men ikke høye

Akustisk impedans brukes som et mål på hvor stor del av lydbølgen som reflekteres og hvor stor del som absorberes, for en bestemt materialtype. Karakteristisk impedans Z for et materiale er definert i likning (4).

$$Z = \rho * c \quad (4)$$

ρ i likningen er materialtettheten, og c er lydshastigheten. Figur 3 illustrerer en parallell, plan lydbølge sendt normalt på et porøst materiale der en del av bølgen blir reflektert og en del absorbert. De akustiske impedansene Z_1 og Z_2 er henholdsvis impedans for luft og det porøse materialet.



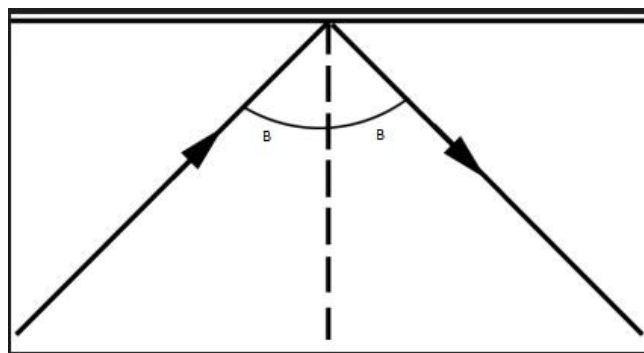
Figur 3. Reflektert og absorbert signal

Ved hjelp av impedans er det mulig å regne ut hvordan bølger forplanter seg gjennom forskjellige materialer. Generelt kan man si at hvis $Z_1 > Z_2$, som når lydbølger i luft blir reflektert fra en hard overflate, vil den reflekterte bølgen ha samme fasevinkel som den utsendte bølgen. Hvis derimot $Z_1 < Z_2$, blir den reflekterte bølgen 180° faseforskjøvet. Trykkamplitude til reflektert signal α_r og videresendt (absorbent) signal α_t , kan regnes fra likning (5) og (6).

$$\alpha_r = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \right)^2 \quad (5)$$

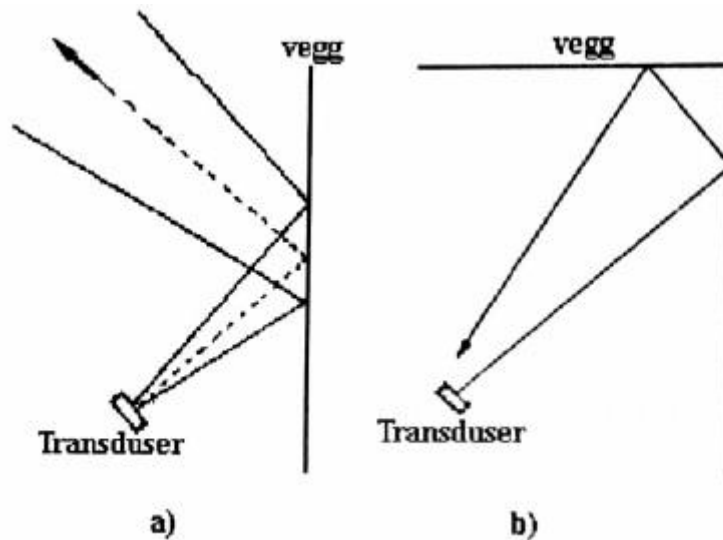
$$\alpha_t = \frac{4 * Z_1 * Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \quad (6)$$

Hvis den utsendte lydbølgen ikke treffer vinkelrett på utbredelsesretningen, blir resultatet annerledes enn beskrevet ovenfor. Mer om dette i [4]. I ultralydmålinger i luft er det ofte stor forskjell mellom Z_1 og Z_2 . Det gjør at den absorberte delen av bølgen blir tilnærmet lik null, og vi kan anse objektoverflaten som et lydspeil. I dette tilfelle vil refleksjonen foregå tilnærmet slik som når lys treffer et speil. I dette tilfellet vil bølgens innfallsvinkel være lik utfallsvinkelen, se figur 4.



Figur 4. Reflektert lydsignal, lik innfallsvinkel som utfallsvinkel

Dersom innfallsvinkelen blir mindre enn en viss kritisk vinkel, vil refleksjonsbølgen ikke treffe mottakeren. Dette kalles fatal speilrefleksjon og er en viktig feilkilde i bruk av ultralyd i luft. Enten blir ikke objektet oppdaget i det hele tatt, eller det oppstår en feilkilde i avstanden. Figur 5 illustrerer begge tilfeller. I a) oppdages ikke veggen og i b) vises den første veggen som lenger unna, enn den egentlig er.



Figur 5. Fatal speilrefleksjon

Den kritiske vinkelen er avhengig av overflatestruktur, men på grunn av bølgelengdene som brukes i ultralyd i luft, vil de fleste objekter anses som speilglatte. Hvis derimot overflatestrukturen er ujevn sammenliknet med bølgelengden, oppstår diffus refleksjon. Dette kan gi et svakt ekko, men som neste avsnitt forklarer, kan interferens medføre at slike objekter ikke blir detektert.

3.1.5 Bølgelengde og interferens

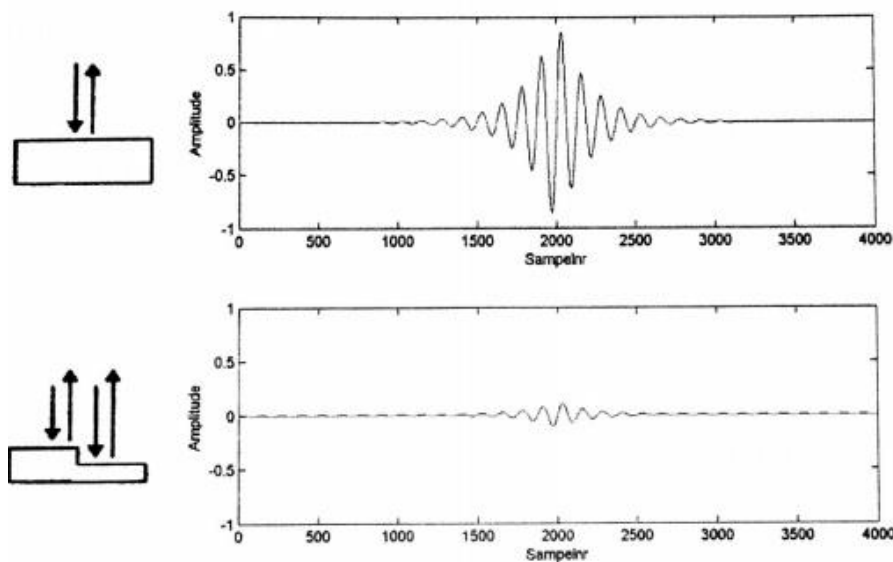
Ultralydsignalets bølgelengde bestemmer blant annet hvor små objekter som teoretisk er mulig å detektere. Hvis objektets flate er tilstrekkelig stor i forhold til bølgelengden, vil objektet regnes som et lydspeil, som forklart foran. Er derimot objektet på størrelse med eller mindre enn bølgelengden, vil lydbølgen spre seg i mange retninger. Et objekt som er mye mindre enn lydbølgen, vil ha lite eller ingen innvirkning på lydsignalet. Formelen for bølgelengde λ er gitt av likning (7), hvor c er lydshastigheten og f er frekvensen til lydbølgen.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (7)$$

I luft ved 20° C og med frekvens på 40 kHz gir bølgelengde:

$$\lambda = \frac{344.14}{40 \cdot 10^3} = 8.6 \text{ mm}$$

Interferens kan gi problemer hvis det reflekterende objektet er riflete på overflaten, med rifler tilsvarende $\lambda/4$. Ved addisjon av to signaler som er faseforskjøvet $\lambda/2$, kan det oppstå utslokking. Det vil si at bølgene kansellerer hverandre og summen av disse blir tilnærmet lik null. Eksempel på dette er vist i figur 6. I slike tilfeller detekteres ikke objektet med ultralydutstyr som bare bruker én frekvens. Dette kan løses ved å bruke to eller flere frekvenser. Alle konstanter hentet fra [3].



Figur 6. Utslokkingseffekt som følge av interferens

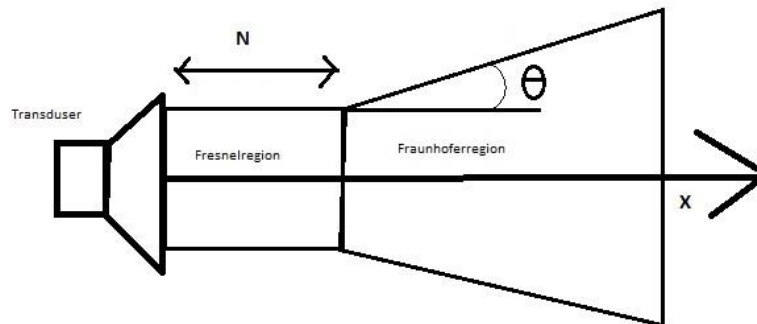
3.1.6 Frekvens

Frekvens er et mål på antallet ganger en hendelse gjentar seg i løpet av et bestemt tidsrom. Hvilken frekvens som brukes i ultralyd i luft, er viktig. I luft er lyd hastigheten ca. 344 m/s, mens den er ca. 1500 m/s i vann og i menneskekroppen. Med denne hastighetsforskjellen blir det også stor forskjell i bølgelengde. En frekvens på 40 KHz tilsvarer en bølgelengde på 8.6 mm i luft og 37 cm i vann. Dette gjør at man i medisin kan bruke langt høyere frekvenser på ultralydbølgen, oftest 0,5-10 MHz, og vil dermed oppnå svært nøyaktige målinger ved et smalt utsendt signal fra sensoren. Siden luft er et kompressibelt materiale, vil ikke slike frekvenser fungere i luft, og det må derfor brukes frekvenser under 200 KHz.

3.1.7 Ultralydtransdusere

En transduser er et apparat som transformerer én form for energi til en annen. I en ultralydtransduser foregår denne transformasjonen fra elektrisk spenning til lydbølger og

motsatt. I ultralydsensorer trengs det transdusere som kan omforme akustiske signaler til elektriske signaler og motsatt. Det finnes flere typer transduserer, men denne oppgaven fokuserer bare på de to mest aktuelle i forhold til bruk i luft. Det er elektrostatiske (polaroid) og piezoelektriske transdusere [5]. Runde transdusere kalles ofte piston-transdusere. De produserer en parallell planbølge som passerer gjennom et sirkulært hull med radius R, og danner et lydfelt som vist i figur 7.



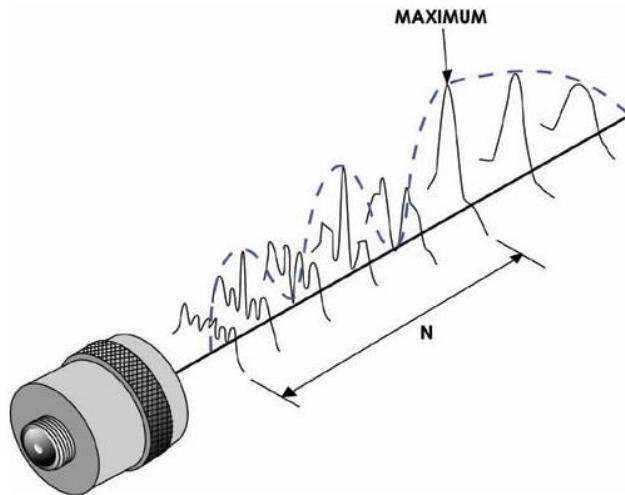
Figur 7. Piston-modell (overdreven fresnelregion)

Lydbølgen som genereres fra transduseren, oppstår fra mange punkter på transduserens overflate og dette gjør at intensiteten langs utbredelsesretningen blir påvirket av interferens mellom disse punktene. Dette gjør at bølgeintensiteten nær transduseren, Fresnelregionen eller nærregionen, er svært kompleks.

$$N = \frac{R^2}{\lambda} \quad (8)$$

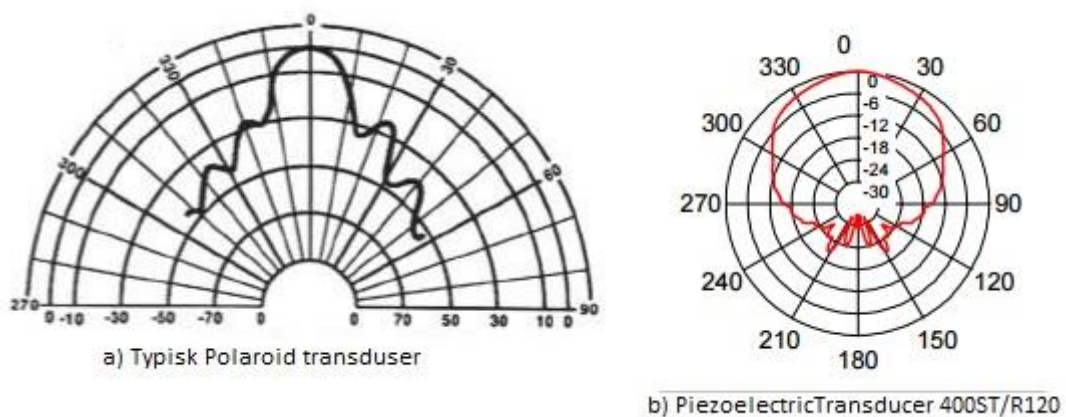
$$\theta = \arcsin\left(\frac{0.61 \cdot \lambda}{2 \cdot R}\right) \quad (9)$$

Etter avstanden N vil derimot bølgen bli mer uniform, og en spredning til sidene med vinkel θ vil inntreffe. Denne regionen kalles Fraunhoferregionen eller fjernregionen. [5] viser at likning (8) og (9) kan beskrive spredningsvinkelen θ og Fresnelregionen N. I overgangen mellom Fresnelregionen og Fraunhoferregionen finnes lydbølgens maksimale intensitet, vist i figur 8.



Figur 8. Maksimal intensitet av lydsignal

Som nevnt tidligere i oppgaven, representerer lydbølgene en energitransport. Siden transduseren er lydkilden, kan den også betraktes som en energikilde. Det totale akustiske effektnivået angis i watt, men istedenfor denne tallverdien er det ofte mer interessant å se på hvordan denne effekten fordeles geometrisk. Det viser seg at piston-modellen er for enkel i praksis, fordi det i tillegg til hovedloben oppstår sidelover som ikke kommer med i denne modellen. De forskjellige transduserprodusentene oppgir som regel et strålingsdiagram som viser hvordan effekten fordeler seg. Et slikt diagram lages ved å måle effekten i mange forskjellige punkter rundt transduseren og tegne dette sammen. Figur 9 a) og b) viser eksempel på strålingsdiagram for en polaroid- og en piezoelektrisk transduser. Hentet fra [21] og [22].



Figur 9

Det finnes mange forskjellige standarder for å angi transducerspesifikasjoner. Et eksempel er ASTM F2070 - 00(2011) (American Society for Testing and Materials) [6] som fastsetter en måte å spesifisere blant annet hvordan effektmålinger skal gjøres.

3.1.7.1 Elektrostatiske ultralydtransdusere

Elektrostatiske transdusere er mest kjent som polaroidtransdusere, fordi de ble introdusert av Polaroid. En polaroidtransduser kan sammenliknes med en kondensator med to elektroder. Den ene elektroden består av et riflet, ledende materiale, og den andre består av en tynn membran som er dekket av et ledende materiale. Disse er plassert så nær hverandre som mulig, uten at det er galvanisk kontakt. Når det settes en spenning mellom elektrodene, vil det oppstå en skyvekraft på membranen, og ved å variere denne kraften med en viss frekvens, vil det oppstå ultralydbølger. Kapasiteten C er proporsjonal med avstanden mellom platene, men når membranen blir utsatt for lydtrykk, vil denne kapasiteten endres, og det kan brukes til å lage en ultralydmottaker. Likning (10), hvor Q er ladningen, C er kapasiteten og U er spenningen, vil alltid være oppfylt. Dette gjør at spenningen vil variere, og vi kan bruke samme element som sender og mottaker.

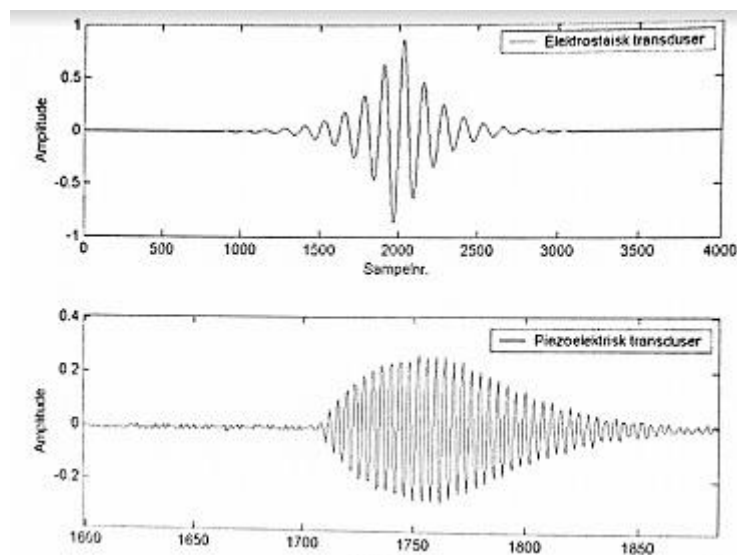
$$Q = C * U \quad (10)$$

Polaroid benytter i sine transdusere en spesiell Kaptonfilm dekket av et tynt lag gull, og folien er strukket over en plate med v-riflet overflate [21]. Disse transduserne er fra 30 mm til 45mm i diameter. Fordeler med elektrostatiske transdusere er rask inn- og utsvingning og dessuten stor båndbredde.

