

Colorophone challenge

Teknisk rapport
NTNU Iver Leirvik
Trondheim, vår 2023

KANDIDATER (etternavn, fornavn):

Leirvik, Iver

DATO:	FAGKODE:	SIDER/BILAG:	BIBL. NR.:
27.03.23	IELET2112	23 / 8	N/A

FAGLÆRER(E):

Navn

Dominik Osinski

Dag R. Hjelme**TITTEL:**

Colorophone challenge

SAMMENDRAG:

Dette prosjektet går ut på å sammenligne to sensorer som har som hensikt å brukes i et system som synshjelp for blinde. De blir vurdert på flere punkter som er gått gjennom i teorien. Til slutt blir det dratt en konklusjon om hvilken som egner seg best.

Innhold

1	Introduksjon	4
2	Teori	5
2.1	Sensorkarakteristikker	5
2.2	Triangulering	5
2.3	Time-of-flight	7
2.4	Interpolering	8
3	Maskinvare	9
4	Programvare	11
5	Eksperimenter og resultater	12
5.1	Kalibrering	14
5.2	IR-sensor	14
5.3	Ultralydsensor	16
5.4	Hva gikk galt med målesystemet?	18
6	Konklusjon	20
6.1	Fordeler og ulemper	20
6.2	Hvorfor jeg valgte ultralydsensoren	20
7	Tilbakemeldinger	21
7.1	Hva har vi lært?	21
7.2	Forslag til prosjektendringer	21
8	Vedlegg	23

1 Introduksjon

Prosjektet handler om å bestemme seg for den riktig avstandssensoren som skal brukes i et allerede utviklet system. Dette systemet har som hensikt å være synshjelp for blinde. Det bærer navnet "colorphone". Ved å ta i bruk kunnskapen man har lært fra forelesninger og labtimer skal man konstruere to systemer, for deretter å bedømme dem opp mot hverandre.

2 Teori

2.1 Sensorkarakteristikker

Sensitivitet

Sensitivitet er et mål på hvor raskt en forandring vil forplante seg i den karakteristiske kurven til en sensor. Man kan definere den på forskjellige måter ved å for eksempel holde inngangen eller utgangen konstant. I dette prosjektet vil sensitiviteten bli definert som stigningen til den karakteristisk kurven fra kalibreringen.

$$\text{Sensitivitet} = \frac{d\text{Karakteristikk}(x)}{dx} = \frac{dy}{dx} \quad (1)$$

Dødgang

Dødgang handler om hvor stor forandring som må til på inngangen før man får en reaksjon på utgangen.

Ikke-linearitet

Ikke-linearitet beskriver hvordan kalibreringskurven avviker fra en lineær kurve basert på minste-kvadraters-metode av dens egne datapunkter. IN er y-verdien av det punktet som avviker mest fra den ideelle kurven. Y er verdien av den ideelle kurven ved x-verdien til punktet som avviker mest fra den ideelle kurven.

$$Din(max) = y - IN \quad (2)$$

$$\text{Nonlinearity}(\%) = \frac{Din(max)}{IN} \cdot 100 \quad (3)$$

Hysterese

Hysterese er en egenskap en sensor kan ha når verdien av et datapunkt er forskjellig basert på retningen den er målt. I dette tilfelle handler det om at man går fra kort til lang avstand og fra lang til kort avstand. Dette er noe man må kompensere for.

I dette prosjektet blir det brukt to forskjellige sensor teknologier. Metodene bak disse er kalt triangulering og Time-of-flight(TOF). De kan begge brukes for avstandsmåling, men har begge positive og negative sider ved seg.

2.2 Triangulering

Triangulering er optisk avstandsmåling. Man benytter det elektromagnetiske spekteret. Ved hjelp av geometri og en konstant kan man finne avstand. Mellom lyskilden og mottakeren er det en fast lengde Lb. Lyset som mottas av mottakeren vil ha en vinkel på grunn av

avstanden Lb. Dette skaper en trekant som man kan ta utgangspunkt i. Lyskilden i dette prosjektet er en lys emitterende diode (LED). Dette er en halvlederkomponent som er polarisert og frigir energi gjennom lys. Polarisiert betyr at strømmen gjennom komponenten kun kan gå en vei. Mottakeren er en også basert på lignende halvlederteknologi. Det er en fotodiode. I motsetning til LED, så tar fotodioden inn energi utenfra kretsen gjennom lys. Mer lys fører til at mer strøm kan gå gjennom dioden. Den er også polarisert som LED. Mer spesefikt er mottakeren i IR-sensoren en Posisjons Sensitiv Detektor(PSD). Dette er en type fotodiode der man kan vite posisjonen lyset treffer sensoren basert på at resistansen forandrer seg med posisjonen.

Lb Fastsatt distanse mellom lyskilde og mottaker.

f Distanse mellom linse og mottaker.

