



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering:

Kybernetikk

Vår semesteret, 2009

Konfidensiell

Forfatter: Bjørnar Lingjerde Eriksen

.....
(signatur forfatter)

Faglig ansvarlig Trygve Eftestøl

Veileder(e): Torodd Buer

Tittel på masteroppgaven: Bruk av sonar for å bedre deteksjonssikkerhet og feilalarmrate i bassengovervåkningssystem

Engelsk tittel:

Utilizing sonar technology to improve detection rate in swimming pool surveillance system

Studiepoeng:

Emneord: Sonar, svømmebasseng, ekkodeteksjon, drukning, overvåkning, Davo AS, SwimEye

Sidetall: 97

Stavanger, 14.06.2009
dato/år

Bruk av sonar for å bedre deteksjonssikkerhet og feilalarmrate i bassengovervåkningssystem

Bjørnar Lingjerde Eriksen

15. juni 2009

Abstract

Davo AS delivers a system for surveillance of public swimming pools called SwimEyeTM. The system utilize digital cameras that are mounted near the bottom, in the walls of the swimming pool and are angled horizontally. The system will initialize an alarm sequence only if a person appear in a cameras field of view. If the person stops moving for a certain period of time, SwimEye alerts the swimming pool staff over radio.

Due to limitations caused by the nature of this type of optical detection, the system misinterpret some environmental factors in the swimming pool under certain circumstances. Such factors are reflected sunlight and shadows on the bottom of the pool, air bubbles and other pollution. Such misinterpretations by the system can produce false alarms.

The objective of this thesis has been to solve this problem by utilizing sonar technology to confirm the presence of a physical object in the area of detection. By utilizing the data provided by a sonar in combination with the information from the cameras, SwimEye will, in several situations, be able to confirm whether the camera sees a physical object of considerable size or just an air bubble or a shadow.

A simple, commercial available fishfinder was used to conduct experiments. The fishfinder is basically a small sonar system that emits an acoustic pulse through the water, which reflects back if the pulse encounters changes in mass density.

Detection of human beeings in the water has been made possible both by a direct and by an indirect detection method. The first method detects echoes from objects in the water by searching for reflections of the transmitted pulse in the data from the sonar. The other method monitors and detects changes in the signal level of a certain part of the reflected pulse.

The methods can be used together or separately. Direct detection works well under several circumstances but experiences problems in attempts to detect objects in close proximities to the walls, and in the areas more offset of the centre to the emitted pulse.

The indirect method is able to detect changes in the signal also under the circumstances where positive echo detection is not possible.

Considering the object of this thesis, "Can sonar technology be utilized in the detection of human beings in a swimming pool", one can in several situations, on the behalf of the results presented in this report, conclude that this is the case.

The results that underline this can be represented by a detection rate which is the number of positive detections of a test person. A 63% detection rate was achieved in the experiments that was designed to challenge the system. A 100% detection rate was achieved in the part of the experiments that focused on realistic positioning of the test person.

An implementation of this technology in SwimEye is considered a realistic goal, considering the results and experiences derived from this work. Although the challenges of such an implementation seems manageable, some factors need further consideration to ensure satisfiable results.

Sammendrag

Davo AS leverer i dag et overvåkningssystem for svømmebasseng som heter SwimEyeTM. Systemet består bl.a. av kameraer som er montert i bassengveggen, nær bunnen og som "ser" horisontalt inn i bassenget. Dersom en person nærmer seg bunnen og registreres i synsfeltet til et av kameraene, vil systemet gå inn i en alarmsekvens. Dersom personen kommer til ro og ikke rører på seg innen en bestemt tidsperiode, gir SwimEye alarm over radiosambandet som badevakten bærer på seg.

På grunn av at systemet i dag er begrenset til en optisk løsning, kan systemet under visse forhold tolke endrede lys/skyggeforhold, luftbobler eller andre forurensinger i vannet som mennesker. Systemet vil på bakgrunn av denne feiltolkningen gi en falsk alarm.

Denne oppgaven har hatt som mål å løse dette problemet ved å benytte en sonar til å bekrefte tilstedeværelsen av fysiske objekter av en viss størrelse, og ikke sol eller skygger, i deteksjonssonen. Ved å benytte en sonar i samspill med kameraene vil SwimEye på bakgrunn av informasjonen som dataene fra denne gir, i flere tilfeller kunne bekrefte eller avkrefte om det kameraet registrerer er et menneske eller ei.

Under arbeidet med oppgaven har et enkelt, kommersielt tilgjengelig ekkolodd blitt benyttet til å gjennomføre ulike forsøk i et svømmebasseng.

Et ekkolodd er et lite sonarsystem som sender ut en akustisk puls gjennom vannet som reflekteres tilbake dersom den møter på objekter med massetetthet som er forskjellig fra vannets.

Metoder for både direkte og indirekte objektverifikasjon har blitt utviklet. Førstnevnte metode detekterer ekko fra objekter i vannet ved å gjennomsøke datafilene etter refleksjoner av den utsendte pulsen. Den andre metoden detekterer kun tilstedeværelsen av mennesker i deteksjonssonen indirekte, ved å monitorere og registrere endringer i en begrenset seksjon av signalet.

Metodene kan benyttes samtidig eller hver for seg. Den direkte ekkodeteksjonsmetoden fungerer bra under mange omstendigheter, men får problemer med å skille mellom menneske og bassengvegg når avstanden mellom er liten.

Den indirekte metoden er veldig fintfølende og detekterer endringer i signalet også i de tilfellene hvor ikke den første metoden klarer å detektere objektet.

På bakgrunn av resultatene som er presentert i denne rapporten kan man, med forbehold, svare ja til problemstillingen, *Kan sonarteknologi benyttes til å detektere mennesker i et svømmebasseng?* Med utgangspunkt i erfaringene fra forsøkene og resultatene fra de etterfølgende dataanalysene, kan man konkludere med at ved å implementere sonarteknologi i SwimEye, vil man trolig i mange tilfeller kunne bedre både deteksjonssikkerheten og feilalarmraten til systemet.

Resultatene som underbygger dette er her presentert som en deteksjonsrate. Deteksjonsraten viser antall positive deteksjoner av forsøkspersonen.

Det ble oppnådd 63% deteksjonsrate i forsøkene som utfordret yttergrensene for apparaturen og 100% deteksjonsrate i forsøkene hvor realistisk posisjonering av forsøkspersonen ble undersøkt.

Mulighetene for å kunne benytte resultatene og erfaringene fra dette arbeidet til en praktisk implementasjon er absolutt realistiske. For å sikre et tilfredsstillende resultat av en slik implementasjon må ulike faktorer vurderes, men disse anses som overkommelige.

Denne rapporten er resultatet av arbeidet med mastergradsoppgaven jeg har utført for Davo AS og avslutter mastergradsstudiet mitt ved Univeresitetet i Stavanger.

Jeg ønsker å takke Trygve Eftestøl for god veiledning og for å ha stilt sin faglige kompetanse til rådighet, samt Torodd Buer og Oral Sjøflot i Davo AS for den hjelp og støtte de har gitt under arbeidet med denne oppgaven.

En stor takk rettes også til Petter Moe Kvalvaag for uvurderlig hjelp under bassengforsøkene.

Til slutt vil jeg også rette en stor takk til medstudenter for gode diskusjoner og tilbakemeldinger.

Stavanger, Juni, 2009

Bjørnar Lingjerde Eriksen

Ekko Et ekko er en refleksjon av en lyd eller et signal.

Sonar Sonar er en teknikk som bruker lyd under vann til eksempelvis å navigere med eller til å detektere fartøyer og objekter under vann.

Ekkolodd Et ekkolodd er et elektronisk instrument som benyttes til å detektere fisk og måling av vanndybde, ved å sende lydsignaler gjennom vannet og måle tiden det tar til ekkoet kommer tilbake.

Transduser En transduser er en innretning som omdanner en form for energi til en annen. Her et elementet som omformer elektrisk energi til bevegelsesenergi(lydbølger) og omvendt.

Piezokrystall Et piezokrystall er et krystall som settes i fysisk bevegelse når det påtrykkes elektrisk spenning. Dette brukes her til å omforme elektriske impulser til lydbølger.

Chirp (Compressed High Intensity Radar Pulse) En chirp er et signal med en frekvens som øker eller avtar som funksjon av tiden.

SNR Signal to Noise Ratio. På norsk: signal til støyforhold. SNR er et mål på forholdet mellom effekten til et signal og effekten til støyen som forringer signalet.

Avstandsoppløsning (range resolution) Det transmitterte signalets evne til å skille mellom objekter med forskjellig avstand fra transduseren.

Refleksjonsoverflate Overflaten til et objekt sett fra transduseren.

Innhold

Abstract/Sammendrag	i
Forord	v
Notasjon	vii
1 Innledning	1
Problemstilling	3
2 Teori	5
2.1 Sonarhistorikk	5
2.2 Sonarteknologi	6
3 Data og signalbehandling	9
3.1 Apparaturl	9
3.1.1 Signalkilde	9
3.1.2 Oscilloskop	10
3.1.3 Mathworks Matlab	10
3.2 Kartlegging av det utsendte signalet	11
3.3 Signal til støyforhold mellom de mottatte signalene og støyen	11
3.3.1 Filter for demping av ekkosignal	12
3.4 Dataanalyse	13
3.4.1 Dataregistrering under eksperimenter	14
3.4.2 Innlasting av datafiler i MatLab	15
3.4.3 Tilpasning av signalet	16
3.4.4 Støyfjerning	18
3.4.5 Terskling	21
3.4.6 Deteksjon	24
4 Eksperimenter og resultater	29
4.1 Kartlegging av signalegenskaper	29
4.1.1 Kartlegging av ekkosignaler	30
4.1.2 Beskrivelse av støy	31
4.1.3 Signal til støyforhold og deteksjonsbegrensninger	32
4.2 Bassengforsøk med registrering av ekkosignaler fra menneske	33
4.3 Beskrivelse av testoppsettene	34
4.3.1 Testdel 1	34

4.3.2	Testdel 2	34
4.4	Oppsummering av resultater	39
4.4.1	Resultater med utgangspunkt i krysskorrelert data	39
4.4.2	Resultater med utgangspunkt i båndpassfiltrering	39
4.4.3	Resultater med utgangspunkt i peakfiltrering	40
4.4.4	Sammendrag over resultatene fra de ulike posisjonene - testdel 1	40
4.4.5	Sammendrag over resultatene fra de ulike posisjonene - testdel 2	41
4.4.6	Oppsummering	41
5	Konklusjon	43
6	Diskusjon	45
6.1	Vurdering av støyreduksjonsmetoder	45
6.2	Vurdering av de ulike deteksjonsmetodene	46
6.3	Mulige feilkilder og begrensninger i utstyret	46
6.3.1	Vurdering av signalkilden	46
6.3.2	Støy fra mennesker i overflaten	48
6.3.3	Støy som følge av urenheter og bobler	48
6.3.4	Bruk av schottkydioder under datainnsamling	49
6.4	Anbefalinger for videreutvikling	49
A	Resultater	51
A.1	Resultatoversikt	51
A.2	Eksempel på resultatutskrift	55
B	Programkode	59
B.1	motherload.m	61
B.2	innlasting.m	62
B.3	krysskorrelasjon.m	63
B.4	filtrering.m	63
B.5	terskling.m	65
B.6	deteksjon.m	65
B.7	snr.m	67
B.8	utskrift.m	67
C	Brukerveiledning til Matlab	71
D	Eksempel på datafil	75
E	Oversikt over mappehierarki	77
F	Transientanalyse	79
	Figuroversikt	82

KAPITTEL 1

Innledning

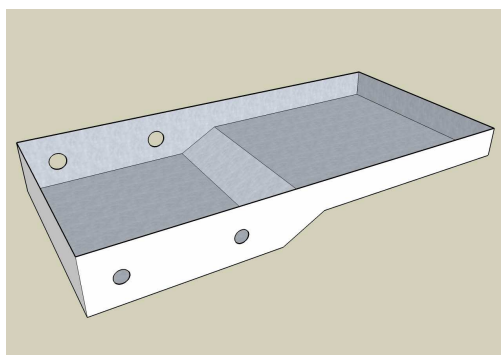
Denne hovedoppgaven er skrevet på oppdrag fra Davo AS, i samarbeid med Universitetet i Stavanger. Davo AS er et firma som har som visjon å ”redde liv i svømmebasseng”. Selskapet ble etablert i 2005 for å ivareta utviklingen og salget av antidrukningssystemet SwimEyeTM. SwimEye er et automatisk bassengovervåkningssystem, som ved hjelp av kameraer overvåker aktivitet i en deteksjonssone som dekker bassengbunnen og området over. Systemet består av kameraer som er montert i vanntette beholdere som er montert i bassengveggen, nær bunnen av bassenget. Kameraene er tilkoblet via et kommunikasjonssystem til en datamaskin. Kameraene ”ser” horisontalt inn i bassenget og registrerer aktivitet på og nær bunnen. Se eksempel på typisk kameraplassering i figur 1.2, og prinsippskisse i figur 1.1.

Dersom et menneske kommer inn i synsfeltet til et eller flere av kameraene, går systemet inn i en alarmfase. Dersom personen befinner seg i systemets deteksjonssone over en bestemt tidsperiode, samt ikke beveger seg, vil systemet gi en alarm over kommunikasjonssystemet som badevakten bærer på seg.

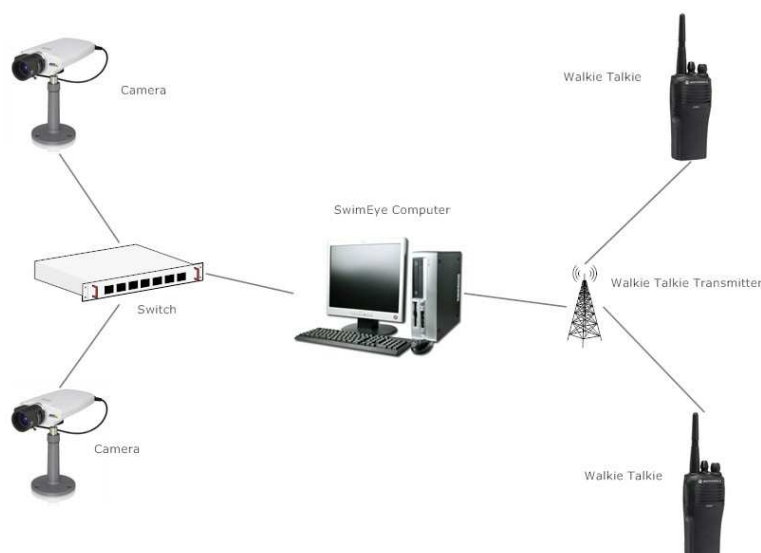
SwimEye er i dag begrenset til å foreta dataanalyse kun på bakgrunn av det kameraene ser. Systemet har ikke mulighet til å verifisere at det som kameraene tolker som et menneske, faktisk er det. Systemet må på grunn av disse begrensningene være følsomt, og kan på grunn av det bli påvirket dersom visse miljøfaktorer i bassenget endres.

En slik miljøfaktor er sollys. Dersom sollys treffer vannet kan dette skape reflekser på bassengbunnen eller på veggene. Dette kan bli registrert som et objekt i vannet av kameraene til SwimEye. En annen problematisk miljøendring oppstår når det skyer til foran solen og det kommer skygger på bassengbunnen eller på veggene. Andre forhold som er med på å vanskeliggjøre korrekt deteksjon av objekter og som også kan føre til feildeteksjoner er luftbobler i vannet og andre forurensinger.

Alle disse faktorene fører til en del feilalarmer i systemet. Dette er problemet som Davo ønsker å løse ved bruk av sonarteknologi.



Figur 1.1: Illustrasjon av et svømmebasseng som har installert SwimEyeTM. Gjengitt med tillatelse fra Davo AS



Figur 1.2: Prinsippskisse over SwimEyeTM. Gjengitt med tillatelse fra Davo AS

Teorien er at en sonar vil kunne bekrefte tilstedeværelsen av et fysisk objekt som har en viss størrelse. Man vil med denne kunnskapen kunne bekrefte eller avkrefte om en optisk observasjon er riktig eller gal. Motivasjonen for å studere denne teknologien er at positive resultater muligens vil kunne bedre feilalarmraten og deteksjonssikkerheten. Dette vil igjen føre til et sikrere og mer robust system.

Et spørsmål man kan stille seg er om det i det hele tatt lar seg gjøre å implementere et fungerende sonarsystem i et så lukket miljø som et svømmebasseng. Vil signalrefleksjoner mellom veggene, fra bunnen, vannoverflaten og mennesker skape for mange falske ekko?

Metodene som ble benyttet for å finne svar på disse spørsmålene besto først av å benytte en enkel sonar til å samle inn relevante data fra et svømmebasseng. Ved å benytte ulike former for signalbehandling og dataanalyse vil resultatene kunne fortelle noe om deteksjonssikkerheten til et slikt system. Videre vil resultatene kunne si noe om hvor vidt det vil være mulig å benytte sonarteknologi som et verktøy til å forbedre feildeteksjonsraten

og videre deteksjonssikkerheten til SwimEye.

Datainnsamling ble gjennomført i et tre meter dypt svømmebasseng hvor en testperson ble benyttet til å simulere reelle drukningssituasjoner og til å utfordre systemets egenskaper. Under disse forsøkene ble følgende parametre benyttet: avstand fra transduser, sideveis plassering og orientering av forsøksperson i forhold til sonaren.

Matlab har blitt benyttet under utviklingen av programkoden som utfører dataanalysen. To måter å detektere ekko på har blitt laget. Den ene metoden detekterer ekko fra objekter i vannet ved å gjennomsøke datafilene etter refleksjoner av den utsendte pulsen. Den andre metoden detekterer indirekte tilstedeværelse av mennesker i deteksjonssonen ved å monitorere og registrere endringer i en begrenset seksjon av signalet.

En vellykket implementasjon av sonarteknologi vil kunne avverge feilalarmer samt bedre deteksjonssikkerheten til SwimEye. For å kartlegge mulighetene for en slik implementasjon tar denne oppgaven for seg følgende problemstilling;

Kan sonarteknologi benyttes til å detektere mennesker i et svømmebasseng?

Rapporten består av følgende kapitler:

Kapittel 1 - Innledning

Kapittel 2 - Data og signalbehandling

Kapittel 3 - Eksperimenter og resultater

Kapittel 4 - Konklusjon

Kapittel 5 - Diskusjon

Rapporten har følgende vedlegg:

Vedlegg A - Resultater

Vedlegg B - Forklaring av programkode

Vedlegg C - Kort brukerveiledning til Matlab

Vedlegg D - Forklaring av, og eksempel på en rådatafil

Vedlegg E - Oversikt over mappehierarkiet til datafilene

Vedlegg F - Transientanalyse

Programkode er vedlagt på cd.

Stoffet som er omtalt i avsnittene under er kjent og kan finnes i lærebøker som Hovem [1978] eller Nielsen [1991]. Wikipedia er også benyttet som kilde, se artiklene Wikipedia [2009a] og Wikipedia [2009b].

En oversikt over sonarhistorie blir her presentert. Videre blir hovedprinsippene for sonar-teknologien utdypet.

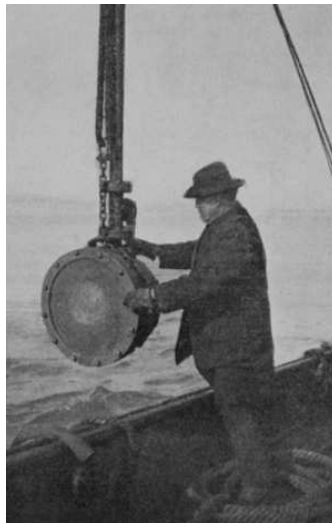
2.1 Sonarhistorikk

I millioner av år har dyr som delfiner og hval benyttet seg av lyd for å kommunisere med hverandre og til å orientere seg under vann. På land benytter flaggermus seg av ekko fra høyfrekvente lyder under jakt etter føde og til å orientere seg. Først i år 1490 begynte mennesker å benytte seg av vannets lydbærende egenskaper da Leonardo Da Vinci førte et rør i vannet som han holdt mot øret for å lytte etter skip. I det nittende århundre ble en undervannsbjelle benyttet i tilknytning til fyrstårn for å akustisk varsle skip om fare.

Verdens første patent på avstandsmåling under vann vha. ekko ble tatt i 1912, en måned etter at Titanic forliste.

I 1914 ble et ekkobasert system testet av den amerikanske kystvakten i havområdene utfor Canada. Utvikleren av systemet, Reginald Fessenden, demonstrerte dybdemåling, undervannskommunikasjon (Morsekode) og avstandsmåling vha. ekko. Fessenden klarte også å detektere et isfjell på tre kilometers avstand. De ti britiske H-klasse undervannsbåtene som ble bygget i 1915 ble utstyrt med en såkalt Fessenden-oscillator.

Under første verdenskrig førte behovet for å detektere undervannsbåter til økt forskning på dette området. Kvartskrystaller ble først benyttet som transdusere i arbeidet med å



Figur 2.1: Reginald Fessenden med sin elektriske oscillator. Illustrasjon gjengitt med tillatelse fra National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA [2009])

utvikle et deteksjonssystem, men senere tok piezokrystaller og magnetoresistive elementer over. Det er dette som prinsipielt er den teknologien som fremdeles benyttes.

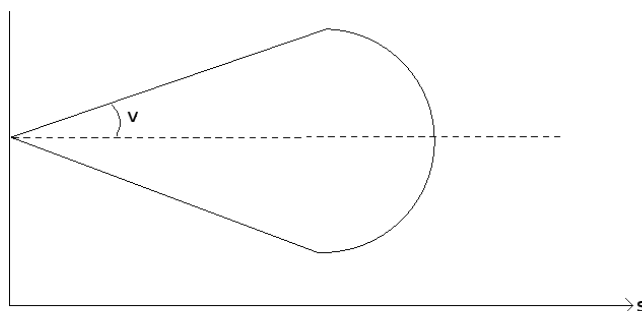
I forbindelse med 2. verdenskrig ble sonarteknologien videreutviklet ytterligere. Eksempler her er autonome sonarer som kan slippes fra fly for å detektere undervannsbåter samt sonarer for minedeteksjon.

2.2 Sonarteknologi

Sonar står for sound navigation and ranging, og er en teknikk som benytter vannets evne til å bære lydbølger, til å detektere og kartlegge objekter eller struktur i vann eller på havbunn. Sonaren har mange bruksområder. Sonar brukes til å kartlegge maritimt liv, detektere og kommunisere med større objekter som undervannsbåter samt kartlegging av ulike lag i havbunnen. Sonar kan også benyttes i luft, bl.a. til navigering av roboter.