3.1.7.2 Piezoelektriske ultralydtransdusere

Navnet på denne transduseren kommer fra det greske ordet piezo, som betyr å presse. Piezoelektriske transdusere fungerer ved at en piezoelektrisk krystall enten blir tvunget til å oscillere av en elektrisk spenning eller genererer en elektrisk spenning når den blir utsatt for en mekanisk oscillasjon. Kvarts og turmalin er materialer som har naturlig piezoegenskaper. Ofte brukes keramiske transdusere, altså piezoelektriske transdusere som benytter zirkonkeramikk, i praksis. På grunn av forskjellen i impedans mellom luft og det piezoelektriske materialet, må det benyttes et lag til impedansetilpasning mellom piezoelektriske materialet og luft. Uten dette laget vil overgangen bli for stor til at

transduseren fungerer ordentlig. Denne typen transdusere er kun sensitive for signaler svært nær resonansfrekvensen og har derfor liten båndbredde. En piezoelektrisk transduser kan benyttes som både sender og mottaker, men det er gunstig å benytte forskjellige elementer for best mulig resultat. Hvis det er liten avstand mellom sender og mottaker, vil alltid noe akustisk energi overføres direkte mellom elementene. Dette kalles krysstale og kan få mottakerelementet til å gå i selvsving. At piezoelektriske transdusere går i selvsving, tar alltid noe tid. Det tar tid for elementet å nå maksimal amplitude, og det tar tid før svingningen dør ut. Hvis krysstale derfor inntreffer, vil mottakerne ikke klare å detektere noe relevant ekko. For å unngå dette kan man bruke et isolerende materiale mellom sender og mottaker. En fordel med piezoelektriske transdusere er lavt strømforbruk og enkelt grensesnitt. Mer detaljert om piezoelektriske transdusere finnes i [7]. I figur 10 vises forskjellen på inn- og utsving på piezoelektriske- og elektrostatiske transdusere.



Figur 10. Øverste figur er Polaroid transduser, nederste figur er pizelektrisk transduser

3.1.8 Oppsummering

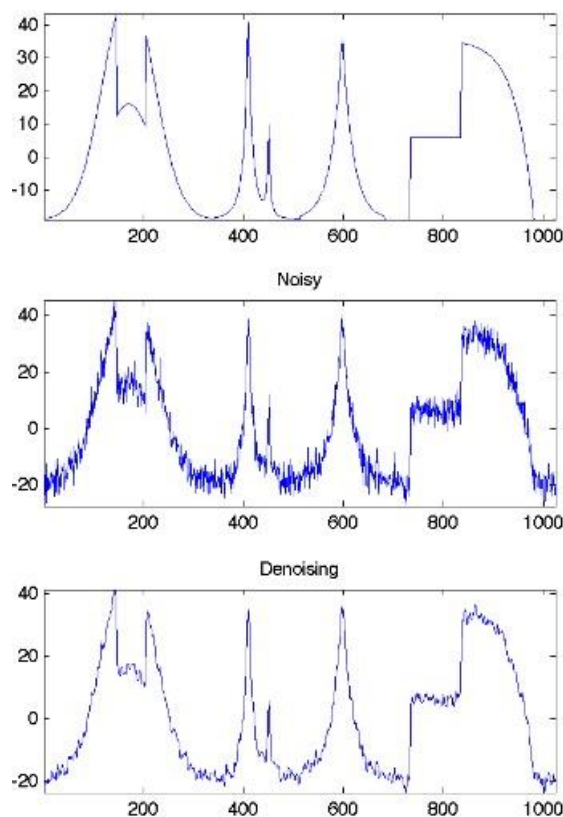
Ultralyd i luft er vanskeligere å få til å fungere enn ultralyd brukt i vann, men med dagens moderne teknologi som kan forhindre problemer med interferens, og gode transdusere som takler impedansforskjellen mellom luft og transdusermaterialet, er det absolutt mulig å bruke ultralyd i luft også. For å tolke signalene som transduserne tar imot, trengs signalbehandling.

3.2 Signalbehandling

Signalbehandling er en teknologi som omhandler den fundamentale teorien om applikasjoner, algoritmer og implementasjoner av prosesseringsenheter av informasjon som tar for seg de mange fysiske og abstrakte formatene som blir kalt signaler [23]. Dette er viktig teori for prosjektet for å kunne finne ut hvordan ultralydsignaler kan tolkes i bruk som "blindesyn". Her vil jeg først gjøre greie for teori om ekko og støy, dernest følger avsnitt om konvulsjon, krysskorrelasjon og til slutt gjøres det rede for tre typer signaldeteksjon.

3.2.1 Ekko og støy

Det reflekterte signalet av lydbølgen som transduseren mottar, blir ofte kalt ekko. Mottatt ekko fra små objekter kan være vanskelig å detektere. Det vil da kreve en kraftig forsterking av signalet for å detektere disse. Dette fører til at støysignalet også blir forsterket, og det er vanskelig å tyde hva som er støy og hva som er det lille objektet. Det finnes måter å fjerne eller minske støy på. Analoge og digitale filtre kan brukes til å fjerne støykomponenter utenfor nyttesignalet's frekvensområde. Figur 11 viser et eksempel på dette. [24]

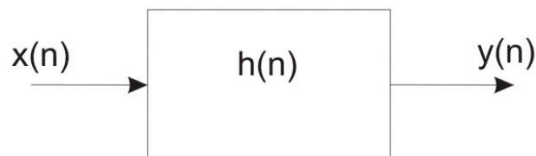


Figur 11. Støy og filtrert støy

3.2.2 Konvulsjon

Digitale og analoge filtre beskrives av sin transferfunksjon $h(n)$. En transferfunksjon er forholdet mellom inngangen og utgangen når alle andre inngangsvariable, samt at alle initialbetingelser, er satt lik null. Blokkdiagram for et digitalt filter vises i figur 12.

Utgangssignalet $y(n)$ er gitt av inngangssignalet $x(n)$ foldet $h(n)$. Diskret folding, eller konvulsjon, er beskrevet i ligning 11. Mer om konvulsjon i [8].



Figur 12. Blokkdiagram av digitalt filter

$$y(n) = x(n) * h(n)$$

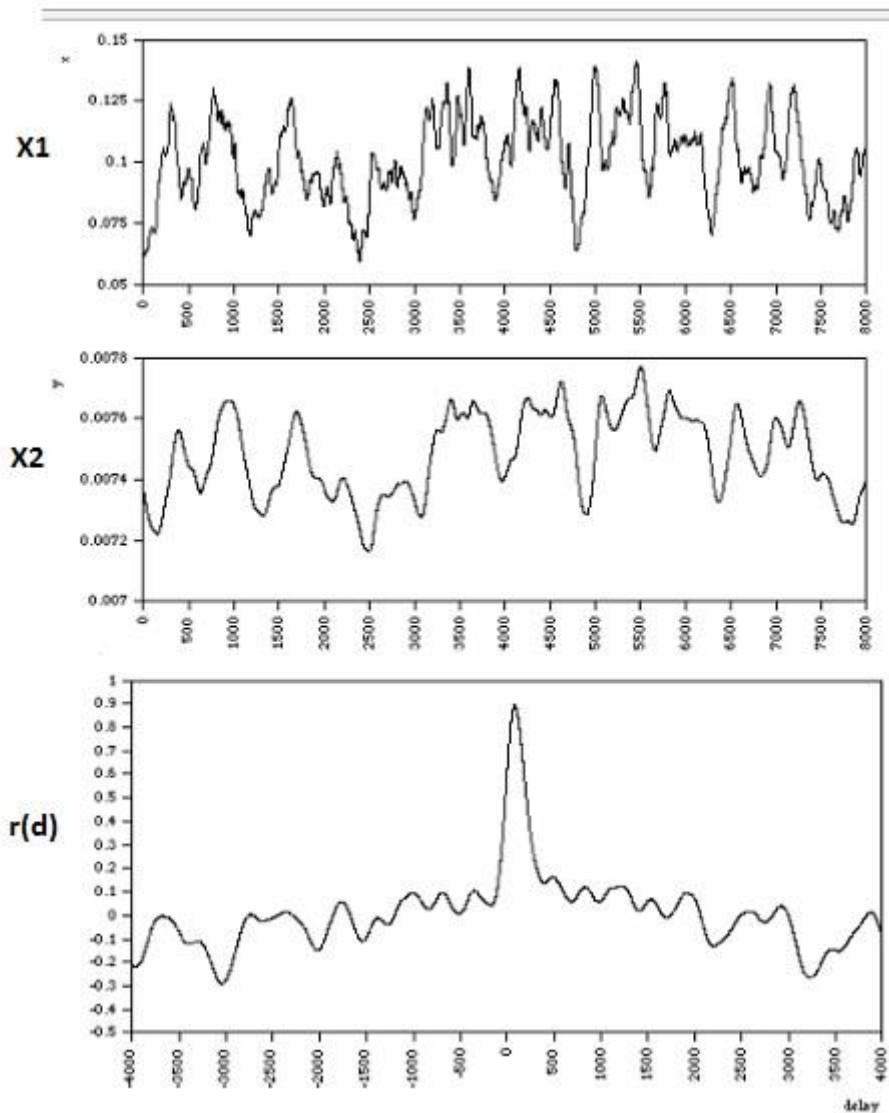
$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(n-k), \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (11)$$

3.2.3 Krysskorrelasjon

Krysskorrelasjon brukes til å finne sammenheng mellom signaler. Enkelt forklart går krysskorrelasjon ut på å multiplisere to signalers datapunkter over et gitt tidsintervall og summere resultatet av multiplikasjonene. Deretter forskyves det ene signalet i forhold til det andre, og multiplikasjonene summeres på nytt. Der summen er størst, er det størst likhet mellom signalene. Ligning 12 viser formel for diskret krysskorrelasjon.

$$r(d) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_1(n)x_2(n-d) \quad (12)$$

N er det totale antall sampler i signalet X_1 . X_1 og X_2 er de to signalene som sammenliknes, $r(d)$ er krysskorrelasjonsfaktoren når X_2 er forskyvnet d sampler. En viktig faktor her er at de to signalene som sammenliknes, må ha et dynamisk utsving rundt null, ellers kan ikke krysskorrelasjon brukes. Dette skyldes at multiplikasjon av to faktorer med forskjellig polaritet, alltid gir et positivt resultat. Figur 13 viser et eksempel på krysskorrelasjon $r(d)$ mellom signalene X_1 og X_2 . Den nederste grafen viser at det er størst likhet mellom signalene ved en forskyvning på ca. 40 tidsskritt.



Figur 13. eksempel på krysskorrelasjon

Fordi krysskorrelasjon bruker forskyvning, vil signalene etter hvert ikke overlape hverandre. Dette må den valgte algoritmen håndtere, og det finnes flere måter å gjøre det på. En metode som kan brukes hvis signalene er periodiske, er: Det ene signalet kan lett utvides til å passe det som er forskjøvet. Hvis signalene ikke er periodiske, er det mulig å håndtere det ved at sampler blir kopiert fra starten til slutten av den ene serien. Det kalles sirkulær korrelasjon. Et annet alternativ er å sette nuller i slutten av den ene serien, men dette skaper et skjevt resultat. Hvis det er mulig å innsnevre avgrensningen, er det den beste måten å stoppe algoritmen før dette blir et problem.

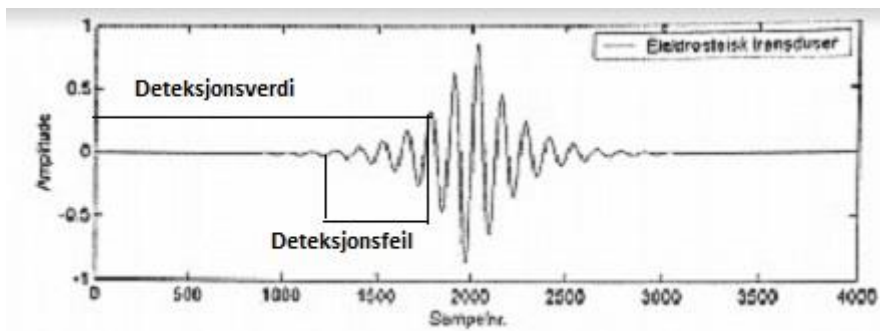
Størrelsen på $r(d)$ er avhengig av absoluttverdiene til signalene, og det er ofte ønskelig å vise hvor like de to signalene er med tall. Dette oppnås ved normalisert krysskorrelasjon, se likning 13. Krysskorrelasjonskoeffisienten $\rho(d)$ er resultatet av denne likningen. Det finnes noen generelle resultater av denne likningen: identiske signaler gir $\rho(d)=1$, inverse signaler gir $\rho(d)=-1$ og ukorrelerte signaler gir $\rho(d)=0$.

$$\rho(d) = \frac{r(d)}{\frac{1}{N}[\sum_{n=0}^{N-1} x_1(n)^2 \sum_{n=0}^{N-1} x_2(n)^2]^{\frac{1}{2}}} \quad (13)$$

[8] viser at diskret krysskorrelasjon og konvulsjon er beslektede matematiske operasjoner. Der står det at diskret konvulsjon av to datasekvenser, gir samme resultat som diskret krysskorrelasjon mellom to datasekvenser hvor den ene sekvensen kjøres baklengs i tid.

3.2.4 Signaldeteksjon

Signaldeteksjon handler om hvordan vi håndterer signalene som blir detektert av transduseren. Innenfor ultralyd er det viktig å finne ekkosignals startpunkt på grafen. Et ekkosignal består av en sinusbølge som vist i figur 14. Det er alltid noe bakgrunnsstøy i området hvor ekkosignalet går over til nyttesignalet. Dette er nesten umulig å finne før hele signalet er mottatt. Det finnes flere måter å finne ut hvor en ekkopuls faktisk starter. De tre viktigste vil bli presentert i denne oppgaven. Det er viktig å finne ut hvilken metode som passer best for en gitt applikasjon, da metodene har forskjellige egenskaper. I tillegg må det vurderes hva som stilles av nøyaktighetskrav, og hvilke kostnader i form av tid og datakraft, metoden har. Flere metoder bruker digitale filtre og er da utsatt for kausalitet. Dette er uproblematisk for de fleste sonarapplikasjoner fordi de kan utføres som batchprosesser, og da er ikke kausalitet noe problem. Hvis ekkot derimot skal brukes i en sanntidsimplementasjon, må det brukes en eller annen form for buffer for at disse metodene skal fungere.



Figur 14. Ekkosignal fra reflektert flate målt med Polaroid transduser.

Overdrevent deteksjonsfeil for illustrasjonens skyld

3.2.4.1 Nivådeteksjon

Nivådeteksjon går ut på å sette en grense på amplituden (deteksjonsverdi) som bestemmer hvor ekkoets startpunkt er. Før denne verdien blir nådd, vil signalet bli betraktet som støy og deteksjonsfeil. Deteksjonsverdi og deteksjonsfeilen er vist i figur 14. Som vi ser i figuren, oppstår en offsetfeil ved denne typen nivådeteksjon ved at ekkoets egentlige start er før det detekteres. Denne feilen er det mulig å kompensere for, til en viss grad, ved å subtrahere med en fast offsetverdi. Avstand, vinkel og objektets overflate og utforming gjør at ekkosignalet varierer relativt mye. Dette gjør at det ikke er mulig å detektere startpunktet til ekkoet med stor nøyaktighet. Metoden er derimot enkel å implementere både analogt og digitalt. Selv om metoden virker primitiv, er den mye brukt i praksis på grunn av sin enkelhet [25]. Slik nivådeteksjon egner seg best når det er store objekter som skal detekteres.

3.2.4.2 Kurvetilpasning

Kurvetilpasning er en utvidelse av nivådeteksjon som ofte benytter en parabelfunksjon til å tilnærme ekkosignalet. Også andre funksjoner kan brukes. For eksempel kan starten av ekkoet estimeres av parabelfunksjonen $a_0(t-t_0)^2$, hvor a_0 og t_0 først må grovestimeres ved empiri. Parameteren t_0 tilsvarer offsetfeilen ved vanlig nivådeteksjon og a_0 er et estimat fra den andrederiverte til parabelen i deteksjonspunktet. Grovestimatet brukes deretter som initialverdi i en iterativ ulineær optimaliseringsalgoritme. Det finnes mange gode algoritmer til dette formålet, for eksempel Levenberg-Marquardt metoden [9]. Algoritmen vil returnere t_n som gir et mye bedre estimat av startpunktet til ekkoet. Slik kurvetilpasning vil gi et mer

nøyaktig estimat enn enkel nivåtilpasning, fordi den bruker større deler av signalet til å estimere ekkoets startpunkt.