L Distansen man er ute etter. Avstand mellom sensor og objekt.

x Posisjonen hvor lyset treffer på PSD.

$$\frac{f}{x} = \tan \alpha \quad (4)$$

$$L = Lb \tan \alpha \quad (5)$$

$$x(L) = \frac{Lb \cdot f}{L} \quad (6)$$

Nøyaktighet:

$$\frac{dx}{dL} = -\frac{f \cdot Lb}{L^2} = -\frac{x}{L} \quad (7)$$

Observasjon: Sensitivitet avtar med avstand

Feilkilder

Denne type sensor er avhengig av at objektene man måler avstand til reflekterer diffust. Det betyr at lyset sprer seg utover når det treffer atomer og molekyler og dermed kan treffe PSD'en. En annen type feilkilde handler om bakgrunnsbelysning. Denne type sensor er avhengig av lys. Man kan få forstyrrelser fra andre kilder enn tiltenkt. Dette fører til feilmåling. Temperatur kan påvirke ulike komponenter på sensoren. Den påvirker PSD, LED og ikke minst den mekaniske konstruksjonen.

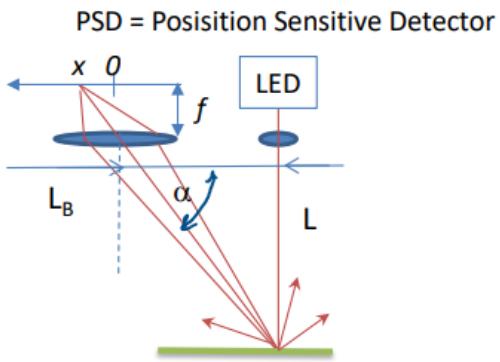


Figure 1: Bildet beskriver hvordan en IR-sensor og triangulering fungerer. Hentet fra forelesningsnotat "Avstandsmåling" av Dag R. Hjelme.

2.3 Time-of-flight

Time-of-flight(TOF) er en metode for å finne avstanden til et objekt. I dette prosjektet er det en ultralydsensor. Det vil si at den bruker luften som medium til å sende bølger gjennom. For å finne avstanden måler man hvor lang tid luftbølger/lyd bruker på å treffe et objekt og reflektere det tilbake igjen. Med bakgrunn i at man omtrent vet lydhastigheten kan man beregne distansen. For å kunne sende ut og motta ultralydbølger kan man bruke en piezoelektrisk ultralydtransducer. Den benytter seg av piezoelektrisitet. Det går ut på at når krystaller deformeres vil det oppstå en spenning. I dette prosjektet kan man se på luftbølgene som treffer krystallene som deformende og vil skape en spenning. Den motsatte effekten kalles resiprok piezoelektrisitet. På den måten kan man sende ut luftbølgene/ultralyd.

F0 Frekvens

T Periode

Bølgelengde A0

$$T = \frac{1}{f_0} \quad (8)$$

$$A_0 = \frac{V_s}{F_0} \quad (9)$$

$$\frac{dx}{dL} = -\frac{f \cdot L_b}{L^2} = -\frac{x}{L} \quad (10)$$

Målefeil:

$$\Delta L = L \cdot \frac{\Delta V_s}{V_s} \quad (11)$$

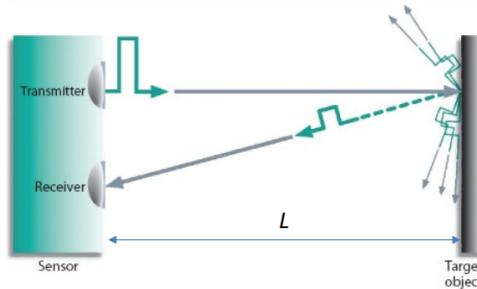


Figure 2: Bildet beskriver hvordan Time-of-flight fungerer. Hentet fra forelesningsnotat "Avstandsmåling" av Dag R. Hjelme.

Feilkilder

Ultralydsensorer er også ikke uten feilkilder. For det første så må man tenke på stråleutbredelse. Dette kan man dele inn i to kategorier, diffraksjon og absorpsjon. Diffraksjon går ut på hvordan strålen utbrer seg i rommet. Det andre er absorpsjon. Signalet blir svakere med økning i frekvens og avstand til måleobjekt. Lydhastigheten er luftfuktighet-og temperaturavhengig. Mediumet lyden/ultralyden beveger seg i kan forandre egenskaper. I en enkel sensor som man bruker i dette prosjektet benytter man lydhastigheten som en konstant. Det fører til at man kan få feilmåling når forholdene forandrer seg.

2.4 Interpolering

Interpolering handler om å finne verdier mellom punkter/data som allerede er kjent.

Lineær

Lineær interpolering går ut på at man tar to punkter som allerede er kjent og konstruerer en lineær linje mellom dem.

$$y = ya + (yb - ya) \frac{x - xa}{y - ya} \quad (12)$$

Spline

Spline interpolering er noe likt som lineær interpolering fordi den konstruerer også en funksjon mellom de to kjente punktene. Denne funksjonen er en sammensetning av polynomiale. Det som er differensierer polynomialske interpolering og spline er at spline benytter seg av lavgrads polynomiale og velger verdier slik at disse passer sammen.

For å finne spline interpolering benytter man seg av en algoritme som er mer kompleks og arbeidsom enn den lineære interpoleringen vist ovenfor. Jeg legger ved en lenke til et eksempel av hvordan man kan gå frem.