Prinsipp

Den aktive komponenten i transduseren til et sonarsystem er ofte en såkalt piezokrystall. Når et piezokrystall blir påtrykket et strømsignal så vil krystallet fysisk pulsere i takt med frekvensen til signalet. På denne måten blir et elektrisk signal omformet til en lydbølge som brer seg i det mediet som krystallet befinner seg i. Dersom krystallet befinner seg under vann vil lydbølgen bre seg i vannet. Lydhastigheten i ferskvann er 1497m/s. En transduser til bruk i sonarsystemer inneholder typisk et sirkulært piezoelement. Lydbølger som genereres av piezoelementet vil bre seg ut i rommet med en sfærisk front. Siden pulsen emitteres med en bestemt vinkel, ν , vil pulsen gradvis øke i diameter ettersom den brer seg ut i mediet, som illustrert i figur 2.2.



Figur 2.2: Pulsens utbredelse i rommet med avstand, s , som funksjon av tid

Når lydbølgen møter et medie med massetetthet som er forskjellig fra vannets, vil den bli reflektert tilbake, og et ekko har oppstått. Ekkoet vil etter hvert treffe transduseren og når dette skjer vil lydbølgene komprimere krystallet i takt med frekvensen. På denne måten vil det genereres en spenning i krystallet med samme form som lydbølgen. Denne spenningen måles av et følsomt voltmeter og på denne måten kan ekkoene samples og detekteres.

Aktiv sonar

Det finnes to typer sonarprinsipper, aktiv og passiv. En aktiv sonar sender ut en lydbølge for så å lytte etter ekko som blir reflektert fra objekter som den utsendte lydbølgen treffer. På bakgrunn av ekkodataene kan sonarsystemer kalkulere hvor langt borte et objekt befinner seg. Slike kalkulasjoner gjøres på bakgrunn av hvor lang tid det tar fra lydbølgen sendes ut til den ankommer sonaren igjen etter å ha blitt reflektert av et objekt i vannet. Formen og plasseringen av objektet i det perpendikulære planet kan bestemmes ved å ha flere transdusere i et array.

Passiv sonar

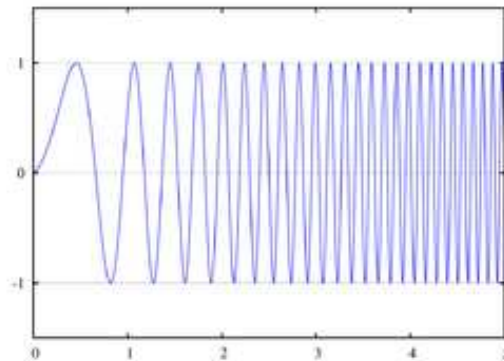
En passiv sonar, også kalt hydrofon, sender ikke ut lydbølger. Den lytter kun etter lyd som kan stamme fra militære fartøy, marint liv o.l. En hydrofon har ikke mulighet til å kalkulere avstanden til lydkilden med mindre flere hydrofoner plasseres i et array slik at triangulering kan gjennomføres. Triangulering er å benytte informasjon fra flere observasjonspunkter til å bestemme plasseringen til et objekt i rommet. Dette gjøres også i aktive sonarsystemer.

Frekvensene som benyttes i sonarsystemer varierer fra infrasoniske¹ til ultrasoniske². Pulsformen som sendes ut er ofte en monoton frekvens eller en såkalt chirp. Et CHIRP-

¹Lavfrekvente

²Høyfrekvente

signal³ er et signal med en frekvens som øker eller avtar som funksjon av tiden. Et plott av en chirp er vist i figur 2.3. En chirp vil kunne spesialtilpasses for at det enkelte sonarsystem skal fungere på best mulig måte. Parametre er for eksempel systemomfang/range, avstandsopløsning, bølgelengde og penetrasjonsdybde.



Figur 2.3: CHIRP-signal

Vannets evne til å bære lyd er frekvensavhengig. Dersom man har behov for lang rekkevidde benyttes pulser med lavere frekvens. Disse kan være i det hørbare spekteret opp til 20kHz. Ved kortere rekkevidder og med behov for bedre avstandsopløsning under ekkoavlesning, benyttes mer høyfrekvente signaler.

Med lyd hastigheten menes bølgefrontens bevegelse i lengderetning. Bølgelengden til et ekkosignal i vann kan beregnes med likning 2.1 hvor λ er bølgelengde, c er bølgehastigheten og f er frekvensen.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.1)$$

³Compressed High Intensity Radar Pulse

Under planleggingen av denne oppgaven ble klart at det var nødvendig å gjennomføre eksperimenter for å danne et godt data- og erfaringsgrunnlag. Eksperimentene som ble utført er beskrevet i kapittel 4, om eksperimenter og resultater.

I dette kapitlet beskrives apparatur, programvare, signalegenskaper og praktiske detaljer i forbindelse med datainnsamlingen. Selve data og signalbehandlingen blir også gjennomgått.

3.1 Apparatur

Her følger informasjon signalkilden, oscilloskopet og programvaren som ble benyttet under arbeidet med datainnsamlingen.

3.1.1 Signalkilde

Et kommersielt ekkolodd, vist i figur 3.1(a), ble benyttet som signalkilde under eksperimentene. Ekkoloddet ble kjøpt inn av Davo AS, er av ukjent fabrikant og er tiltenkt privatmarkedet.

Et ekkolodd er et instrument som typisk blir benyttet av fritids- og profesjonelle fiskere til å detektere fisk med. Ekkoloddet består av en transduser som er tilkoblet en håndholdt signalprosessor, ”håndenhet”, med en tolederkabel. Transduseren kan kobles fra håndenheten.

En elektrisk puls sendes som forklart i kapittel 2.2 ut til transduseren som omformer dette til et akustisk signal. Ekkoloddet lytter en bestemt tid etter innkommende ekko før

det gjenntar prosessen. Signalprosessen i håndenheten tolker dataene fra transduseren og presenterer eventuelle deteksjoner av fisk samt vanndybde på en skjerm.

Følgende informasjon om ekkoloddet er oppgitt på emballasjen:

Transduserens strålevinkel: 45 grader

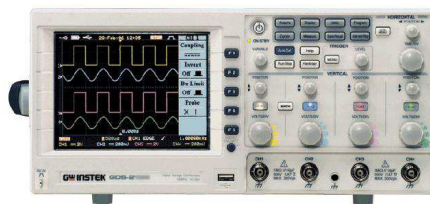
Max. operasjonsdybde: 100m

Min. operasjonsdybde: 0,6m

Brukstemperatur: fra -20°C til $+70^{\circ}\text{C}$



(a) Ekkolodd ("Portable fish finder")



(b) Instek GDS 2062 oscilloskop

Figur 3.1: Apparatur

3.1.2 Oscilloskop

Til å studere og sample datatrafikken ut fra og inn til ekkoloddet ble et oscilloskop benyttet. Oscilloskopet som ble benyttet var et Instek GDS-2062 og kan sees i figur 3.1(b). Dette oscilloskopet har en båndbredde på 60MHz, og en samplerate på 1GS/s. Oscilloskopet kan sample 25000 datapunkter fra en kanal og lagre disse direkte på en USB minnepinne.

Dataformatet som oscilloskopet lagrer filene i er .csv (comma separated values)¹. Dette dataformatet representerer dataene som tallverdier i en kolonne med et komma etter hver verdi. Tallverdiene representerer det samlede signalet i millivolt. De første 14 linjene i datafilen inneholder informasjon om datafilen.

3.1.3 Mathworks Matlab

Matlab er et matematisk programvareverktøy som i arbeidet med denne oppgaven ble benyttet til å gjøre data og signalbehandling. Matlab ble benyttet til å lese inn datafiler, filtrering av rådata samt ekkodeteksjon.

¹Se utdrag fra datafil i vedlegg D

3.2 Kartlegging av det utsendte signalet

Signalet som sendes ut fra signalprosessoren til transduseren er videre omtalt som ”signalet”. Kartleggingen av dette signalet ble utført på et laboratorie, med transduseren tilkoblet håndenheten slik at signalgeneratoren fikk riktig belastning.

Håndenheten sender ut et analog, sinusformet signal gjennom kabelen til transduseren. Transduseren omformer videre signalet til en akustisk puls med samme form som signalet. Det utsendte signalet ble samlet direkte fra kabelen slik det er forklart i avsnittet om innlesing av data (avsnitt 3.4.1).

Signaldata:

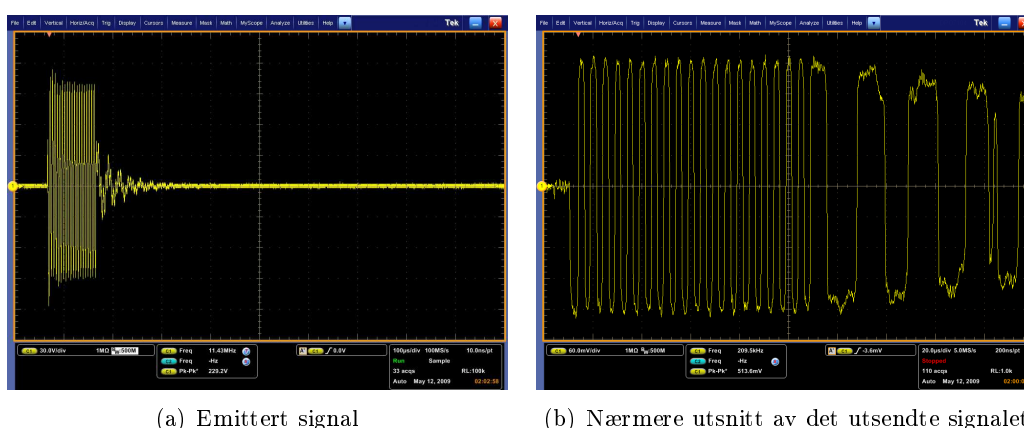
Spenning: $210\text{--}230V_{p-p}$

Signalfrekvens, f_{sig} : 200kHz

Antall perioder: 20

Signalets lengde: $100\mu\text{s}$

Signalet har sinusform og vises i figur 3.2(a) og figur 3.2(b).



(a) Emittert signal

(b) Nærmere utsnitt av det utsendte signalet

Figur 3.2: Signalet som ekkoloddet sender ut

3.3 Signal til støyforhold mellom de mottatte signalene og støyen

Innledende bassengforsøk med en forsøksperson i vannet ble foretatt. Det reflekterte signalet, eller ekkogene, genererer mellom 5 og 10 millivolt i krystallen når de treffer denne. Spenningsforholdet mellom det utsendte signalet og det som blir generert i krystallen er da omtrent $1/230000$.

Analyse av ekkosignalene som ble reflektert fra personen viser at de har stort sett lavere amplitude enn den omliggende støyen (signal til støyforhold). Unntakene er dersom man befinner seg enten veldig nær transduseren, slik at pulsen treffer personen tidlig², eller at

²Et eksempel på rådata fra en slik situasjon kan sees i figur 4.4

objektet som treffes av pulsen har stor refleksjonsoverflate, f.eks. en bassengvegg. I det første tilfellet hvor et objekt blir truffet av pulsen tidlig, er pulsen enda veldig konsentrert og har en relativt liten radius. Pulsen vil på grunn av dette i stor grad bli reflektert i sin helhet.

I det andre tilfellet treffer pulsen eksempelvis den motstående bassengveggen. En bassengvegg er perpendikulær i forhold til lyd-pulsen og er dessuten veldig jevn og flat. En bassengvegg reflekterer derfor en stor del av det utsendte signalet, inkludert pulsfronten, vinkelrett tilbake til transduseren, selv om avstanden er stor og radiusen til pulsen har økt veldig.

Signal til støyforhold

Signal til støyforholdet (snr)³ er et mål på forholdet i energien mellom signalet og den støyen som omgir og forringer signalet. Snr er oftest målt i den logaritmiske desibelskalaen på grunn av det brede dynamiske omfanget som elektriske signaler ofte har.

Hvis man måler signal til støyforholdet mellom ekkosignalet og støyen som ligger på signalet, vil dette i de fleste tilfeller (fra to meter og utover) være negativt. Mellom 0 og 2 meter fra transduseren vil en så stor del av den emitterte pulsen treffe personen at nok energi blir reflektert tilbake til at ekkoet også her er godt synlig på et plott av rådataene.

At signal til støyforholdet er negativt, betyr at støyens effekt er større enn signalets effekt. For å kunne gjøre deteksjon i ekkosignalet må støyen reduseres. Dette oppnås ved ulike former for støyreduksjon som forklares i avsnitt 3.4.4 og 3.4.4.

Målinger av signal til støyforhold for ekkodataene ble utført på følgende måte:

Rådataene som ble samlet inneholder både støy og signalkomponenter fra den reflekterte, utsendte pulsen (videre også omtalt som ekko, ekkosignal eller ekkodata). Siden man med dette utgangspunktet ikke kan betrakte ekkosignalet og støyen separat, ble disse isolert.

For å isolere ekkosignalet ble signalet filtrert med et båndpassfilter. Denne prosessen er forklart i avsnitt 3.4.4. Støyen ble isolert ved å dempe signalkomponentene ved bruk av et notchfilter. Dette filteret er omtalt i avsnitt 3.3.1.

Resultatene fra disse to filtreringsprosessene, isolert signal og isolert støy, ble benyttet i beregningen av signal til støyforholdet.

Signal til støyforholdet målt i desibel beregnes med 3.1.

$$\text{SNR(dB)} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{A_{\text{signal}}}{A_{\text{noise}}} \right)^2 \quad (3.1)$$

3.3.1 Filter for demping av ekkosignal

Filteret som ble benyttet til å dempe signalfrekvensen på 200kHz kalles notchfilter. Dette IIR-filteret ble benyttet til å filtrere bort ekkosignalene fra rådatafilen for på denne måten

³SNR - Signal to Noise Ratio

3.4 Dataanalyse

å isolere støyen i et signal. Dette ble videre brukt til å kalkulere signal til støy-forholdet mellom filtrert signal og støyreferansen.

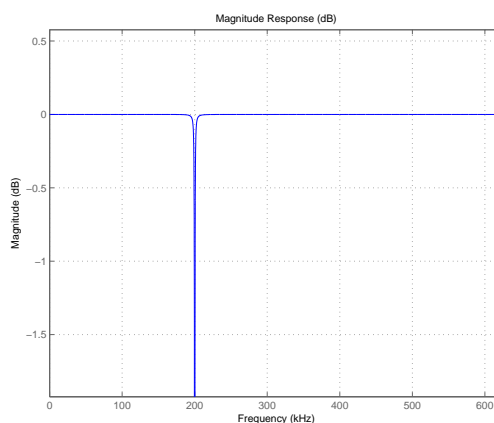
Filteret demper en spesifikk frekvens som blir definert under filterdesignprosessen.

Notchfilteret har følgende spesifikasjoner:

”Peak”-frekvens = 200 000

Båndbredd = 1200

Passbåndsdempning = 1



Figur 3.3: Filterresponsen til notchfilteret

3.4 Dataanalyse

I arbeidet med å analysere data og vurdere ulike filtreringsmetoder på en systematisk måte, ble Matlab benyttet. Ulike skript med metoder for rådatabehandling, filtrering, ekkodeteksjon og plotting ble laget.

Skriptene kjøres av et hovedskript som kan konfigureres slik at det kjører alle eller utvalgte skript. Programstrukturen er lagt opp slik at én mappe med rådatafiler blir behandlet om gangen. Mappen med rådataene som skal analyseres må velges manuelt fra en liste øverst i hovedskriptet⁴. Resultatene fra deteksjonsalgoritmen skrives ut i kommandovinduet, og kan på denne måten noteres. Resultatene ble manuelt notert i regneark⁵.

Programkoden som er utviklet under arbeidet med denne oppgaven er laget for å gjennomføre databehandling på rådataene som ble samlet inn. Skriptene er tilpasset de sorterte dataene fra forsøkene for å gjøre resultatavlesningen lettere. Programkoden i sin helhet er altså ikke ment som en metode som skal kunne overføres direkte til SwimEye, selv om enkelte metoder med litt tilpasning vil kunne implementeres i systemet. Hovedskriptet er inkludert i vedlegg B. De andre viktigste skriptene er og forklart i samme vedlegg.

⁴Se vedlegg C

⁵Se vedlegg A

Videre følger forklaring av datainnsamling og analysen som foregår i Matlab. Forklaringen av dataanalysen tar utgangspunkt i gjennomkjøringsrekkefølgen til hovedskriptet. For en mer detaljert forklaring av metodene samt parameteroversikt, se vedlegg B. En hierarkisk oversikt over koden kan sees i figur B.1.

Kort gjennomgang av analyseprosessen

Etter at rådata har blitt samlet, lagret som datafiler og manuelt sortert i mapper, foregår resten av databehandlingen i Matlab.

- Rådatafiler lastes inn i Matlab, se avsnitt 3.4.2.
- Filene blir tilpasset slik at de er klare for ekkodeteksjon, se avsnitt 3.4.3.
- Metoder for støyfjerning i rådatafilene blir utført, se avsnitt 3.4.4.
- Et skript detekterer ekko i datafilene og skriver ut de som er mest markante. Se avsnitt 3.4.6

Deteksjonsrate

Deteksjonsraten som det refereres til videre i teksten, er et mål på antall korrekte deteksjoner i forhold til antall filer som det forsøkes å detektere en person i. Deteksjonsskriptet kjøres på x antall datafiler, hvor forsøkspersonen skal detekteres for hver fil. En korrekt deteksjon av ekko fra forsøkspersonen får positivt utslag i deteksjonsraten som kalkuleres manuelt på grunnlag av resultatutskriftene. De samlede positive utslagene kan kalles n . Deteksjonsraten er da n/x .

En deteksjonsrate på $15/26$ betyr at av for 26 datafiler som forsøkspersonen skal detekteres i, ble det gjort 15 korrekte deteksjoner.

En korrekt deteksjon er her definert som:

”Person detektert ved 1. gjennomkjøring av deteksjonsalgoritmen”

eller

”Person detektert ved 2. gjennomkjøring og bassengvegg detektert ved 1. gjennomkjøring”

3.4.1 Dataregistrering under eksperimenter

For å få fysisk tilgang til dataene ble kablet koblet til et kretskort som vist i figur 3.4(b). Dette kretskortet gav tilgang til lederene via påmonterte målepunkter. All rådata er for øvrig samlet ved å lese av rådatastrømmen i målepunktene som befinner seg etter schottkydiodene på kretskortet. Schottkydiodene ble plassert på kortet for å filtrere bort en transient som ble observert på oscilloskopet. Begrunnelse for bruk av disse komponentene er utdypet i vedlegg F.

Dataene blir samlet i et oscilloskop, der de også blir lagret fil for fil, direkte på en minnepinne. Filformatet er .csv som tidligere nevnt. De 14 første linjene i filene består av

3.4 Dataanalyse

informasjon om datafilen og om hvordan oscilloskopet var innstilt da filen ble samlet. De første 30 linjene i en datafil er vist i vedlegg D. Samplingsfrekvensen f_s , er 1 250 000 S/s (sampler per sekund), og samplingsperioden blir da ifølge 3.2, 0,000 0008 s/S (sekund per sampler).

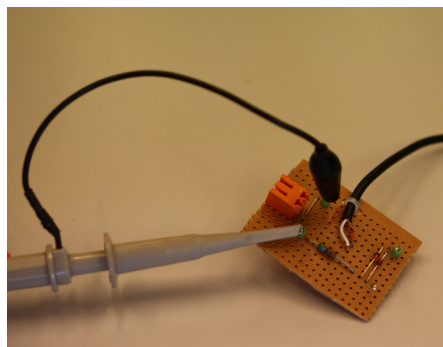
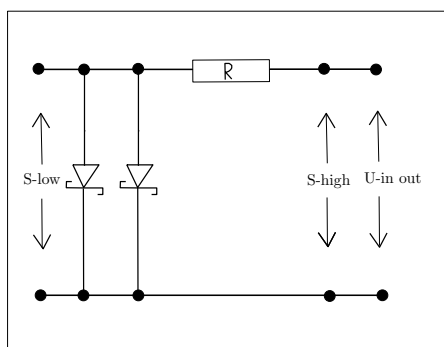
Samplingsfrekvensen f_s må i følge Nyquists samplingsteorem (John G. Proakis [2006]) være minst $2 * f_{sig}$ for å unngå aliasing og for å kunne oppnå perfekt rekonstruksjon av signalet. Denne frekvensen kalles nyquistfrekvensen, f_n .

$f_n * f_{sig} = 2 * 200000 = 400000$. Siden $f_s = 1250000$ overholdes dette kravet.

$$s_p = \frac{1}{f_s} \quad (3.2)$$

Datafilene fra eksperimentene ble lagret fra oscilloskopet til en minnepinne, overført til datamaskinen og sortert i mapper. Mappene ble kategorisert etter avstanden som testen ble gjennomført ved⁶. Disse mappene er benyttet som datakilde i matlabskriptet, se ”datamappe_X”, øverst i figur B.1. Hovedskriptet kaller på et skript⁷ som laster dataene inn i matlab.

For å få god oversikt over hendelsesforløpet ble det samlet data i en tidsperiode som forløp seg noen få millisekunder før utpulsene ble sendt og i en periode tilsvarende den tiden det tar for en lydimpuls å vandre fra transduseren, til andre siden av bassenget og tilbake til transduseren igjen. Fra pulsen ble sendt ut til den reflekteres av den motstående bassengveggen, og til den så treffer transduseren, tar det omtrent 12mS.



(a) Krets for å skille utgangssignalet fra inngangssignalet (b) Grensesnittkortet med tilkoblet måleprobe

Figur 3.4: Grensesnittkort som ble benyttet under datasampling

3.4.2 Innlasting av datafiler i MatLab

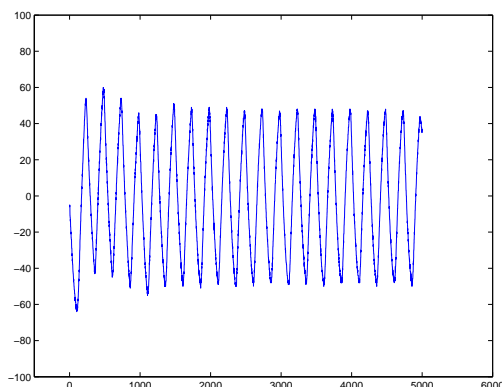
Rådatafilene blir lastet inn i arbeidsområdet til Matlab. Det er det samme skriptet som sørger for å laste inn de to referansesignalene som benyttes videre av noen av skriptene.

⁶Se vedlegg E for forklaring av mapphierarki

⁷Se innlasting.m i figur B.1

Referansesignalene som benyttes er det utsendte signalet som beskrives i 3.2, og et ekkoutslag som stammer fra den motstående bassengveggen. Ekkoreferansen benyttes først og fremst under indirekte ekkodeteksjon.

