

Akustisk posisjoneringssystem for fisk

PinPoint

Joakim Hammer

Master i teknisk kybernetikk
Oppgaven levert: Juli 2008
Hovedveileder: Jo Arve Alfredsen, ITK

Oppgavetekst

Det skal utvikles et system for fortløpende automatisk registrering av fisks (og andre aktuelle undervannsobjekter) 2D/3D posisjon og bevegelse basert på akustisk telemetri. Systemet skal bestå av et antall hydrofonbøyer som distribueres på havoverflaten i aktuelle områder og som mottar signaler fra fisk som er merket med akustiske sendere. Posisjoneringen foregår ved hjelp av hyperbolske navigasjonsprinsipper ved at bøyene synkroniseres med tidssignaler og egen posisjon fra GPS. Bøyene kommuniserer med hverandre og baseenhet via radiolink. Baseenheten sammenstiller data fra bøyene, beregner posisjoner og presenterer dette i et egnet brukergrensesnitt. Oppgaven omfatter bl.a. følgende punkter:

- Utarbeidelse av detaljspesifikasjon av hovedkomponentene i hydrofonbøyen og grensesnittet mellom disse.
- Uvikling av programvare for master-enheten som implementerer grunnfunksjonaliteten i hydrofonbøyen med koordinering og lagring av tag/akustikkog GPS-data, samt radiokommunikasjon med basestasjon.
- Utarbeidelse av eksperimentplan og utprøving av hydrofonbøye under realistiske betingelser.
- Dokumentasjon og diskusjon av resultater

Oppgaven gitt: 13. februar 2008

Hovedveileder: Jo Arve Alfredsen, ITK

Forord

PinPoint-systemet er et system for automatisk adferdskartlegging og posisjonering av fisk. Systemet måler fiskers bevegelser, samt et antall andre variabler relatert til fiskens adferd, fysiologi og levested.

Det første PinPoint-systemet, for automatisk kartlegging av bevegelse hos fisk, ble utviklet ved seksjon for teknisk kybernetikk på NTH og Sintef, avdeling for reguleringsteknikk, på 1970-tallet. I 2001 startet utviklingen av en ny, forbedret versjon av PinPoint-systemet ved linje for Fiskeri og Havbrukskybernetikk ved NTNU. Initiativet ble tatt av Professor II Bård Holand, som foreslo oppgavene og veiledet studentene.

Denne rapporten er resultatet av masteroppgaven “Akustisk posisjoneringssystem for fisk” og bygger videre på min prosjektoppgave med samme navn. Arbeidet er utført ved linje for Fiskeri og Havbrukskybernetikk og i samarbeid med Thelma AS. Rapporten gir en teknisk beskrivelse av PinPoint-systemets hovedkomponenter samt en beskrivelse av funksjonaliteten til systemet.

Thelma AS har vært initiativtakere gjennom prosjektet PinPoint. Prosjektet har vært veiledet av sivilingeniør Jan Eyolf Bjørnsen og førsteamanuensis Jo Arve Alfredsen ved institutt for teknisk kybernetikk.

Jeg ønsker å takke veilederne, førsteamanuensis Jo Arve Alfredsen, professor II Bård Holand og Jan Eyolf Bjørnsen ved Thelma for all hjelp og veiledning de har bidratt med. I tillegg vil jeg takke John Olav Horrigno og Stefano Bertelli på komponentlageret for hjelp til å skaffe komponenter og utstyr, og Knut A. Rekev for utlån av utstyr og assistanse med dette. Jeg ønsker også å takke Maricom og Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond for økonomisk støtte i form av stipend.

Joakim Hammer
Trondheim,

Sammendrag

Hensikten med denne masteroppgaven har vært å utvikle en autonom hydrofonbøye for PinPoint-systemet. Hydrofonbøyen består av tre moduler; en kommunikasjonsmodul, en GPS-modul og en hydrofonmodul. PinPoint-systemet består av slike hydrofonbøyer som kommuniserer via integrerte radiosendere. Informasjon fra hydrofonbøyene skal brukes til å bestemme posisjonen til et fiskemerke med en akustisk transduser.