3 Maskinvare

Maskinvaren i dette prosjektet er ikke komplisert. Det behøves kun standardkomponenter som følger med i "lab in a bag". De spesifike komponentene er labview myDAQ, medfølgende sparkfun brødbrett, fem ledninger og begge sensorene. Den første sensoren, en infrarødsensor GP2Y0A02YK0F Sharp. Den andre en sonisksensor av serien Lv-MaxSonar. Til slutt må man ha en USB-A til USB-B kabel.

Fremgangsmåte for å konstruere målingsoppsett for sonisk sensor:

1. Koble sammen myDAQ og brødbreddet.
2. Sett den soniske sensoren (den minste av de to, med åpent utlegg og sylinder) på brødbrettet.
3. Koble to ledninger til en av jordingsbanene. Disse skal så kobles til headerpinnene AGND og 0- på AI (Analog Input).
4. Koble nå en ledning fra jordingsplanet til pinnen på IR-sensoren som er nærmest hullet. Dette er GND på sensoren (Hvis usikker sjekk undersiden, der er det merket).
5. Koblingspunktet over GND er +5. Dette er spenningstilførspunktet til sensoren. Den skal kobles helt øverst på 5V på headerpinnen utenfor brødbrettet.
6. Til slutt kommer utgangen. Den skal kobles fra Ain på sensor, som er punkt nummer fem, hvis GND er nummer 1 (Se skjema eller undersiden av sensoren hvis uforståelig). Mot MyDAQen skal dette punktet kobles til 0+ på AI.

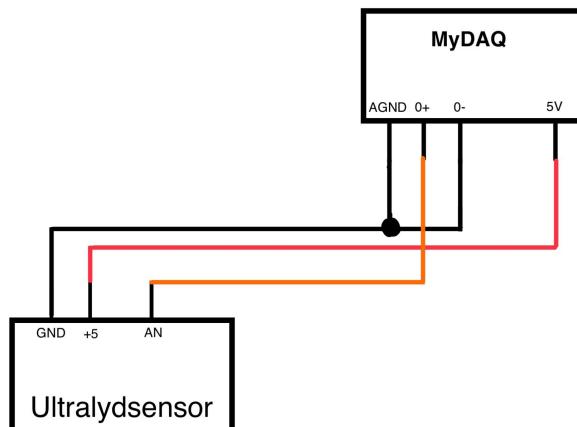


Figure 3: Oppsettet for ultralydsensoren.

Fremgangsmåte for å konstruere måleoppsettet for IR-sensor:

1. Følg fremgangsmåte for sonisk sensor, men fjern sensoren og bytt den ut med IR-sensor.
2. Koble Vo (koblingspunkt en i datablad) til der AN var.
3. Koble koble GND (koblingspunkt to i datablad) til der GND var.
4. Til slutt, koble Vcc (koblingspunkt tre) til der +5 var.

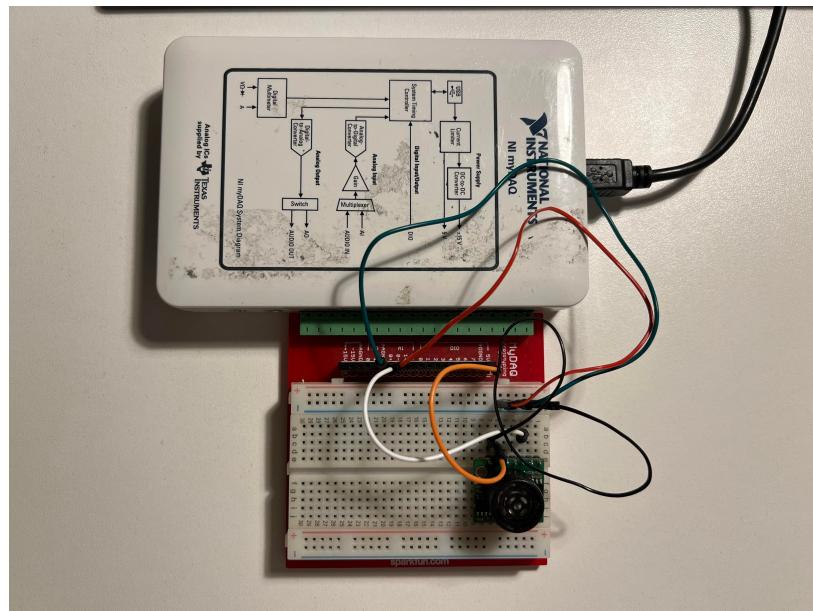


Figure 4: Bilde av det reelle oppsettet til ultralydsensoren.

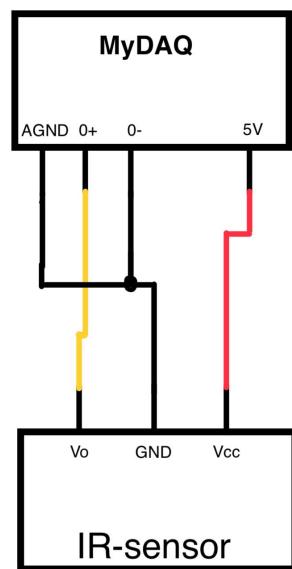


Figure 5: Oppsettet for IR-sensor.