Samplingsfrekvensen til signalreferansen er 40 ganger høyere enn samplingsfrekvensen til de andre rådatafilene som benyttes fordi det strekker seg over et mye kortere tidsperiode. Et plott av signalreferansen og kan sees i figur 3.5.



Figur 3.5: Signalreferansen som benyttes under krysskorrelasjon

Ekkoreferansen er et signal som ble samlet under bassengforsøkene, men uten objekter i vannet. Signalet er lagret som en rådatafil og er like langt som de andre rådatafilene. Signalet inneholder et tydelig ekko fra den motstående veggen. Dette ekkoet blir fremhevet ved å utføre støyreduksjon av signalet.

3.4.3 Tilpasning av signalet

I den videre databehandlingen hvor ekkodeteksjonen foregår, blir bl.a. signalet gjennom-søkt etter maksipunkter for å detektere ekko i signalet. For å kunne benytte denne tek-nikken må den delen av signalet som inneholder det utsendte signalet (vist i figur 3.6(a)), klippes bort, slik at ikke disse høye utslagene registreres av deteksjonsalgoritmen. Dette må gjøres uten at tidsregningen blir forstyrret. Dersom man klipper bort en del av sig-nalet, blir de etterfølgende samplene tidsforskjøvet i negativ retning og dette må unngås for å beholde korrekt posisjonsbestemmelse av ekkoene.

I tillegg til å klippe bort det utsendte signalet må også samplene før dette fjernes. Dette for at signalet som videre skal analyseres skal starte i det tidspunktet som den utsendte pulsen sendes ut, $t = 0$. Dette er nødvendig for å sikre korrekt tidsregning i den videre databehandlingen siden avstandsbestemmelse av ekkoene er tidsavhengig.

Prosessen med signaltilpasning⁸ er gjort generisk, noe som er mulig fordi oscilloskopet benyttet en tilstrekkelig høy ”trigger level” under dataregistreringen som sikret data-sampling i samme tidsperiode for hvert signal. ”Trigger level” eller ”registreringsnivå” er en funksjon i oscilloskopet som benytter et forhåndsbestemt spenningsnivå til å aktivere

⁸Prosessen med signaltilpasning blir utført i skriptet `innlasting.m`

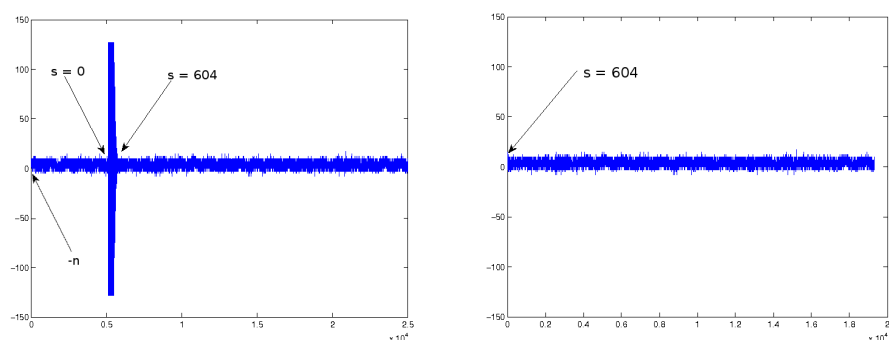
3.4 Dataanalyse

signalavlesning når signaler med amplitude over dette nivået registreres. Ved å sette dette nivået lik en amplitude som er så høy at kun det utsendte signalet aktiverer avlesning, sikres det at signaldata fra det samme tidsrommet blir samlet for hver avlesning.

En komplett, uredigert rådatafilsignal som inneholder det utsendte signalet i starten består av 25000 sampler og kan sees i figur 3.6(a). Det utsendte signalet som går igjen i hver rådatafil, består av 604 sampler. Signaltilpasningen av en slik rådatafil foregår som følger: Samplene fra ”-n” til 604 blir klippet bort. Signalet består nå av 19316 sampler, begynner i $s = 604$ og ser nå ut som i figur 3.6(b).

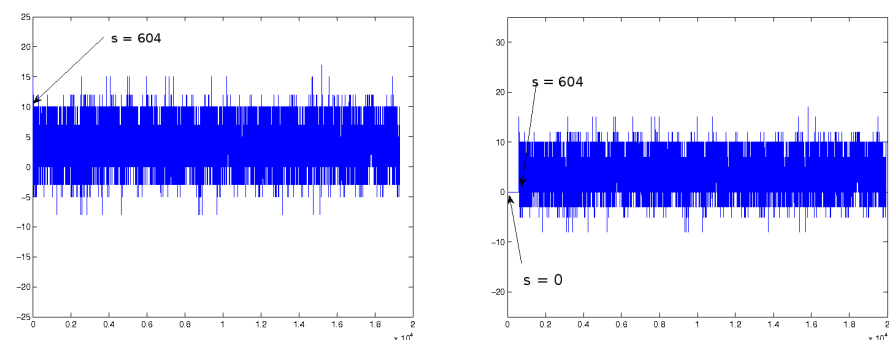
Videre blir det lagt til i starten like mange 0-ere som det antall sampler som den utsendte pulsen består av. Dette antallet er som nevnt 604. På denne måten starter datastrømmen nå i det punktet i tidsregningen som det utsendte signalet ellers ville startet på. Signalet er nå klart for videre signalbehandling og ser nå ut som i figur 3.7(b) og består av $19316 + 604 = 19920$ sampler.

Også dette signalet omtales videre som rådata.



(a) Plott av fullstendig rådatafil. Utsendt puls kan sees mellom $s = 0$ og $s = 604$ (b) Samme datasett, men her er utsendt puls klippet bort

Figur 3.6: Signal før og etter fjerning av utsendt puls



(a) Samme signalutsnitt som i fig. 3.6(b). Oppskalert for lettere sammenligning (b) Her er de 604 0-erene lagt til i starten av signalet

Figur 3.7: Signal før og etter nulljustering av startposisjon

3.4.4 Støyfjerning

Neste steg i databehandlingen er støyfjerning. Siden rådataene inneholder mye støy må denne fjernes slik at ekkosignalene kommer tydelig frem og ekkodeteksjon kan utføres. De to metodene som har blitt benyttet til dette formålet er krysskorrelasjon og digital filtrering.

Støyfjerning ved bruk av krysskorrelasjon

Krysskorrelasjon, også kalt glidende prikkprodukt, er en teknikk som benyttes for å finne formlikheten mellom to signaler. De to signalene i dette tilfellet er en rådatafil og et referansesignal. Referansesignalet er det signalet som ble kartlagt i avsnitt 3.2 og som vises i figur 3.5 og 3.2. Referansesignalet er lagret som en datafil og er det samme for hver krysskorrelasjon. Referansesignalet er som nevnt samlet over et 40 ganger kortere tidsrom enn rådataene. Dette gjør at samplingsraten til referansesignalet er 40 ganger høyere enn samplingsraten til rådatafilene, selv om antall sampler er det samme. Rådatafilene er datafilene som blir samlet under bassengforsøkene, og er her det signalet som man ønsker å trekke ut formlikheten til referansesignalet fra.

Før krysskorrelasjon kan rådataene se ut som i figur 3.8(a). Signalreferansen som rådataene krysskorreleres mot, har form som vist i figur 3.2(b). Krysskorrelasjonen mellom rådata og referansepulser er vist i figur 3.8(b).

Krysskorrelasjonsvektor er resultatet av integralet av produktet mellom referansesignalet og rådataene for hver posisjon referansesignalet flytter seg langs rådataene⁹.

Ved å la referansesignalet "gli" over rådataene, sampel for sampel, vil metoden måle formlikheten/korrelasjonen mellom referansesignalet og seksjonen av rådataene som referansesignalet "ligger oppå". For hvert flytt som referansesignalet gjør, produserer krysskorrelasjonsmetoden en verdi som representerer hvor stor korrelasjon det er mellom referansen og rådataene for akkurat den seksjonen. En illustrasjon av referansesignalet som "glir" over rådataene kan sees i figur 3.9

Krysskorrelasjonen mellom referansesignalet B, og en rådatafil A, gir krysskorrelasjonsvektoren K. Dette er en vektor som inneholder resultatene fra hver kalkulasjon som blir utført. Før krysskorrelasjonen begynner, utvider Matlab det korteste signalet B, med 0-ere slik at det blir like langt som A. Hvis A, har lengde l, blir lengden av krysskorrelasjonen l_K , mellom rådatasignal A og referansesignal B: $l_K = (2 * l) - 1$. Dette fordi under krysskorrelasjonen mellom to signaler A og B, passerer hele referansesignalet B(1:n) over A(1:m). Krysskorreleringen starter i steg 1:

Steg 1: B(n) ligger over A(1)

Steg 2: B(n) ligger over A(2) og B(n-1) over A(1)

Steg 3: B(n) ligger over A(3), B(n-2) over A(2) og B(n-3) over A(1)

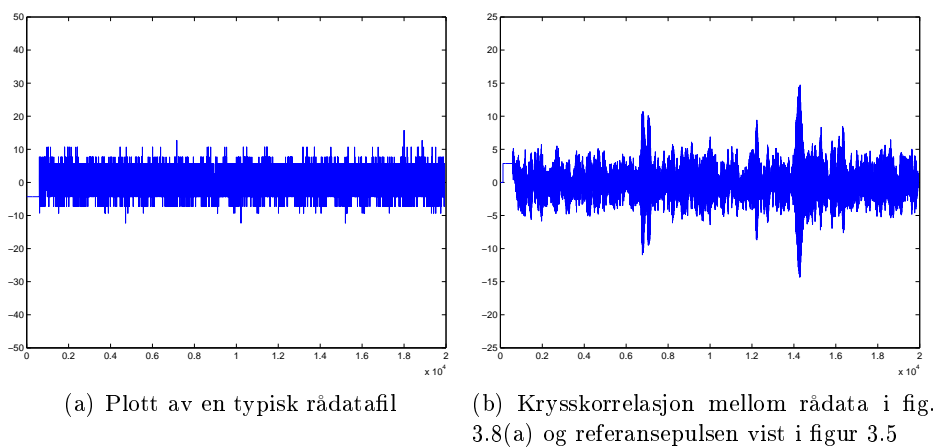
.

.

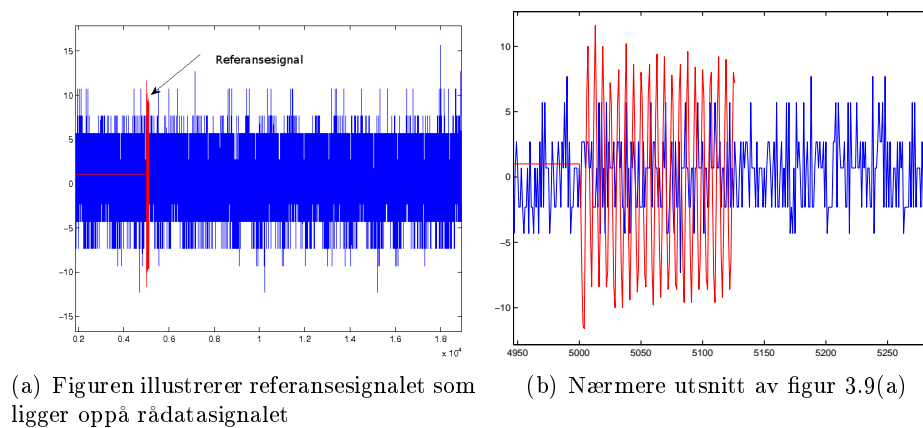
Steg $(2 * l) - 1$: B(1) ligger over A(m)

⁹På grunn av dette kan ikke snr beregnes for krysskorrelasjoner

3.4 Dataanalyse



Figur 3.8: Rådata og krysskorrelert data



Figur 3.9: Illustrasjon av hvordan referansesignalet "glir" over rådatasignalet under krysskorrelasjon

Dersom det under krysskorreleringen finnes et parti hvor referansesignalet har stor form-likhet med rådataene, blir krysskorrelasjonsverdien i dette punktet høy. På denne måten blir eventuelle ekko, som naturligvis har en signalform lik referansesignalet, fremhevet. Krysskorrelasjon for diskrete signaler er gitt ved 3.3 (Wikipedia [2009d]).

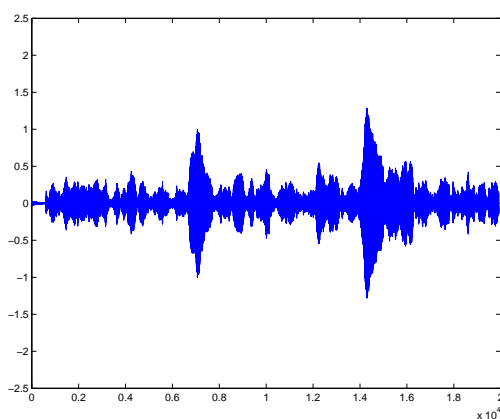
$$(f \star g)[n] \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{m=-\infty}^{\infty} f^*[m] g[n+m] \quad (3.3)$$

Støyfjerning ved bruk av digitale filtre

Rådataene ble filtrert i to digitale filtre for å finne ut om filtrering fører til bedre deteksjonsrate enn det krysskorrelering av dataene gjorde. Digital filtrering skjer ved at matematiske operasjoner blir utført på et samplet, tidsdiskret signal. Et digitalt filter kan karakteriseres ved dets transferfunksjon, $H(\omega)$, som er en matematisk funksjon som bestemmer hvordan et signal som påtrykkes filteret blir påvirket. Egenskapene til $H(\omega)$ bestemmer hvilke frekvenskomponenter i signalet som blir dempet. I et båndpassfilter blir frekvenser lavere enn nedre stoppfrekvens og høyere enn øvre stoppfrekvens dempet. Frekvensene mellom stippes igjennom.

Både FIR- og IIR-filte har blitt benyttet, og de grunnleggende forskjellene mellom disse er omtalt i diskusjonskapittelet. Filtrene ble laget i Matlab¹⁰.

Et eksempel på båndpassfiltrering av rådataene i figur 3.8(a) kan sees i figur 3.10. Fil-terresponen til filteret som her ble benyttet kan sees i figur 3.11.



Figur 3.10: Signal filtrert igjennom båndpassfilter

Båndpassfilter

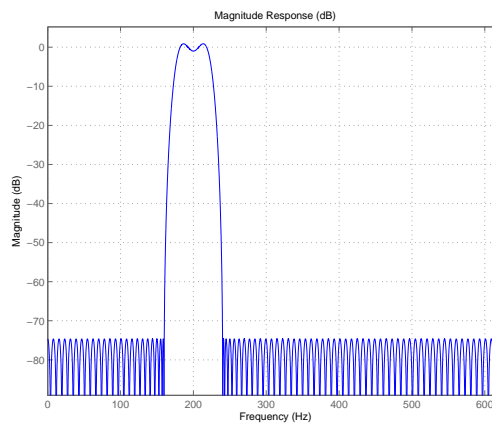
Båndpassfilteret er et FIR-filter¹¹ og er av typen equirippel. Filteret har følgende spesifikasjoner:

¹⁰FDATool(Filter Design and Analysis Tool) ble benyttet til filterdesign. FDATool tilhører Signal processing toolbox

¹¹Finite Impulse Response

3.4 Dataanalyse

Nedre stoppbåndfrekvens: 180
Nedre passbåndfrekvens: 190
Øvre passbåndfrekvens: 210
Øvre stoppbåndfrekvens: 220
Første stoppbåndsdempning: 0.0001
Passbåndsrippel: 0.057501127785
Andre stoppbåndsdempning: 0.0001



Figur 3.11: Filterresponsen til båndpassfilteret

Peakfilter

Peakfilteret er et FIR-filter¹². Dette filteret slipper igjennom en spesifikk frekvens, og ble utprøvd fordi den spesifikke målfrekvensen¹³ til systemet var kjent. Filteret har følgende spesifikasjoner:

Peakfrekvens: 200000
Båndbredde: 1200
Dempning av båndbredden: 1

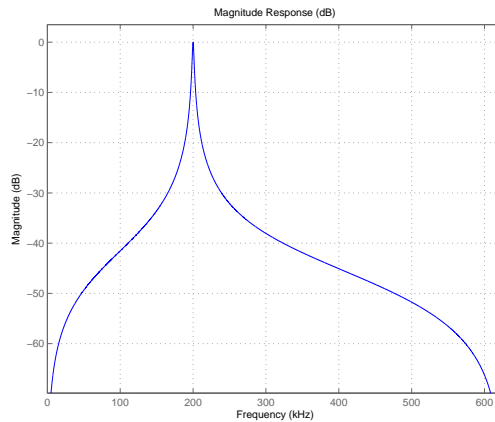
3.4.5 Terskling

Deteksjonsalgoritmen som har blitt utviklet¹⁴ gjennomfører det støyreduerte signalet og registrerer først samplene/ekkoutslagene med størst amplitude, før den videre registrerer utslaget med nest størst amplitude osv. På grunn av dette trenger algoritmen en nedre grense for ekkodeteksjon slik at den etter hvert som den arbeider seg lavere og lavere

¹²Finite Impulse Response

¹³200kHz

¹⁴Se 3.4.6



Figur 3.12: Filterresponsen til peakfilteret

i toppunktene til signalet, ikke registrerer unødvendig mange falske ekko da dette vil resultere i en veldig treg algoritme.

Jo lenger nedover i amplitudenivå man kommer under ekkodetesjon, jo større er sjansen for å detektere støy og klassifisere den som et ekko. For å unngå denne problematikken blir en terskelverdi beregnet for hver enkelt rådatafil. Siden det er de krysskorrelerte og/eller filtrerte filene som benyttes i deteksjonsalgoritmen, er det disse filene terskelverdiene blir beregnet for. Terskelverdien λ , kalkuleres individuelt for hver krysskorrelasjon og filtrerte signal. Utgangspunktet for terskelverdien er standardavviket σ^{15} , til den enkelte filen. Standardavviket blir multiplisert med en konstant. Konstanten er α for krysskorrelerte data, og β for filtrerte signaler. Dette medfører at $\lambda_x = \sigma_x * \alpha$ for krysskorrelert fil nr. x , og $\lambda_y = \sigma_y * \beta$ for filtrert fil nr. y .

Standardavviket er som kjent en verdi som forteller noe om hvor mye informasjonen i et datasett varierer. Standardavviket er gitt ved 3.4 (Wikipedia [2009c]).

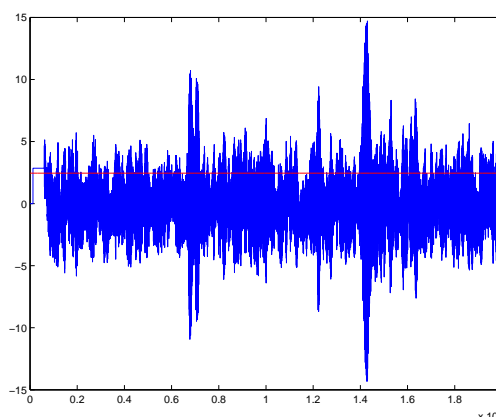
Dersom man kun hadde benyttet standardavviket til en av krysskorrelasjonene som en terskelverdi (illustrert i figur 3.13), ville man under ekkodetesjon fått veldig mange deteksjoner fordi nivået til standardavviket er relativt lavt i forhold til de største utslagene i signalet.

Å multiplisere standardavviket med en faktor er derfor nødvendig for å heve terskelen opp på et nivå slik at kun de mest markante ekkoeene registreres under ekkodetesjon. α og β er som nevnt konstante verdier og har blitt manuelt bestemt på bakgrunn av forsøk med flere signaler. Blant signalene som her ble benyttet var både signaler med sterke og mindre sterke ekkoutslag. Siden standardavviket er den verdien som er utslagsgivende for de individuelle terskelverdiene, vil en manuell bestemmelse av α og β , på bakgrunn av forsøk med ulike signaltyper, være tilstrekkelig. Verdiene til α og β har blitt bestemt på bakgrunn av de datasettene som ble benyttet i denne oppgaven.

Valg av for lav α og β vil føre til at mange falske positive registreringer (som gjør algoritmen tregere), mens en for høy verdi vil føre til at sanne positive ekkoutslag ikke

¹⁵ σ_x , hvor $x=1:n$, og n er antall datafiler

registreres fordi de ligger under terskelverdien. Dette har blitt tatt hensyn til under bestemmelsen av α og β . Måten dette har blitt gjort på er å bestemme verdier som er så lave at de heller fører til noen ekstra registreringer av falske positive enn at sanne positive ikke registreres. Konstantene som er valgt er som følger: $\alpha = 3$, $\beta = 10$.



Figur 3.13: Krysskorrelert data med standardavvikslinje

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.4)$$

Et signal med lave og svake ekko vil typisk ha lav snr. og lavere standardavvik enn et signal med kraftige og tydelige ekko. Terskelverdien ligger da lavt som i figur 3.14(b). I et signal som har få, enkeltstående ekko, vil standardavviket være større, og terskelverdien heves derfor til et nivå som skiller ut de ekkoene med høy amplitude, vist i figur 3.14(a). På denne måten blir tersklingen mer "fintfølende" for signaler med flere svake signaler, mens den heves og skiller tydeligere for signaler med få kraftige ekko.

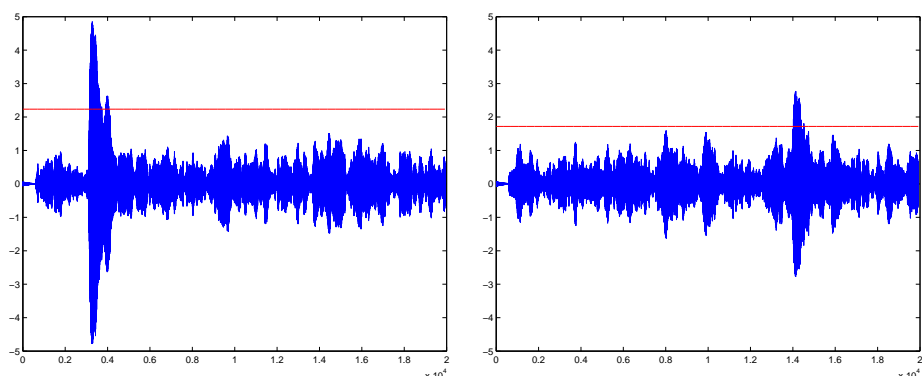
Eksempel på terskeltilpasning

Se på to signaler, signal 1 og signal 2. Begge er samplet med testperson to meter fra transduseren. Signalene har blitt filtrert med et båndpassfilter, og plott av signalene kan sees i figur 3.14(a) (signal 1), og 3.14(b) (signal 2). Signal 1 har et sterkt og tydelig ekko mens signal 2 har flere ekko med lavere amplitude. Terskelverdiene er plottet som en linje over signalene.