3.2.4.2 Matchende filter

Metoden "matchende filter" bruker kunnskap om det utsendte signalet til å detektere ekko. Et utsendt signal måles og lagres etter at det er sendt ut, og benyttes som mal i søkealgoritmen som leter etter ekko. Algoritmen forutsetter at ekkoet er likt signalet som var sendt ut, med hvit støy i tillegg. Deretter blir signalet filtrert, og det blir produsert et signal som beskriver ekkoets startpunkt. Denne metoden er helt klart den beste når det gjelder nøyaktighet, men den er også regnekrevende.

3.2.5 Oppsummering

Ved bruk av signalbehandling kan ekkoet bli rensket for støy, og ved bruk av signaldeteksjon kan en mer nøyaktig start av signalet bli funnet. Denne typen signalbehandling er viktig når ultralyd skal brukes til å finne avstanden til et objekt. Dette er den vanligste bruken av ultralyd, det kalles sonar, og som skal beskrives i neste hovedavsnitt.

3.3 SONAR

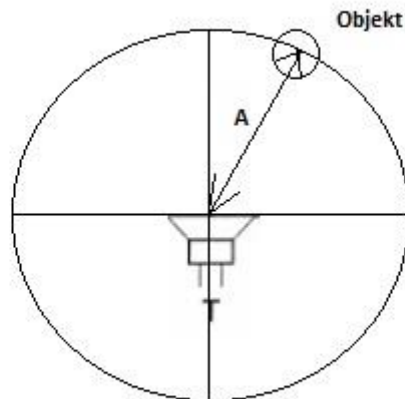
SONAR står for **SO**und **N**avigation **A**nd **R**anging, og det er en teknikk som bruker lydbølger eller ultralydbølger til å finne avstanden til objekter. SONAR er vanligvis betegnelsen på lyd- og ultralydnavigering i vann, men begrepet brukes også i luft. Utvikling av metoder for avstandsmåling ved hjelp av ultralyd var først ordentlig i gang på 1940-tallet.

Sammenhengen mellom radarteknikk og ultralydmetoder var til stede allerede da, og har fulgt hverandre siden. I starten var hovedapplikasjonen brukt i forbindelse med ubåtleting, men etter hvert har en rekke anvendelser for ultralydmetoder dukket opp. Teori om SONAR kan være verdifull informasjon når man skal vurdere bruk av ultralyd som hjelpemiddel for blinde og svaksynte. Først i dette hovedavsnittet vil jeg gjøre greie for måling av avstand, retning og hastighet, deretter gjør jeg rede for tre typer avansert ekkotolkning.

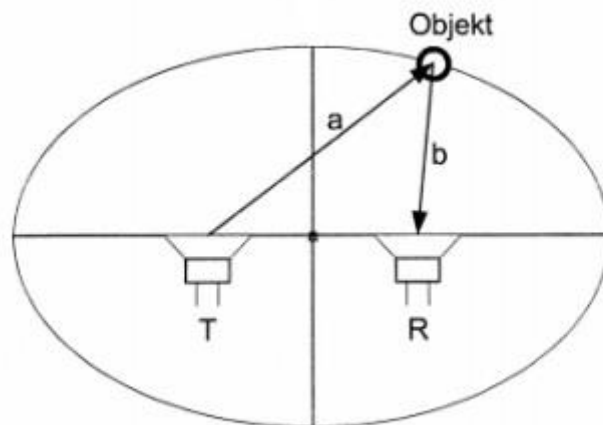
3.3.1 Avstandsmåling

Såkalt "enkel avstandsmåling" er den enkleste formen for måling av distanse ved hjelp av ultralyd. Denne fremgangsmåten er viktig fordi alle avanserte metoder baserer seg på

denne. For å gjennomføre enkle avstandsmålinger, trengs en sender og en mottaker. Brukes elektrostatiske transduser, kan den utføre begge oppgaver. Måleoppsett av elektrostatiske transduser, se figur 15. Brukes en piezoelektrisk transduser, bør sending og mottak utføres av forskjellige enheter, se figur 16. Prinsippet for hvordan enkel avstandsmåling fungerer, ble forklart foran under punkt 3.1.1 "Ultral lyd i luft".



Figur 15. Elektrostatiske transduser med objekt



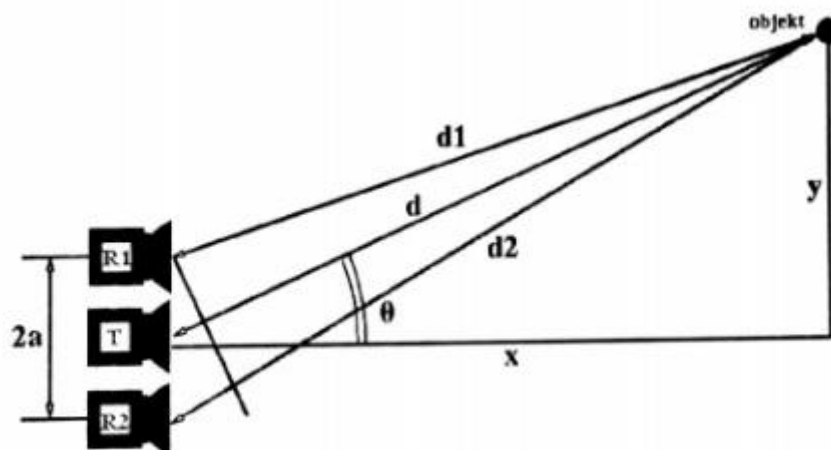
Figur 16. Piezoelektriske transduser med objekt

Ved mottak av signal som vises i figur 15, vil den totale avstanden som signalet har reist, være $d=2a$. Det er ikke mulig å finne ut hvor objektet befinner seg, bare at det ligger på sirkelen rundt transduseren. For måling som vist på figur 16, vil den totale avstanden være $d=a+b$, og objektet kan befinne seg på ellipsen. Det er mulig å avgrense lokasjonen til den

positive delen av y-aksen ved å ta transduserens direktivitet, altså retningsorientering, med i betraktning. I tillegg er det teoretisk mulig å grovestimere retningen til objektet ved å måle amplitude, hvis lobeformen til transduseren og amplituden til objektet plassert på den akustiske aksen, er kjent. Dette er ikke mulig hvis utforskning av ukjent terreng er målet. Konklusjonen er at nøyaktige retningsmålinger ikke er mulig med dette oppsettet, fordi det er en endimensjonal måling.

3.3.2 Retningsmåling

Ved å bruke to mottakere isteden for én, endres mulighetene for retningsmåling og gjør avstandsmålingen sikrere. Sensoroppsettet er avgjørende for hvilken informasjon som kan oppnås. Et symmetrisk oppsett, som vist i figur 17, er et godt utgangspunkt.



Figur 17. Retningsmåling med to mottakere

I motsetning til måling vist i figur 16, vil nå objektets posisjon kunne finnes ved at det er to ellipser som krysser hverandre. Det er da mulig å finne retningen objektet er i, og det har blitt en todimensjonal måling. Ekkoets TOF, Time Of Flight, kan da finnes ved målinger og ved hjelp av lydshastigheten kan rundreiseavstanden fra senderen til begge mottakerne bli funnet, her gitt ved z_1 og z_2 . Ved hjelp av likning 14, 15, 16 og 17 kan avstanden d og vinkel θ regnes ut. θ er definert med 0° langs x-aksen med positiv vinkel i klokkeretning.

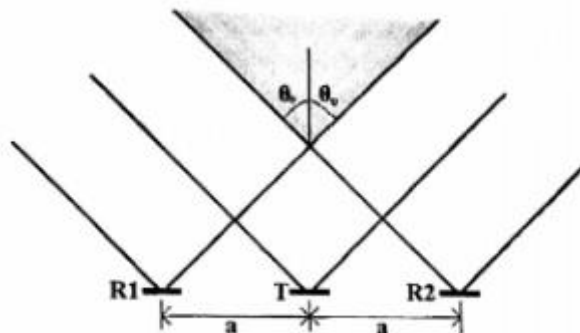
$$z_1 = d + d_1 \quad (14)$$

$$z_2 = d + d_2 \quad (15)$$

$$d = \frac{z_1^2 + z_2^2 - 2a^2}{2(z_1 + z_2)} \quad (16)$$

$$\theta = \arcsin \left(\frac{(z_1 z_2 + a^2)(z_1 - z_2)}{a(z_1^2 + z_2^2 - a^2)} \right) \quad (17)$$

Sensoroppsettet i figur 17 gjør at virkningsområdet til de tre transduserne vil være sideforskjøvet i forhold til hverandre. Figur 18 viser denne forskyvningen. Det er bare ett område hvor objektet er innenfor alle tre transdusernes virkningsområde. Dette området er skyggelagt grått i figur 18. Det er bare dette området som kan brukes i likning 16 og 17. Dette prinsippet kalles beamshaping, eller lobemanipulering på norsk, og det er mulig å implementere denne informasjonen i algoritmen for enda større direktivitet.



Figur 18. Sideforskjøvet virkningsfelt for 3 transdusere

Ved videre å utvide med en tredje sensor som plasseres i z-retning i forhold til de to andre mottakerne, vil det være mulig å ha en tredimensjonal måling. Dette gir større pålitelighet og nøyaktighet i målingene. Dersom verden hadde bestått av punktrefektorer, hadde det ikke vært noe problem, men dessverre har objekter forskjellig utforming og størrelse, de kan bevege seg osv., og dette skaper unøyaktige målinger. I denne metoden for retningsmåling er det essensielt hvilke virkningsområde transduserne har. Hvis lobene til senderen er for små, kan det medføre at alle hindringer ikke oppdages og dersom lobene er for store, kan det medføre at døråpninger o.l. ikke blir detektert.

3.3.3 Hastighetsmåling (Doppler skift)

Det er mulig å finne et objekts hastighet ved hjelp av ultralyd og Doppler skift.

Dopplereffekten er den tilsynelatende endringen i frekvens eller bølgelengde av en bølge som registreres av en observatør som beveger seg relativt til bølgens kilde [26]. Når en ultralydbølge reflekteres av et objekt i bevegelse, vil frekvensen skifte proporsjonalt med hastigheten til objektet. Dette kan utnyttes hvis sensoren ikke bare måler TOF, men også frekvensen til ekkoet. Det er da mulig å bruke likning 18 til å regne ut objektets hastighet. f_s og f_m er sendt og mottatt frekvens, c er lydens hastighet, v er hastigheten til objektet og θ er vinkelen mellom objektets og lydimpulsens bevegelsesretning.

$$v = \frac{c(f_s - f_m)}{2f_s \cos(\theta)} \quad (18)$$

3.3.4 Avansert ekkotolkning

I løpet av den siste tiden har det blitt forsket på metoder for å tolke mottatt ekko, og ikke bare ekkoets ankomsttid. Motivasjonen for dette er blant annet å kunne sammenlikne objekter, skille objekter fra hverandre, finne overflatestruktur eller om et objekt er rotert. Det finnes flere avanserte tolkningsstrategier, men det er tre som ofte brukes i ultralydsammenheng: radarmetoden, mønstergjenkjenningemetoden og transferfunksjonsmetoden. Hvilken metode som er best, avhenger av hva den skal brukes til.

3.3.4.1 Radarmetoden

En radar er en anordning som bruker radiobølger til å måle retning og avstand til andre objekter [28]. Denne metoden er basert på radarteknikk ved at et objekt blir sett på som et sett av punktrefektorer. Fra en punktrefektor blir det sendt refleksjoner i alle retninger, uavhengig av pulsform. Refleksjonene blir målt med flere mottakere, med relativt brede virkningsområder, enten plassert rundt objektet eller på samme sted mens objektet roterer. Alle målingene blir satt sammen til et ganske detaljert resultat. Dette kan også gjøres med ultralyd. Denne metoden er altså en form for beamshaping.

3.3.4.2 Mønstergjenkjenningsmetoden

Mønstergjenkjenning vil si at signaler fra kjente objekter blir sammenlignet med mottatte reflekterte signaler for å kunne mulig gjenkjenne objekter. Denne metoden undersøker hvert mottatt ekko og leter etter bestemte mønster. Det er mulig å gjenkjenne et begrenset antall objekter på denne måten hvis mange parametere rundt målingene er kjente. Dette blir brukt til å sammenlikne f.eks. produkter i industri, så man vet at kjøpernes spesifikasjoner følges. Denne metoden brukes også innenfor medisin [27].

3.3.4.2 Transferfunksjonsmetoden

En transferfunksjon er forholdet mellom inngangen og utgangen når alle andre inngangsvariable, samt at alle initialbetingelser, er satt lik null. I denne metoden sammenlignes slike transferfunksjoner. Metoden tar utgangspunkt i at målt ekko er resultat av utsendt signal foldet med transferfunksjonen til transporten og transferfunksjonen til refleksjonen fra det reflekterte objektet. Det er da teoretisk mulig å identifisere kjente transferfunksjoner og på den måten også identifisere objektene. Metoden brukes blant annet til å måle akustiske egenskaper i rør [29]. Denne metoden har en del problemer i praktisk bruk, fordi den innebærer tunge beregninger og derfor trenger mye datakraft.

3.3.5 Oppsummering

SONAR er det vanligste og mest brukte navnet på avstands- og retningsmåling med ultralyd. Det fungerer ved at det trigges på første mottatte reflekterte signal, og avstanden kan bli funnet. Det finnes enkle avstandsmålinger med én ultralydsensor som ikke gir retning i noen særlig grad. Disse er enkle i bruk, men ikke spesielt nøyaktige. Hvis man bruker flere sensorer, øker nøyaktigheten på målingene og retningen er mulig å finne. Det er også mulig å bruke hele ekkoet som er mottatt av mottakeren, men dette er veldig begrenset i forhold til hvilke metode som blir brukt, og det er lite nyttig i forhold til navigasjon.

3.4 Oppsummering

Ultralyd er mest brukt i vann fordi dette mediet gjør det lettere å få overført effekten av lydsignalet, enn det er i luft. Det er likevel mulig å bruke ultralyd i luft etter at det er blitt utviklet transdusere som er spesielt egnet til å takle disse problemene. Ved bruk av signalbehandling kan de reflekterte signalene bli rensket for støy. Det kan også detekteres

nøyaktig reisetid til ultralydsignalet fra sender til objektet og tilbake, ved å finne startpunktet til ekkoet. Ved bruk av dette kan avstanden til objektet regnes ut, og hvis det blir brukt flere sensorer, kan objektets posisjon også bli funnet. Resten av ekkosignalet kan òg brukes i noen grad, men til navigering er det av liten praktisk nytte. Med dette som grunnlag, har jeg fått forståelse og kunnskap til å kunne lage et avstandsmålingsoppsett med ultralydsensorer til praktisk testing.

4 Eksperimentoppstilling

En sentral del av dette prosjektet er å sette opp en eksperimentoppstilling for å teste om et reflektert ultralydsignal kan brukes i blindesyn. For å kunne teste hvilke metoder for avstandsmåling ved ultralyd som kan brukes, måtte jeg først bestemme hva slags utstyr jeg trengte. Teorien som ble presentert i forrige kapittel, viste at det mest nyttige i forhold til blindesyn ser ut til å være "Time of flight" (TOF). TOF kan måles ved å "trigge" på første mottatte ekko. På bakgrunn av det valgte jeg å bruke en så enkel ultralydsensor som mulig, for å gjøre oppsettet mest mulig ukomplisert. Jeg valgte å bruke en sensor som brukte 40 kHz, for å få litt lengde på avstandsmålingen uten å måtte bruke mye strøm. Dessuten valgte jeg å bruke FPGA-delen, Field-programmable gate array, av en MyRIO som prosesseringsenhet for å få en samplingshastighet på 40 MHz. I tillegg ble LabVIEW brukt til å kontrollere dette fra PCen. Dette fører til et enkelt og potensielt lett, bærbart oppsett. I dette kapitlet blir det praktiske arbeidet med å sette opp eksperimentoppstillingen presentert. Først blir det gitt en oversikt over hardware og software som er brukt i arbeidet, deretter presenteres oppsett av eksperimentoppstilling.

4.1 Hardware

For å sette opp en egnet eksperimentoppstilling, må jeg velge passende utstyr, også kalt "hardware". Bakgrunnen for valg av hardware var å gjøre avstandsmålinger og observere objekter på en mest mulig enkel og billig måte. Det ble derfor valgt ultralydsensor HC-SR04 som gjør det mulig å finne TOF for signalet. MyRio blir brukt med kode fra LabVIEW til å prosessere dataene fra sensoren. Disse presenteres kort her.

4.1.1 Ultralydavstandsmodul HC-SR04

HC-SR04 består av en ultralydsender og en ultralydmottaker med kontrollkretser som vist i figur 19. Modulen kan måle avstand fra 2 cm til 4 meter fra modulen, med en nøyaktighet opp til 3 mm. All informasjon om sensor er hentet fra datasheet i vedlagte filer.