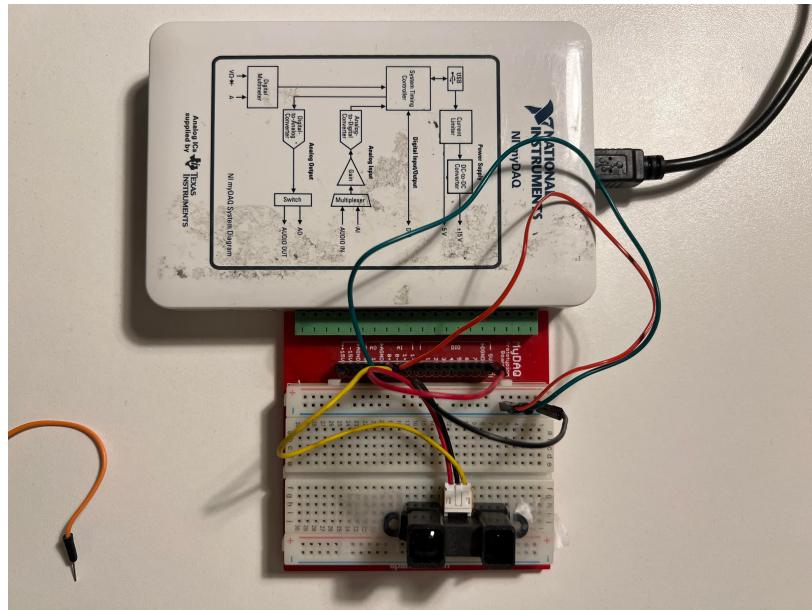


Figure 6: Bilde av det reelle oppsettet til IR-sensoren.

4 Programvare

Programmet er basert på "proximity senors" fra labtime fire. Store deler av programmet er det samme. De største forandringene er under case "Measure". Den første forandringen som ble gjort var å bytte ut det simulerte signalet med det reelle fra myDAQ. Den andre forandringen jeg gjorde var å legge til funksjonen som skriver til fil. Den tredje og siste funksjonen var en alarm. Den hadde som oppgave å vise en "pop-up" melding hver gang distansen var under 50cm.

Hvordan fungerer programmet?

Programmet er basert på en tilstandsmaskin. Denne muliggjør å dele programmet i oversiktlige deler. F. eks så starter programmet i en case kalt "initialisering". Her kan man renske grafer, initialisere verdier og lage filer som blir brukt senere i programmet. Den neste tilstanden/case er den man alltid returnerer til. Man kan sammenligne den med en lobby i et spill eller på et hotell. Neste steget er kalibreringen. Her kan programmet tilpasses til mange ulike sensorer, slik i dette prosjektet. Begge sensorene kan benytte seg av det samme programmet. Man kan legge inn kalibreringsdata manuelt eller laste opp filer. Man kan også velge mellom ulike interpoleringsfunksjoner som spline eller lineær. "Measure"-tilstanden baserer seg grunnleggende på å hente inn data fra myDAQ. Dette blir så filtrert, interpolert og vist frem i brukergrensesnittet etter flere av disse stadiene. Til slutt blir den ferdige avstanden brukt til å bestemme om alarmen skal gå av eller ikke. Videre kommer to tilstander som til sammenligning er enklere. Den første er "Save"-tilstanden. Den gjør ingenting annet å vise til hvilken fil programmet har skrevet til. Den siste tilstanden er "Stop"-tilstanden. Den stopper og bryter ut av hele programmet.