I rapporten blir det gitt en beskrivelse av hydrofonbøyen på systemnivå som viser hvordan disse modulene sammen danner en komplett hydrofonbøye. Det blir også gitt en detaljert beskrivelse av hvordan interaksjonen mellom bøyene til sammen gir et komplett, dynamisk biotelemetri-system. Det er i denne oppgaven ikke satt særlig fokus på utviklingen av brukergrensesnitt på basestasjonen.

Det har tidligere vært jobbet en del på PinPoint-systemet. En prototyp av hydrofonmodulen ble utviklet av Jan Eyolf Bjørnsen i 2002. Hydrofonmodulen har siden blitt videreutviklet av Thelma AS. I 2004 ble det arbeidet med utviklingen av hovedprosesseringsenheten (Skarphedinsson 2004 [19]) og med GPS-modulen (Thorsen 2004 [21]).

Denne Masteroppgaven har hatt som mål å kombinere disse arbeidene og deretter utvikle en ferdig prototyp av produktet.

Slik systemet fremstår nå burde en full systemtest med flytende prototyper absolutt være mulig, innenfor en rimelig tidshorisont.

Innhold

1	Innledning	1
2	Bakgrunnsstoff	5
2.1	PinPoint	5
2.1.1	Historie	5
2.1.2	System	6
2.1.3	Fiskemerke	6
2.2	Akustisk signaltransmisjon	7
2.2.1	Transmisjonstap	7
2.2.2	Værets betydning for mottakerforhold	8
2.2.3	Variasjoner i lydhastigheten	9
2.2.4	Rekkevidde	14
2.3	Digital Puls-Posisjons-Modulering (DPPM)	15
2.4	Hydrofon-modul	17
2.5	GPS-modul	17
2.6	Posisjonsestimert	18
2.7	Olex	18
3	Systemspesifikasjon	21
3.1	Kommunikasjon mellom bøyene	21
3.1.1	Nodenettverket	21
3.1.2	Nodetabell	23
3.1.3	Utvidelse av nodetabellen	24
3.1.4	RF-datapakke	26
3.1.5	Retransmisjon mellom radiomodulene	28
3.1.6	Initialisering av systemet	29
3.1.7	Routing av radiopakker i nettverket	31
3.2	Bøyens operasjonsmodi	32
3.3	Sanntidskrav	32
3.4	Akustisk signaltransmisjon	33
3.4.1	Fiskepakker	33
3.4.2	Hydrofonforsterker	33
3.4.3	Signaldeteksjon	34
3.4.4	Tolkning av mottatt signal	34
3.4.5	To-veis kommunikasjon med fiskemerker	35
3.5	Nedlasting av data	35
3.6	Kommunikasjon mellom modulene i PinPoint-bøyene	37

3.7	Innkapsling og flyteelement	38
4	Design	39
4.1	Basestasjon	39
4.2	Hydrofonmodulen	41
4.3	Mastermodul	42
4.3.1	Programvare	44
4.3.2	Statuslog	44
4.3.3	Programflyt i operativ node	44
4.4	Radiomodul	49
4.5	GPS-modul	52
5	Test og dokumentasjon	55
5.1	Fase 1 – Hydrofonbøyen	55
5.1.1	Mottak av simulert DPPM-signal	55
5.1.2	Kontroll av tidsdifferanse	56
5.2	Fase 2 – PinPoint-systemet	57
5.2.1	Omstrukturering av bøyenettverk	57
5.2.2	Brudd på kommunikasjonslinjer	58
5.2.3	Nettverk med flere noder.	59
5.2.4	Prototyp	60
6	Diskusjon	61
7	Konklusjon	63
8	Videre arbeid	65
	Bibliografi	67
A	Kretsskjemaer	i
B	Datablader	ii
C	Programkode	iii