Modulen har 4 pins som vist i figur 19. Disse er:

- 5 V input
- Trigger signal input
- Ekko signal output
- Jord

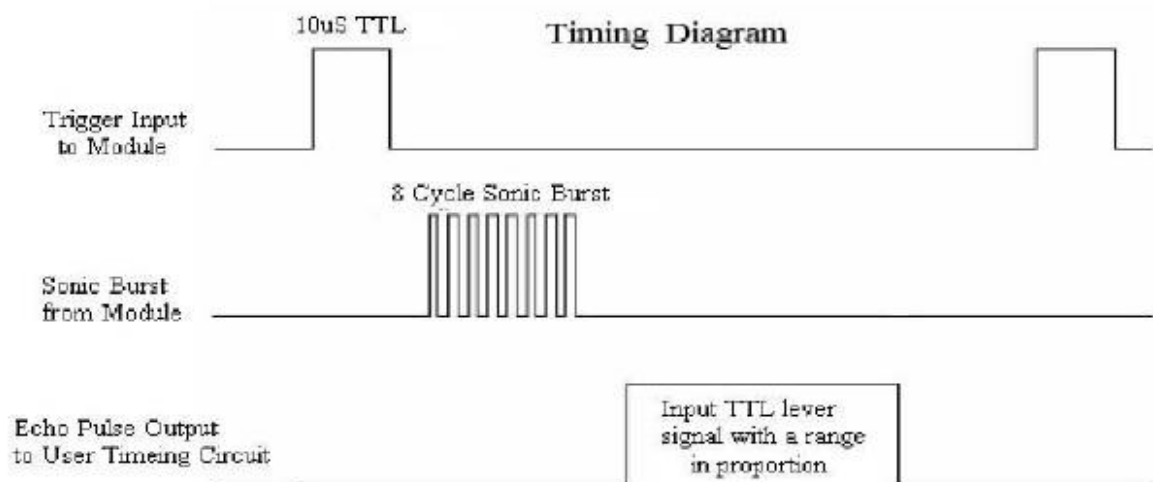


Figur 19. Ultralydsensor HC-SR04

Virkemåten til modulen i enkle trinn er som følger:

1. Modulen trigger ved at det blir påført et minimum 10 μ s langt 5 V signal.
2. Modulen produserer automatisk et 40 KHz signal og detekterer om det kommer et reflektert signal tilbake.
3. Hvis et signal er mottatt, vil modulen gi TOF ved at et signal går høyt når ultralydsignalet er sendt fra modulen og går lavt når ekkoet er mottatt.

Modulens timingdiagram, som er beskrevet i virkemåten over, er vist i figur 20.



Figur 20. Timingdiagram for HC-SR04

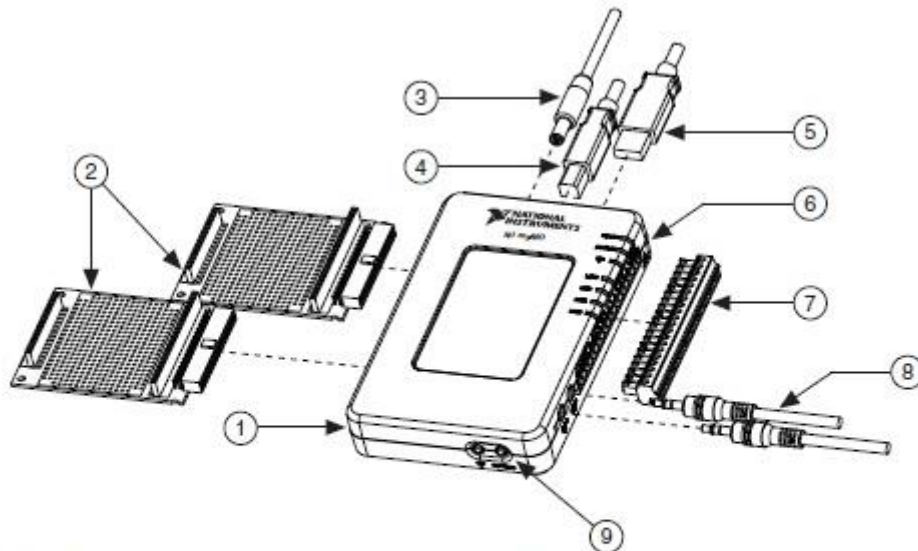
Mer om HC-SR04 finnes i databladet til sensoren i vedlegget til denne oppgaven.

4.1.2 MyRIO

MyRio er en bærbar FPGA konfigurert I/O- og prosesseringsenhet fra National Instruments som gir mulighet til å designe og kontrollere robot- og andre teknologiske systemer. I denne oppgaven er det brukt en MyRIO-1900. Bildet av MyRIO er presentert i figur 21 og teknisk figur med tilkoblingsmuligheter i figur 22. Hentet fra "MyRio user guide and specifications" i vedlagte filer,



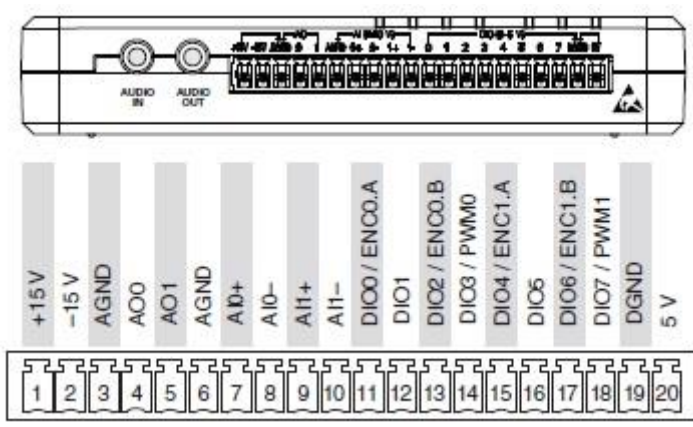
Figur 21. MyRIO



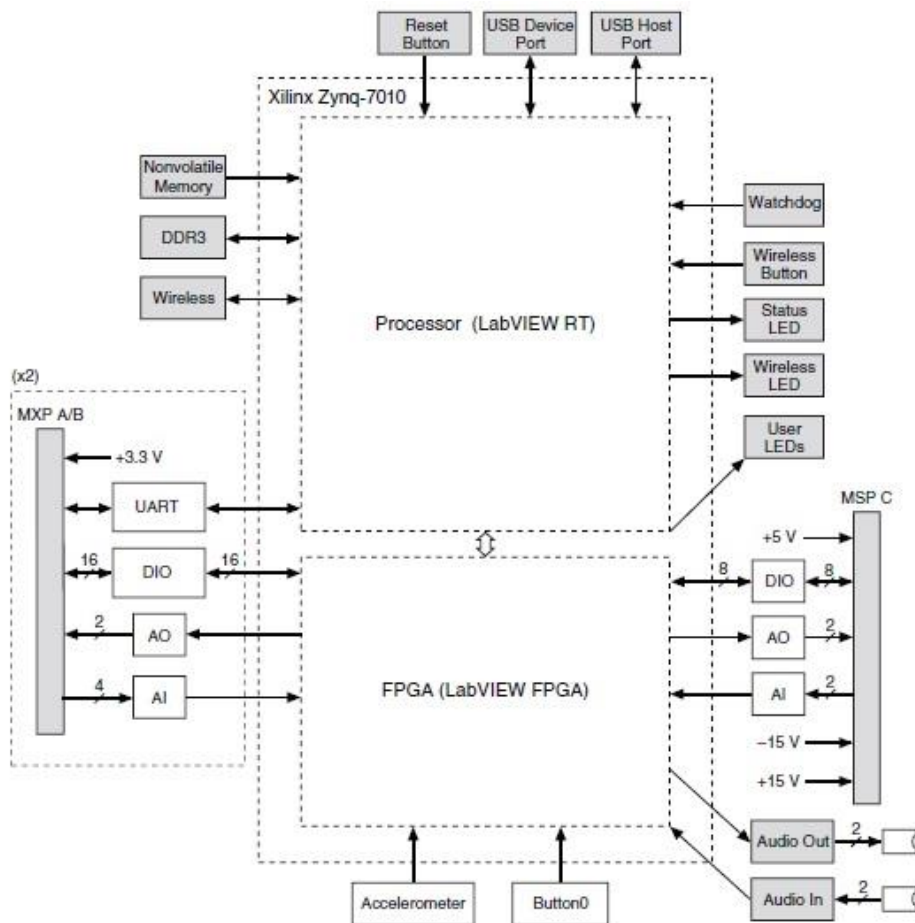
- | | |
|--|---|
| 1 NI myRIO-1900 | 6 LEDs |
| 2 myRIO Expansion Port (MXP) Breakouts (One Included in Kit) | 7 Mini System Port (MSP) Screw-Terminal Connector |
| 3 Power Input Cable | 8 Audio In/Out Cables (One Included in Kit) |
| 4 USB Device Cable | 9 Button0 |
| 5 USB Host Cable (Not Included in Kit) | |

Figur 22. MyRIO

MyRIO-1900 har mulighet til analog input (AI), analog output (AO), digital input og output (DIO), lyd og strømoutput. Modulen kobles til PC via en USB-kabel eller via WiFi. Modulen inneholder også et akselerometer og har en knapp. Figur 23 viser MSP tilkoblingspunktene i 7 fra figur 22, som er brukt i dette prosjektet. Figur 24 viser komponentene til MyRIO med de ulike funksjonene og deres plassering.



Figur 221. MSP tilkoblingspunkt



Figur 24. MyRIO hardwareoppsett

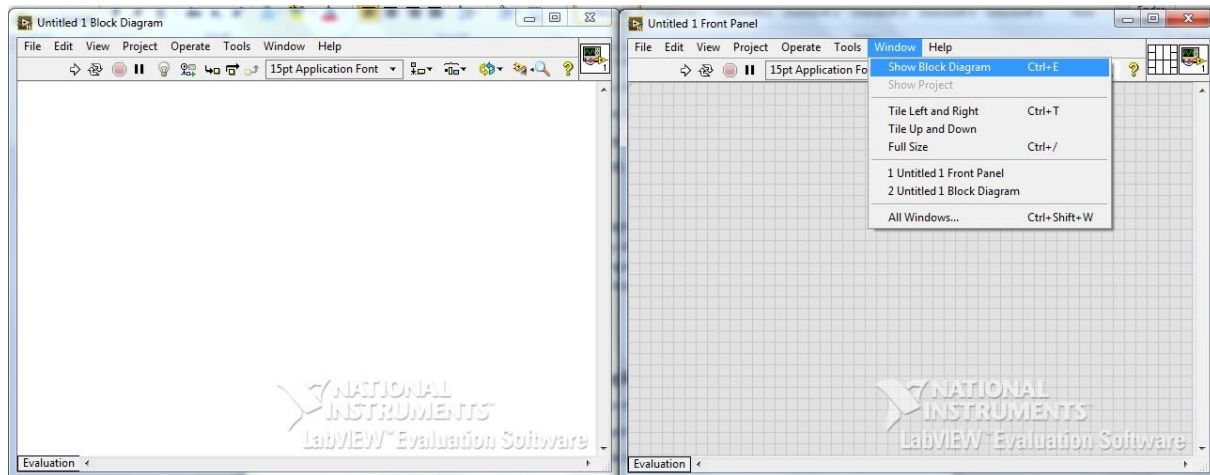
Mer informasjon om MyRIO-1900 finnes i brukerspesifikasjonene til MyRIO-1900 som ligger som vedlegg til oppgaven.

4.2 Software

For å få hardwaren til å gjøre det den skal, må det lages passende programvare, også kalt "software". Til å styre sensoren og MyRIO ble det i arbeidet brukt LabVIEW fra National Instruments som Platform. LabVIEW er et program som brukes til styring, analyse og innhenting av måledata. I tillegg til hovedprogrammet som heter LabVIEW, er det forskjellige tilleggspakker som er nødvendig, avhengig av hva som skal gjøres i programmet. I dette prosjektet er det brukt tilleggspakkene FPGA-module og real-time module.

4.2.1 LabVIEW

LabVIEW er et blokkdiagrambasert programmeringsverktøy som er nyttig til å styre tekniske eksperimentoppsett og finne måledata. I LabVIEW vil det åpnes et vindu som kalles "front panel", når man starter et nytt prosjekt. Dette fungerer som brukergrensesnitt, og her kan man legge knapper osv. Herfra kan man også åpne et blokkdiagram-vindu hvor kodingen foregår, se figur 25.



Figur 25. Tomt LabVIEWprosjekt

I blokkdiagram-vinduet lages det ønskede programmet med blokkdiagram, og det kan kjøres via begge vinduene. For å kompilere programmet må det enten være en lokal kompileringsserver, eller det gjøres over internett til en kommersiell server. I dette prosjektet brukes den kommersielle kompilatorserveren. Mer informasjon om LabVIEW kan finnes på National instruments sine nettsider (<http://norway.ni.com/labview>) [30].

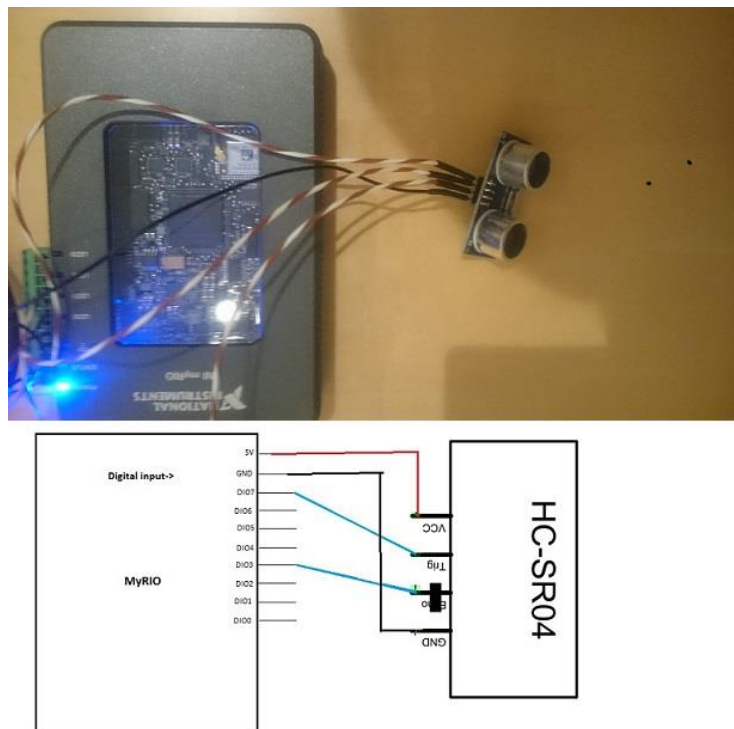
4.3 Oppsett av eksperimentoppstilling og kode

For å sette opp og gjennomføre eksperimentet i henhold til hensikten, må hardware og software settes sammen til ett produkt. I dette kapittelet forklares eksperimentoppstilling med kode. Teorigjennomgangen foran viste at det gir mer nøyaktige avstandsmålinger med flere sensorer, og i tillegg var det mulig å finne retningen til objektet hvis to eller flere sensorer blir brukt. På grunn av dette valgte jeg å lage et oppsett av både én og to sensorer for å se om teorien stemte i praksis. Jeg har også lagd oppsettet slik at bruker kan ha på høretelefoner og høre pipelyd som indikerer avstanden til et objekt. Ved bruk av to sensorer

høres avstanden fra den ene sensoren på det ene øret og fra den andre sensoren på det andre øret.

4.3.1 Oppsett med én sensor

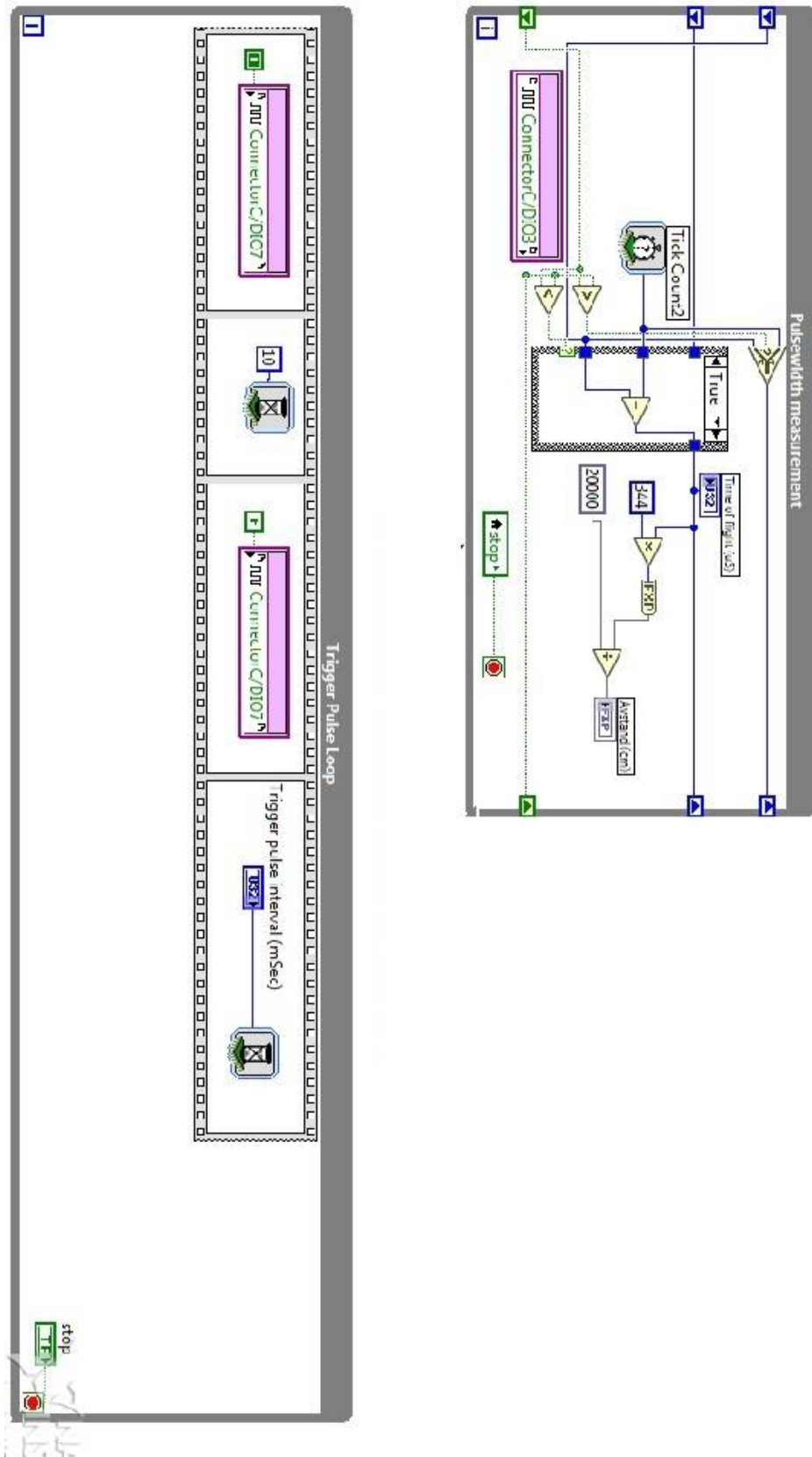
Til dette prosjektet valgte jeg å lage to forskjellige koder med én sensor. Den ene sender ut et signal hver gang en knapp blir trykket på, kalt oppsett 1, og den andre koden går kontinuerlig med minimum mellomrom mellom hvert signal sendt ut, kalt oppsett 2. Fullstendig oppkobling av én sensor kan ses i figur 26.