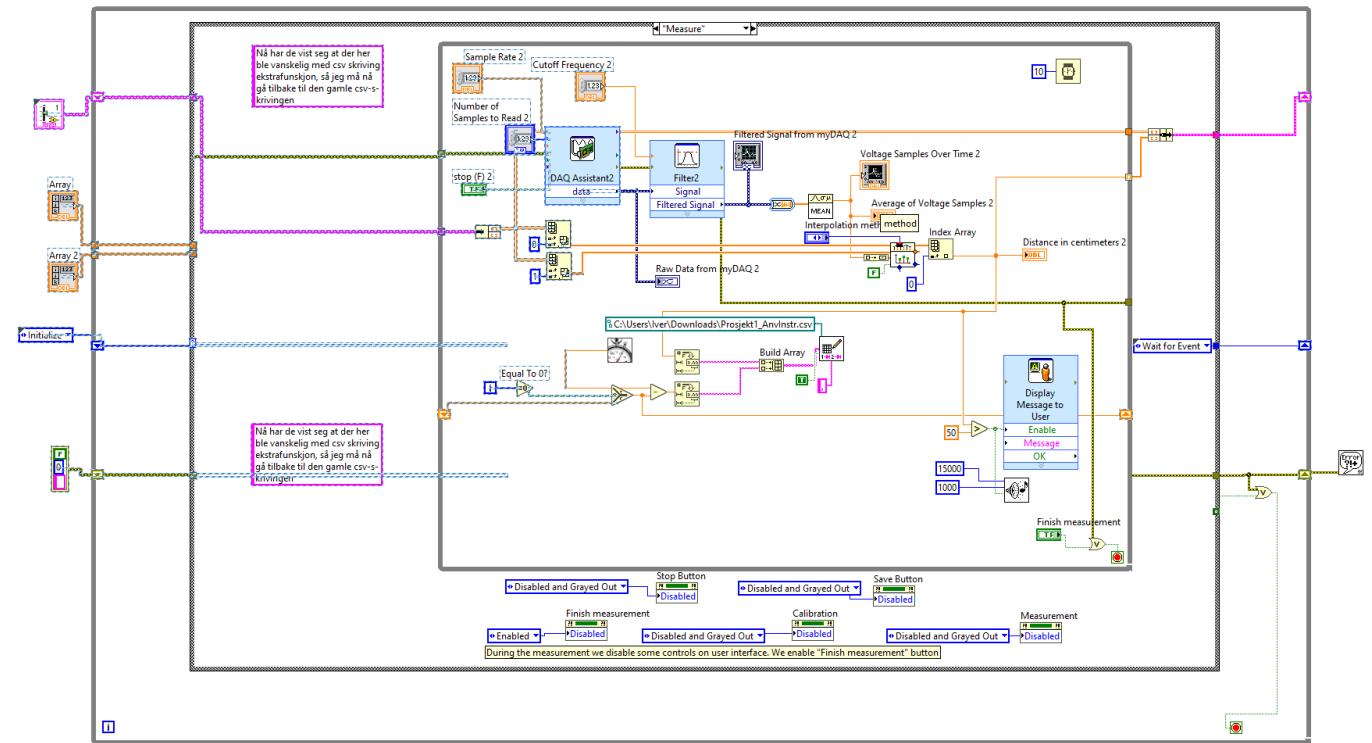


Figure 7: "Measure"-tilstanden i programvaren. Det er her de fleste forandringene er gjort. Her kan man se filskriver, alarm og prosessering av signal.

5 Eksperimenter og resultater



Figure 8: Første måleobjekt: Pizzaeske. Den har stor overflate og er flat. Fungerer meget godt med begge sensorene.



Figure 9: Andre måleobjekt: Colaflaske. Transparent, rund og liten målbar overflate.

5.1 Kalibrering

Manuell kalibrering med målestokk ble utført på begge sensorene. fra 5cm til 60cm. Vedlagt ligger kalibreringsinformasjonen.

5.2 IR-sensor

Sensitivitet

Sensorkalibreringen gir følgende karakteristikk:

$$y = 7 \cdot 10^{-8} \cdot x^5 - 1 \cdot 10^{-5} \cdot x^4 + 0.0011 \cdot x^3 - 0.0418 \cdot x^2 + 0.6648 \cdot x - 1.2647 \quad (13)$$

Sensitiviteten blir dermed:

$$\frac{dy}{dx} = 4 \cdot 10^{-7} \cdot x^5 - 2 \cdot 10^{-4} \cdot x^4 + 0.0033 \cdot x^2 - 0.0836 \cdot x + 0.6648 \quad (14)$$

Som man kan se så er ikke karakteristikken lineær. Det fører til at sensitiviteten varierer med posisjonen(avstanden) man måler.

Dødgang

Dødgang ble ikke observert. Hvis det er dødgang så er den minimal. Dette er derimot vanskelig å måle med en målestokk. På bildet "IR_hysterese_prosjekt2.png" (bildet under) så kan man se at det heller ikke ble oppfattet noen dødgang.

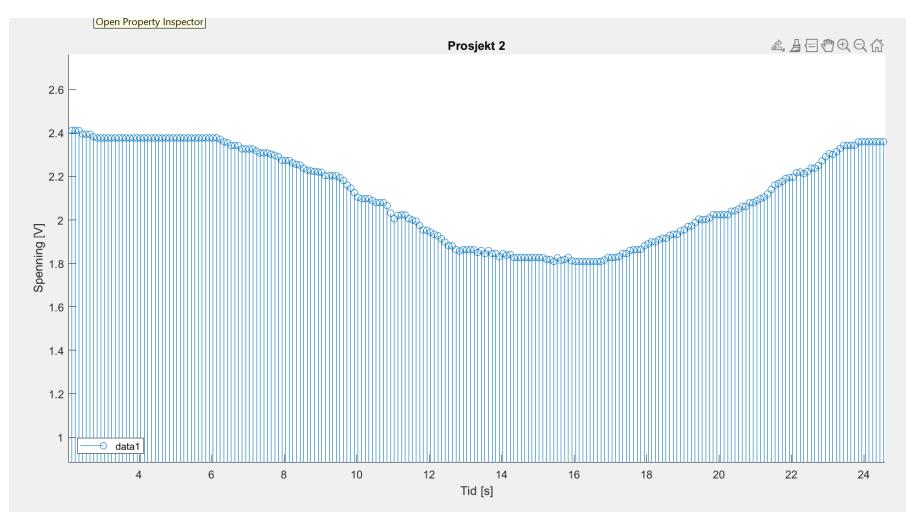


Figure 10: Datapunkter hentet inn i sammenheng på å finne hysterese. De viste seg også brukbare for å demonstrere dødgang i sensorene.