Signal 1 har snr på -23,5 , og terskelverdien er 2,23.

Signal 2 har snr på -25,9, og terskelverdien er 1,72.

Dette illustrerer at tersklingsmetoden fører til at signalet med størst standardavvik og snr. får en høyere deteksjonsterskel.



(a) Filtrert data med sterke ekkoutslag og høy terskel (b) Filtrert data med lavere ekkoutslag og lavere terskel

Figur 3.14: Variasjon i terskelverdi som følge av varierende signalstyrke

3.4.6 Deteksjon

Etter at det opprinnelige signalet har blitt filtrert og/eller krysskorrelert, er signalene klare for deteksjonsalgoritmen. Eventuelle ekko er nå mer fremtredende slik at direkte deteksjon av ekko eller indirekte deteksjon av objekter i vannet kan utføres. De filtrerte signalene og krysskorrelasjonene kjøres gjennom deteksjonsalgoritmen hver for seg og produserer adskilte resultater. Det er disse resultatene som utgjør grunnlaget for utregningen av deteksjonsrate.

Direkte ekkodeteksjon

Den direkte deteksjonsmetoden fungerer slik at filtrerte signal eller krysskorrelasjoner blir gjennomløst etter sterke ekko ved å detektere sampler med høy amplitude. Informasjon om amplituden til det registrerte ekkoet og avstanden fra transduseren, blir lagret for ekkoutslagene som registreres.

Avstanden, l , finnes på bakgrunn av informasjon om samplennummeret, s_n til ekkoet, sampleperioden, s_p , til signalet og lyd hastigheten i vann, v_v , og regnes ut ved å sette inn for s_n i 3.5. Divisjonen i 3.5 er nødvendig fordi signalet vandrer 2 ganger avstanden til objektet som detekteres.

Samplennummereringen til datafilene går fra 0 til 19920 hvor samplen 0 representerer data som ble samlet i det samme tidspunktet som signalet sendes ut.

Sampleperioden er oppgitt i informasjonen for datafilen som kan sees i vedlegg D, men kan og kalkuleres ved å benytte 3.2.

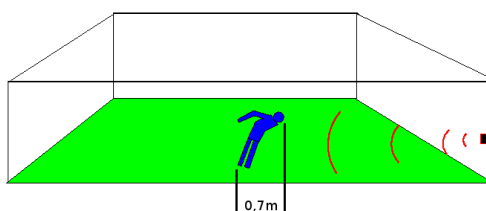
$$l = \frac{s_n * s_p * v_v}{2} = \frac{s_n * 0,0000008 * 1497}{2} \quad (3.5)$$

Signalet som skal analyseres av deteksjonsalgoritmen, enten det er et filtrert signal eller

en krysskorrelasjon, lastes inn som en variabel x , i en for-løkke¹⁶. I for-løkken blir x gjennomsøkt etter det sampelet med høyest positiv maksimumsverdi, k_1 (se figur 3.16(a)). Amplitudeverdien til k_1 og avstanden¹⁷ blir lagret.

Siden x på ny skal gjennomføres etter ytterligere ekko, blir alle sampler mellom $k_1 - 605$ til og med $k_1 + 605$ satt lik 0 (nullpadding) slik at de omliggende samplene rundt det registrerte maksimumspunktet ikke skal bli registrert når algoritmen på ny leter igjennom x etter maksimumspunkter. $605 \cdot 2$ sampler tilsvarer 0,7 meter og dekker i stor grad det området som refleksjonsoverflaten til et menneske kan strekke seg over, se figur 3.15

Maksimumsverdier som ligger umiddelbart rundt et registrert toppunkt trenger ikke registreres da de tilhører den samme refleksjonen.



Figur 3.15: Illustrasjon viser avstand i lengderetning som en puls kan reflekteres over

Etter to gjennomkjøringer av deteksjonsalgoritmen på dette signalet vist i figur 3.16(a), vil algoritmen ha funnet de to mest markante toppene i signalet. Signalet ser da ut som i figur 3.16(b). Her har de to toppene med størst amplitude blitt registrert. Etterpå har området rundt toppunktet blitt nullpaddet¹⁸. Dette blir gjort for at deteksjonsalgoritmen ikke skal registrere dette toppunktet ved neste gjennomkjøring. På denne måten kan andre ekko i signalet også detekteres.

Hvor mange topper som registreres av deteksjonsalgoritmen reguleres av terskelverdien som tidligere forklart. Terskelverdien kan visualiseres som en horisontal linje som skiller flest mulig sanne positive deteksjoner fra annen støy og som fungerer som den laveste verdien for registrering av toppunkt.

Deteksjonsalgoritmen skriver ut resultatmatriser som må tolkes manuelt, se vedlegg A og B for detaljer.

Indirekte deteksjon

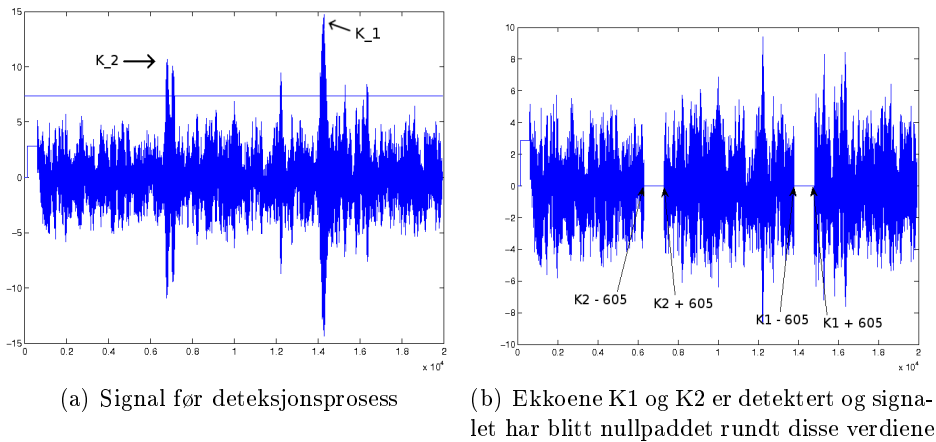
En form for indirekte verifikasjon av objekter i deteksjonssonen har blitt utviklet på grunn av problemer med ekkodeteksjon nær bassengveggen. Dette er forklart i 4.4.6.

I et tomt basseng vil den utsendte pulsen i stor grad kun reflekteres fra den motstående bassengveggen. Ved å kontinuerlig sammenligne de samlede signalene (figur 3.17(b)) med et referanseekko (figur 3.17(a)), vil man dersom et objekt kommer inn i deteksjonssonen detektere en endring. Måten dette gjøres på er at begge signalene sammenlignes i en

¹⁶En metode som gjenntar et sett med kommandoer til et forhåndsbestemt krav er oppfylt

¹⁷Posisjon i lengderetning fra transduseren

¹⁸Satt til verdien 0



Figur 3.16: Signal før og under gjennomkjøring av deteksjonsprosess

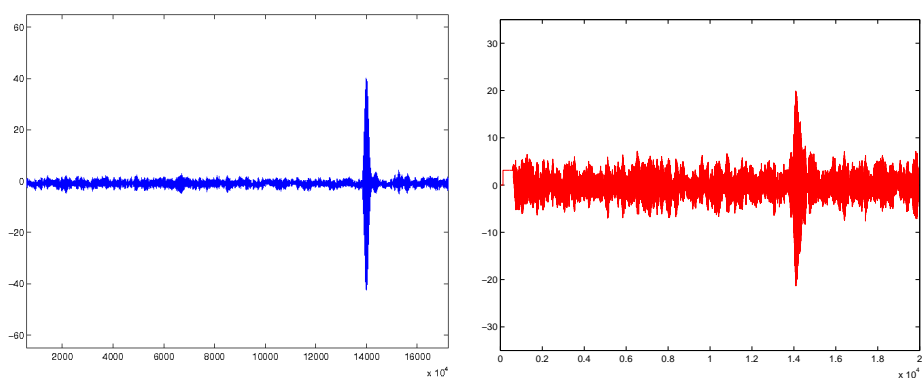
seksjon som tilsvarer området rundt bassengveggen. Ekkoreferansen har blitt samlet i et tomt basseng siden ekkonet fra den motstående bassengveggen da er sterkest. Forholdet mellom et samlet signal og referansen blir kalkulert ved å legge sammen alle sampelevdiene i signalutsnittene, og sammenligne disse. I et tomt basseng, eller så lenge ingen befinner seg i deteksjonssonen til sonaren, vil forholdet være omtrent 1/1. Dette er fordi signalstyrken til ekkonet i signalet som kontinuerlig leses inn, ikke er redusert av objekter i deteksjonssonen. Dersom en person beveger seg inn i deteksjonssonen vil han reflektere en del av lydimpulsen. På denne måten blir energien i pulsen som treffer bassengveggen mindre, og forholdet mellom denne og referanseekkoet endres.

Signalene som benyttes er først krysskorrelert eller filtrert. Sammenligningen mellom et signal og referanseekkoet kan sees i figur 3.17(c).

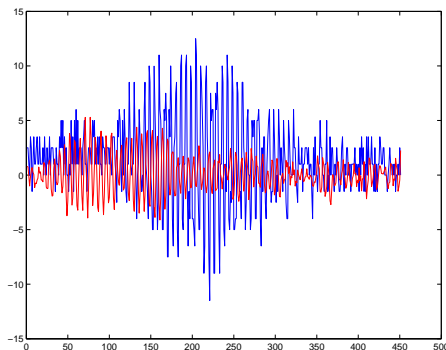
Forholdstallet som beregnes kan benyttes som grunnlaget for eventuelt å alarmere SwimEye. Dette forholdstallet blir prøvd ovenfor en manuelt definert, konstant desisjongsgrænse. Denne grenseverdien kan justeres for å gjøre metoden mer eller mindre fintfølede. Dersom forholdstallet mellom signal og referanse overstiger grenseverdien, kan SwimEye alarmeres.

Denne metoden kan benyttes alene eller i tillegg til den direkte deteksjonsmetoden.

3.4 Dataanalyse



(a) Krysskorrelert referanseekko. Tydelig ekko fra bassengvegg
(b) Krysskorrelert rådatasignal med et menneske i deteksjonssonen. Tydelig ekko fra bassengvegg



(c) Signalutsnitt fra tidsrommet rett før og rett etter pulsen treffer bassengkanten. Ekkoreferansen(blå) har her høyest amplitude.

Figur 3.17: Signal med ekkoutslag og ekkoreferanse, til bruk under den indirekte deteksjonsmetoden

Ekspirimeter og resultater

I et basseng er det flere faktorer som vil påvirke en lydbølges utbredelse og dens ekko. Sentrale faktorer er plassering av transduser, avstand til vegger, veggens form og materiale. Å være i stand til å gjenkjenne en person som ligger bevisstløs på bunnen er selvfølgelig viktig for et sonarbasert bassengovervåkningssystem, men også muligheten til å kunne tilpasse systemet slik at ekkoene som stammer fra aktivitet i overflaten eller veggene i bassenget ikke utgjør store problemer.

Å kartlegge hvordan et sonarsystem påvirkes av alle disse faktorene er viktig, men uoverkommelige under arbeidet med denne oppgaven. Denne oppgaven har derfor fokusert på det mest sentrale punktet som er deteksjon av mennesker i bassenget.

Et godt datagrunnlag er nødvendig og derfor har datainnsamling under forsøk med ekkoloddet blitt gjennomført. Alle eksperimentene som ble foretatt i vann ble utført i svømmebassenget på Universitetet i Stavanger. Det er disse eksperimentene som er grunnlaget for den videre databehandlingen. Under eksperimentene har en forsøksperson blitt benyttet for å gjenskape realistiske situasjoner i bassenget.

I dette kapitlet beskrives signalegenskaper, støy og deteksjonsutfordringene som støyen medførte. Testoppsettene som ble benyttet er og beskrevet, etterfulgt av resultatene.

4.1 Kartlegging av signalegenskaper

Før sonaren kunne benyttes til å gjennomføre datainnsamlingen, ble den utprøvd i bassenget. Dette ble blant annet gjort for å kartlegge egenskapene til de reflekterte signalene og for å bekrefte at loggeutstyret fungerte tilfredsstillende.

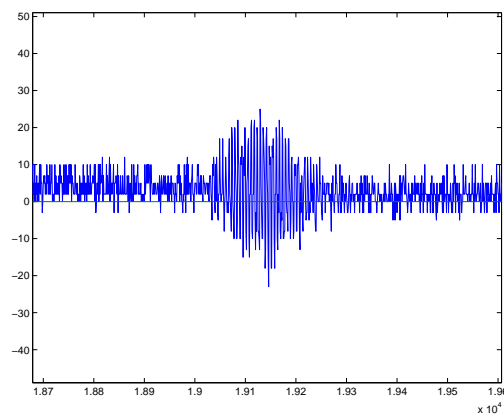


Figur 4.1: Svømmebassenget på Universitetet i Stavanger

4.1.1 Kartlegging av ekkosignaler

Ekkosignalene har en amplitude som ligger godt under støygulvet i det avleste signalet, og ble først oppdaget etter bortfiltrering av støyen. Et sterkt ekkosignal (refleksjon av alle 20 periodene) har en gradvis stigende til gradvis synkende, oval/elliptisk form, se figur 4.2. Spenningen fra bunn til topp ligger rundt 2-6mV og frekvensen ligger relativt konstant på 200kHz, ifølge manuelle avlesninger på oscilloskopet.

Varigheten på mottatte ekkosignaler er omtrent 125 μ s som består av samme antall perioder som det utsendte signalet(20).



Figur 4.2: Plott av ekko reflektert fra bassengkant

Verifikasjon av ekkosignal

For å verifisere og kartlegge egenskapene til et tydelig ekkosignal, ble eksperimentet som her beskrives, utført tidlig i forsøksfasen. Resultatene er interessante og bekrefter hypotesen om at den observerte pulsen på oscilloskopet faktisk var den utsendte pulsen reflektert fra bassenggulvet. Dette var nyttig for det videre arbeidet da dette eksperimentet ga erfaringsgrunnlag for oppsett og utførelse av videre eksperimenter.

Transduseren ble plassert i overflaten av bassenget med emisjonsretning vertikalt nedover. Vanddybde er her 3,2m. Signalets totale vandring er da omtrent 6,4m.

Et ekko registreres visuelt på oscilloskopet 4,2mS etter den utsendte pulsen. Antagelsen som ble gjort er at dette er det utsendte signalet som reflekteres fra bassengbunnen.

For å verifisere dette ble følgende undersøkelse utført.

At utslaget som vises på oscilloskopet er den utsendte pulsen som reflekteres fra bassengbunnen, kan indirekte bekreftes på følgende måte. Ved å regne ut hvor langt lydimpulsen har vandret i vannet, l på bakgrunn av kunnskap om den tiden det tok fra den forlot transduseren til den på ny registreres t_p , kan det bestemmes fra hvilken avstand ekkoet er reflektert. Lydbølgens forflytting i vannet beregnes i likning 4.1 og avstanden til objektet som reflekterer ekkoet(bunnen) finnes ved å dele dette svaret på to. Dette fordi den utsendte pulsen vandrer 2 ganger avstanden fra transduseren til objektet som detekteres. Avstanden fra transduseren til objektet som ekkoet stammer fra er 3,15 meter. Dette stemmer også bra med avstanden fra transduseren til bassengbunnen.

- Opprinnelig puls utsendt ved $t_0 = 0$ mS
- Mulig ekkoregistrering ved $t_1 = 4,2$ mS
- Lydhastighet i vann, v_v : 1497m/s

$$l = \frac{t_p * v_v}{2} = \frac{0,0042 * 1497}{2} \simeq 3,15m \quad (4.1)$$

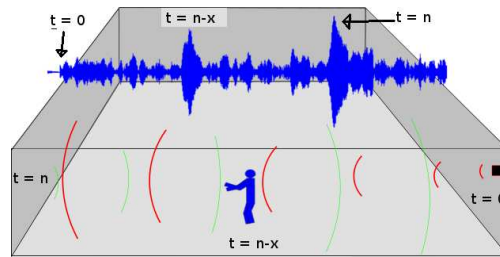
Det observeres videre at ved å bevege transduseren nærmere og lenger ifra bunnen, reduseres og økes også avstanden mellom ekkoet og den utsendte pulsen tilsvarende.

Dersom vinkelen mot veggen overstiger omtrent 20 grader, synker amplituden til det reflekterte signalet betraktelig. Dette stemmer også med informasjonen om strålevinkelen som er oppgitt for ekkoloddet, se avsnitt 3.1.1.

Se figur 4.3 for en illustrasjon over hvilken del av et ekkosignal som stammer fra hvilket objekt i bassenget.

4.1.2 Beskrivelse av støy

Støyen som ligger på signalet har en topp til topp spenning (v_{p-p}) på omtrent 20mV. Støy med denne amplituden er ikke ukjent i forbrukerelektronikk og gjerne særlig elektronikk



Figur 4.3: Illustrasjon som viser sammenhengen mellom lydimpulsen utbredelse og ekko-signalet den produserer

med tilkoblede kabler.

Et plott av støyen kan sees i figur 3.8(a).

Kabelen, som består av to ledere, har kun skjerming i form av at jordlederen er formet til en kappe rundt signallederen. Kabelen er omtrent 8 meter og er på grunn av lengden ekstra utsatt for elektromagnetisk påvirkning.

En annen støykilde er ulike former for vibrasjoner og lydimpulser i vannet. Piezokrystallet vil også reagere på andre lydimpulser i vannet. Lydimpulser og vibrasjoner fra vannpumper vil kunne slå inn på transduseren og bidra til støybildet som ellers skapes av elektromagnetisk påvirkning.

En tredje gruppe støykilde er refleksjoner av det utsendte signalet som har vandret mellom bassengveggene og vannoverflaten noen ganger. Disse signalene har da rukket å bli del forsinket i tid, før de slår inn på transduseren. Dersom de da slår inn først *etter* at neste puls allerede er utsendt, vil de forsinkede signalene altså samples i tidsrommet hvor den *neste* pulsen samples.

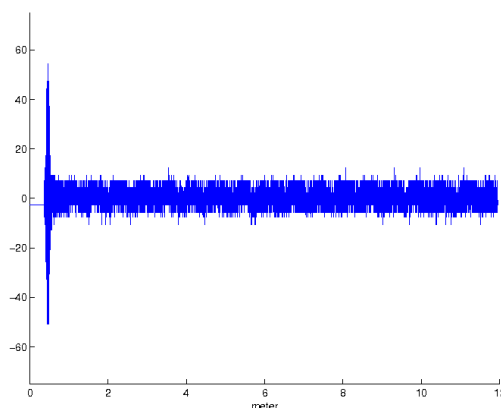
Slike ekko vil ha så lite energi at de ikke vil gjøre stort utslag, men vil bidra til det totale støybildet.

Krysskorrelasjon av rådata (se avsnitt 3.4.4) viser utslag av frekvenser rundt 200kHz, også ved avstander hvor det ikke befant seg forsøksperson eller en bassengvegg. Dette forsterker teorien om at det finnes gamle signalkomponenter bland støyen.

Se figur 3.8 for plott av rådata, og krysskorrelasjon mellom rådata og referansesignal.

4.1.3 Signal til støyforhold og deteksjonsbegrensninger

Den første utfordringen i signalbehandlingsprosessen var signal til støyforhold mellom støyen og det samplede signalet. Signal til støyforhold er forklart i 3.3. Etter støyfjerning er signal til støyforholdet bedret betraktelig. I de fleste tilfeller fra negativt til positivt. Som nevnt kan man ikke regne ut signal til støyforholdet til krysskorrelasjoner og derfor kan man ikke benytte dette i sammenligningen mellom krysskorrelasjon og båndpassfiltrering. Begrepet snr benyttes allikevel når resultatet av krysskorrelasjon omtales, men gir da kun mening som en verbal beskrivelse av resultatet til krysskorrelasjonen.



Figur 4.4: Rådata samplet når testperson befinnant seg 0,5m fra transduser]

4.2 Bassengforsøk med registrering av ekkosignaler fra menneske

Disse eksperimentene er utført for å se i hvilken grad et menneske vil reflektere lyd-pulsen fra transduseren. Datastrømmen inn til transduseren ble samlet i en tidsperiode som varte like lenge som det vil ta for pulsen å forplante seg fra transduseren til motsatt side i bassenget og tilbake igjen. Dette gir en rådatafil som strekker seg fra det tidspunktet hvor signalet/pulsen sendes ut, til det tidspunktet som ekko fra den motstående bassengveggen registreres. Det sistnevnte ekkoet er en lydbølge som da har vandret fra transduseren, til den motstående veggen og tilbake igjen til transduseren. Ved å sample data i hele dette tidsrommet vil utslag fra alle avstander bli registrert.

En enkel innledende test ble utført for å undersøke i hvilken grad det var mulig å avlese ekkoet fra et menneske visuelt på oscilloskopet. Videre eksperimenter ble gjennomført i to deler, "Testdel 1" og "Testdel 2".

Testdel 1 ble gjennomført for å kartlegge i hvilken grad et menneske vil reflektere lyd-pulsen tilbake til transduseren i ulike situasjoner, under lett reproduerbare og kontrollerte forhold. Eksperimentene er satt opp slik at de vil utfordre transduserens strålevinkel ved å plassere forsøkspersonen mot yttergrensene av deteksjonsarealet. Dette vil gi svakere utslag enn dersom man befinner seg rett foran transduseren. Systemets evne til å registrere svake ekko blir også testet ved at forsøkspersonen i noen av posisjonene under forsøkene er plassert slik at kun en begrenset overflate treffes av pulsen. På denne måten reflekteres mindre av pulsen.

Disse eksperimentene ble utført i/nær overflaten for å gjøre kommunikasjonen mellom instruktør og forsøksperson lettere og tidsbesparende. Transduseren ble plassert 0,5 meter under overflaten.

Testdel 2 ble gjennomført for å kartlegge sonarens egenskaper til å registrere et menneske i et basseng under mer realistiske forhold. Disse forsøkene ble gjennomført med testpersonen liggende/sittende på/nær bunnen av bassenget. Transduseren ble plassert 0,5 meter

fra bunnen. Disse forsøkene er mer realistiske i forhold til plassering av forsøkspersonen som her forsøker å gjenskape situasjoner som kan oppstå under et drukningsforløp.

Det har ikke blitt utført forsøk for å kartlegge støypåvirkning fra mennesker i vannoverflaten. Siden strålevinkelen til transduseren er 45° vil føttene fra et menneske som "står" i vannet reflektere den utsendte pulsen fra to horisontalmeter og utover. Denne problemstillingen er omtalt i diskusjonskapittelet.