Figur 26. Oppsett en sensor

Figur 27 viser blokkdiagramkoden til oppsett 2 for kontinuerlig sending av signal.

Blokkdiagram av oppsett 1, signal sendt ved trykk av knapp, finnes i vedlegg A.

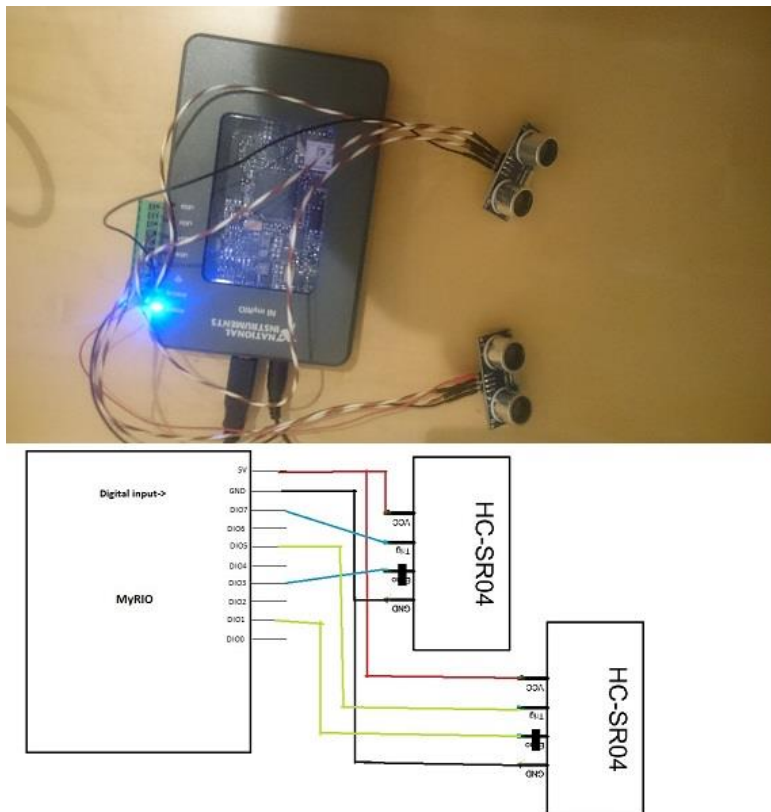


Figur 27. Blokkdiagram

Med denne koden vil det pipe raskere og raskere jo nærmere et objekt man er, på samme måte som ryggesensor i biler. Dette gjør det mulig for en person å ha på øretelefonene og ”høre” hvor langt unna et objekt er på bakgrunn av pipelydens frekvens.

4.3.2 Oppsett med to sensorer

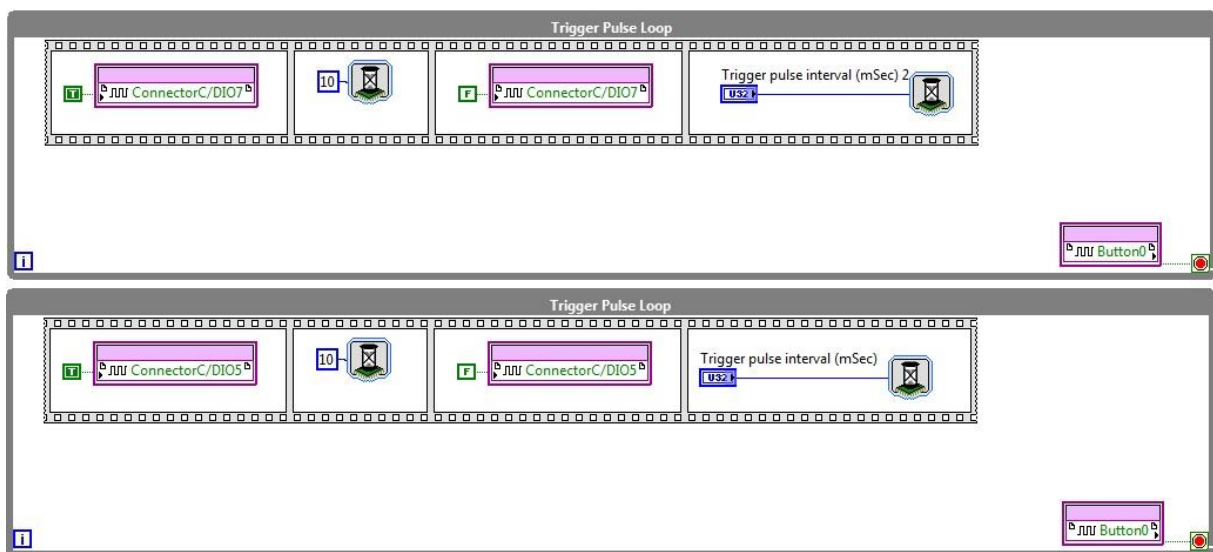
I denne oppgaven valgte jeg å lage to forskjellige koder til to sensorer. Den ene koden sender ut et signal etter at en knapp er trykket på, kalt oppsett 3. Den andre koden går kontinuerlig og sender et signal etter et valgbart antall millisekunder, kalt oppsett 4. Denne metoden vil fungere på nesten samme måte som hos en flaggermus, som sender ut et signal og mottar ekkoet i begge ørene. Den eneste forskjellen er at jeg bruker to sendere og to mottakere, mens en flaggermus har én sender og to mottakere. Fullstendig oppkobling av to sensorer er vist i figur 30.



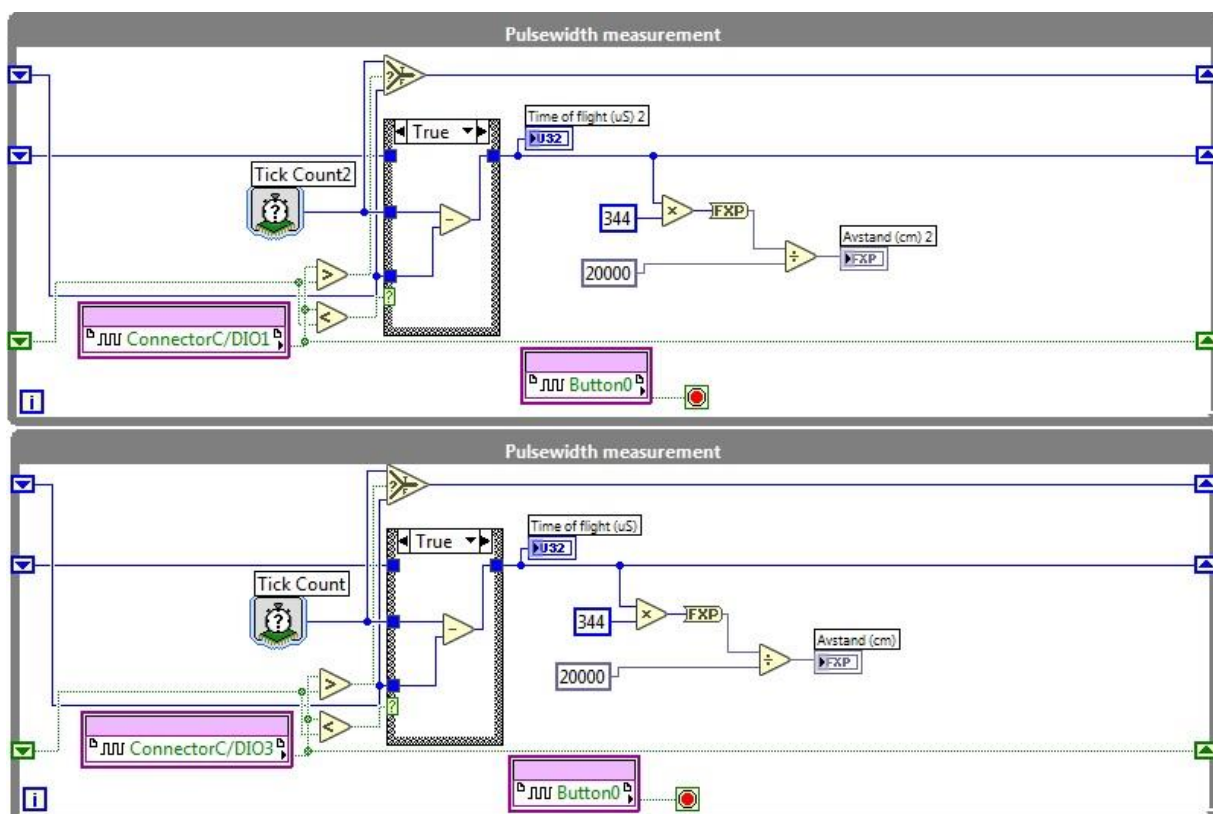
Figur 30. Oppsett to sensorer

I figur 31 og 32 er blokkdiagramkoden til oppsett 3, for kontinuerlig sending av signal.

Blokkdiagram av oppsett 4, signal sendt ved trykk av knapp, finnes i vedlegg B.

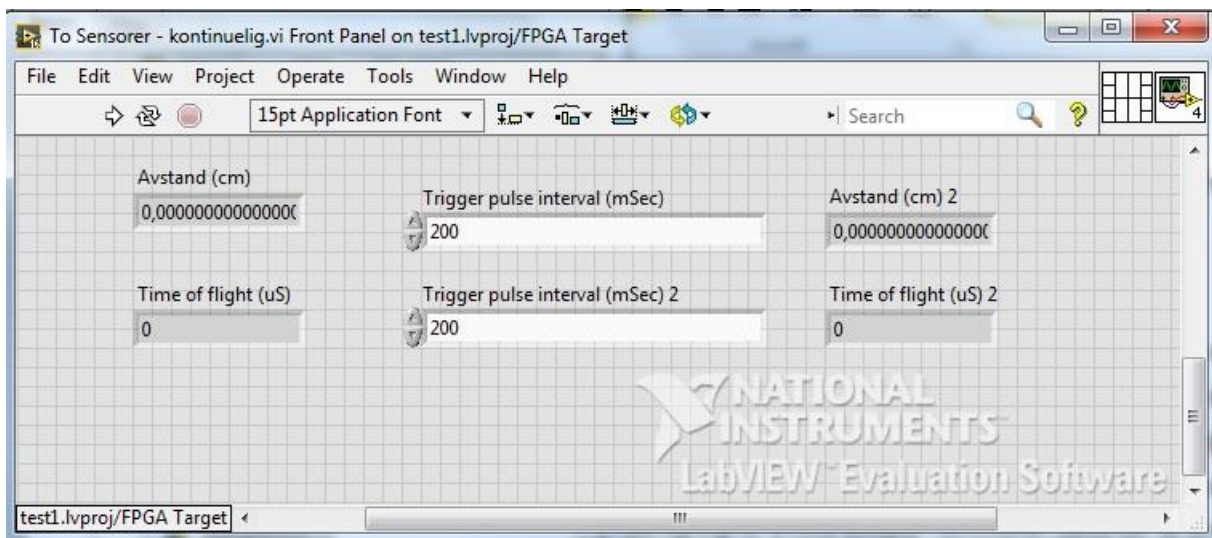


Figur 31. Blokkdiagram triggerpuls



Figur 32. Blokkdiagram mottak av ekko

I whileløkkene i figur 31 blir et signal sendt til hver av sensorene gjennom MyRIO, og et ultralydsignal blir sendt ut fra begge sensorene med et mellomrom på et valgbart antall millisekunder. Valget av tid velges i "front panel", hvor også TOF og avstand i centimeter blir vist. "Front panel" er vist i figur 33. Whileløkkene i figur 32 tar imot høyt signal fra ekko på hver av sensorene og fra dette blir TOF funnet. Fra TOF gjøres en enkel beregning for å finne avstand i centimeter. Dette blir så sendt inn i egne whileløkker og brukt til å sende lyd til hver side i høretelefonene.



Figur 33. Front panel

Blokkdiagrammet for lyddelen finnes i vedlegg C. Med dette oppsettet kan en person høre lyden fra den ene sensoren i det ene øret og lyden fra den andre sensoren i det andre øret. Det vil pipe raskere i det ene øret enn det andre, hvis et objekt er nærmere den sensoren. På denne måten kan en person ikke bare høre hvor langt unna et objekt er, men også hvilken retning det er i. Sensorene ble plassert på høretelefonene så de kan de fungere som "ører", og det gjør det lettere å navigere ettersom man snur på hodet.

4.4 Oppsummering

I denne oppgaven ble det brukt en eksperimentoppstilling med én og to sensorer. Sensorene som ble brukt, var begge "Ultralydavstandsmodul HC-SR04". De ble koblet til en prosesseringsenhet, MyRIO-1900, som igjen ble koblet til en PC. Det ble brukt FPGA-delen av MyRIO og LabVIEW for å lage kode til å styre systemene. Koden ble laget av blokkdiagram som er den vanlige metoden i LabVIEW. Avstanden til et objekt kan leses av i "front panel" og øretelefoner ble brukt til å høre, via pipelyd, hvor langt det var til et objekt.

5 Tester og resultater

Hensikten med eksperimentoppstillingen som ble presentert i forrige kapittel, var å bruke den til å teste om et reflektert ultralydsignal kan brukes i blindesyn. Valget av hvilke tester som skulle gjøres, ble gjort på bakgrunn av teorien, nøyaktigheten til sensorene og relevans i forhold til et mulig blindesyn. I denne delen av arbeidet er det derfor først testet med én sensor hvor god avstandsmålingen er, og om det er mulig til å bruke dette oppsettet til navigasjon. Deretter er det testet oppsett med to sensorer for å vurdere om det gir bedre avstandsmåling og hvorvidt det kan brukes til navigasjon. Hver av disse testene er utført med to kodeoppsett. I dette kapitlet blir tester og påfølgende resultater presentert.

5.1 Tester med én sensor

Første del av testingen besto av tester utført med én sensor. Testene ble gjort med kodeoppsettene presentert i avsnitt 4.3.1. Oppsett 1 er satt opp med sendt ultralydsignal ved trykk av knapp, og oppsett 2 med kontinuerlig sending av signaler. Her følger metoden og resultatene fra disse testene.

5.1.1 Test kodeoppsett 1

I testen med kodeoppsett 1 er hensikten å finne ut hvor godt avstandsmålingen fungerer, ved å teste mot vegg, vindu, bokhylle og myk stol. Det blir også gjort en test mot en åpen dør, for å teste om døråpningen blir detektert når avstanden øker. Utenfor døren er det langt til neste objekt, så hvis åpningen blir detektert, vil sensoren vise 0 cm. Det ble gjort tre tester per objekt, ved tre forskjellige avstander: 20 cm, 100 cm og 400 cm. Testen ble gjort ved å måle avstanden til objektet med målebånd. Ultralydsensoren ble så satt 90 grader på objektet og avstanden målt. Resultatene finnes i tabell 1.

Målinger Objekt	Avstand 1 målt med målebånd	Avstand 1 målt med ultralyd	Avstand 2 målt med målebånd	Avstand 2 målt med ultralyd	Avstand 3 målt med målebånd	Avstand 3 målt med ultralyd
Vegg	20 cm	20,3 cm	100 cm	100,2 cm	400 cm	399,8 cm
Vindu	20 cm	20,1 cm	100 cm	100,3 cm	400 cm	400,3 cm
Myk Stol	20 cm	20,2 cm	100 cm	99,7 cm	400 cm	400,2 cm
Bokhylle	20 cm	20,1 cm	100 cm	100,2 cm	400 cm	400,1 cm
Åpen dør	20 cm	0 cm	100 cm	100,2 cm	400 cm	400, 3 cm

Tabell 1

I testen ser vi at det er ca. 0,3 cm i avvik på det meste, i alle testene samlet. Dette avviket kan komme fra sensoren, men det kan også være en feilkilde ved at sensoren er plassert av et menneske og mennesker er ikke nøyaktige nok. Sensoren klarer også å måle avstanden til harde flater som vegg og vindu, myke flater som stolen, og ujevne flater som en bokhylle. Døråpningen ble bare detektert når avstanden var under 100 cm. Når avstanden var over 100 cm, ble lengden til dørkarmen og veggen rundt detektert.