Ikke-linearitet

Når det kommer til ikke-linearitet på IR-sensoren kan man ta utgangspunkt i to alternativer. Siden sensoren sin rekkevidde starter på 15cm kan man velge å utelate denne, og dermed få betraktelig mer linearitet. Jeg har valgt å inkludere alle datapunktene for å understreke forskjellene mellom sensorene.

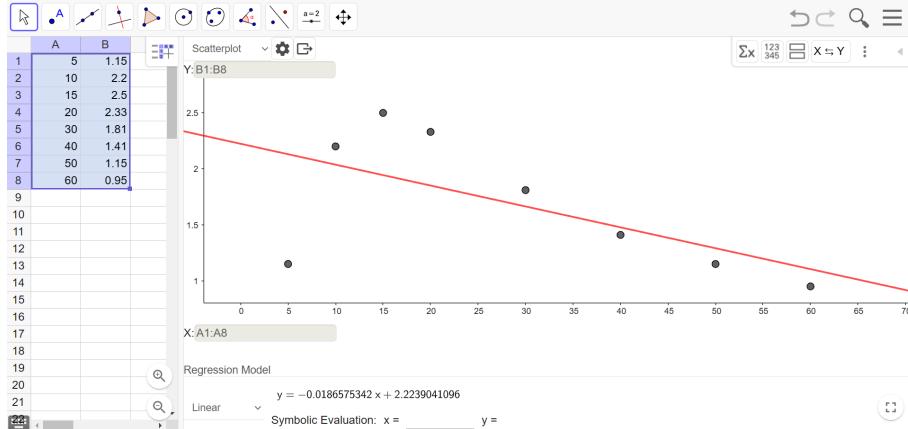


Figure 11: Skjermbilde av geogebra der det blir utført lineær regresjon av kalibreringsdataen til IR-sensoren.

Lineær regresjon av alle datapunktene i geogebra gir denne funksjonen:

$$y = -0.0187 \cdot x + 2.2239 \quad (15)$$

Det mest avvikende punktet i datasettet er det første $x = 5\text{cm}$.

$$y(5) = 2.1304 \quad (16)$$

$$Din(max) = y - IN = 2.1304 - 1.15 = 0.9804 \quad (17)$$

$$\text{Nonlinearity}(\%) = \frac{Din(max)}{IN} \cdot 100 = \frac{0.9804}{1.15} \cdot 100 = 85.25\% \quad (18)$$

Hysterese

På bildet "IR_hysterese_prosjekt2.png" er det ingen tegn til hysterese. Karakteristikken ser ut til å være den samme i begge veier. Det ble også målt en runde til. Fra 20cm til 24cm og fra 28cm til 24cm. Brukgrensesnittet viste den samme verdien i begge tilfellene.

Sweeping zone

IR-sensoren fungerer ikke utenfor kortssiden, men på langsiden kan sensoren detektere 5cm

fra kanten.

Lysforhold

Sensoren ser ikke ut til å la seg påvirke stort av lysforhold. Den har blitt testet i et rom med alt lys skrudd av, og alt lys skrudd på. Det var ingen merkbar forskjell mellom disse situasjonene. Man har forøvrig ikke prøvd med sollys.

Måleobjek/hinder

Sensoren oppfatter ikke alle objekter like godt, så man må ha flate objekter med en viss størrelse. Den klarte alle større objekter som pizzaesker, "lab in a bag"-boks og ipad. Den slet derimot med mindre objekter som bunnen av en colaflaske.

Dette kan være på grunn av flere faktorer, som størrelse, formasjon, men ikke minst tansparens til materiale. IR fungerer ved hjelp av refleksjon av lys. Flaskens gjennomsiktighet kan være en dårlig overlafte til å reflektere lys.

5.3 Ultralydsensor

Sensitivitet

Sensorkalibreringen gir følgende karakteristikk:

$$y = 0.0027 \cdot x + 0.0289 \quad (19)$$

Sensitiviteten blir dermed:

$$\frac{dy}{dx} = 0.0027 \quad (20)$$

Karakteristikken fra kalibreringen av sensoren viser at den er lineær. Det stemmer med databladet som oppgir at ved bruk av AIN-pinnen vil man få 9.14mV/inch. Sensitiviteten for denne sensoren er derfor konstant, og uavhengig av distanse.