4.3 Beskrivelse av testoppsettene

Her beskrives detaljene rundt gjennomføringen av bassengforsøkene. Forsøkene ble utført etter to prinsipper som beskrevet i forrige avsnitt. Videre følger en oversikt over de to testdelene og over hvilke posisjoner forsøkspersonen inntok under forsøkene. For hver posisjon som forsøkspersonen inntok i bassenget, ble datastrømmen med ekkodata fra bassenget samlet i oscilloskopet og lagret.

Datafilene ble videre overført til en datamaskin og gruppert i mapper. En mappe inneholder datafiler som ble samlet ved samme avstand¹.

4.3.1 Testdel 1

Plassering av transduseren under denne delen av forsøkene var 50cm under overflaten. Transduseren var rettet horisontalt mot den motstående bassengveggen som vist i figur 4.6(a).

Tabell 4.1 gir en oversikt over posisjonene og figur 4.6(b) viser plasseringene av forsøkspersonen. Tabell 4.2 gir en oversikt over hvilke posisjoner som ble benyttet ved hvilke avstander. Den siste avstanden som forsøk ble gjennomført ved er 9 meter, men den egentlige avstanden var noe mindre på grunn av at transduseren sto litt ut i vannet.

Merk at det i figur 4.5(a) ikke har blitt tegnet inn sideveis plassering av testpersonen for forsøkene utført ved 9 meter.

4.3.2 Testdel 2

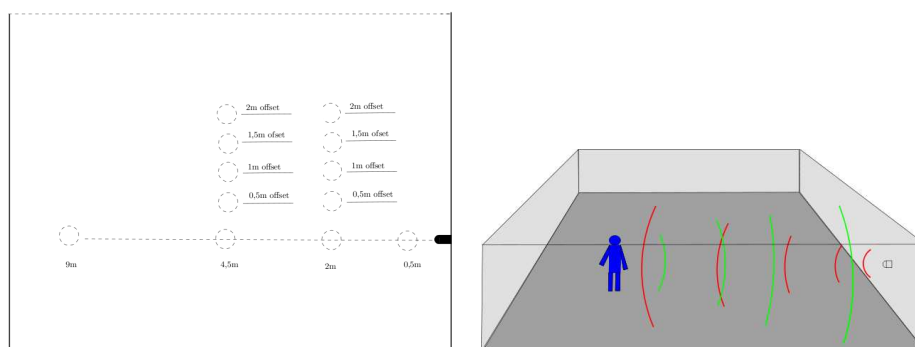
Plassering av sonar og emisjonsretning var 40cm over bunnen, rettet horisontalt mot motstående langside, se figur 4.7(a).

Tabell 4.3 gir en oversikt over posisjonene og figur 4.7(b) viser posisjonene som forsøkspersonen benyttet under testdel 2. Tabell 4.4 viser hvilke posisjoner som ble benyttet ved de ulike avstandene.

Avstanden mellom transduser og motstående bassengvegg under denne testdelen var 8 meter. Dette på grunn av kantene langs bassengveggen som reduserer bredden i bassenget fra ca. 1,5 meters dyp og nedover.

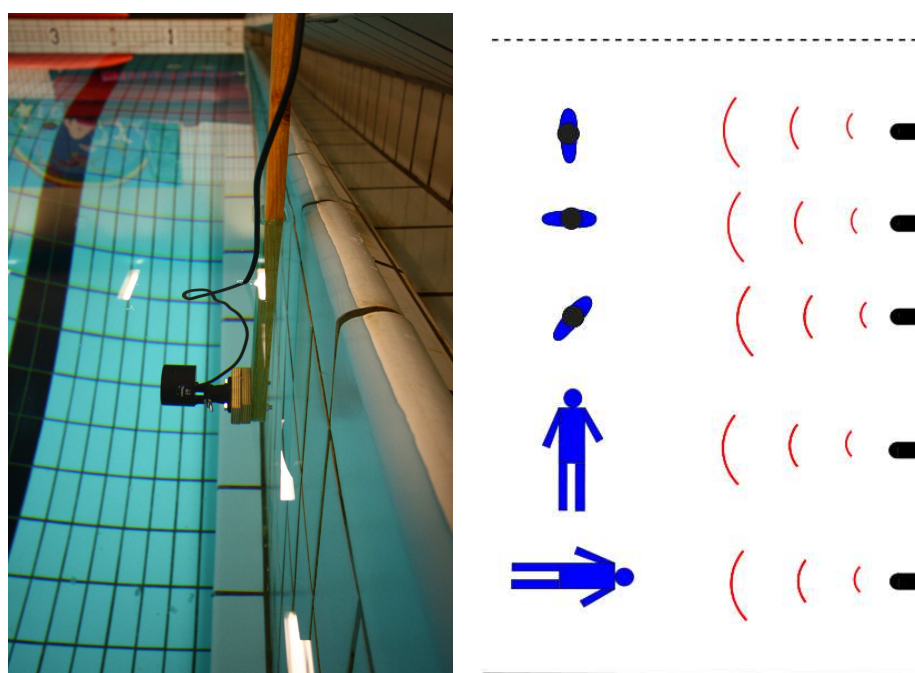
¹Se figur B.1 for detaljer

4.3 Beskrivelse av testoppsettene



(a) Posisjonering av testperson i bassenget under forsøkene, sett ovenfra
(b) Skisse av forsøk hvor testperson er "vendt mot transduser"

Figur 4.5: Posisjonering sett ovenfra og eksempel på posisjonering sett fra siden

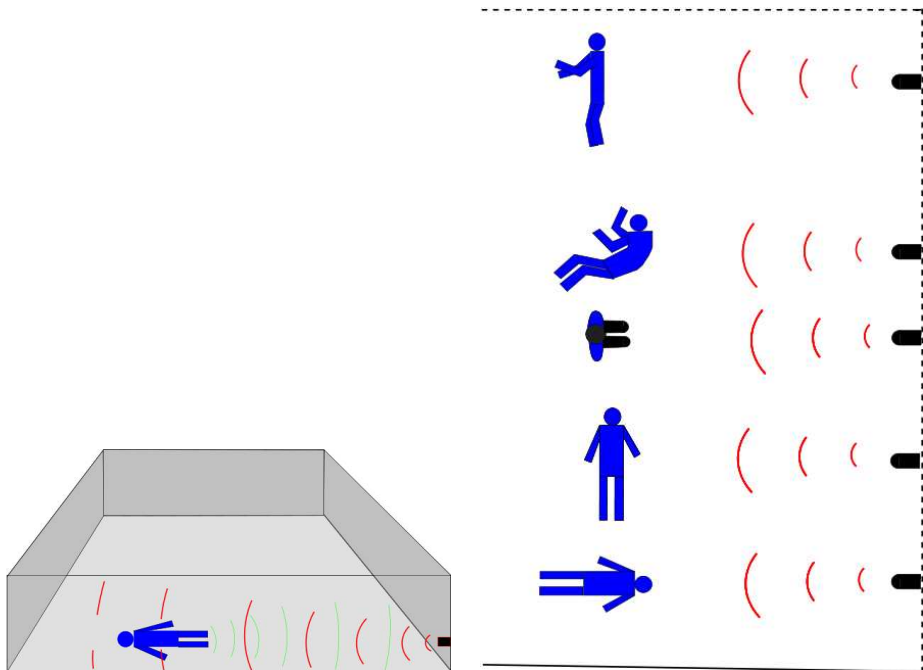


(a) Plassering av transduser under del 1 av forsøkene
(b) Skisser av de ulike stillingene som er benyttet under testdel 1

Figur 4.6: Posisjonering av transduser og testperson under del 1 av forsøkene

Posisjon	Figurreferanse
Står i vannet. Vendt mot transduser	4.6(b) nr 1 fra topp
Står i vannet. 45 grader dreining	4.6(b) nr 3 fra topp
Står i vannet. 90 grader dreining	4.6(b) nr 2 fra topp
Ligger vannrett. 30 cm under overflate Hodet mot transduser”	4.6(b) nr 5 fra topp
Ligger vannrett. 30 cm under overflate Langside mot transduser”	4.6(b) nr 4 fra topp
Står 0,5 meter til siden for senter	4.5(a)
Står 1 meter til siden for senter	4.5(a)
Står 1,5 meter til siden for senter	4.5(a)
Står 2 meter til siden for senter	4.5(a)

Tabell 4.1: Posisjonsbeskrivelse testdel 1



(a) Skisse av forsøk hvor testperson ”Ligger på bunn med magen ned. Hode mot transduser” (b) Skisser av de ulike stillingene som er benyttet under testdel 2

Figur 4.7: Posisjonering av testperson under del 2 av forsøkene

4.3 Beskrivelse av testoppsettene

Avstand	Posisjonsnummer	Beskrivelse
0,5 m		
	1.1.1	Person "står" i vannet, vendt mot transduser
2 m		
	1.2.1	Står i vannet. Vendt mot transduser
	1.2.2	Står i vannet. 45 grader dreining
	1.2.3	Står i vannet. 90 grader dreining
	1.2.4	Ligger vannrett. 30 cm under overflate
	1.2.5	Ligger vannrett. 30 cm under overflate
	1.2.6	Står 0,5 meter til siden
	1.2.7	Står 1,0 meter til siden
	1.2.8	Står 1,5 meter til siden
	1.2.9	Står 2,0 meter til siden
4,5 m		
	1.3.1	Står i vannet. Vendt mot transduser
	1.3.2	Står i vannet. 45 grader dreining
	1.3.3	Står i vannet. 90 grader dreining
	1.3.4	Ligger vannrett. 30 cm under overflate. Hodet mot transduser
	1.3.5	Ligger vannrett. 30 cm under overflate. Langside mot transduser
	1.3.6	Står 0,5 meter til siden
	1.3.7	Står 1,0 meter til siden
	1.3.8	Står 1,5 meter til siden
	1.3.9	Står 2,0 meter til siden
9 m		
	1.4.1	Står i vannet. Vendt mot transduser.
	1.4.2	Står i vannet. 45 grader dreining.
	1.4.3	Står i vannet. 90 grader dreining.
	1.4.4	Ligger vannrett. 30 cm under overflate. Hodet mot transduser.
	1.4.5	Ligger vannrett. 30 cm under overflate. Langside mot transduser.
	1.4.6	Står i vannet 0,5 meter fra vegg
	1.4.7	Står i vannet 1 meter fra vegg

Tabell 4.2: Testoppsett, testdel 1

Posisjon	Figurreferanse
Sitter med brystkasse vendt mot, og i høyde med transduser	4.6(b) nr 3 fra topp
Ligger på bunn. Rygg mot transduser	4.6(b) nr 1 fra topp
Ligger på rygg på bunn. Langside mot transduser	4.6(b) nr 4 fra topp
Ligger på bunn med magen ned. Hode mot transduser Hodet mot transduser”	4.6(b) nr 5 fra topp
Ligger på bunn. Fosterstilling med rygg mot transduser Langside mot transduser”	4.6(b) nr 2 fra topp

Tabell 4.3: Posisjonsbeskrivelse testdel 2

Avstand	Posisjonsnummer	Beskrivelse
0,5 m		
	2.1.1	Sitter med brystkasse vendt mot, og i høyde med transduser
2 m		
	2.2.1	Person sitter på knærne med brystkasse vendt mot, og i høyde med transduser
	2.2.2	Ligger på bunn. Rygg mot transduser
	2.2.3	Ligger på rygg på bunn. Langside mot transduser
	2.2.4	Ligger på bunn med magen ned. Hode mot transduser
	2.2.5	Ligger på bunn. Fosterstilling med front mot transduser
4,5 m		
	2.3.1	Person sitter på knærne med brystkasse vendt mot, og i høyde med transduser
	2.3.2	Ligger på bunn. Rygg mot transduser
	2.3.3	Ligger på rygg på bunn. Langside mot transduser
	2.3.4	Ligger på bunn med magen ned. Hode mot transduser
	2.3.5	Ligger på bunn. Fosterstilling med front mot transduser
8 m		
	2.4.1	Ligger på bunn. Rygg mot transduser
	2.4.2	Ligger på bunn på rygg. Langside mot transduser
	2.4.3	Ligger på bunn. Hode mot transduser
	2.4.4	Ligger på bunn. Fosterstilling
	2.4.5	Ligger på bunn. Fosterstilling. Ved avstand 7 meter

Tabell 4.4: Testoppsett, testdel 2

4.4 Oppsummering av resultater

Det er resultatene fra deteksjonsskriptet som gjør selve ekkodetekteringen², som er grunnlaget for vurderingen av deteksjonsmetodene. Det er og resultatene fra dette skriptet som presenteres i resultatoversikten.

Resultatene er gruppert etter de ulike filtreringsmetodene som er grunnlaget for deteksjonsskriptet. Resultatene blir presentert i form av en deteksjonsrate. Deteksjonsraten er definert tidlig i avsnitt 3.4, i kapittelet om data og signalbehandling.

Resultatene fra analysen av dataene i området nær den motstående bassengveggen blir ikke presentert her. Årsaken er problemer med å gjøre korrekt deteksjon i dette området. Dette forklares i avsnitt 4.4.6. Alle resultatene er derimot vedlagt i A.

4.4.1 Resultater med utgangspunkt i krysskorrelert data

Resultatene fra deteksjonsskriptet med utgangspunkt i krysskorrelasjon som støyreduksjonsmetode, er presentert i tabell 4.5.

Data fra forsøk hvor forsøkspersonen befant seg ved bassengveggen er ikke med i oversikten.

	Deteksjonsrate	Deteksjonsrate i %
Testdel 1		
Antall datafiler: 19	12/19	63%
Testdel 2		
Antall datafiler: 11	8/11	73%

Tabell 4.5: Resultater krysskorrelasjonsmetode

4.4.2 Resultater med utgangspunkt i båndpassfiltrering

Resultatene til deteksjonsskriptet med utgangspunkt i båndpassfiltrering som støyreduksjonsmetode, er representert i tabell 4.6.

Data fra forsøk hvor forsøkspersonen befant seg ved bassengveggen er ikke med i oversikten.

	Deteksjonsrate	Deteksjonsrate i %
Testdel 1		
Antall datafiler: 19	11/19	58%
Testdel 2		
Antall datafiler: 11	7/11	64%

Tabell 4.6: Resultater båndpassfiltrering

²Se vedlegg B.6 for beskrivelse av deteksjonsskriptet

4.4.3 Resultater med utgangspunkt i peakfiltrering

Resultatene til deteksjonsskriptet med utgangspunkt i peakfiltrering som støyreduksjonsmetode, er representert i tabell 4.7.

Data fra forsøk hvor forsøkspersonen befant seg ved bassengveggen er ikke med i oversikten.

	Deteksjonsrate	Deteksjonsrate i %
Testdel 1		
Antall datafiler: 19	6/19	31%
Testdel 2		
Antall datafiler: 11	7/11	64%

Tabell 4.7: Resultater peakfiltrering

4.4.4 Sammen drag over resultatene fra de ulike posisjonene - testdel 1

Den sammenlagte deteksjonsraten fra avstandene 2 og 4,5 meter, til de ulike posisjonene i testdel 1 er her presentert på grunnlag av resultatoversikten i vedlegg A.

Ved avstanden 0,5 meter er det bare gjort måling for én posisjon, og målingene fra 9 meter er ikke tatt med av samme årsak som tidligere.

Her er deteksjonsraten for en posisjon³ funnet på denne måten:

De korrekt detekterte ekkoene blir lagt sammen for alle de tre støyreduksjonsmetodene⁴. Dette betyr at resultater fra totalt $2 * 3 = 6$ deteksjonsgjennomkjøringer, er presentert for hver posisjon.

Posisjonen "0.5 meter til siden":
deteksjonsrate: 6/6

Posisjonene "1, 1.5 og 2 meter til siden":
deteksjonsrate: 0/6

Posisjonene "0°dreining" og "45°dreining":
deteksjonsrate: 6/6

Posisjonen "90°dreining":
deteksjonsrate: 4/6

Posisjonen "langside mot transduser":
deteksjonsrate: 4/6

Posisjonen "hode mot transduser":
deteksjonsrate: 1/6

³En "posisjon" henviser til plasseringen av forsøkspersonens vinkling/posisjon i bassenget. For eksempel "90°dreining"

⁴Krysskorrelasjon, båndpass- og peakfiltrering

4.4 Oppsummering av resultater

Resultatene viser at posisjoner i områdene til siden for senteret⁵ til pulsen, samt de posisjonene som gir liten refleksjonsoverflate⁶ gir dårlig deteksjonsrate.

4.4.5 Sammendrag over resultatene fra de ulike posisjonene - testdel 2

Deteksjonsratene til de ulike posisjonene i testdel 2 er her presentert på tilsvarende måte som i avsnittet over. Grunnlaget for deteksjonsratene er resultatene presentert i vedlegg A. Her er deteksjonsraten for en posisjon definert på samme måte som i forrige avsnitt. Resultatene som ble gjort ved 0,5 og 8 meter er ikke tatt med.

Posisjonen "fosterstilling":
deteksjonsrate: 4/6

Posisjonene "hodet mot transduser":
deteksjonsrate: 3/6

Posisjonene "langside mot transduser":
deteksjonsrate: 4/6

Posisjonen "rygg mot transduser":
deteksjonsrate: 3/6

Posisjonen "sitter":
deteksjonsrate: 6/6

Også disse resultatene viser at posisjoner som gir liten refleksjonsoverflate, eksempelvis "hode mot transduser", gir en lavere deteksjonsrate enn de andre posisjonene.

4.4.6 Oppsummering

De første visuelle studiene av datastrømmen viste ingen ekko fra mennesket som befant seg i bassenget, med mindre personen sto nærmere enn to meter fra transduseren.

De videre testene som ble gjort viste i de fleste tilfellene heller ingen tydelige ekko, bare tilsynelatende en masse støy. I den videre databehandlingen ble derfor alle filene krysskorrelert og båndpassfiltrert som forklart i forrige kapittel. For mange av datafilene viser resultater fra krysskorrelering og båndpassfiltrering sterke utslag der hvor ekkoet var ventet å være. Spesielt i de tilfellene der testpersonen står foran transduseren er utslagene sterke.

I andre situasjoner, eksempelvis når testpersonen står med en 90 graders dreining til siden, eller når han lå med hodet mot transduseren, utgjorde personen et mindre areal og reflekterte derfor en mindre del av den utsendte pulsen. I slike tilfeller vil ofte et ekko fra den motstående bassengveggen mottas i mye større grad.

⁵"1, 1.5 og 2 meter til siden"

⁶"hode mot transduser"

Problematisk deteksjonsområde

I forsøkene der testpersonen sto mer eller mindre inntil den motstående bassengveggen viste det seg å være svært vanskelig å skille mellom ekko fra bassengvegg og ekko fra testpersonen. Dette kan forklares med at det utsendte signalets bølgelengde er $\lambda = 0,0075m$, kalkulert med likning 4.2. Siden den utsendte pulsen består av 20 perioder blir bølgelengden til den utsendte pulsen $l_p = 0,15m$, ref. likning 4.3. Den sammenlagte bølgelengden er også kalt avstandsoppløsning⁷. Disse signalegenskapene må betraktes når minimum deteksjonsavstand mellom to objekter, Δa , skal bestemmes. Δa er minste avstand to objekter kan ha for at sonarsystemet skal kunne detektere dem separat. Denne avstanden bør være noe større enn l_p slik at ikke ekkoene fra de to blir kombinert slik tilfellet er for objekter nær bassengveggen.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{1497}{200000} = 0,0075m \quad (4.2)$$

$$\lambda * 20 = 0,0075 * 20 = 0,15m \quad (4.3)$$

Gitt at en person står inntil bassengveggen og har en dybde mellom rygg og mage på ca 20 cm, vil dette bety følgende: Først i det tidspunktet når alle periodene av den utsendte pulsen har truffet personen som står inntil bassengveggen, vil den delen av pulsen som gikk utenfor personen begynne å treffe veggen. Ekkoene fra personen og ekkoet fra bassengveggen vil på grunn av dette overlapse hverandre siden den utsendte pulsen har såpass lang utstrekning. Dette er illustrert i figur 6.1(a)

Det er vanskelig å detektere hvilken del av signalet som stammer fra personen og hvilken del som er reflektert fra veggen fordi avstandene er så små og fordi ekkoene overlapper. Denne problematikken kan muligens løses dersom man benytter metoden for indirekte deteksjon som er beskrevet i 3.4.6. Man kan med denne metoden ikke detektere personen, men man oppdager at det er en person i deteksjonssonen. Andre alternative løsninger er omtalt i diskusjonskapittelet.

På grunn av problematikken med korrekt deteksjon i området nær bassengveggen bør ikke resultatene fra disse forsøkene tas med under betraktningen av deteksjonsmetoden.

⁷Eng.: range resolution

I det følgende blir konklusjonen presentert. Videre anbefalinger blir også diskutert.

Målet med denne oppgaven var å undersøke muligheten til å benytte sonarteologi for å detektere mennesker i svømmebasseng. Resultatene viser at dette er mulig, men med visse forbehold.

En metode har blitt utviklet for å detektere ekko fra objekter i svømmebassenget. Det klarer den bra under visse omstendigheter. Resultatene fra kapittel 4 viser at den beste deteksjonsraten for testdel 1 er 63%. Dette resultatet gjenspeiler testoppsettet, hvor mange av posisjonene og plasseringene var valgt for å utfordre systemet. At deteksjonsraten er så lav, er derfor en bra ting fordi det belyser svakhetene med utstyret som ble benyttet.

Støyreduksjonssmetoden som førte til den beste deteksjonsraten var krysskorrelasjon. Dette går frem av resultatene i 4.4.1.

En metode for indirekte objekt-deteksjon har også blitt utviklet som følge av problemer med ekkodeteksjon, når avstandsoopløsningen ble en begrensning i området nær bassengveggen. Metoden fungerer som en overvåkning av hele deteksjonsområdet, og reagerer dersom et objekt kommer innenfor deteksjonsområdet mellom transduser og bassengvegg. Metodens begrensninger er at den ikke kan gi informasjon om avstanden til objektet som "utløser" alarmen.

På spørsmålet om en sonar kan benyttes til å detektere mennesker i et svømmebasseng er svaret med forbehold, ja. Resultatene viser at ekkosignalene fra testpersonen i mange tilfeller var så sterke at det er muligjorde korrekt deteksjon. En svakhet med denne deteksjonsmetoden er at den ikke ser forskjell på ekkosignaler som stammer fra mennesker og ekko som stammer fra en bassengvegg. Informasjon om avstanden til ekkoene gjør at metoden allikevel vet om de stammer fra den motstående bassengveggen, eller et objekt

mellom bassengveggen og transduseren. I området nær bassengveggen var det likevel vanskelig å gjøre korrekt ekkodeteksjon, men en løsning har som nevnt blitt utviklet.