5.1.2 Test kodeoppsett 2

I testen med kodeoppsett 2 er hensikten å finne ut om det er mulig å bruke én sensor til navigasjon, ved å bruke lyd som indikasjon på avstanden. Testen blir gjort ved at forsøkspersonen har bind for øynene og bare beveger seg etter pipelyden fra oppsettet.

Med bind for øynene klarte forsøkspersonen å høre omtrent hvor langt det var til vegger og andre store objekter, som f.eks. bord og stoler, som var rett foran sensoren. Det ble problemer når vinkelen ikke var rundt 90 grader på objekter. I slike tilfeller mottok ikke sensoren signalet, og testpersonen måtte snu seg rundt for "å se" om det var noe ved siden av seg selv. Det var også vanskelig "å se" dører når personen var lenger unna enn 1 meter. Forsøkspersonen måtte dessuten bevege sensoren mye fra side til side for "å se" hele rommet foran seg på grunn av et snevert "synsfelt". Testpersonen klarte å unngå å støte borti ting som var i det direkte synsfeltet, men små ting på gulvet klarte testpersonen ikke "se". Hvis testpersonen beveget hodet ned for å se om det var noe på gulvet, ble vinkelen enten slik at sensoren detekterte gulvet, eller at den ikke detekterte noe. Kort oppsummert

viste resultatene med testing av én sensor at det var mulig å navigere rundt i et rom, men det medførte visse problemer for testpersonen.

5.2 Tester med to sensorer

Etter å ha gjennomført tester med én sensor, gjennomførte jeg tester med to sensorer. I arbeidet med eksperimentoppstillingen ble det laget to kodeoppsett for testing med to sensorer. Disse er presentert i avsnitt 4. 3.2. Begge kodeoppsettene testet. Oppsett 3 er satt opp med sendt ultralydsignal ved trykk av knapp, og oppsett 4 med kontinuerlig sending av signaler. I oppsett 3 ble sensorene satt rett ved siden av hverandre for å få så nøyaktige målinger som mulig. I oppsett 4 ble sensorene satt slik at de var vinklet litt fra hverandre på hver side av hodet til testpersonen, slik at "synsfeltet" ble så bredt som mulig. Under presenteres metode og resultater fra testingen med to sensorer.

5.2.1 Test kodeoppsett 3

I testen med kodeoppsett 3 er hensikten, som i testingen av én sensor, å finne ut hvor godt avstandsmålingen fungerer, ved å teste mot vegg, vindu, bokhylle og myk stol. Det blir også gjort en test mot en åpen dør, for å teste om døråpningen blir detektert når avstanden øker. Utenfor døren er det langt til neste objekt, så hvis åpningen blir detektert vil sensoren vise 0 cm. Det ble gjort tre tester per objekt, ved tre forskjellige avstander 20 cm, 100 cm og 400 cm, på samme måte som med én sensor. Testen ble gjort ved å måle avstanden til objektet med målebånd. Også i denne testen ble ultralydsensorene satt 90 grader på objektet, og avstanden ble målt. Deretter ble gjennomsnittet av avstandene funnet. Resultatene finnes i tabell 2 på neste side.

Avstand 1	Avstand 1 målt med målebånd	Avstand 1 målt med ultralydsensor 1	Avstand 1 målt med ultralydsensor 2	Gjennomsnitt ultralydmålinger
Vegg	20 cm	20,3 cm	20,1 cm	20,2 cm
Vindu	20 cm	20,3 cm	19,8 cm	20,1 cm
Myk stol	20 cm	20,2 cm	20,1 cm	20,2 cm
Bokhylle	20 cm	20,1 cm	20,1 cm	20,1 cm
Åpen dør	20 cm	0 cm	0 cm	0 cm
Avstand 2	Avstand 2 målt med målebånd	Avstand 2 målt med ultralydsensor 1	Avstand 2 målt med ultralydsensor 2	Gjennomsnitt ultralydmålinger
Vegg	100 cm	100,3 cm	99,8 cm	100,1 cm
Vindu	100 cm	100,3 cm	100,0 cm	100,2 cm
Myk stol	100 cm	100,4 cm	100,2 cm	100,3 cm
Bokhylle	100 cm	100,2 cm	99,9, cm	100,1 cm
Åpen dør	100 cm	100,1 cm	100,2 cm	100,2 cm
Avstand 3	Avstand 3 målt med målebånd	Avstand 3 målt med ultralydsensor 1	Avstand 3 målt med ultralydsensor 2	Gjennomsnitt ultralydmålinger
Vegg	400 cm	399,7 cm	399,9 cm	399,8 cm
Vindu	400 cm	400,1 cm	399,7 cm	399,8 cm
Myk stol	400 cm	400,4 cm	399,9 cm	400,2 cm
Bokhylle	400 cm	400,3 cm	400,1 cm	400,2 cm
Åpen dør	400 cm	400,2 cm	400,2 cm	400,2 cm

Tabell 2

I testen ser vi at maksimalt avvik på hver sensor er 0,4 cm i alle testene i sum, mens gjennomsnittet har et maksimumsavvik på 0,3 cm. Avviket kan komme fra sensoren, men det kan òg være en feilkilde ved at sensoren er plassert av menneske, og vi er som nevnt foran, ikke nøyaktige nok. Sensorene klarer å måle avstanden til harde flater som vegg og vindu, myke flater som stolen, og ujevne flater som en bokhylle. Døråpningen ble bare detektert ved avstander under 100 cm.

5.2.2 Test kodeoppsett 4

I testen med kodeoppsett 4 er hensikten å finne ut om det er mulig å bruke en sensor til navigasjon ved å bruke lyd for avstanden. Testen blir gjort ved at forsøkspersonen har bind for øynene og prøver "å se" omgivelsene rundt seg ved hjelp av pipelyden fra oppsettet. Sensorene ble i denne testen festet på hver side av hodet på øretelefonene og fungerte som ører.

Etter litt trening på å høre avstander klarte testpersonen, med bind for øynene, å høre hvor langt det var til vegger og andre store objekter, som f.eks. bord og stoler. Siden sensorene var vinklet litt fra hverandre, klarte personen "å se" om objekter var rett foran eller litt på siden. Det var med dette oppsettet mulig å bevege seg rundt i rommet uten å støte borti noe. I denne testen var det noe lettere "å se" døråpninger enn i testene med én sensor, men det var fortsatt problemer når testpersonen var mer enn 1 meter unna objektet. Det var litt lettere "å se" døråpningen fordi den ene sensoren detekterte en vegg, og den andre gjorde ikke. Når testpersonen snudde hodet litt mot den sensoren som ikke detekterte vegg, så begynte denne sensoren å detektere vegg, mens den andre ikke gjorde det. På denne måten "så" testpersonen en klar døråpning, når avstanden ikke var for stor. Det ble, selv med to sensorer, problemer når vinkelen ikke var rundt 90 grader på objekter. I slike tilfeller mottok ikke sensoren signalet, og testpersonen måtte snu seg rundt for "å se" om det var noe ved siden av seg selv. Dette forekom også i test 1, men i test 4 måtte ikke testpersonen snu seg like mye for "å se" om det var f.eks. en vegg ved siden av han. Testpersonen klarte å unngå å støte borti ting som var i direkte synsfelt, men små ting på gulvet klarte testpersonen ikke "se". Hvis testpersonen beveget hodet ned for å se om det var noe på gulvet, ble vinkelen enten sånn at sensoren detekterte gulvet, eller at den ikke detekterte noe. Også dette var resultatet i testene med én sensor. Resultatene fra testingen med to sensorer viste også det samme som testing med én sensor, med hensyn til gulvdeteksjon og døråpninger. Det som skilte resultatene fra testene med én sensor, var at to sensorer ser ut til å gi bedre "synsfelt" og det var ikke nødvendig å bevege sensorene rundt så mye.

5.3 Feilkilder og oppsummering

Flere forhold kan ha påvirket testresultatene som er presentert foran. Den største feilkilden under test 1 og 3, er sannsynligvis plasseringen av sensorene og måling av avstand med målebånd. Fordi dette er gjort av en person, er det ikke sikkert det er på millimeteren riktig plassering i forholdet mellom målebånd og sensor. For test 2 og 4 er mennesket også antakeligvis den største feilkilden, da det er opp til testpersonen selv å tolke signalene som kommer fra øretelefonene, og denne tolkingen kan da påvirkes av trening, konsentrasjon osv. I tillegg til menneskelige feil, kan også andre faktorer ha påvirket resultatene. Blant annet varierer lyd hastigheten i forhold til temperatur og luftfuktighet som kan gi små utslag på avstanden, men dette er sannsynligvis ikke betydelig i forhold til denne testen fordi den foregikk inne i 20 grader Celsius.

Til tross for feilkilder ble resultatet av testene pålitelige, og de viste oppsummert dette: Test 1 og 3 viser at ultralydsensorene har en nøyaktighet på ca. 0,3 cm, og de fungerer på alle overflatene som er målt. Det viste seg fra test 1, at én sensor ikke detekterte en døråpning når sensoren var mer enn 1 meter unna. Med to sensorer i test 3 var det lettere å detektere åpningen fordi sensorene ikke traff på nøyaktig samme sted, men det var likevel ikke mulig "å se" døråpningen når testpersonen var lenger unna enn 1 meter. I test 2 var det mulig "å se" objekter i direkte "synsfelt", og dermed unngå å treffe objekter. Dette "synsfeltet" var ikke veldig bredt med én sensor, og forsøkspersonen måtte snu hode mye for å få oversikt over rommet foran seg. Det var heller ikke mulig "å se" objekter som stod på bakken. I test 4 var det også mulig å navigere etter lyd, og "synsfeltet" var betydelig større med to sensorer. Dette gjorde at testpersonen ikke trengte å bevege hodet så mye for å få oversikt. Det var ikke mulig "å se" objekter på gulvet verken med én eller to sensorer.

6 Diskusjon

Dette masterprosjektet har dreid seg om å undersøke hvorvidt ultralyd kan brukes til å skape en form for "blindesyn". Formålet med arbeidet har vært å utforske i hvilken grad et reflektert ultralydsignal kan gjøre det mulig for blinde og svaksynte "å se". I arbeidet har jeg hatt både en teoretisk og en praktisk tilnærming. Her vil jeg diskutere teoribakgrunnen og den praktiske utprøvingen. Dette danner grunnlaget for å vurdere hvilken nytteverdi et slikt reflektert signal kan ha for personer med store synshemninger og peke på eventuelle bruksområder for dette. Diskusjonskapitlet konsentrerer seg om tre felt: det teoretiske utgangspunktet, eksperimentoppstilling med påfølgende testing og praktisk nytteverdi av reflektert ultralydsignal for blinde.

6.1 Teoretisk utgangspunkt

Å bruke ultralyd til å skape en form for "blindesyn" burde være mulig for mennesker, sett på bakgrunn av at flaggermusen bruker ultralyd til både å navigere og finne byttedyr ved ekkolokalisering [17]. Fra gjennomgangen av ultralydteorien i kapittel 3 ser vi at noe av problemene mennesker har ved bruk av slik teknologi, er knyttet til ultralyd i luft og ikke i vann. Nye og moderne teknologiske løsninger bidrar likevel til at problemene som er knyttet til å bruke ultralyd i luft, kan overkommes. Allerede nå ser vi de første applikasjonene der ultralyd i luft anvendes, som for eksempel i industri og ryggesensorer i bil.

Til tross for at bruk av ultralyd i luft øker, er det flere utfordringer knyttet til bruk av ultralyd i dette mediet. Avstandsmåling ved ultralyd fungerer ved at en lydbølge med frekvens på over 20 kHz blir sendt ut og reflekteres av objekter det treffer. Hastighet og bølgelengde avhenger av den akustiske impedansen til mediet bølgen skal gå gjennom. I luft er denne impedansen 428 kg/m^3 , som er mye mindre enn den er i vann, nemlig $1.5 \cdot 10^6 \text{ kg/m}^3$. I tillegg er hastigheten til ultralydsignalet i luft mindre enn i vann og bølgelengden blir kortere. Dette gjør med bakgrunn i likning (7), at frekvensen ikke kan være så høy. I vann kan det brukes frekvenser på mange MHz, mens i luft må disse være betydelig mindre. Det må brukes frekvenser mellom 40 kHz og 200 kHz. Dette er den første av hovedutfordringene ved bruk av ultralyd i luft. Den andre hovedutfordringen når ultralyd brukes i luft, er overgangen fra transdusermaterialet til luft. Dette skyldes igjen den lave impedansen til luft, fordi det da blir

behov for en overgang fra transdusermaterialet for å få dannet lydbølgen. Med nye typer transdusere med overgangsmaterialer som kompenserer for impedanseforskjellen, har problemet så å si blitt borte. Det er også en tredje hovedutfordring knyttet til bruk av ultralyd i luft, nemlig er fatal speilrefleksjon. Det vil si at vinkelen ultralydsignalet treffer objektet med, er så stor at signalet enten ikke kommer tilbake til mottakeren, eller at det først treffer én vegg, så en annen, før signalet går tilbake til mottakeren. I testene ble det fatal speilrefleksjon når testpersonen prøvde "å se" objekter på gulvet.

En fjerde faktor man må ta hensyn til ved bruk av ultralyd brukt for å skape "blindesyn", er hvilken del av det reflekterte signalet som kan være nyttig. Avstanden som kommer fra TOF, ved å "trigge" på første mottatte ekko av ultralydbølgen, er mest anvendelig i et "blindesyn", slik det også fremgår av ultralydteorien. Resten av ekkosignalet kan òg brukes i noen grad, men til navigering er det av liten praktisk nytte. Dette kan vi se av teorien som viser at et helt ultralydsignal hovedsakelig brukes i gjenkjenningmetoder hvor man trenger å ha informasjon om hva man ser etter fra start. I arbeidet med dette prosjektet er det fenomenet ikke spesielt nyttig, fordi området der en synshemmet skal navigere vanligvis ikke er kjent fra før, og det dermed ikke er noe spesifikt som kan gjenkjennes.

De fire faktorene jeg har pekt på foran, er etter min vurdering noen av de viktigste å ta hensyn til når jeg skulle sette opp en eksperimentoppstilling for å teste om et reflektert ultralydsignal kan brukes i "blindesyn". I neste avsnitt diskuterer jeg denne oppstillingen og testingen nærmere.

6.2 Teknisk oppstilling og gjennomføring av testene

Flere forhold ved eksperimentoppstilling, testing og resultatene virker inn på vurderingen av om dette oppsettet kan ha nytteverdi for blinde. Her vil jeg trekke frem to områder: sentrale faktorer i den tekniske oppstillingen og praktisk bruk.

6.2.1 Sentrale faktorer ved den tekniske oppstillingen

Det var flere hensyn å ta da jeg skulle lage eksperimentoppsettet for å teste ut om et reflektert ultralydsignal kan ha noen nytte som "blindesyn". For det første har egenskapene

og antallet sensorer betydning: Det ser det ut til, både i teorien jeg har presentert i denne oppgaven og i flaggermusens måte å navigere på, at flere sensorer er bedre enn få. Å bruke flere sensorer kan hindre fatal speilrefleksjon, men samtidig kan det lett bli uoversiktlig å bruke mange. På bakgrunn av det ble to sensorer brukt i min oppstilling, selv om det ideelt sett hadde vært nødvendig med flere for å fjerne fatal speilrefleksjon totalt. Selv om det teknisk sett hadde vært ønskelig med flere sensorer, måtte jeg ta hensyn til at det ikke var hensiktsmessig i praksis med mer enn to sensorer. Hvis flere sensorer skulle bli brukt, måtte også en annen overføringsmetode enn lyd bli brukt for å få overført informasjon fra alle sensorene til testpersonen. Det ville ikke vært gjennomførbart med lyd, fordi mennesket bare har to ører som kan motta pipelyden fra signalet.

Også sensorens form er sentral i oppsettet: For å hindre problemer med oppløsning som gjør det vanskelig "å se" små objekter, ville en sensor med smalere lobeform fungere bedre enn den jeg brukte i mitt oppsett. I testene var det også et problem "å se" objekter som lå på gulvet. Testpersonen så enten bare gulvet rett foran beina sine, eller ultralydsignalet traff gulvet med en vinkel som gjorde at det reflekterte signalet ikke kom tilbake til mottakeren. Dette kan forhindres ved å ha sensorer lenger ned enn hodet, men da ville det krevd flere sensorer, og lyd kunne heller ikke bli brukt som overføringsmetode. En mulig løsning kunne vært å bruke en type klemmemekanisme på beina for sensorer som var ved bakken, og lyd for sensorer ved hodet.