Dødgang

Denne sensoren har faktisk dødgang. Det var ikke innlysende at dette er tilfelle under kalibreringen, men når målingen for mulig hysterese ble gjennomført ble det klart. Se bildet "Sonar_hystereseprosjekt2.png". Her kan man helt klart se at det er dødgang. Det ble observert en økning i spennig etter en økning i distanse med 4cm. **Legg inn bilde her**

Ikke-linearitet

Datapunktene fra kalibreringen gir funksjonen:

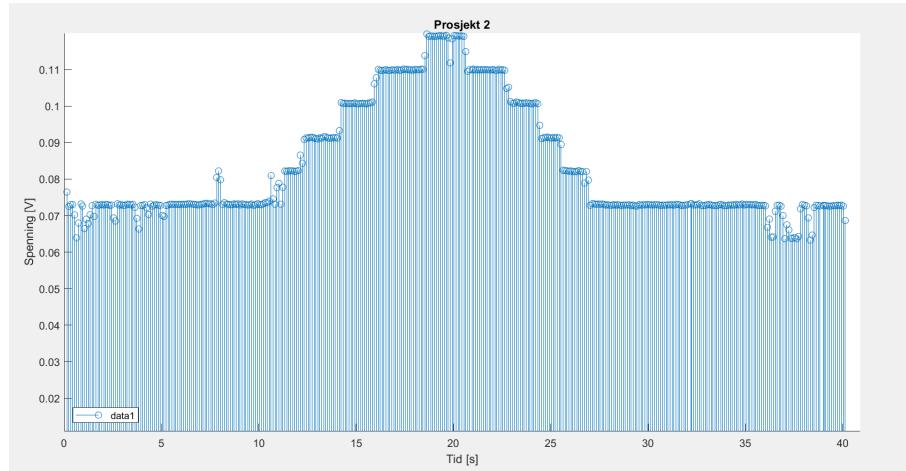


Figure 12: Dette bildet hadde også som formål å måle hysterese, men viste seg veldig godt til å vise dødgang i ultralydsensoren.

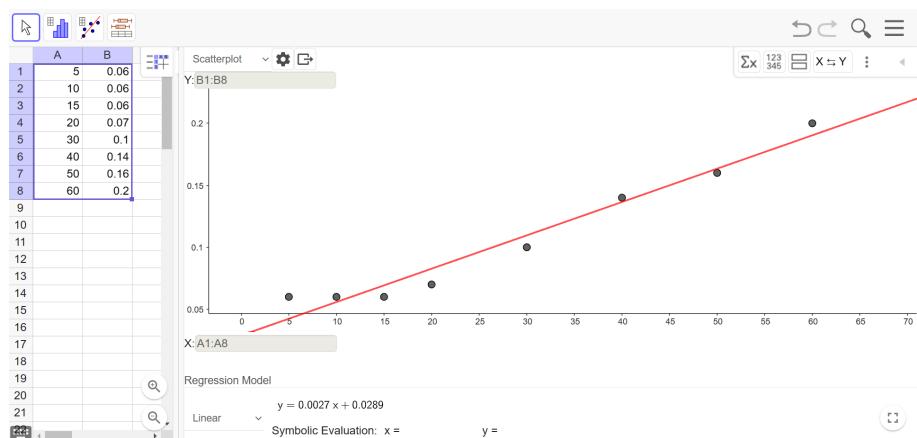


Figure 13: Regresjons av kalibreringspunktene til ultralydsensoren.

$$y = 0.0027 \cdot x + 0.0289 \quad (21)$$

Det mest avvikende punktet i datasettet er $x = 20\text{cm}$.

$$y(20) = 0.00829 \quad (22)$$

$$Din(max) = y - IN = 0.0829 - 0.07 = 0.0129 \quad (23)$$

$$\text{Nonlinearity}(\%) = \frac{Din(max)}{IN} \cdot 100 = \frac{0.0129}{0.07} \cdot 100 = 18.43\% \quad (24)$$

Hysterese

Det er ingen tegn til hysterese. Det ble målt fra 20cm til 24cm og fra 28 til 24cm. Det var ingen forskjell i brukergrensesnittet.

Sweeping zone

Ultralydsensoren er mindre påvirket utenfor det fysiske området av sensoren selv, men ved større distanse/avstand/høyde blir denne sensoren mer påvirket enn IR-sensoren. Dette samsvarer med databladet til sensoren (Se under "beam pattern").

Lysforhold

Sensoren blir ikke påvirket av lys. Dette gir mening med tanke på hva slags sensor dette er. Den benytter seg ikke av det elektromagnetiske spekteret, men av lufttrykk.

Objekter/hinder

Denne sensoren fungerer hovedsaklig likt som den forrige sensoren, men med et unntak. Sensoren fungerer bedre på bunnen av colaflasken. Dette tenker jeg kommer av at sensoren ikke er avhengig av objektets transparens siden den fungerer med lufttrykk.

5.4 Hva gikk galt med målesystemet?

Da all funksjonaliteten var lagt til og programvaren var komplett oppstod det feilmeldinger(error 200279). Det gikk ut på at en buffer fylles opp og man får overskrivingsfeil. I feilsøkingsprosessen sjekket jeg først ut forskjellen mellom program med og uten alarm. Resultatet viste at uten alarm ikke kræsjet. Dette fikk meg til å tenke programmet brukte lengre tid på å kjøre en while-løkke. Etter dette prøvde jeg å sette sample rate og number of samples til det samme tallet. Da kræsjet ikke programmet, men den brukte lang tid på hver runde i while-løkka og hadde stor forsinkelse mellom fysisk reaksjon og vist i grensesnittet.

Jeg tenker at alarmfunksjonen skaper en treghet i programvaren slik at datamaskinen må

bukre den inkomne dataen fra myDAQ. Siden man leser færre samples enn man henter inn vil bufferet bygge seg opp helt til man får overflytsfeil.