Figurer

1.1	Oversikt over komponentene i PinPoint-systemet [3]	2
2.1	PinPoint versjon 1 installert i Hopavågen (Mohus 1974)	5
2.2	Dataflyt [3]	6
2.3	Absorpsjonskoeffisient som funksjon av frekvens [9]	7
2.4	Bakgrunnstøy som funksjon av vind og temperatursvingninger [9]	8
2.5	Instrument for måling av forskjellige sjøvannsparametre, ombord på RV-Gunnerus.	9
2.6	Lydhastighetsprofil målt med <i>RV Gunnerus</i> i Trondheimsfjorden den 5.september 2007	10
2.7	Lydhastighetsprofil og skyggesoner [9]	10
2.8	Skyggesoner ved signaltransmisjon i vann [8]	11
2.9	Lydhastighet i vann med sand og leire-partikler	12
2.10	Lydhastighet i vann med luftbobler	13
2.11	Lydhastighet som funksjon av resonansfrekvensen til bobler i overføringsmediet	13
2.12	Spredningstverrsnitt fra en luftboble, plottet om resonansfrekvensen	14
2.13	Oppbygning og overføring av DPPM-pakke [3]	15
2.14	DPPM-modulert fiskepakke [3]	15
2.15	Skisse av hydrofonmodulen	17
3.1	Bruk av hydrofonbøyer som repeaterer [3]	21
3.2	Oversikt over pakketransmisjon i et system med tre noder.	22
3.3	Worst case nodesystem	22
3.4	Nodetre	23
3.5	Nodetre-datapakke	24
3.6	Nodetre-datapakke (utvidet)	25
3.7	Radiopakke	26
3.8	RF-pakke	26
3.9	Retransmisjon ved uteblitt kvittering.	28
3.10	Sekvensdiagram for initialisering av system med to noder	30
3.11	Analog signalbehandling i hydrofonforsterkeren. [3]	33
3.12	PinPoint-pakke	34
3.13	Sekvensdiagram for nedlasting av data fra hydrofonbøye	36
4.1	Flytskjema for switch case på RF-pakke hos basestasjonen	40
4.2	Elektromekanisk ekvivalentskjema for en piezokeramisk transduser	41
4.3	Kommunikasjon mellom modulene i bøyen	43
4.4	Flytskjema for Envelope Detected	45
4.5	Flytskjema for in-buffer til Radiomodulen	46

4.6	Flytskjema for switch case på RF-pakke datatype	47
4.7	Flytskjema for out-buffer til Radiomodulen	48
4.8	Koblingskjema for RC1040 [16]	49
4.9	Tilstandsdiagram for radiomodul	51
5.1	Kommunikasjonsdiagram for testoppsett	55
5.2	Testsystem med tre noder	59

Tabeller

3.1	Nodetabell	24
3.2	Datatype – RF-pakker	28
3.3	Datapakker mottatt av sentralenheten	29
3.4	Nodetabell	31
5.1	Testresultat	56

Kapittel 1

Innledning

Muligheten til å bestemme posisjonen til objekter under vann kan være nyttig innenfor svært mange områder.

Nøyaktig kartlegging av hvordan de forskjellige artene reagerer på stimuli de blir utsatt for i løpet av produksjonen, er i dag svært vanskelig. Det være seg respons på før eller føringsregimer, føringstidspunkt, håndtering som følge av flytting, vaksineringsregimer, forskjellige lys-regimer og vær- og vindforhold. Dagens målinger baserer seg stort sett på visuelle betraktninger og det brukes i liten grad matematiske modeller for adferdsoptimalisering.

Ved å automatisere deler av oppdrettsnæringen i Norge vil man kunne oppnå gunstige effekter som økt effektivitet og lønnsomhet. For å kunne lykkes med oppdrett av nye arter vil det være svært fordelaktig å kunne studere adferden til de aktuelle artene. Slik vil man kunne bruke målinger og matematiske modeller, kunne optimalisere vilkårene slik at overlevelsen, veksten og dermed avkastningen blir størst mulig.

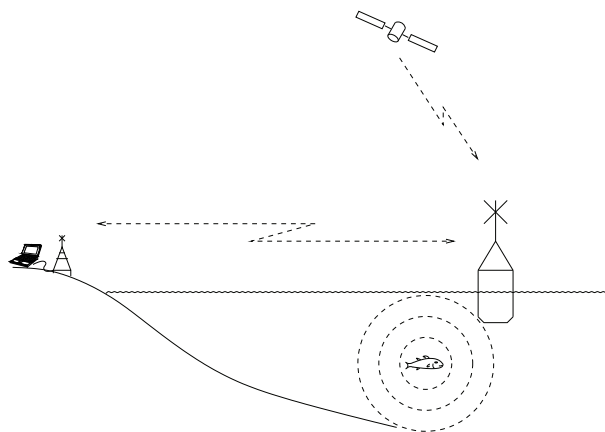
En av de store utfordringene vi i dag står overfor som følge av oppdrett av laks er de store rømmingstallene, som både har store miljømessige og økonomiske konsekvenser. Ved å merke en andel oppdrettslaks med akustiske fiskemerker, vil en kunne få bedre kunnskaper om hvor stor andel av den rømte oppdrettslaksen som er i stand til å returnere til elvene, for så å gyte sammen med villaksen.