Bruk av sonar i et bassengovervåkningssystem vil helt klart kunne redusere antall feilmeldinger, men med forbehold om at deteksjonsproblematikken nær bassengveggen og i områdene til siden for pulssenteret blir løst på en god måte.

For å finne et svar og en god løsning på en problemstilling under en begrenset tidsperiode kan man ikke ta for seg alle aspekter ved apparatur, metode og databehandling. Dette har også vært tilfellet med denne oppgaven. For eksempel tar arbeidet med datainn-samling mye tid, og må derfor begrenses slik at det passer med omfanget av oppgaven. Forbedringsområder, anbefalinger og refleksjon rundt metodevalg blir her diskutert.

6.1 Vurdering av støyreduksjonsmetoder

Både krysskorrelasjon og filtrering førte til gode resultater, men krysskorrelasjon av rå-dataene førte til best deteksjonsrate under ekkodeteksjonen.

Selve signalbehandlingen gjøres av Matlab. Innlasting av et data, støyreduksjon og de-tekstasjon utføres på 0.16 sekunder på en gjennomsnittlig bærbar datamaskin. Tilsvarende signalbehandling vil trolig ikke bruke nevneverdig mer tid når det gjøres i Java, som er miljøet SwimEye kjører i.

Dersom man skulle brukt et IIR-filer må det vurderes hva den ulineære fasen vil bety for filtreringen. Siden data fra sonaren lagres for senere etterbehandling har forsinkelser som ulineær fase påfører signalet liten betydning. En implementasjon av et tilsvarende sonarsystem i SwimEye vil også kunne være uavhengig av lineær fase, siden tiden det tar å sample og lagre et signal med tidsforløp på 12 μ S er liten.

Sanntids signalbehandling vil være mest ideelt for et system som har som oppgave å redde liv. Løsningen som her er presentert er ikke tilpasset sanntidsovervåking, men metodene kan tilpasses slik at de er i stand til å utføre hele prosessen med relativ liten forsinkelse. En kvalifisert gjetning på tidsforbruk vil da være rundt ett sekund for hele prosessen med sampling, mellomlagring, signalbehandling og ekkodeteksjon.

Begge metodene er relativt raske, men krysskorrelasjon er i snitt noe raskere.

Snittid¹ for en enkel krysskorrelasjon er 0,03s.

Snittid for en enkel filtrering er 0.06s.

Matlabkoden med støyreduksjon og deteksjonsmetodene som har blitt utviklet kan ikke overføres direkte til Davos systemer. Metodene må tilpasses med tanke på programmeringsspråk og kommunikasjonsprotokoller.

6.2 Vurdering av de ulike deteksjonsmetodene

Metoden for direkte deteksjon fungerer bra i tilfellene hvor forsøkspersonen er vinklet slik at han presenterer en stor refleksjonsoverflate, og befinner seg i senterlinjen til pulsen fra transduseren. Dette går frem av resultatene presentert i 4.4.4. Disse resultatene forsterker forklaringen om at ekkoloddet som ble benyttet ikke er særlig effektivt dersom man beveger seg særlig mye utenfor senteret til den emitterte pulsen.

Den indirekte deteksjonsmetoden ble testet på tre datasett².

Metoden slo ikke ut på noen av de tre testsignalene som ble samlet i et tomt basseng. Derimot slo den ut i 16 av 26 tilfeller under gjennomkjøring av alle båndpassfiltrerte signaler i testdel 1. Det var som kjent en person i vannet under samplingen av alle disse resultatene. Metoden slo ofte ikke ut for posisjonene der forsøksperson sto til siden for pulssenteret.

Terskelverdien som er benyttet fungerer greit med de få ekkoreferansene den ble prøvd på. Det må likevel gjøres ytterligere forsøk, da verdien bør bestemmes på bakgrunn av et bredere datagrunnlag.

6.3 Mulige feilkilder og begrensninger i utstyret

Her følger en diskusjon av mulige feilkilder og begrensninger i utstyret som ble benyttet.

6.3.1 Vurdering av signalkilden

Stoffet i avsnittet som forklarer virkemåten til chirp-signaler er i stor grad hentet fra Tritech International Ltd [2009b].

Sonarsystemet som ble benyttet er av en enkel type og har visse begrensninger i form av at det ikke er mulig å påvirke signalform, frekvens og styrke. Et mer konfigurerbart sonarsystem kunne blitt benyttet, men tiden ble prioritert på å utforme en god metode samt å utvikle programvare for signalbehandling og ekkodeteksjon.

¹Målt med tic - toc kommandoen i MatLab

²Se vedlegg C for beskrivelse av hvordan disse dataene benyttes i programmet

Aspekter som vil være interessante under videreutvikling av konseptet er om ulik signalform, eksempelvis et CHIRP-signal³ som i figur 2.3, vil kunne fortelle mer om mediet som lydimpulsen reflekteres av. Siden bassengveggene er et konstant element vil det på en annen side muligens være hensiktsmessig å spesialtilpasse frekvensen og pulslengden slik at oppløsningen på ekkoet blir bedre og avstandsmålingen mer nøyaktig. Signalstyrken bør også diskuteres da et høyere signal til støyforhold mellom ekkoene og støyen vil bedre deteksjonsraten.

Resultatene fra forsøkene som er utført viser at det er vanskelig å skille et menneske fra bassengveggen, dersom avstanden mellom er liten. En løsning på dette problemet har blitt presentert, men det mest ideelle er likevel å tilpasse systemet slik at oppløsningen er god nok til at dette lar seg gjøre. Bruk av chirp-signaler og reduisering av pulslengde bør undersøkes under arbeidet med løsningen av dette problemet.

Signalkilden som ble brukt under arbeidet med denne oppgaven er som kjent et ekkolodd beregnet på privatmarkedet. Bruksområdet til et slikt ekkolodd er i utgangspunktet begrenset til måling av vanndybde og til deteksjon av fisk primært i området loddrett under transduseren. Man kan ikke forvente samme ytelse av et slikt ekkolodd som av et sonarsystem som har som formål å kartlegge objekter og strukturer under vann. Et slikt sonarsystem har ofte en roterende sonar som kartlegger et område stegvis ved å sende svært smale pulser mens sonaren fysisk roterer et steg for hver pulsutsendelse. Slike sonarer benytter ofte chirp-signaler samt høyere frekvenser enn ekkoloddet som her ble brukt.

Kommentar til resultatene

Resultatene synliggjorde noen av svakhetene til utstyret som ble benyttet under arbeidet med denne oppgaven. At utstyret ikke er det mest avanserte på markedet har på en annen side bidratt til en god forståelse av de aspekter som bør undersøkes nøye under utvikling av et slikt system. For eksempel er problemet med transduserens strålevinkel viktig å vurdere også ved bruk av en roterende sonar. Dersom rotasjonshastigheten må økes for å redusere tiden det tar å søke gjennom hele deteksjonsområdet, er det viktig å vurdere eventuelle blindsoner som kan oppstå ved å øke steglengdene til motoren.

Bruk av CHIRP-signal

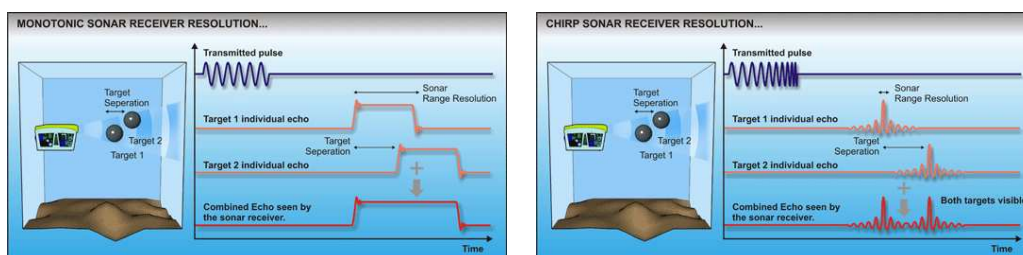
Det er avstandsoppløsningen, l_p , som bestemmer sonarsystemets evne til å identifisere to separate objekter. I området nær bassengveggene forårsaker avstandsoppløsningen deteksjonsproblemer. Se figur 6.1(a) for illustrasjon av denne situasjonen.

Signalene som benyttes i mer avanserte sonarsystemer løser dette problemet. I stedet for å bruke et signal med kontinuerlig frekvens så benyttes et såkalt chirp-signal, som vist i figur 2.3. Et slikt signal sveiper kontinuerlig fra en frekvens til en annen. For eksempel kan signalet i starten ha en frekvens på 400kHz og 500kHz i slutten.

At signalets frekvens endres kontinuerlig over tid, kan benyttes til å detektere to objekter

³Compressed High Intensity Radar Pulse

fra hverandre selv om det totale ekkot fra de to overlapper hverandre. Ved å analysere ekkots frekvens i forhold til tid, kan man se hvilken del av det kombinerte signalet som ble reflektert først, og hvilken del som ble reflektert fra objektet lenger borte. Dette er mulig siden frekvensen i det overlappende signalet endres der hvor ekkonummer to begynner. Dette er illustrert i figur 6.1(b) og kan med fordel brukes i de tilfellene der man med ekkoloddet opplever problem med å skille en person som står nær bassengveggen.



(a) Objektdeteksjon ved bruk av konstant sinus-signal

(b) Objektdeteksjon ved bruk av chirp-signal

Figur 6.1: Forskjell i avstandsopløsning ved bruk av tradisjonell sonarpuls og ved bruk av chirp-signal. Figurene er hentet med tillatelse fra Tritech International Ltd [2009b]

6.3.2 Støy fra mennesker i overflaten

Refleksjoner fra mennesker i vannoverflaten av bassenget vil skape ekkodersom spredningen på lydimpulsen blir for stor. Strålevinkelen til transduseren som her er benyttet er 45° . Dette gjør at mennesker i overflaten i stor grad vil reflektere lydimpulsen ved bruk av denne apparaturen. Denne effekten har ikke blitt undersøkt under arbeidet med denne oppgaven.

Det finnes sonarer på markedet med betydelig smalere strålebredde. Dette omtales i 6.4. Smalere strålebredde kan også oppnås ved å benytte flere transdusere i et array. Manipulering av signalutsendelsen til de enkelte transduserne i arrayet vil kunne gi en bølgekansellering av pulsene som emitteres ytterst, noe som resulterer i en smalere bølgefront.

6.3.3 Støy som følge av urenheter og bobler

Optiske fenomener som lysrefleksjoner og skygger vil ikke på noen måte påvirke en sonar, men bobler i vannet vil gi ekkod. Dette har ikke blitt undersøkt, men sannsynligvis vil større ansamlinger av bobler, f.eks. etter et stup, gi utslag på grunn av tetthetskontrasten mellom vann og den store mengden luft. Siden bobler med denne størrelsen stiger til overflaten relativt raskt, vil trolig dette ikke resultere i at alarmen rekker å bli utløst. Eventuelle ekkoutslag fra urenheter og mindre bobler ($<1\text{mm}$) er så små at de blir ubetydelige.

6.3.4 Bruk av schottkydioder under datainnsamling

Hvor vidt signalene har blitt påvirket av diodene under datainnsamlingen har ikke blitt undersøkt. Signalet har nok blitt noe dempet, men hvor mye og effekten av en slik demping har ikke blitt studert. Dersom signalet ble dempet i betydelig grad kan det føre til deteksjonsproblemer grunnet lave signalnivå, men støyfjerningsmetodene som ble benyttet sikret et godt signal til støyforhold for de aller fleste signalene. Signalene som vil lide under lave signalstyrker er de som ble samlet fra objekter i yttergrensene til deteksjonsområdet og de som ble samlet ved posisjoner hvor refleksjonsoverflaten var liten.

6.4 Anbefalinger for videreutvikling

Ved en implementasjon av et sonarsystem i SwimEye bør det benyttes et sonarsystem som er mer tilpasset bruksområdet enn den som her ble benyttet. Det er viktig at sonarsystemet er i stand til å detektere objekter med liten refleksjonsoverflate, eksempelvis et barn sett mot hode og skuldre. Et lavt støynivå, god avstands- og horisontaloppløsning vil også gjøre deteksjonsprosessen mer pålitelig.

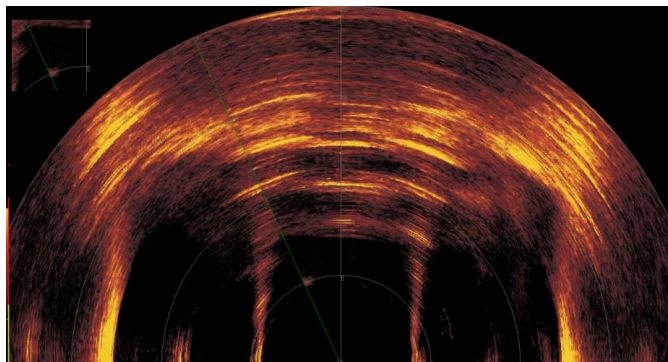
Et sonarsystem som skal brukes i trange områder med mange ulike objekter med kompleks struktur vil trolig dra fordel av en såkalt roterende sonar. En roterende sonar vil raskt⁴ kunne scanne et område seksjonsvis med en svært smal⁵ horisontalvinkel. Siden en slik sonar i stor grad alltid treffer objektene med senteret av pulsen (som er området av pulsen med mest energi), vil ekkoene herfra være mye kraftigere enn et ekko som er reflektert i yttergrensene til puls. Signalet bør være et chirp-signal, noe som vil gi en bedre avstandsoppløsning. Vertikalvinkelen bør også være liten slik at ikke mennesker i overflaten blir detektert.

Kartlegging av krav til vertikalvinkel og krav til deteksjonsområde som sonaren skal kunne detektere mennesker i, må utføres under en eventuell utredning av et sonarsystem til bruk i svømmebasseng.

En figur som viser en visuell gjengivelse av et svømmebasseng scannet med en Tritech Micron-sonar er vist i figur 6.2. Sonaren ble demonstrert i bassenget på UiS av Innova AS.

⁴180 grader på 5 sekunder (Tritech Micron sonar(Tritech International Ltd [2009a]))

⁵Eksempelvis har Tritechs Micron-sonar 3° horisontalvinkel



Figur 6.2: Visuell gjengivelse sonardata fra roterende sonar

A.1 Resultatoversikt

Skriptet deteksjon.m skriver ut resultatene på formen gjengitt til slutt i dette vedlegget. Resultatene som er presentert i oversiktene under ble notert på grunnlag av manuell tolkning av utskriftene til deteksjonsskriptet.

Eksempel

Utskrift av resultatmatrise:

Filnavn: o2_90.CSV

Antall ekko detektert: 4

AMPLITUDE AVSTAND(m)

8.1739 8.5152

7.6036 2.0406

5.5049 8.1852

4.9376 9.234

Avstanden til forsøkspersonen under sampling av data var her 2 meter. Dette fremgår av filnavnet og valg av datamappe i hoveddokumentet.

Det første og sterkeste ekkoet registreres ved 8,5 meter, det andre ved 2 meter.

Med kunnskap om at den motstående bassengveggen befinner seg omtrent 8,5 meter fra transduseren og at forsøkspersonen befant seg 2 meter fra, tolkes disse resultatene som følger (ref. kategori 1 og kategori 2 i resultatfigurene):

Forsøksperson detektert ved gjennomkjøring nr. 2

Bassengvegg detektert ved gjennomkjøring nr. 1.

Med gjennomkjøring menes her det antall ganger deteksjonsalgoritmen har gjennom-søkt signalet før den detekterer hhv. forsøksperson og bassengvegg. Se turkis marke-ring(kategori 1) og grønn markering(kategori 2) i resultatoversikten.

Forsøk: testdel 1 (kontrollert)
Metode: krysskorrelasjon

	0,5 meter	2 meter	4,5 meter	OBS, endring 9 meter	
45 grader	1	1	2	2	Kategori 1 Forsøksperson detektert ved gjennomkjøring nr.x
	3	3	1	1	
90 grader	2	2	2	1	Kategori 2 Bassengvegg detektert ved gjennomkjøring nr.y
	1	1	1	2	
hode mot	0	2	2	0	
	1	1	1	1	
langside mot.	2	0	2	0	
	1	1	1	1	
står	1	1	2	0	Står 0,5m
	0	0	1	1	
0,5 meter til siden	2	2	2	2	Står 1m
	1	1	1	1	
1 meter til siden	0	0	0	0	Står 2m
	1	1	1	1	
1,5 meter til siden	0	0	0	0	
	1	1	1	1	
2 meter til siden	0	2	2	2	
	1	1	1	1	

Antall datasett brukt:				Tot. (av 19)		Tot. (av 26)
Korrekt deteksjon, 1. gjennomkjøring	1	2	0	3	1	4
Korrekt det. i 2. søk, gitt vegg detekt. i 1.	0	3	6	9	2	11
Korrekte deteksjoner	1	5	6	12	3	15
Prosent				63,00%		58,00%

Figur A.1: Resultater, krysskorrelasjon - testdel 1

A.1 Resultatoversikt

Forsøk: testdel 1 (kontrollert)
Metode: equirippelfilter

	0,5 meter	2 meter	4,5 meter	OBS, endring	9 meter	
45 grader		1	2		0	Kategori 1 Forsøksperson detektert ved gjennomkjøring nr.x
		2	1		1	
90 grader		2	2		1	Kategori 2 Bassengvegg detektert ved gjennomkjøring nr.y
		1	1		2	
hode mot		2	0		1	
		0	1		2	
langside mot		2	2		1	
		1	1		0	
står	1	1	2	Står 0,5m	1	
	0	0	1		3	
0,5 meter til siden		2	2	Står 1m	1	
		1	1		0	
1 meter til siden		2	0	Står 2m	1	
		0	1		0	
1,5 meter til siden		2	0			
		0	1			
2 meter til siden		2	0			
		0	1			

Antall datasett brukt:				Tot. (av 19)		Tot. (av 26)
Korrekt deteksjon, 1. gjennomkjøring	1	2	0	3	6	9
Korrekt det. i 2. søk, gitt vegg detekt. i 1.	0	3	5	8	0	8
Korrekte deteksjoner	1	5	5	11	6	17
Prosent				57,00%		65,00%

Figur A.2: Resultater, båndpassfilter - testdel 1

Forsøk: testdel 1 (kontrollert)
Metode: peakfiltrering

	0,5 meter	2 meter	4,5 meter	OBS, endring	9 meter	
45 grader		1	2		2	Kategori 1 Forsøksperson detektert ved gjennomkjøring nr.x
		3	1		1	
90 grader		3	0		0	Kategori 2 Bassengvegg detektert ved gjennomkjøring nr.y
		1	1		1	
hode mot		0	0		1	
		1	1		2	
langside mot		0	2		1	
		1	1		2	
står	1	1	2	Står 0,5m	0	
	0	0	1		1	
0,5 meter til siden		3	0	Står 1m	2	
		1	1		1	
1 meter til siden		0	0	Står 2m	0	
		1	1		1	
1,5 meter til siden		0	0			
		1	1			
2 meter til siden		0	0			
		1	1			

Antall datasett brukt:				Tot. (av 19)		Tot. (av 26)
Korrekt deteksjon, 1. gjennomkjøring	1	2	0	3	2	5
Korrekt det. i 2. søk, gitt vegg detekt. i 1.	0	0	3	3	2	5
Korrekte deteksjoner	1	2	3	6	4	10
Prosent				31,00%		38,00%

Figur A.3: Resultater, peakfilter - testdel 1

Forsøk: testdel 2 (realistisk)
Metode: krysskorrelasjon

	0,5 meter	2 meter	4,5 meter	OBS, endring 9 meter	
Fosterstilling		1 2	2 1		1 2
hode mot		1 0	0 1		1 2
langside mot		2 1	0 1		1 0
rygg mot		2 1	0 1		1 2
sitter	1 0	1 2	1 0	Foster 7 m	1 0

Antall datasett brukt:

Korrekt deteksjon, 1. gjennomkjøring	1	3	1	Tot. (av 11)	4	Tot. (av 16)	9
Korrekt det. i 2. søk, gitt vegg detekt. i 1.	0	2	1		2		2
Korrekte deteksjoner	1	5	2		8	5	13
Prosent					73,00%		81,00%

Kategori 1
Forsøksperson detektert ved gjennomkjøring nr.x

Kategori 2
Bassengvegg detektert ved gjennomkjøring nr.y

Figur A.4: Resultater, krysskorrelasjon - testdel 2

Forsøk: testdel 2 (realistisk)
Metode: equiripefilter

	0,5 meter	2 meter	4,5 meter	OBS, endring 9 meter	
Fosterstilling		1 0	0 1		1 3
hode mot		1 0	0 1		1 2
langside mot		2 1	2 1		0 1
rygg mot		2 1	0 1		0 1
sitter	1 0	1 0	2 1	Foster 7 m	0 1

Antall datasett brukt:

Korrekt deteksjon, 1. gjennomkjøring	1	2	0	Tot. (av 11)	3	Tot. (av 16)	4
Korrekt det. i 2. søk, gitt vegg detekt. i 1.	0	2	2		2		2
Korrekte deteksjoner	1	4	2		7	1	8
Prosent					64,00%		50,00%

Kategori 1
Forsøksperson detektert ved gjennomkjøring nr.x

Kategori 2
Bassengvegg detektert ved gjennomkjøring nr.y

Figur A.5: Resultater, båndpassfilter - testdel 2

Forsøk: testdel 2 (realistisk)
Metode: peakfiltrering

	0,5 meter	2 meter	4,5 meter	OBS, endring 9 meter	
Fosterstilling		1 3	0 1		1 2
hode mot		1 2	0 1		2 1
langside mot		2 1	0 1		1 2
rygg mot		2 1	0 1		1 2
sitter	1 0	1 0	2 1	Foster 7 m	1 2

Antall datasett brukt:

Korrekt deteksjon, 1. gjennomkjøring	1	3	0	Tot. (av 11)	4	Tot. (av 16)	7
Korrekt det. i 2. søk, gitt vegg detekt. i 1.	0	2	1		2		3
Korrekte deteksjoner	1	5	1		7	5	12
Prosent					64,00%		75,00%

Kategori 1
Forsøksperson detektert ved gjennomkjøring nr.x

Kategori 2
Bassengvegg detektert ved gjennomkjøring nr.y

Figur A.6: Resultater, peakfilter - testdel 2

A.2 Eksempel på resultatutskrift

Testoppsett 1 «Kontrollert»		
19 datasett benyttet		
Filtreringstype	Deteksjonsrate	%
kryss	12/19	63
equirippel	11/19	58
peak	6/19	31
26 datasett benyttet		
Filtreringstype	Deteksjonsrate	%
kryss	15/26	58
equirippel	17/26	65
peak	10/26	38

Testoppsett 2 «Realistisk»		
11 datasett benyttet		
Filtreringstype	Deteksjonsrate	%
kryss	8/11	73
equirippel	7/11	64
peak	7/11	64
16 datasett benyttet		
Filtreringstype	Deteksjonsrate	%
kryss	13/16	81
equirippel	8/16	50
peak	12/16	75

Figur A.7: Oppsummering av resultater

A.2 Eksempel på resultatutskrift

Utskrift av resultatmatriser fra skiptet som gjør ekkodeteksjon.