Denne refleksjonen kom på slutten av prosjektet, så løsningen ble å lese like fort som man sampler, og leve med en overkommelig treghet i systemet.

Skulle jeg derimot gjort prosjektet på nytt ville jeg prøvd å kvitte meg med overflytsfeilen helt. Den første forandringen jeg ville gjort er å konstruere alarmen på en annen måte. Man kunne brukt et lys i brukergrenssnittet eller på brødbrettet. Dette ville hindret programmet i å stoppe opp mens man venter på at brukeren skal trykke på "pop-up'en". Den andre forandringen jeg ville forsøkt meg på er å legge filskriverfunksjonen inn i "Save"-tilstanden. Dette for å se om man kan spare tid på å ikke skrive til en fil for hver runde, men heller til en array.

6 Konklusjon

6.1 Fordeler og ulemper

Sensorene oppfører seg likt, men det er noen forskjeller. Det første er linearitet i karakteristikk. Ultralydsensoren har lineærkarakteristikk, men det har ikke IR-sensoren. Fordelen med dette er at sensitiviteten forblir det samme uansett målt distanse. Den andre forskjellen er karakteristikk ved lengre avstand. IR-sensoren måler innen for et mindre området som er likt for alle avstander. Ultralydsensoren på sin side måler innen for et større område som øker med avstand. Dette kan være både positivt og negativt, avhengig av bruksområde og kompromiss. IR-sensoren kan brukes til nøyaktigere oppgaver. I dette prosjektet trenger ikke dette bety at IR-sensoren er bedre enn den ultrasoniske. Det er fordi et menneske som samhandler med objekter rundt seg kan ha nytte av at sensoren måler et større område. En egenskap som gjør ultralydsensoren mer egnet er at den ikke er avhengig av at objektene som måles reflekterer lys. Dette markerte seg spesielt i dette prosjektet siden et av måleobjektene var en colaflaske. Dette kan også vise seg i omsstendigheter med sollys, der bakgrunnsstøyen kan bli dominerende og fører til feilmåling.

6.2 Hvorfor jeg valgte ultralydsensoren

Hvis jeg skulle valgt en sensor for colorphone, ville jeg valgt ultralydsensoren. Med bakgrunn i forrige del ser det ut som at fordelene er flere enn ulempene. Den har stor rekkevidde og lineær karakteristikk. Dens uavhengighet fra lys som må reflekteres og bakgrunnstøy viste seg i resultatet. Den siste egenskapen som differensierer sensorene for meg er hvordan de fungerer ved stor avstand. For min del ville jeg ønsket en sensor som kan oppfatte for mye, istedenfor en som kan oppfatte for lite. Man kan ha motsatt perspektiv hvis målet med colorphone er å tolke farge på et mindre område. Da kan IR-sensor være det riktige valget. Til slutt vil jeg påpeke at begge sensorene gjør en god jobb i å måle avstand, men at små forskjeller skiller dem ad og har derfor valgt ultralydsensor.

7 Tilbakemeldinger

7.1 Hva har vi lært?

I dette prosjektet har vi lært om to måter å måle avstand på og bygge tilhørende målesystem. Vi har lært om sensorkarakteristikker og hvordan man kan finne disse. Videre har vi lært om tilstandsmaskiner, kalibrering og interpolering.

7.2 Forslag til prosjektendringer

Dette prosjektet har jeg vært fornøyd med. Jeg har satt pris på at man lærer om de forskjellige sensorene, karakteristikker og hvordan man tar de i bruk. Det er morsomt å til slutt kunne komme til en konklusjon om hvilken passer best basert på all kunnskapen man har tilegnet seg i prosjektet.

References

- [1] [Nettsted for kjøp av IR-sensor](#). Hentet 30. Mars 2023.
- [2] [Datablad IR-sensor](#). RS-Online. Hentet 30. Mars 2023.
- [3] [Datablad Sonarsensor](#). RS-Online. Hentet 30. Mars Februar 2023.
- [4] [Sensorterminologi](#). National Instruments. Hentet 30. Mars 2023.
- [5] [Feilmelding LabVIEW program: Error -200279](#). National Instruments. Hentet 30. Mars 2023.
- [6] [Interpolasjon](#). SNL. Hentet 30. Mars 2023.
- [7] [Piezoelektrisitet](#). SNL. Hentet 30. Mars 2023.
- [8] [Spline interpolasjon](#). Wikipedia. Hentet 30. Mars 2023.
- [9] [Interpolasjonsmetoder](#). Wikipedia. Hentet 30. Mars 2023.
- [10] [Definisjon LED](#). SNL. Hentet 30. Mars 2023.
- [11] [Fotodiode](#). SNL. Hentet 30. Mars 2023.
- [12] [Lysspredning](#). SNL. Hentet 30. Mars 2023.
- [13] [Forelesninger av Dag Roar Hjelme \(kontaktside\)](#). NTNU. Hentet 30. Mars 2023.

8 Vedlegg

<https://github.com/iverleirvik/Prosjekt-2-Anvendt-instrumentering-V23.git>. Lenke til min githubside med tilhørende vedlegg og ressurser.