Det vil også kunne være interessant å kartlegge hvordan fisk reagerer i tilknytning til fiskeredskap. Ved å kartlegge bevegelsesmønstre til fisk i kontakt med fangstredskaper som not eller trål, kan fangstredskapen skreddersys i mye større grad enn det som er tilfelle i dag.

Innenfor marinbiologi og akvakultur vil det være interessant å studere hvordan enkeltindivider beveger seg som del av en stim. Ved å studere hvordan enkeltindivider oppfører seg i interaksjon med hverandre har man gode forutsetninger for å kunne utvikle avanserte matematiske modeller, havbiomodeller, for adferden til biologiske organismer i havet. Ved å benytte seg av PinPoint-systemet vil man kunne spore en fisks bevegelser og adferdsmønstre ved forskjellige typer påvirkning på miljøet. Dette vil være essensielt for å utvikle og teste slike havbiomodeller. Når vi forstår hvordan fisken oppfører seg og hvilke mekanismer som påvirker adferden, får vi bedre verktøy til forvaltningen. Dette kan hjelpe oss med å planlegge utnyttelsen av kystsonen bedre, samtidig som vi tar vare på de ville fiskebestandene.

Blant andre aktuelle bruksområder kan det nevnes:

- posisjonering av miniubåter eller AUV'er (Autonomous Underwater Vehicle)
- posisjonering av dykkere
- kartlegging og markering av strukturer eller objekter på havbunnen
- posisjonering av organismer innenfor studier av marine arter og utvikling av havbiomodeller



Figur 1.1: Oversikt over komponentene i PinPoint-systemet [3]

PinPoint-systemet slik det er i dag er et akustisk telemetrisystem for posisjonering av objekter under vann. Systemet vil, innenfor et begrenset område, være i stand til å følge en fisks bevegelser med et svært nøyaktig posisjonsestimert. Samtidig kan systemet motta andre interessante målinger av adferden, slik som hjerterate og pustefrekvens. Det vil også være mulig å måle miljøvariabler slik som trykk og temperatur. Systemet baserer seg på et lite fiskemerke som bæres av det aktuelle individet og inneholder en akustisk transmitter samt noen utvalgte sensorer. Transmitteren vil sende akustiske kodete puls-posisjonsmodulerte signaler med måldata fra sensorene i fiskemerket som vil bli mottatt og tydet av hydrofonbøyene i PinPoint-systemet.

De autonome hydrofonbøyene i PinPoint-systemet inneholder en GPS-mottaker, en hydrofon og en radiosender. Hydrofonbøyene plasseres i sjøen der de selv finner sin egen globale posisjon ved hjelp av GPS-mottakeren. Deretter vil hydrofonbøyen starte mottak, tidsmerking og dekodning av signaler fra akustiske fiskemerker i det aktuelle området omkring den. Når hydrofonbøyen har dekodet det akustiske signalet, kombineres fiskepakken med informasjon om bøyens absolute posisjon og mottakertidspunktet lagres dataene lokalt på bøyens minnebrikke før de overføres til landstasjonen via hydrofonbøyens kommunikasjonsmodul.

Ved å benytte data fra flere slike hydrofonbøyer bruker PinPoint-systemet hyperbolske regneprinsipper til å finne posisjonen til fiskemerket.

For at målingene skal være representative er det viktig at objektet som måles er så lite påvirket av fiskemerket som mulig. Det finnes flere måter å merke en fisk på. Fiskemerket kan festes på utsiden, men dette vil kunne påvirke strømningsforholdene rundt fisken. Det kan også ha noe å si for balansen. Fiskemerket kan opereres inn i bukhulen, men det er viktig at fisken utsettes for

så lite stress som mulig slik at målingene fra det aktuelle individet er representativt for oppførselen til alle de andre individene i stimen, og ikke annerledes som følge av behandlingen. Hvilken merkemethode som passer best, vil variere ut ifra art, tagens størrelse og hva vi ønsker å måle.