Følgende parametre ble benyttet for akkurat denne resultatutskriften:

```
datamappe = '/home/brukernavn/Sonaroppgave/KODE/Data/  
bassegnforsok/test1_(over)/test1_2m/';
```

```
kryss_deteksjon = 0
```

```
filt_deteksjon = 1
```

```
filtrer = 1
```

```
ekkoutskrift = 1
```

```
bassengside_det = 0
```

```
indirekte_deteksjon = 0
```

Dette skriver ut resultatene fra metoden for direkte ekkodeteksjon hvor filtreringsmetoden som er benyttet er båndpassfiltrering(equirippel).

Dataene som analyseres er fra testdel 1 og ved avstand 2 meter. Dette kan sees ut fra mappenavnet i strengen over.

FILTRERTE DATA

Filnavn: o2_45.CSV

Antall ekko detektert: 3

AMPLITUDE AVSTAND(m)

16.5295 1.9938

6.95887 7.3044

6.08742 5.5158

Filnavn: o2_90.CSV

Antall ekko detektert: 4

AMPLITUDE AVSTAND(m)

8.1739 8.5152

7.6036 2.0406

5.5049 8.1852

4.9376 9.234

Filnavn: o2_hodemot.CSV

Antall ekko detektert: 3

AMPLITUDE AVSTAND(m)

7.8223 8.5074

7.2684 9.5934

5.6063 4.356

Filnavn: o2_langside.CSV

Antall ekko detektert: 2

AMPLITUDE AVSTAND(m)

45.0135 8.5356

5.91192 1.3686

Filnavn: o2_staar.CSV

Antall ekko detektert: 2

AMPLITUDE AVSTAND(m)

13.5496 2.1618

5.67549 11.5308

Filnavn: o2_vens05.CSV

Antall ekko detektert: 2

AMPLITUDE AVSTAND(m)

44.0528 8.5266

6.08274 1.902

Filnavn: o2_vens1.CSV

Antall ekko detektert: 2

AMPLITUDE AVSTAND(m)

46.6083 8.5308

6.32898 0.8808

Filnavn: o2_vens15.CSV

Antall ekko detektert: 2

AMPLITUDE AVSTAND(m)

A.2 Eksempel på resultatutskrift

53.9022 8.5278
5.33566 4.7916

Filnavn: o2_vens2.CSV

Antall ekko detektert: 2

AMPLITUDE AVSTAND(m)

39.9165 8.535

6.28085 10.44

TILLEGG B

Programkode

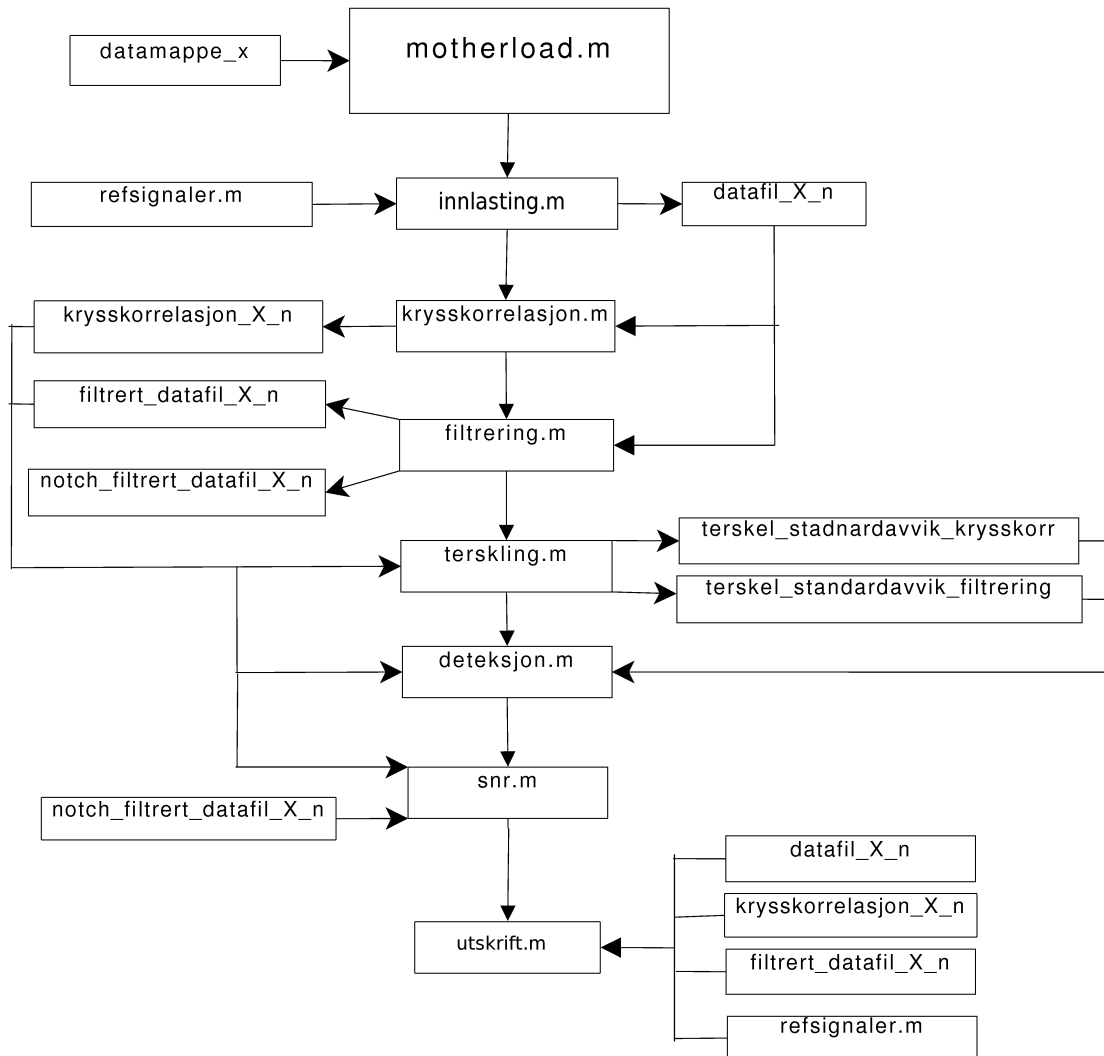
All programkode er vedlagt rapporten på cd.

Kun programkoden for hovedskriptet er her inkludert. En kort forklaring av de mest sentrale skriptene er i det følgende gjort rede for. De viktigste skriptene har blitt grundigere forklart i kapittel 3.

Kommandoen `eval` har blitt mye benyttet i gjentakende løkker for å ha mulighet til å hente inn variable med nesten identiske navn. Et eksempel på slike variable er: `krysskorr_reduisert1`, `krysskorr_reduisert2`, `krysskorr_reduisert3` osv, hvor siste tegn er et tall som er inkrementert med én for hver variabel.

Eksempelet under er hentet fra `deteksjon.m` hvor `eval` kommandoen blir benyttet i slutten av `for`-løkken til å hente inn det neste datasettet. Det neste datasettet blir videre tilordnet variabelen `"krysskorr_fil"`, som er variabelen som blir benyttet i ekkodeteksjonsalgoritmen for krysskorrelerte signaler. For hver gjennomkjøring inkrementeres variabelen `"ed"` og `krysskorr_fil` blir i neste gjennomkjøring tilordnet signalet `"krysskorr_reduisert(x+1)"`.

```
if ed <= (antallfiler-1)
    eval(['krysskorr_fil = krysskorr_reduisert' num2str(ea+1) ',']);
end
ed = ed+1;
```

Figur B.1: Hierarkisk oversikt over programkoden

B.1 motherload.m

B.1 motherload.m

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% motherload.m
% Dette skriptet er det overordnede programskriptet som kj rer skriptene
% som utf rer dataanalysen

close all % Lukker pne plottvinduer
clear all % Sletter variabler og data som ligger i workspace
tic      % Starter en teller som tar tiden p programgjennomkj ringen

% Her bestemmet det hvilken datamappe som skal benyttes videre. Korrigjer
% stien til mappen 'Data' slik at det stemmer med den maskinen skriptet
% kj res i. Husk endre / til \ i stien, dersom skriptet kj res i windows.
% Kun en datamappe kan velges om gangen

% Data fra testdel 1
% datamappe = '/home/b/Sonaroppgave/KODE/Data/bassegnforsok/testdel1_(over)/test1_0,5m/';
% datamappe = '/home/b/Sonaroppgave/KODE/Data/bassegnforsok/testdel1_(over)/test1_2m/';
% datamappe = '/home/b/Sonaroppgave/KODE/Data/bassegnforsok/testdel1_(over)/test1_4,5m/';
% datamappe = '/home/b/Sonaroppgave/KODE/Data/bassegnforsok/testdel1_(over)/test1_9m/';

% Data fra testdel 2
% datamappe = '/home/b/Sonaroppgave/KODE/Data/bassegnforsok/testdel2_(under)/test2_0,5m/';
% datamappe = '/home/b/Sonaroppgave/KODE/Data/bassegnforsok/testdel2_(under)/test2_2m/';
% datamappe = '/home/b/Sonaroppgave/KODE/Data/bassegnforsok/testdel2_(under)/test2_4,5m/';
% datamappe = '/home/b/Sonaroppgave/KODE/Data/bassegnforsok/testdel2_(under)/test2_9m/';

% Ekkoreferanser
% datamappe = '/home/b/Sonaroppgave/KODE/Data/bassegnforsok/ekkoeref/';

% 0: Samplnr. 1: Meter
representasjon = 1;

% Deteksjonsinnstillinger
% Bestemmer om ekkodeteksjon skal utf res p de krysskorrelerte
% signalene eller de filtrerte signalene eller begge.
% kryss_deteksjon = 1;
% filt_deteksjon = 1;
% 1: equirippelfilter, 2: peakfilter
% filtrertype = 1;

% Skriver ut detekterte ekko i form av amplitude og avstand,
% sortert etter amplitude
% ekkoutskrift = 1;

% Deteksjon av motst ende bassengside
% bassengside_det = 1;

% Aktivering av ekkoendringsalarm
% indirekte_deteksjon = 1;

% Plotinnstillinger
% ant_plott_per_utskrift bestemmer om et eller to plott skal plottes i samme plottvindu
% Ved plotte to signaler i samme vindu kan f.eks. to
% filtreringsmetoder visuelt sammenlignes.

% Plotttype gis verdien 1, 2, 3 eller 4.
% 1: r data 2: Krysskorrelasjon 3: Filtrert data 4: Ekkoreferanse
% plotttype_1 = 2;
% plotttype_2 = 3;
% ant_plott_per_utskrift = 2;

% Plotter standardavvikslinje p plottet
% terskellinje = 0;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

innlasting;
filtrering;
krysskorrelasjon;
terskling;
deteksjon;
snr;
utskrift;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% tic 'kode' toc, registrerer tiden det tar a kjore koden
disp([ 10 'Time elapsed: ' num2str(toc)]);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

I skriptet som heter `motherload.m`, videre også referert til som hovedskript, kjøres alle underskriptene som gjennomfører innlastingen av datafiler, databehandling, plotting og deteksjon av ekko.

Hovedskriptet er som nevnt i kapittel 3, et skript som har blitt benyttet under arbeidet med databehandlingen og utviklingen av deteksjonsalgoritmen.

En oversikt over gjennomkjøringsrekkefølgen er vist i B.1.

I hovedskriptet blir datamappen som skal benyttes til den enkelte gjennomkjøringen definert. Alle stiene til datamappene er listet opp og for den som skal benyttes, fjernes utkommenteringen som er et prosentteg.

Videre blir en del variabler definert. Disse benyttes av de ulike skriptene som kjøres lenger nede i hovedskriptet, men defineres i hovedskriptet for å slippe å måtte gå inn i de ulike skriptene, når disse skal endres. Variabelnavn er i stor grad selvforklarende, men ersom regel forklart.

De skriptene som kan kjøres i hovedskriptet er:

```
innlasting.m
filtrering.m
krysskorrelasjon.m
terskling.m
deteksjon.m
snr.m
utskrift.m
```

Noen av skriptene produserer ikke data som videre benyttes av andre skript og kan derfor kommenteres ut alt etter hvilke aspekter av databehandlingsprosessen man ønsker å se på. Dette gjelder `snr.m` som kun skriver ut signal-støyforhold og `utskrift.m`. `deteksjon.m` kan også kommenteres ut dersom man bare er interessert i utskrift av signal til støyforhold eller å se på plott av bestemte datastrømmer. Plottingen er det `utskrift.m` som utfører, og det som skal plottes og på hvilken måte, bestemmes i hovedskriptet under "Plottinnstillinger".

Dersom variabelen "standardavvikslinje" settes lik 1, plottes også terskelverdien. Det er denne terskelverdien som benyttes i deteksjonsskriptet.

I tabelloversiktent betyr x med fet font (**x**), at variabelens siste symbol er et tall som inkrementeres for hver gjennomkjøring. $x = 1$: antall datafiler.

B.2 innlasting.m

Dette skriptet laster inn datafiler og referansesignaler. En god forklaring av dette skriptet er gitt i 3.4.2. Det som er utelatt her er forklaringen av "lags_set" som er et skript som bestemmer hva verdiene på x-aksen skal representere. Dette er bestemt på bakgrunn av hva variabelen "representasjon" blir definert til i hovedskriptet, og alternativene er samplennummer og meter. Det er og dette skriptet som foretar signaltilpassningen som er forklart i databehandlingskapittelet.

Se variabeloversikt for skriptet i tabell B.1.

inn/ut	variabelnavn	beskrivelse
Inn		
	filx.csv pulsref1_20ns.CSV o_ref9m.CSV	rådatafil fra datamappe rådatafil - pulsreferanse rådatafil - ekkoreferanse
Ut		
	sig_ekx puls_ref ekko_ref lags double_lags	innlastet datafil innlastet pulsreferanse innlastet ekkoreferanse lengdevektor. Med 19920 verdier fra 1:19920 dobbel lengdevektor, 1:39839

Tabell B.1: Variabeloversikt - innlasting.m

B.3 krysskorrelasjon.m

Metoden som er benyttet her er `xcorr`-funksjonen til Matlab. $C=Xcorr(A,B)$ gir krysskorrelasjonen, C , mellom to signaler, A og B .

Skriptet tar inn referansen og rådatafilene fra `innlasting.m` og finner krysskorrelasjonen mellom disse. Siden signalreferansen er samlet med 40 ganger større samplingsfrekvens enn rådataene, blir denne nedsamplet med en faktor på 40 for at de to datafilene skal ha like mange sampler per tidsenhet under krysskorreleringen.

Verdien på de krysskorrelerte dataene er veldig høye. Dette er et resultat av hvordan krysskorrelasjonsmetoden akkumulerer resultatene av multiplikasjonene for hvert sampel. På grunn av dette skaleres resultatet ved å dele det på 500 for å kunne benyttes i plott. Resultatet er nå skalert til et nivå hvor det kan visuelt sammenlignes samt plottes i lag med rådata og filtrerte data.

`xcorr`-funksjonen nullpadder et signal dersom det er kortere enn det andre. Dette er grunnen til at det krysskorrelerte signalet ser ut som i figur B.2 før nullene "klippes" bort.

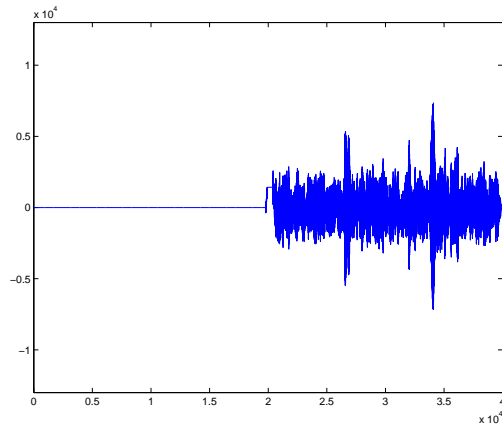
Ekkoreferansen blir og krysskorrelert mot signalreferansen i dette skriptet.

Se variabeloversikt for skriptet i tabell B.2.

B.4 filtrering.m

Dette skriptet utfører filtrering av rådatafilene. Filtrene som benyttes er laget i `FDAtool` i Matlab. Filterkoeffisientene (`hd1`, `hd2` osv) returneres av en funksjon som inneholder informasjon om filteregenskapene. Hvert rådatasignal filtreres også igjennom et notchfilter som er det motsatte av et peakfilter. Det stopper altså en bestemt frekvens i et signal, i dette tilfellet 200kHz. Det notchfiltrerte signalet benyttes videre av metoden `snr.m` som er beskrevet senere i dette vedlegget.

Ekkoreferansen blir også filtrert i dette skriptet for å fremheve ekkoet fra bassengveggen. Se variabeloversikt for skriptet i tabell B.3.



Figur B.2: Et krysskorrelert signal før den nullpaddete delen av signalet er fjernet

inn/ut	variabelnavn	beskrivelse
Inn		
	sig_ekx puls_ref ekko_ref	innlastet datafil innlastet pulsreferanse innlastet ekkoreferanse
Ut		
	krysskorr_reduertx	krysskorrelasjon hvor de første 19920 samplene er fjernet ¹
	krysskorr_ref	krysskorrelasjon av pulsreferanse. Også redusert til 19920 samplere

Tabell B.2: Variabeloversikt - krysskorrelasjon.m

inn/ut	variabelnavn	beskrivelse
Inn		
	sig_ekx hd1 / hd2 hd3 ekko_ref	innlastet datafil filterkoeffisienter fra peak og equirippelfilter filterkoeffisienter fra notchfilter ekko-referanse
Ut		
	sig_ekkfiltx sig_ekkfilt_notchx ref_ekko_filt	filtrert datafil notchfiltrert datafil filtrert referanseekko

Tabell B.3: Variabeloversikt - filtrering.m

B.5 terskling.m

I dette skriptet regnes standardavviket ut for hver av rådatafilene, krysskorrelasjonene og de filtrerte rådatafilene. Standardavviket til rådatafilene og krysskorrelasjonene multipliseres med en faktor og benyttes til å bestemme en individuell grense som deteksjons-skriptet benytter som en nedre grense for ekkodeteksjon av ekko i krysskorrelasjonene og de filtrerte filene².

Se variabeloversikt for skriptet i tabell B.4.

inn/ut	variabelnavn	beskrivelse
Inn		
	sig_ekx	innlastet datafil $x = 1$: antall datafiler
	krysskorr_reduertx	krysskorrelasjon hvor de første 19920 samplene er fjernet ³
	sig_ekfiltx	filtrert datafil
Ut		
	sd_rx	standardavviket til datafil x
	sd_k_storx	standardavviket for krysskorrelasjonene, σ_k , multiplisert med en faktor α
	sd_f_storx	standardavviket for de filtrerte signalene, σ_f , multiplisert med en faktor β

Tabell B.4: Variabeloversikt - terskling.m

B.6 deteksjon.m

Dette skriptet detekterer de toppunktene i krysskorrelasjonene og de filtrerte rådatafilene med størst amplitude. Det er tolkning av resultatutskriftene fra dette skriptet som er grunnlaget for å bestemme deteksjonsratene som har blitt presentert i kapittel 4.

Toppunktene som registreres i datafilene er ekko som har blitt reflektert fra objekter eller mennesker i vannet eller fra den motstående bassengveggen. Terskelverdien som defineres for hvert enkelt signal for både krysskorrelasjonene og fra de filtrerte signalene i terskling.m, benyttes her som en nedre grense for ekkodeteksjon.

Skriptet har også andre funksjoner som ble benyttet under arbeidet med datasettene og er knyttet til utskriftspreferanser og noen få tilleggsfunksjoner.

Oppbygning

deteksjon.m består av to nærmest identiske if-løkker. Forskjellen er at den ene foretar deteksjon av de krysskorrelerte signalene, mens den andre gjør ekkodeteksjon i de filtrerte signalene. Om en av løkkene eller begge skal kjøres, bestemmes i hovedfilen av variablene

²Se utdypning i avsnitt om tersklingen i kapittel 3.4.5

"kryss_deteksjon" og "filt_deteksjon". All deteksjon, både direkte og indirekte, samt metoder for utskrift av resultater foregår i if-løkkene. Ett og ett signal blir hentet inn i for-løkka som ligger inni if-løkken. Det første signalet som skal gjennomføres etter ekko, blir definert i starten av if-løkken, mens for-løkken sørger for å hente inn de etterfølgende signalene⁴.

Som forklart i kapittel 3, ansnitt 3.4.6, blir det filtrerte eller krysskorrelerte signalet gjennomført etter sampler med høy amplitude. Disse lagres i en matrise (resultatmatrise) sammen med posisjonen til ekkoet, og blir videre sortert etter amplitude.

Resultatutskrift

Dersom variabelen "ekkoutskrift" er satt lik 1 i hovedskriptet, blir resultatmatrisa for hver fil skrevet ut i kommandovinduet etter ferdig ekkodeteksjon. Ved å tolke avstand og rekkefølge til ekkoene kan det bestemmes om det har blitt gjort korrekt deteksjon av forsøkspersonen. For ytterligere detaljer og eksempel, se vedlegg A.

Dersom variabelen "bassengside_det" er satt til 0, blir resultatmatrisen gjennomført på ny etter avstandsverdier ≥ 8 (meter). Dersom den slik verdi registreres, skrives følgende ut i kommandovinduet:

"Motstående bassengside detektert".

Denne informasjonen kan benyttes til å gjøre korrekt ekkoidentifikasjon i de tilfellene der det sterkeste ekkoet stammer fra den motstående bassengveggen og det nest sterkeste ekkoet stammer fra forsøkspersonen. (Dette kan og leses ut fra avstandsinformasjonen i resultatmatrisene).

Indirekte deteksjon

Dersom ekkoendring er satt til 1 i hovedskriptet, blir metoden ekkoendring.m kjørt i tillegg til den direkte deteksjonsmetoden. Metoden kan og kjøres alene ved å sette "kryss_deteksjon" og "filt_deteksjon" lik 0. ekkoendring.m sammenligner signalet som undersøkes i for-løkken mot et lagret referanseekko. Ekkoreferansen har blitt samlet i et tomt basseng siden ekkoet fra den motstående bassengveggen da er sterkest. Sammenligningen blir kun foretatt på samplene fra sampelnummer 13850 til og med sampel 14300. Disse samplene ble samlet i tidsrommet som tilsvarer tidsrommet rett før pulsen treffer den motstående bassengkanten til rett etterpå. Altså omtrent mellom 8,3 meter og 8,6 meter som er området hvor bassengsiden befinner seg.