Et annet hensyn som var sentralt da jeg satte opp eksperimentoppstillingen, dreide seg om forholdet mellom sendere og mottakere. I oppstillingen ble det brukt to sensorer som var både sendere og mottakere, mens det muligens kunne vært mer optimalt med én sender og flere mottakere. Dette ville være et bedre oppsett hvis navigeringen skulle gjøres automatisk av en datamaskin som kunne gjøre utregningene. For et menneske er det også mulig det ville vært mer hensiktsmessig med én sender og to mottakere, men mennesket gjør ikke slike matematiske beregninger naturlig på samme måte som flaggermusen kan. Likevel bruker mennesket til vanlig litt av den samme metoden når vi hører hvilken retning lyden kommer fra. Et problem knyttet til dette er å finne en transduser som kan sende ut et signal som er bredt og nøyaktig nok, til å etterligne flaggermusens måte å bruke ultralyd. Fra testene viste det seg at det gikk fint "å se" objekter som var i veien for testpersonen, og det var enklere

med én sensor enn to. Med to sensorer ble det et bredere synsfelt, og det gjorde det enklere å navigere enn med én sensor. Dette førte igjen til at personen ikke måtte snu så mye på hodet. Resultatene fra testene viste klart at det er vanskelig "å se" døråpninger og andre "små" hull i vegger når avstanden var større enn 1 meter. Dette har sammenheng med frekvensen til sensoren, som er på 40 kHz i min eksperimentoppstilling. Det gir litt lengde på signalet, uten at sensoren måtte være veldig sterk. Med lav frekvens som dette, vil oppløsningen ikke være så god, men den kan måle lenger avstand.

I eksperimentoppstillingen måtte jeg også ta hensyn til enkelhet i oppsettet for at det skulle kunne være kommersielt interessant å sette i produksjon. Da jeg fikk informasjon MyRIO prosesseringsenheten fra min veileder, og sjekket hvordan denne fungerte, ble det et enkelt valg. En FPGA-del til å kjøre systemet og enkel tilkobling til sensoren, var fordeler som gjorde det nyttig å bruke MyRIO. Oppsett i LabVIEW ved bruk av blokkdiagram, var også hensiktsmessig. Det tok derimot lang tid å sette seg inn LabVIEW og klare å bruke det på en god måte. Bakgrunnen for det var at LabVIEW var et nytt og ukjent programmeringsverktøy for meg, og hadde andre typer oppsett av blokkdiagram enn jeg er vant til fra MATLAB. Disse "begynnervanskene" førte blant annet til at det gikk mye tid, og det måtte gjennomføres mye testing for å lage blokkdiagrammene og få dem til å fungere som ønsket.

6.2.2 Praktisk bruk

Under testene viste det seg at det var et praktisk problem med test 2 og 4, presentert i kapittel 5, hvor testpersonen skulle gå rundt med utstyret. Problemet oppsto fordi utstyret ikke går på batteri, og ledningene fra PCen var i veien for testpersonen. Det var også nødvendig med hjelpere til å bære PCen etter testpersonen. Dette virket forstyrrende på forsøkspersonen og var dessuten tungvint i bruk. Oppsettet for testing av reflektert ultralydsignal kan brukes uten PC, men for "å se" avstanden samtidig som testpersonen bare hørte lyden, var det ønskelig å ha med PCen.

Det var også en stor feilkilde i alle testene, nemlig menneskelig interaksjon som nevnt i oppsummeringen av kapittel 4. I testene hvor avstanden ble målt, var det mennesket som plasserte sensorene. Dette medførte stor variasjon i hvor nøyaktig sensorene ble plassert. En slik feilkilde er vanskelig å eliminere når sensorene må flyttes rundt. I testene hvor en

testperson prøvde å navigere med bind for øynene, var personens konsentrasjon og trening med utstyret helt vesentlig for å klare å navigere. Til tross for disse feilkildene, er det min vurdering at resultatene er pålitelige. Hovedårsaken til denne vurderingen er at resultatene var veldig jevne i test 1 og 3, og i test 2 og 4 klarte testpersonen å navigere. For å gjøre slike tester mer nøyaktige og enklere i fremtiden, burde systemet kobles til et batteri og sensorene burde monteres på f.eks. et par briller. I tillegg er det mulig å lage en applikasjon til mobiltelefon, slik at den kan brukes som prosessenhet i stedet for MyRIO.

Det må altså tas hensyn til flere forhold når det lages en teknisk oppstilling for å stille opp og gjennomføre testing med reflektert ultralydsignal i luft, og blant de mest sentrale er antall og type sensorer, forholdet mellom sendere og mottakere, størst mulig enkelhet i oppsettet og eliminere flest mulig feilkilder. Dette er viktige hensyn for at den tekniske oppstillingen skal fungere best mulig i praksis som hjelp for blinde.

6.3 Praktisk nytteverdi for blinde og svaksynte

Blinde og svaksynte har vansker med å navigere, trene og være aktive på egenhånd og derfor bruker de ulike hjelpemidler, slik som hvit stokk og førerhund, for å ta seg frem. For at et navigasjonshjelpemiddel skal være nyttig for dem, må det oppfylle visse kriterier. Her vil jeg vurdere oppsettet i dette prosjektet, i forhold til tre kriterier: brukervennlighet, tilgjengelighet og mulige bruksområder.

6.3.1 Brukervennlighet

Brukervennlighet kan defineres som hvor lett et produkt er å bruke, og kan igjen deles inn i tre underkategorier: brukergrensesnitt, pålitelighet og funksjonalitet. Brukergrensesnittet i eksperimentoppsettet er etter mitt syn ganske bra. Alt som trengs for å bruke utstyret, er å trykke på "play" og programmet gjør hele jobben med å beregne avstand og gi informasjonen til brukeren. Med litt raffinering av produktet kunne det være så enkelt å bruke at man bare trykker på en knapp slik at programmet starter og høretelefonene tas på av brukeren, og så er apparatet klart til bruk.

I tillegg til et godt brukergrensesnitt, er det også viktig at oppsettet er pålitelig og stabilt i bruk. MyRIO trekker en del strøm, og i praktisk bruk det ville mest sannsynlig være behov for opplading like ofte som for en mobiltelefon. Dette kommer selvfølgelig an på type batteri som blir brukt.

Også funksjonalitet vil ha betydning for en synshemmet bruker. I praktisk bruk fungerte oppsettet i dette masterprosjektet relativt dårlig. Det som skapte mest trøbbel under testene, var at PCen måtte bæres etter testpersonen og at strømkabelen måtte sitte i PCen. Hvis PCen var koblet fra, og et batteri ble koblet til, ville utstyret derimot vært lite og lett. Det kunne også bli utviklet en mobiltelefonapp med Bluetooth-tilkobling til sensorene, slik at mobilen styrte koden og alle ledninger ville blitt borte. Et annet stort funksjonalitetsproblem var overføringsmetoden fra teknologien til lyd. Det å bruke pipelyd fra øretelefoner for å formidle avstanden til et objekt, virker lite hensiktsmessig. I testene kunne testpersonen nesten ikke høre noe annet enn pipingene, og den vanlige hørselen vil så å si bli borte. Istedenfor å gi synshemmede en ekstra sans, ville et slikt produkt i praksis tatt fra dem hørselen for å gi en viss avstandsbedømmelse.

6.3.2 Tilgjengelighet

I tillegg til brukervennlighet er tilgjengelighet, både med hensyn til god tilgang på produktet i markedet og overkommelig pris, viktig når man skal vurdere nytteverdien av oppsettet. Slik jeg ser det, ville sannsynligvis ikke tilgjengeligheten til et produkt som dette, være et stort problem. En forutsetning for å holde kostnadene nede i en industriell produksjon, er at det bør lages en prosessor enhet spesifikt for dette produktet. MyRIO er relativt dyrt og har mange funksjoner som ikke er nødvendige for dette produktet. Sett på bakgrunn av det, ville det være relativt bortkastet å bruke MyRIO til å styre et slikt system i praksis. Ved å bytte prosessor til en enklere type, ville også strømforbruket og størrelsen bli mindre. Igjen så ville en app til mobiltelefon være et veldig godt alternativ. Fordelene med å bruke mobil, er at det er noe som allerede alle har med seg, og det er dermed enkelt å bruke. Det kan derimot oppstå et sanntidsproblem med en slik app, så det må muligens brukes en buffer. Dersom dette ble implementert i produktet, mener jeg at det ville ligge til rette for en industriell produksjon som kan bli økonomisk lønnsom for bedriften, og med det gi et godt markedstilbud til synshemmede.

6.3.3 Bruksområder

Et apparat som bygger på oppsettet jeg har presentert og testet, kan ha ulike bruksområder avhengig av apparatets egenskaper. Et slikt produkt ville, med sensorene som er brukt i denne oppgaven, kun egne seg til praktisk bruk inne. Årsaken til det er avstandsbegrensningen til sensoren som bare er på 4 meter. Inne er det ofte ikke nødvendig å se mer enn 4 meter av gangen, så denne sensoren kunne fungert. Prosjektoppsettet har likevel begrensninger ved innendørs bruk: Testene jeg har gjennomført viste at er det er vanskelig "å se" døråpninger og andre "små" hull i vegger. Det er uhensiktsmessig for en blind å måtte gå tett inntil en vegg for å kunne se hvor døren er. Dersom en synshemmet skulle bruke oppsettet jeg har testet, måtte vedkommende ha gått langs en vegg med mindre enn 1 meters avstand for å finne en dør. Dette fenomenet skyldes, som nevnt, den frekvensen som ble brukt i testene. Sannsynligvis ville det mest optimale være å ha en sender som sendte ut signaler fra 40 kHz til 100 kHz for å få lengde og god oppløsning samtidig. Lave frekvenser, som 40 kHz, gir avstand. For sensoren som er brukt her, er maksimal avstand 4 meter. Høyere frekvenser, som 100 kHz, gir bedre oppløsning. Det ville da mest sannsynlig være mulig "å se" dører på litt lengre hold. Igjen kan vi se til flaggermusen som bruker frekvenser fra 40 kHz til 200 kHz i et utsendt signal [16]. Avstandsberegning begrenset til 4 meter er lite egnet ute. Med en avansert sensor, med større frekvensspenn og sterkere signal, ville det derimot være mulig å også bruke dette "blindesyns-apparatet" ute. Det ville da nærmest fungert som en veldig lang og bred, hvit stokk.

6.4 Oppsummering

Avslutningsvis vil jeg si at med en raffinering av oppsettet, ville det etter mitt syn være et relativt billig og enkelt utstyr å bruke til navigasjon både ute og inne. En slik raffinering kan for eksempel være å utvikle en mobilapp med tilkobling til avanserte sensorer i f.eks. solbriller. For at dette skal være mulig, må problemene som ble funnet under testingen, med døråpninger og objekter på bakken, håndteres. Det ser for meg ut til at det største problemet med denne typen hjelp til blinde, er overføringsmetoden fra ekkosignalet til mennesket. Lyd, som er brukt i denne oppgaven, er en enkel overføringsmetode. Den er derimot ikke hensiktsmessig i praksis. I testene jeg gjennomførte, viste det seg at

testpersonen ikke hørte mye annet enn pipingens mens han hadde på øretelefonene og ikke oppfattet noen annen lyd fra omgivelsene. Det må finnes en bedre overføringsmetode for avstandsinformasjonen, enn lyd, for at dette skal bli et funksjonelt produkt og god navigasjonshjelp for blinde.

7 Konklusjon og videre arbeid

Utgangspunktet for masterprosjektet mitt var utfordringene blinde har med å orientere seg og være aktive på egenhånd. Nysgjerrighet knyttet til ultralyd og flaggermusenes bruk av dette til navigasjon, gjorde at jeg valgte å arbeide med temaet "blindesyn med ultralyd". Formålet med oppgaven var å utforske i hvilken grad et reflektert ultralydsignal kan være til nytte for å skape et "blindesyn".

Kan et reflektert ultralydsignal kan være av nytte for å skape et "blindesyn"?

Det ble satt opp en problemstilling i fire deler for denne oppgaven. Den første delen gikk ut på å gjøre rede for hvordan ultralyd i luft er brukt i andre applikasjoner. I arbeidet med denne oppgaven ble det gjennom bakgrunnsøk funnet at ultralyd i luft i dag er brukt blant annet i enkle avstandsmålere til f.eks. biler, i industri, til "Ultrasound identification", til rensing og vasking av små objekter og til antiopprørsvåpen.

Andre del av problemstillingen var å gjøre rede for hvordan ultralyd i luft fungerer og de tradisjonelle utfordringene som gjør at ultralyd i luft ikke er en mer utbredt sensor enn det er. En egenskap til ultralydbølger, er at de lett reflekteres av objekter i omgivelsene. Ultralyd kan derfor brukes til avstandsmålinger, og denne målemetoden går ut på å sende et signal og måle tiden det tar før ekkoet returnerer. Gjennom arbeid med ultralydteori, teori om signalbehandling og SONAR, ble det funnet tre sentrale hovedutfordringer knyttet til bruk av ultralyd i luft. Den første av disse er at den akustiske impedansen til luft er lav i forhold til f.eks. vann. Dette gjør at det kun kan brukes frekvenser mellom 40 kHz og 200kHz på ultralydsignalet som sendes ut. Det gir liten bølgelengde og dermed mindre nøyaktighet sammenliknet med bruk av ultralyd i vann og innenfor medisin. Den andre hovedutfordringen er at overgangen fra transdusermaterialet til luft er vanskelig, på grunn av den lave akustiske impedansen til luft. Uten dette laget vil ikke transduseren fungere ordentlig. En tredje stor utfordringen ved bruk av ultralyd i luft, er fatal speilrefleksjon. Det vil si at innfallsvinkelen blir mindre enn en viss kritisk vinkel, og da vil refleksjonsbølgen ikke treffe mottakeren.

Problemstillingens tredje del var praktisk og gikk ut på å sette opp en eksperimentoppstilling for å teste om et reflektert ultralydsignal kan brukes i blindesyn. En slik eksperimentoppstilling ble satt opp med utgangspunkt i teorien og med vekt på et enkelt og lett anvendelig brukergrensesnitt. I testingen ble det undersøkt hvor nøyaktige sensorene var i enkel avstandsmåling og om det var mulig å navigere ved hjelp av ultralyd-avstandsmålingene med bind for øynene. Testene viste at sensorene hadde et maksimalt avvik på 0,3 cm og det var mulig å navigere i et rom med ultralyd som metode. Det var også mulig å ta seg frem på en slik måte at testpersonen ikke støtte borti noe i rommet og klarte å gå rundt uten store problemer.

Den siste delen av problemstillingen var å gi en vurdering av nytteverdi for blinde og eventuelle bruksområder av et slikt reflektert signal. Med bakgrunn i eksperimentoppsettet og påfølgende testing, kan det konkluderes med at det er mulig å bruke reflektert ultralydsignal til navigasjon, men det krever raffinering av produktet for å være nyttig i praksis. Nødvendig raffinering vil etter min vurdering være en mer avansert sensor med større frekvensspenn og mer kraft, en annen prosesseringsenhet som er billigere og tilpasset dette systemet, og dessuten en annen overføringsmekanisme mellom teknologi og menneske. Etter en slik raffinering vil det være mulig å bruke et reflektert ultralydsignal til navigasjon for blinde på samme måte som de bruker hvit stokk, men mye mer avansert og med større rekkevidde. Et reflektert ultralydsignal kan da ha ulike bruksområder for synshemmede: Sett på bakgrunn av resultatene i denne oppgaven, viser det seg at det er mulig å bruke ultralydavstandsmålinger til å navigere i et rom. Samtidig må man være oppmerksom på at det er enkelte ting som ikke ble detektert i denne oppgaven, som f.eks. objekter på gulv og døråpninger. Dette gjør at det må flere og mer nøyaktige sensorer til for å kunne "se" et helt rom. Overføringsmetoden brukt i dette prosjektet er ikke optimal, da testpersonen ikke hørte mye annet enn pipingen til sensoren mens han gikk rundt.

Dette betyr i sum at ultralyd kan ha nytteverdi for blinde på flere områder hvis disse problemene blir håndtert, men det ser ikke ut til å kunne gi et reelt "syn". Det vil i praksis heller kunne fungere som en svært avansert og nøyaktig "hvit stokk".

Videre arbeid med bruk av ultralyd for å skape et "blindesyn"

Flere faktorer påvirker ultralydsignalers funksjon, derfor kan oppsettet mitt raffineres og videreutvikles. På grunnlag av erfaringer fra dette masterprosjektet, bør særlig fire områder vektlegges i videre forskning og arbeid med et slikt blindesynsprodukt: For det første vil det være fornuftig å bruke én sensor og flere mottakere, muligens to mottakere på hodet og to på bena til brukeren. Det andre området jeg anbefaler å endre i forhold til oppsettet i dette masterprosjektet, er ultralydsignalets frekvens. Min vurdering er at det vil være hensiktsmessig å bruke større variasjon i frekvens enn jeg gjorde i mitt oppsett med påfølgende testing. Sannsynligvis vil en frekvens fra 40 kHz til 100 kHz fungere godt. Det vil også bidra til økt praktisk nytteverdi å lage en mobilapplikasjon til kjøring av kode, slik at mobiltelefonen kan brukes som prosesseringsenhet. Det siste området jeg vil trekke fram som interessant for videre arbeid, er å finne en bedre løsning på overføringsproblemet fra teknologi til menneske. Det viste seg i testene at det var veldig lite hensiktsmessig å bruke lyd som overføringsmetode, fordi brukeren mistet annen lydinformasjon. Dersom disse endringene virkelig gjøres, kan et reflektert ultralydsignal etter mitt syn være av nytte for å skape et blindesyn. Et blindesyn som kan bidra til at blinde kan navigere, trene og være aktive på egenhånd.