Det finnes allerede flere systemer for datainnsamling fra fiskemerker som alle har sine fordeler og ulemper. Fiskemerker med radiosendere istedet for akustiske sendere har store begrensninger da radiostråler dempes kraftig i vann. "Pop up-merker" som registrerer data og etter en viss tid stiger til overflaten for å overføre dataene er en billig metode, men den kan ikke gi nøyaktige posisjonsestimater. *Simrad* har et system for trådløs styring av ROV (remotely operated underwater vehicle) som baserer seg på en kuleformet antenne med et stort antall hydrofoner. Dette systemet baserer posisjoneringen på hvordan utbredelsen av lydbølgen gjennom de forskjellige hydrofonene i kulen er. *HTI* (hydroacoustic technology inc.) produserer et system som baserer seg på bruk av aktiv split beam sonar for tredimensjonal posisjonering av fiskemerker. Disse systemene er svært dyre. Det finnes også systemer som benytter en array-antenne, hvor alle hydrofonene ligger i det samme planet, og som kan slepes etter en båt.

PinPoint vil være et godt og rimelig alternativ til mange av de andre systemene som finnes på markedet.

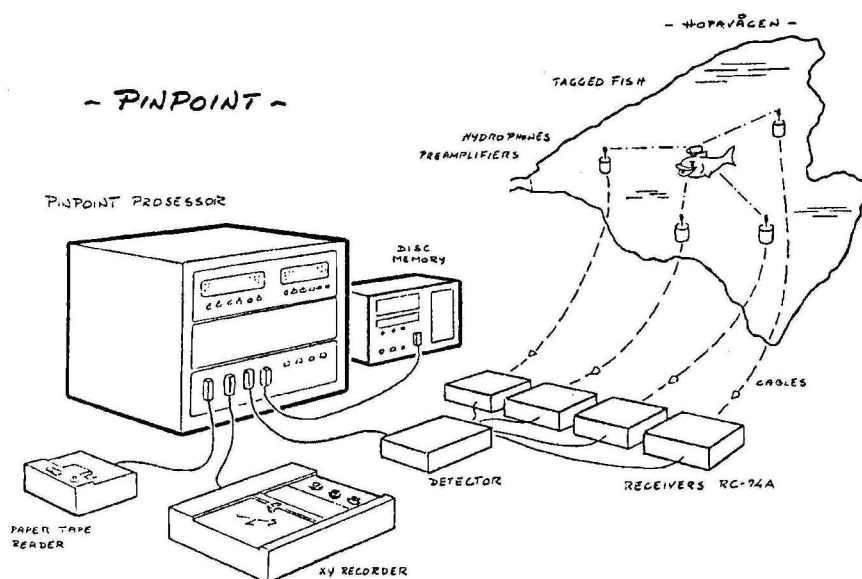
Kapittel 2

Bakgrunnsstoff

2.1 PinPoint

2.1.1 Historie

I 1974 - 1975 ble den første versjonen av PinPoint-systemet testet i Hopavågen utenfor Trondheim. Dette systemet benyttet seg av et akustisk fiskemerke som ble festet til fisk, blant annet sei. Systemet hadde fire hydrofoner med forforsterkere, som var plassert ut i Hopavågen med en nøyaktig oppmålt posisjon. Disse hydrofonene hadde lange kabler som førte signalene inn til landstasjonen. Systemets hjerne var en mikroprosessorbasert datamaskin med diskminne som regnet ut posisjonsestimater til fisken og presenterte resultatet på en xy-plotter.