Dersom et fysisk objekt kommer mellom transduseren og den motstående bassengveggen, blir energien i pulsen som treffer bassengveggen mindre. Summen av sampelverdiene i området på datafilen hvor refleksjonene fra bassengsiden befinner seg reduseres. Dette fører til at forholdet mellom signalet og referansefilen i dette området endres, og man kan konkludere med at det befinner seg et objekt i vannet innenfor sonarsystemets deteksjonsområde.

⁴Se beskrivelse av denne prosessen i det innledende avsnittet i dette vedlegget

Grunnlaget for eventuelt å alarmere SwimEye blir forholdstallet som beregnes. Dette forholdstallet prøves ovenfor en desisjonsgrense som er manuelt bestemt. Dersom forholdstallet overstiger desisjonsgrensen kan SwimEye alarmeres.

For hver fil skriver Matlab ut følgende:

dersom "alarmen" utløses:

```
☐☐☐ INDIREKTE DETEKSJONSALARM UTLØST ☐☐☐
```

og følgende dersom den ikke utløses:

```
☐☐☐ Indirekte deteksjonsalarm uaktivert ☐☐☐
```

Forholdet mellom referanseekkoet og signalet som det prøves mot, ssf^5 , beregnes ved B.1.

$$ssf = \frac{\text{sum}(\text{referanse_ekko})^2}{\text{sum}(\text{signal})^2} \quad (\text{B.1})$$

Begge summene blir beregnet og så kvadrert for å få en desisjonsvariabel med lav dynamikk. Dersom man ikke kvadrerer summene vil verdien endres i verdi i et mye større omfang.

Se variabeloversikt for skriptet i tabell B.5.

B.7 snr.m

Dette skriptet beregner signal til støyforholdet til de filtrerte filene. Dette er forklart i ansnitt 3.3 i kapittel 3.

Se variabeloversikt for skriptet i tabell B.6.

B.8 utskrift.m

Dette skriptet plottet data på den formen som er definert i motherload.m. Variablene "plottype_1" og "plottype_2" bestemmer om hva slags representasjon av dataene som skal plottes (rådata, krysskorrelasjon, filtrert data eller ekkoreferan). "ant_plott_per_utskrift" bestemmer om det skal plottes ett signal, eller om to signal skal plottes oppå hverandre i samme plott. "terskellinje" bestemmer om terskel for ekkodeteksjon skal plottes.

Se variabeloversikt for skriptet i tabell B.7.

⁵(referanse)signal til signalforhold

inn/ut	variabelnavn	beskrivelse
Inn		
	krysskorr_reduertx	krysskorrelasjon hvor de første 19920 samplene er fjernet ⁶
	sig_ekkfilt_multx	filtrert datafil multiplisert med 3
	sd_k_storx	standardavviket for den enkelte krysskorrelasjonen, sd_k, multiplisert med en faktor α
	sd_f_storx	standardavviket for det enkelte filtrerte signalet, sd_f, multiplisert med en faktor β
	kryss_deteksjon	(1/0) variabel som bestemmer om deteksjonsløkken for krysskorrelasjon skal kjøres. Bestemmes i motherload.m
	filt_deteksjon	(1/0) variabel som bestemmer om deteksjonsløkken for krysskorrelasjon skal kjøres. Bestemmes i motherload.m
Ut		
	maxverdi_kryssx	matrise med amplitudeverdien til de detekterte ekkoene fra krysskorrelasjonsdataene i kolonne 0 og posisjonsdata i kolonne 1
	maxverdi_filtx	matrise med amplitudeverdien til de detekterte ekkoene fra de filtrerte dataene i kolonne 0 og posisjonsdata i kolonne 1
	maxpos_meter_max	avstanden til det ekkoet som ligger lengst til fra transduseren

Tabell B.5: Variabeloversikt - deteksjon.m

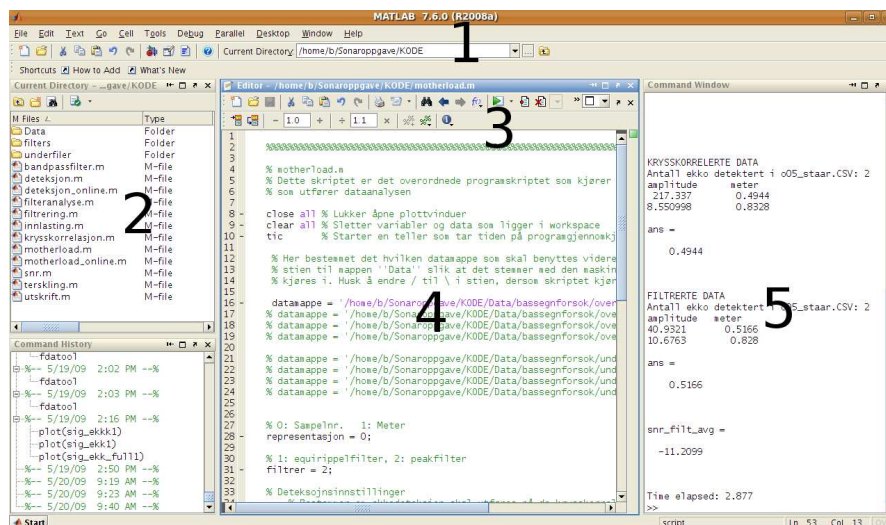
inn/ut	variabelnavn	beskrivelse
Inn		
	sig_ekkfilt_notchx	notchfiltrert datafil
	sig_ekkfiltx	filtrert datafil
Ut		
	snr_filtx	signal til støyforholdet til sig_ekkfilt
	snr_sum	Gjennomsnittet av alle snr for den aktuelle datamappen

Tabell B.6: Variabeloversikt - snr.m

inn/ut	variabelnavn	beskrivelse
Inn		
	plotype_1	(1/2/3/4) bestemmer plotype for plott 1
	plotype_2	(1/2/3/4) bestemmer plotype for plott 2
	ant_plott_per_utskrift	(1/2) bestemmer om det skal plottes ett eller to plott i samme vindu
	terskellinje	(1/2) bestemmer om det skal plottes deteksjonsterskel i samme vindu
	sig_ekx	innlastet datafil
	krysskorr_reduertx	krysskorrelasjon hvor de første 19920 samplene er fjernet ⁷
	sig_ekfilt_multx	filtrert datafil. multiplisert med 3
	lags	lengdevektor. Med 19920 verdier fra 1:19920
	sd_rx	standardavviket til datafil x
	sd_k_storx	standardavviket for krysskorrelasjonene, sd_k, multiplisert med en faktor α
	sd_f_storx	standardavviket for de filtrerte signalene, sd_f, multiplisert med en faktor β
	csvfilerx.name	filnavnet til den aktuelle filen

Tabell B.7: Variabeloversikt - utskrift.m

Brukerveiledning til Matlab



Figur C.1: Skjermdump av Matlab

Dette vedlegget gir nødvendig informasjon ifm. kjøring av matlabskriptene. Mappen "KODE" er vedlagt på cd-rom. Mappen "Data" ligger i " KODE" og inneholder datafilene.

Definere stien til datafilene

I Matlab, trykk File -> set path -> add with subfolders. I dette vinduet velges mappen "KODE". Denne mappen blir nå lagt til listen som Matlab ser etter filer i.

Bla så frem til mappen "KODE" i vinduet "Current directory"¹ eller skriv inn stien i adressevinduet "Current directory" øverst i Matlabvinduet².

Innstilling av parametre i hovedfilen

Åpne så hovedfilen, motherload.m. Dette gjøres ved å dobbeltklikke på filnavnet, motherload.m, i vinduet "Current directory. Filen åpnes i vinduet "Editor"³.

Rediger motherload.m slik at stiene som peker til de ulike 8 datamappene blir riktige. Alle mappestiene er skrevet inn, men må rediges slik at de passer mappenhierarkiet på datamaskinen som skal benyttes. En mappesti ser eksempelvis ut som følger:

For et linuxsystem:

```
'datamappe = '/home/brukernavn/Sonaroppgave/KODE/Data/bassegnforsok/  
testdel1(over)/test1_0,5m/'
```

For windows:

```
'datamappe = 'c:\documents and settings\brukernavn\Sonaroppgave\KODE\ Data\  
bassegnforsok\testdel1(over)\test1_0,5m\'
```

For å velge en datamappe som skal benyttes fjernes kun kommenteringen (%-tegnet), foran mappestien.

Legg merke til at det er en til datamappe som inneholder ekkoreferanser. Disse er samlet på samme måte som de andre rådatafilene men i et tomt basseng. De er her inkludert for å kontrollere at den indirekte ekkodeteksjonsmetoden fungerer.

Dersom mappen med ekkoreferansene velges, blir ekkoreferansene behandlet som et vanlig rådatasignal. For at kun kjøre indirekte deteksjon må disse parametre settes i hovedskriptet:

```
kryss_deteksjon = 1  
filt_deteksjon = 1  
ekkoutskrift = 0  
indirekte_deteksjon = 1
```

Indirekte ekkodeksjon kjøres da både for krysskorrelasjonene og for de filtrerte signalene. Funksjonene til de ulike variablene er forklart i vedlegg B.1.

Eksempel på bruk:

For å skrive ut resultater fra testdel 2, avstand 4,5 meter, kommenteres følgende mappesti ut(fjern prosenttegnet):

```
datamappe = '/home/b/Sonaroppgave/KODE/Data/bassegnforsok  
/testdel2(under)/test2_4,5m/';
```

For "Deteksjonsinnstillinger" gjelder følgende:

Dersom man ønsker resultater fra krysskorrelerte data, settes kryss_deteksjon=1, hvis ikke settes denne lik 0.

¹Ref. figur C.1 pkt. 2

²Ref figur C.1 pkt. 1

³Ref figur C.1 pkt. 4

Dersom man ønsker resultater fra filtrerte data, settes `filt_deteksjon=1`, hvis ikke settes denne lik 0.

Dersom man ønsker å benytte båndpassfilter som grunnlag for ekkodeteksjon av filtrerte data, settes `filtrertype = 1`

Dersom man ønsker å benytte peakfilter som grunnlag for ekkodeteksjon av filtrerte data, settes `filtrertype = 2`

Nederst i hovedfilen er de ulike skriptene som kan kjøres listet opp. Dersom kjøring av et av de tre valgfrie skriptene⁴ ikke er ønskelig, kommenteres linja ut ved å sette et prosenttegn forran, slik:

```
% utskrift;
```

Kjøring av hovedfilen

Hovedfila kjøres ved å trykke på `f5`-knappen mens "editor"-vinduet er valgt. Det er mulig å ha flere aktive skript åpne i editoren, men kun skriptet som vises blir kjørt. Man kan og trykke på "play"-knappen⁵ i "editor"-vinduet.

Resultater blir skrevet ut i "command window"⁶ og eventuelle plott "spretter" opp i nye løse vinduer.

⁴deteksjon.m, snr.m og utskrift.m

⁵Ref figur C.1 pkt. 3

⁶Ref figur C.1 pkt. 5

TILLEGG D

Eksempel på datafil

Rådatafilene som lagres av oscilloskopet ser ut som vist under. En rådatafil har 25014 linjer, og 25000 av disse er dataverdier. Her er de 30 første linjene i datafilen o05_staar.CSV vedlagt. Denne filen ligger i mappen over_0,5m. Filene kan åpnes i og leses med en enkel tekstbehandler som wordpad.

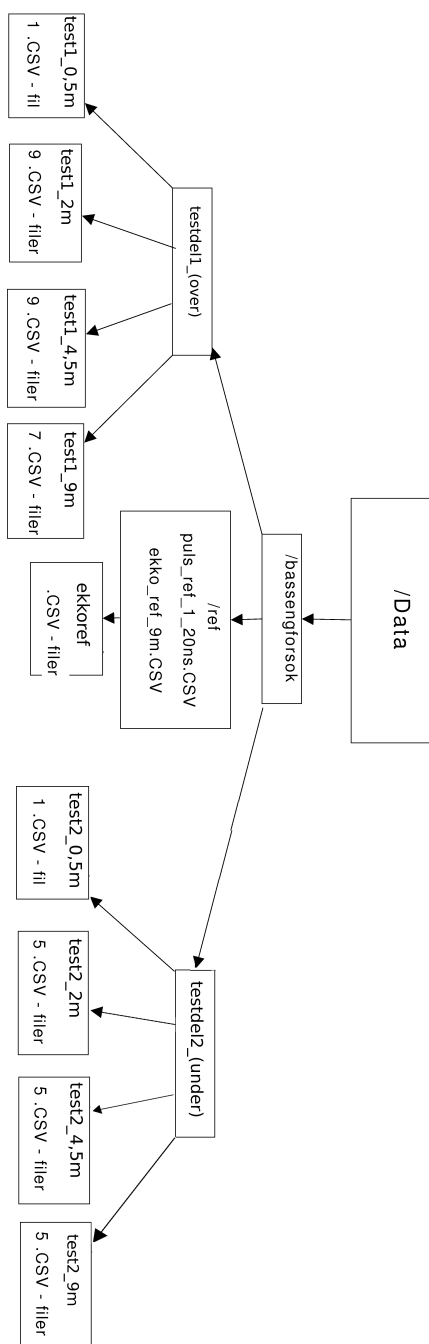
De 14 første linjene av filen inneholder informasjon om filen. Blandt annet forteller Vertical Units og Vertical Scale at tallene på den vertikale akse representerer spenning (mV).

Memory Length,25000,
Trigger Level,8.800E-03,
Source,CH2,
Vertical Units,V,
Vertical Scale,2.000E-03,
Vertical Position,0.000E+00,
Horizontal Units,s,
Horizontal Scale,1.000E-03,
Horizontal Position,5.920E-03,
Horizontal Mode,Main,
Sampling Period,8.000E-07,
Firmware,V1.09,
Time,25-Jan-00 18:46,
Waveform Data,
0,
-3,
0,
-5,
5,
0,
7,
5,
5,
0,
5,
2,
5,
-3,
0,
7,
2,
osv.

TILLEGG E

Oversikt over mappehierarki

I mappen "Data" som er vedlagt rapporten på cd-rom ligger dataene fra de ulike forsøkene. Datafilene er plassert i en mappestruktur som er vist i figur E.1.



Figur E.1: Datamappestruktur

Transientanalyse

Beskrivelse

Under de tidlige undersøkelsene av den utsendte pulsen ble to transienter observert. Den ene transienten skyldes den utdøende utsendte pulsen, og kan sees i figur 3.2(a). Den andre pulsen ble kun synlig når man justerte oscilloskopet til å vise 200mV per delestrek eller mindre. Denne transienten (videre referert til som transient 2) har en mer uregelmessig oppførsel og ser ut til å endre form og polaritet i takt med de utsendte pulsene fra håndenheten. Plott av to slike transienter kan sees i figur F.1.

Oscilloskopets innstillinger under lagring av figurene i F.1, var 200mV per delestrek langs y-aksen og 5mS per delestrek langs x-aksen. At transient 2 ville bli et problem ble først oppdaget når transduseren var i kontakt med vann og begynte å motta ekko. Ekkoene så ut til å følge svingningene til transient 2. På grunn av disse uregelmessige amplitude-svingningene, ville et slikt signal være uhåndterbart i et databehandlingsprogram hvor flere datasekvenser skal behandles generisk.

Transient 2 ble også observert på to andre oscilloskop.

Bruk av schottkydioder

For å kunne observere det innkommende signalet uforstyrret, ble løsningen å plassere to schottkydioder i parallell som igjen står i serie med en høyohmig motstand, se krettskjema i figur 3.4(a) og bilde av kretskort, figur 3.4(b). Schottkydioder er svært raske og har lav terskelspenning slik at de klipper signalet til jord når det overstiger omtrent 0,25V¹, mot 0,6V, som er normalt for dioder. På denne måten slippes lavere spenninger igjennom. Teorien var at transient 2 skulle legges til jord av schottkydiodene, mens det

¹Gjelder BAT85 (se datablad, Philips [2009])

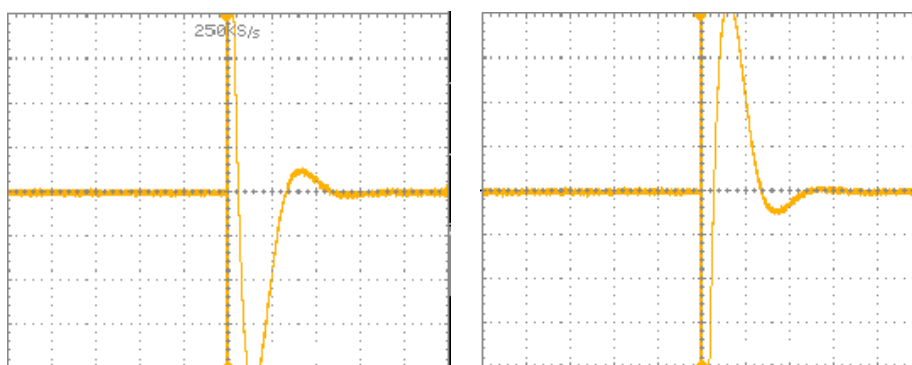
innkommende signalet skulle slippes uanfektet igjennom.

Med denne konfigurasjonen under datainnsamlingen ble ikke lenger transient 2 observert.

All datainnsamling ble foretatt bak schottkybarrieren.

Avkrefting av transientens eksistens

Mot slutten av arbeidet ble et annet, mer avansert oscilloskop benyttet for å kartlegge transient 2, slik at denne kunne dokumenteres mer nøyaktig. Under dette arbeidet ble ikke transienten registrert. Oscilloskopet var et Tektronix DPO 7104. Dette oscilloskopet har en båndbredde på 1GHz og en samplerate på 20GS/s. Grunnen til at man kunne observere en slik transient på andre oscilloskop vites ikke.



(a) Eksempel 1 på uregelmessig transient (b) Eksempel 2 på uregelmessig transient

Figur F.1: Uregelmessig transient

Bibliografi

Jens M. Hovem. *Undervannsakustikk*. Tapir, 1978.

Dimitris G. Manolakis John G. Proakis. *Digital Signal Processing(4th Edition)*. Prentice-Hall, 2006.

Richard O. Nielsen. *Sonar Signal Processing*. Artech House, 1991.

NOAA. <http://oceanexplorer.noaa.gov/library/readings/subsignaling/media/lowering.html>, 2009.

Philips. Bat85 schottky barrier diode. http://www.nxp.com/acrobat/datasheets/BAT85_4.pdf, 2009.

Wikipedia. Sonar (engelsk). <http://en.wikipedia.org/wiki/Sonar>, 2009a.

Wikipedia. Sonar (norsk). <http://no.wikipedia.org/wiki/Sonar>, 2009b.

Wikipedia. Standardavvik. <http://no.wikipedia.org/wiki/Standardavvik>, 2009c.

Wikipedia. Cross correlation. <http://en.wikipedia.org/wiki/Cross-correlation>, 2009d.

Figurer

1.1	Illustrasjon av et svømmebasseng som har installert SwimEye TM . Gjengitt med tillatelse fra Davo AS	2
1.2	Prinsippskisse over SwimEye TM . Gjengitt med tillatelse fra Davo AS	2
2.1	Reginald Fessenden med sin elektriske oscillator. Illustrasjon gjengitt med tillatelse fra National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA [2009])	6
2.2	Pulsens utbredelse i rommet med avstand, s , som funksjon av tid	7
2.3	CHIRP-signal	8
3.1	Apparatur	10
3.2	Signalet som ekkoloddet sender ut	11
3.3	Filterresponsen til notchfilteret	13
3.4	Grensesnittkort som ble benyttet under datasampling	15
3.5	Signalreferansen som benyttes under krysskorrelasjon	16
3.6	Signal før og etter fjerning av utsendt puls	17
3.7	Signal før og etter nulljustering av startposisjon	17
3.8	Rådata og krysskorrelert data	19
3.9	Illustrasjon av hvordan referansesignalet ”glir” over rådatasignalet under krysskorrelasjon	19
3.10	Signal filtrert igjennom båndpassfilter	20
3.11	Filterresponsen til båndpassfilteret	21
3.12	Filterresponsen til peakfilteret	22
3.13	Krysskorrelert data med standardavvikslinje	23
3.14	Variasjon i terskelverdi som følge av varierende signalstyrke	24
3.15	Illustrasjon viser avstand i lengderetning som en puls kan reflekteres over	25
3.16	Signal før og under gjennomkjøring av deteksjonsprosess	26
3.17	Signal med ekkoutslog og ekkoreferanse, til bruk under den indirekte deteksjonsmetoden	27
4.1	Svømmebassenget på Universitetet i Stavanger	30
4.2	Plott av ekko reflektert fra bassengkant	30
4.3	Illustrasjon som viser sammenhengen mellom lyd pulsens utbredelse og ekkosignalet den produserer	32
4.4	Rådata samplet når testperson befinnant seg 0,5m fra transduser]	33
4.5	Posisjonering sett ovenfra og eksempel på posisjonering sett fra siden	35
4.6	Posisjonering av transduser og testperson under del 1 av forsøkene	35

4.7 Posisjonering av testperson under del 2 av forsøkene	36
6.1 Forskjell i avstandsopløsning ved bruk av tradisjonell sonarpuls og ved bruk av chirp-signal. Figurene er hentet med tillatelse fra Tritech International Ltd [2009b]	48
6.2 Visuell gjenngivelse sonardata fra roterende sonar	50
A.1 Resultater, krysskorrelasjon - testdel 1	52
A.2 Resultater, båndpassfilter - testdel 1	53
A.3 Resultater, peakfilter - testdel 1	53
A.4 Resultater, krysskorrelasjon - testdel 2	54
A.5 Resultater, båndpassfilter - testdel 2	54
A.6 Resultater, peakfilter - testdel 2	54
A.7 Oppsummering av resultater	55
B.1 Hierarkisk oversikt over programkoden	60
B.2 Et krysskorrelert signal før den nullpaddete delen av signalet er fjernet	64
C.1 Skjermdump av Matlab	71
E.1 Datamappestruktur	78
F.1 Uregelmessig transient	80

Tabeller

4.1	Posisjonsbeskrivelse testdel 1	36
4.2	Testoppsett, testdel 1	37
4.3	Posisjonsbeskrivelse testdel 2	38
4.4	Testoppsett, testdel 2	38
4.5	Resultater krysskorrelasjonsmetode	39
4.6	Resultater båndpassfiltrering	39
4.7	Resultater peakfiltrering	40
B.1	Variabeloversikt - innlasting.m	63
B.2	Variabeloversikt - krysskorrelasjon.m	64
B.3	Variabeloversikt - filtrering.m	64
B.4	Variabeloversikt - terskling.m	65
B.5	Variabeloversikt - deteksjon.m	68
B.6	Variabeloversikt - snr.m	68
B.7	Variabeloversikt - utskrift.m	69