Referanser

1. Vladišauskas A. & Jakevičius L. [2004] *Absorption of ultrasonic waves in air*, Baršauskas Ultrasound Institute Kaunas University of Technology, ULTRAGARSAS, Nr.1 (50).
2. Young, H.D. & Freedman, R. A. [2012], *University Physics*, Addison-Wesley
3. White, F. M. [2008], *Fluid Mechanics*, McGraw-Hill
4. Kocis, S. & Figuera, Z. [1996], *Ultrasonic Measurements and Technologies*, Sensor Physics and Technology, Chapman and Hall
5. NDT Resource Center, *Radiated Fields of Ultrasonic Transducers*, www.nde-ed.org, hentet 04.01.2017
6. ASTM F2070 - 00(2011), (American Society for Testing and Materials), www.astm.org hentet 21.01.2017
7. Egeland, O. & Gravdahl, J.T. [2002] *Modeling and Simulation for Automatic Control*, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim Norway, hentet 15.12.2016
8. Ifearxhor E. C. & jervis B. W. [2002], *Digital Signal Processing*, Prentice hall
9. Nocedal, J. & Wright, S. J. [2006], *Numerical Optimization*, Springer
10. Valmot. O. R. [mai 3. 2015], *Ultral lyd er en norsk spesialitet. Slik fungerer det*, teknisk ukeblad, <http://www.tu.no/artikler/industri-ultral lyd-er-en-norsk-spesialitet-slik-fungerer-det-egentlig/223463>, hentet 11.11.2016
11. Knapp A.[feb. 23. 2013], *This suit gives you a real life spider-sense*, <http://www.forbes.com/sites/alexknapp/2013/02/23/prototype-suit-gives-you-real-life-spider-sense/#2e8be677f2d9>, hentet 04.01.2017
12. Mateevitsi V., *Victor Mateevitsi Home page*, <http://www.vmateevitsi.com/2013/02/22/sensing-the-environment-through-spidersense/>, hentet 04.01.2017
13. Haugan, I. [nov. 9 2016], *Vil hjelpe blinde å "se" ved hjelp av lyd*, <http://gemini.no/2016/11/hjelpe-blinde-a-se-hjelp-lyd/>, hentet 17.12.2016
14. Norges Blindeforbund. Synshemmedes organisasjon. <https://www.blindeforbundet.no/rad-tips-og-rettigheter/mosjon-trening-og-idrett>, hentet 13.01.2017

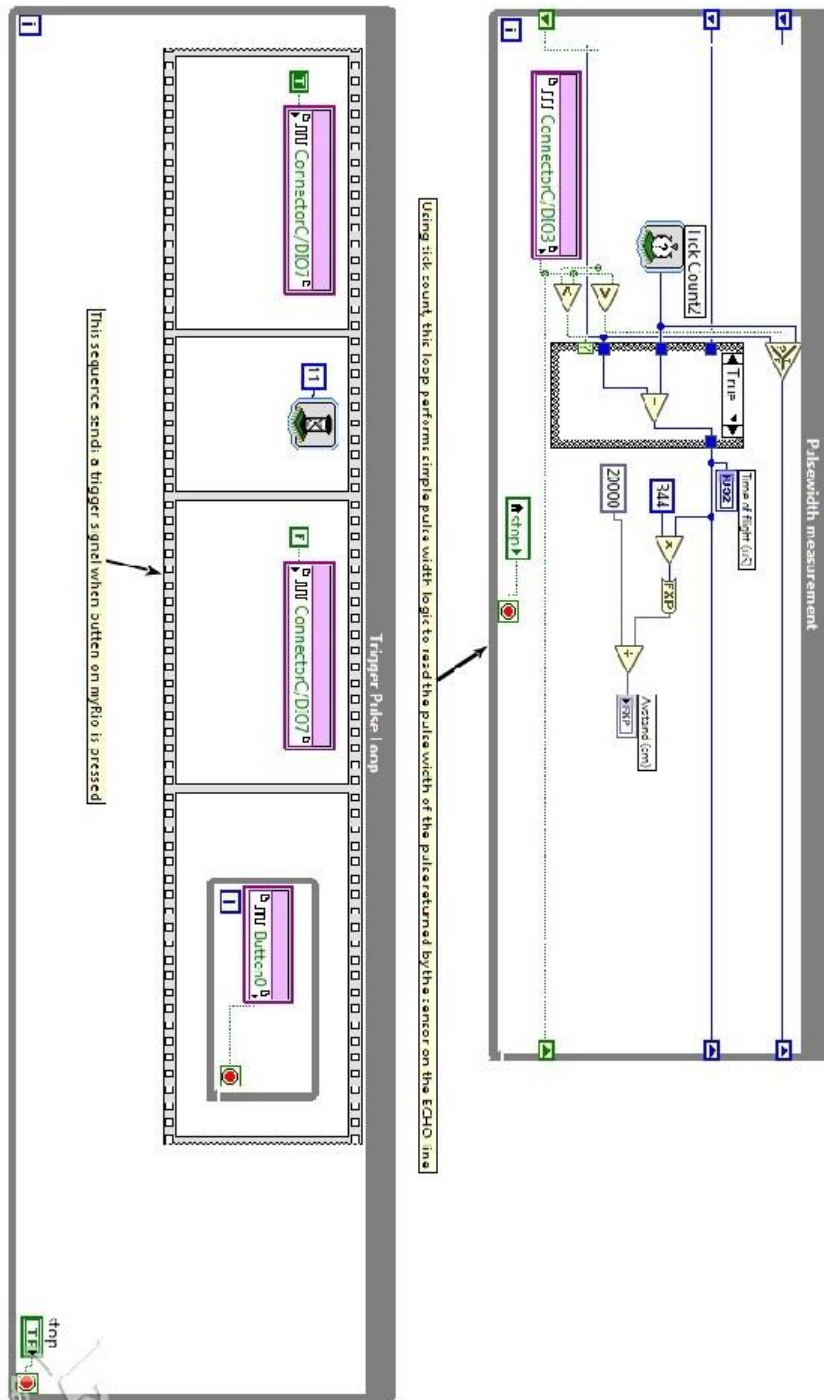
15. Greenemeier, L. [2008] *A Positioning System That Goes Where GPS Can't*, *Scientific American*
16. Jones G. (2005). "Echolocation". *Current Biology*. 15 (13): 484–488.
17. Isaksen, K. & A. Lie, M. Flåten, K. Bøhn. Zoologi.no,
(<http://www.zoologi.no/flaggermus/ekkolokalisering/#ekko>). Hentet 24.01.2017
18. New electronics, <http://www.newelectronics.co.uk/electronics-technology/an-introduction-to-ultrasonic-sensors-for-vehicle-parking/24966/>. Hentet 30.01.2017
19. Simmers, L. & Simmers-Nartker, K. & Simmers-Kobelak, S. (2009). *Diversified Health Occupations: Seventh Edition*. Clifton Park, NY: Delmar Cengage Learning Academic Resource Center.
20. Weaver, M. (2009-09-25). "G20 protesters blasted by sonic cannon". *The Guardian*. London. Hentet 30.01.2017
21. Robot store HK, <http://www.robotstorehk.com/6500.pdf>, Hentet 21.01.2017
22. Electronic Components Datasheet Search, <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/236686/ETC2/400ST/R12B.html>, Hentet 21.01.2017
23. Moura, J.M.F. (2009). "What is signal processing?, President's Message". *IEEE Signal Processing Magazine*. **26** (6)
24. Dauphine Universitet of Paris,
<https://www.ceremade.dauphine.fr/~peyre/teaching/wavelets/tp3.html>, Hentet 30.01.2017
25. Endress + Hauser, <http://www.no.endress.com/no/skreddersom-tilpasset-felt-instrumentering/niv%C3%A5-kontinuerlig-niv%C3%A5bryter->, Hentet 30.01.2017
26. North Western University,
<http://www.qrg.northwestern.edu/projects/vss/docs/communications/3-what-is-the-doppler-effect.html>, Hentet 30.01.2017
27. Van Holsbeke C. , Daemen A., Yazbek J. ,Holland T.K. ,Bourne T., Mesens T., Lannoo L. , Boes A.-S. ,Joos A. ,Van De Vijver A., Roggen N., de Moor B., de Jonge E.,Testa A.C., Valentin L., Jurkovic D., Timmerman D., Ultrasound Experience Substantially Impacts on Diagnostic Performance and Confidence when Adnexal Masses Are Classified Using Pattern Recognition,
<http://www.karger.com/Article/Abstract/265012>, Hentet 30.01.2017
28. Radar Tutorial, <http://www.radartutorial.eu/index.html>, Hentet 30.01.2017

29. Chung, J. Y. & Blaser, D. A. (1998), *Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties*, The Journal of the Acoustical Society of America
30. National Instruments hjemmeside, LabVIEW, <http://norway.ni.com/labview>, Hentet 05.12.2016

Vedlegg

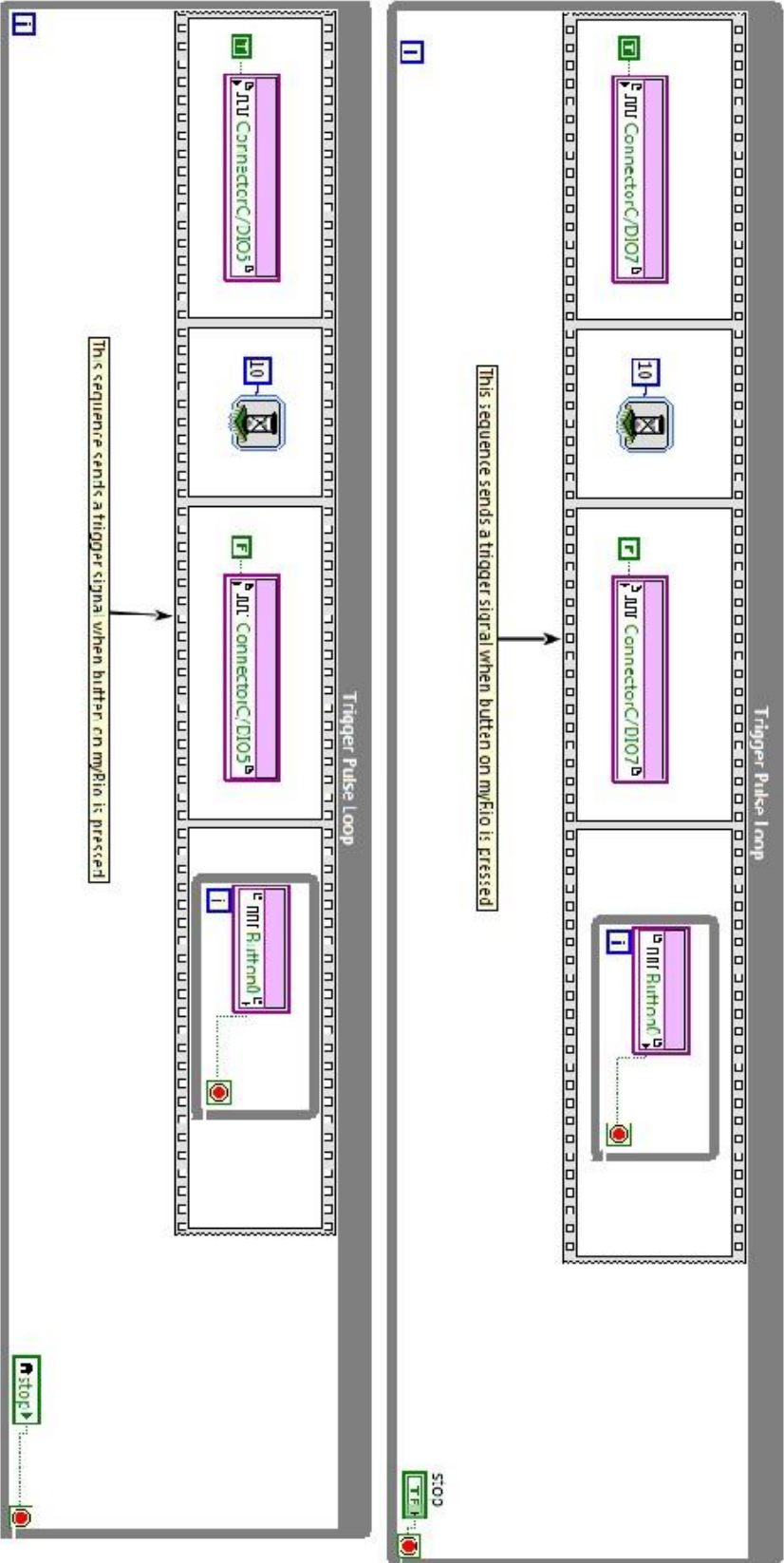
A.

Blokkdiagram én sensor, trigger- og mottaksdel



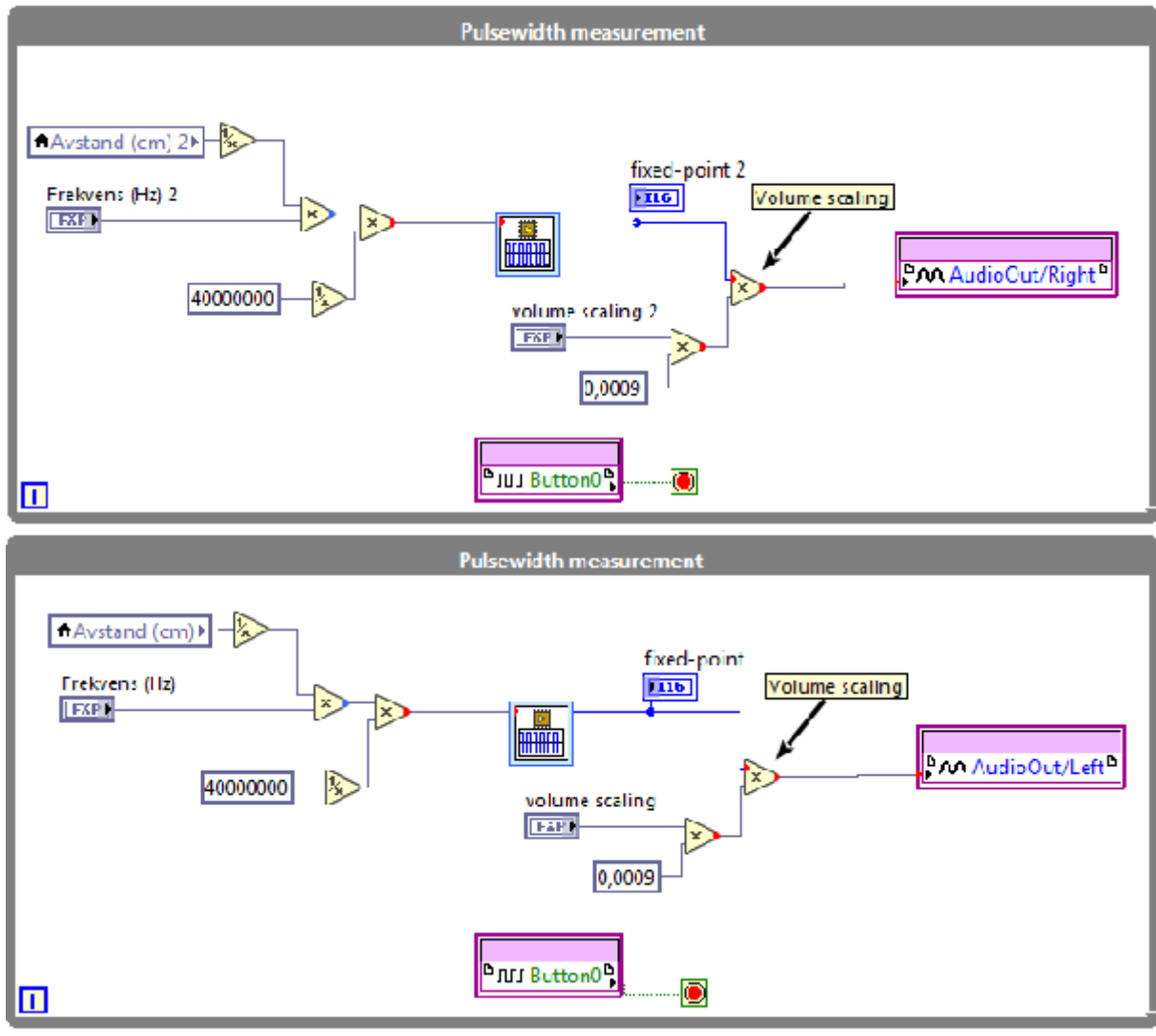
B.

Blokkdiagram av triggerdel med to sensorer



C.

Blokkdiagram av lyddel for to sensorer



D.

Vedlagte filer

- HCSR04-datasheet
- MyRIO user guide and specifications
- Masterprosjekt, prosjektfil for LabVIEW
- En sensor – kontinuerlig, LabVIEW blokkdiagram
- En sensor - trykk knapp, LabVIEW blokkdiagram
- To Sensorer – kontinuerlig, LabVIEW blokkdiagram
- To Sensorer - trykk knapp, LabVIEW blokkdiagram