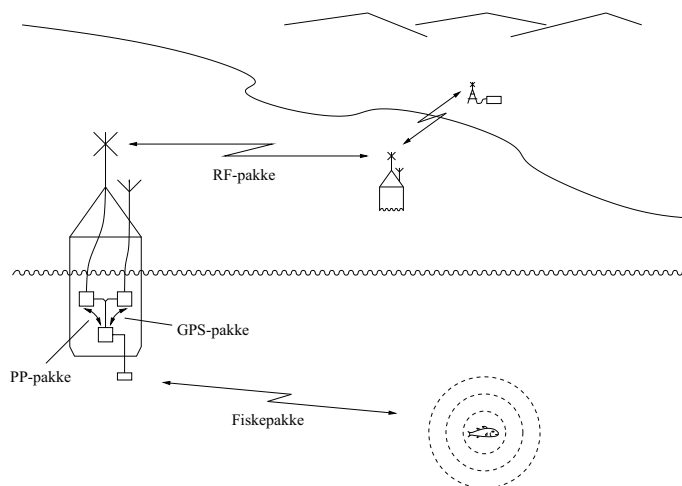
Figur 2.1: PinPoint versjon 1 installert i Hopavågen (Mohus 1974)

Oppkoblingen av dette systemet var svært omfattende da det var helt nødvendig å kjenne posisjonen til hydrofonene. Dette betød at hydrofonene måtte være fastmontert slik at posisjonen

ikke endret seg. I tillegg var det nødvendig å legge kabler fra landstasjonen ut til alle hydrofonene. Vi ønsker å lage et system som er enklere å koble opp og som oppfører seg mer dynamisk.

2.1.2 System

PinPoint-systemet består av flere elementer: en basestasjon som kontrollerer kommunikasjonen i systemet, en eller flere bøyer som inneholder elektronikk, og et eller flere akustiske fiskemerker som systemet skal samle inn data fra.



Figur 2.2: Dataflyt [3]

2.1.3 Fiskemerke

Fiskemerkeene i PinPoint-systemet kan enten være rene PING-fiskemerker, som ikke har noen annen funksjon enn å sende ut en akustisk puls med jevne mellomrom, eller de kan være avanserte måleinstrumenter utstyrt med sensorer for registrering av et antall variabler. Det er implementert digital puls-posisjons-modulasjon (DPPM) for transmisjon av digitalt kodede data fra fiskemerket til hydrofonbøyen. Hvert fiskemerke har en ID-kode som sendes sammen med data fra sensorene over den akustiske linken. Det transmitterte signalet, bestående av ID og sensordata kalles en *fiskepakke*.

Systemer som baserer seg på trådløs overføring med begrenset rekkevidde lider under generell nettverksproblematikk som kollisjon av datapakker. En av begrensningene PinPoint-systemet har, er at vi bare kan lytte til ett fiskemerke om gangen. Det er imidlertid mulig å veksle mellom flere fiskemerker hvis disse sender på forskjellige frekvenser.

Ett alternativ for overføring av fiskepakker er enveiskommunikasjon mellom fiskemerke og hydrofonbøye der fiskemerkeene vil sende data med pseudotilfeldige mellomrom. Det gjennomsnittlige mellomrommet må avpasses etter antallet aktive fiskemerker i området, samt tiden det tar å overføre en fiskepakke. Det vil kunne forekomme kollisjon i signaloverføringen som fører til at fiskepakker ikke kommer frem til hydrofonbøyen hvis det befinner seg flere aktive fiskemerker inne i måleområdet.

Toveiskommunikasjon mellom hydrofonbøye og fiskemerke vil gi muligheten til å bestemme hvilke fiskemerker som skal ha adgang til den akustiske transmisjonslinken. Slik vil systemet kunne unngå kollisjoner i signaloverføringen, men det vil kreve mer avanserte fiskemerker og en mer komplisert kommunikasjonsstyring.

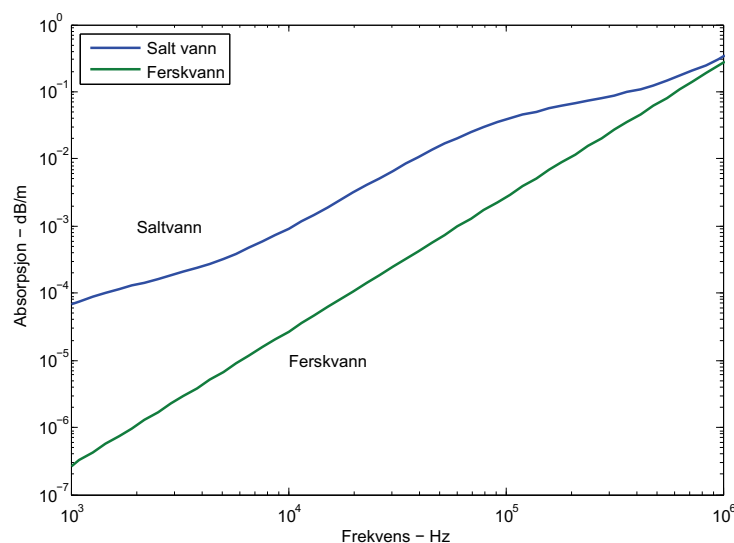
2.2 Akustisk signaltransmisjon

Rekkevidden til et akustisk signal bestemmes av flere faktorer. Noen av de viktigste er:

- Senderens effekt
- Transmisjonstap
- Støy og reflekser
- Avbøying av lydsignalet

2.2.1 Transmisjonstap

Transmisjonstapet kan deles opp i to faktorer: spredningstap og absorpsjon. På dypt vann vil spredningstapet være *sfærisk*, mens det på grunt vann kan regnes som *sylindrisk* da bunn og overflate vil begrense spredningen. Den andre faktoren, absorpsjon, måles i desibel per meter og er sterkt avhengig av frekvensen på signalet.



Figur 2.3: Absorpsjonskoeffisient som funksjon av frekvens [9]

Tranmisjonstapet (TL) i ligning 2.1 er en funksjon av sfærisk spredning og dempning av signalet over avstanden r mens ligning 2.2 viser transmisjonstapet som en funksjon av sylindrisk spredning.

$$TL_{sf_risk} = 20 \cdot \log(r) + r \cdot \alpha_{dB} \quad (dB \text{ rel } 1\mu Pa) \quad (2.1)$$

$$TL_{\text{syindrisk}} = 10 \cdot \log(r) + r \cdot \alpha_{dB} \quad (\text{dB rel } 1\mu\text{Pa}) \quad (2.2)$$

Ligning 2.3 viser støynivået (Noise Level) som funksjon av støyens spektralnivå (NSL), filterets båndbredde (B) samt retningsindeksen (DI) til mottakerantenna. Støyens spektralnivå kan leses av figur 2.4

$$NL = NSL + 10 \cdot \log B - DI_m \quad (2.3)$$

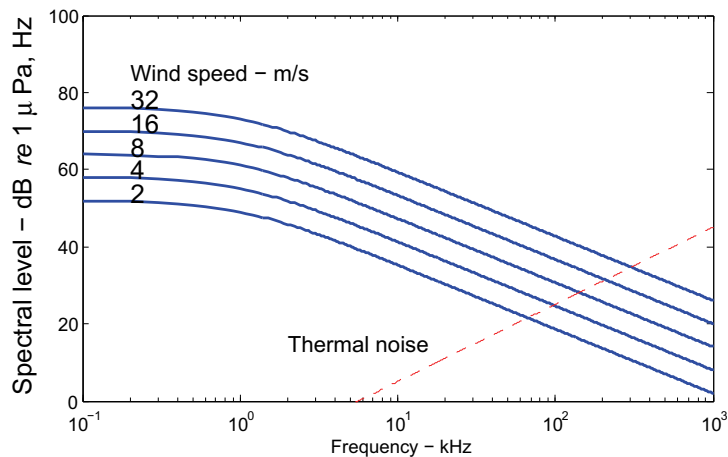
Ligning 2.4 viser hvor sterkt det mottatte signalet (RS) må være i forhold til deteksjonsnivå (DT), kildestyrke(SL), transmisjonstap (TL) og støynivå(NL).

$$RS - DT \geq SL - TL - NL \quad (2.4)$$

Hvis ikke ligning 2.4 er sann vil det ikke være mulig å detektere noe akustisk signal fra fiskemerket.

2.2.2 Værets betydning for mottakerforhold

I det nedre frekvensområdet er det mekanisk støy som dominerer. Denne støyen kommer i stor grad av bevegelser i havoverflaten generert av vind, regn eller bølger. I figur 2.4 kan vi se hvordan været i form av vind og temperatursvingninger vil skape bakgrunnsstøy i de forskjellige frekvensområdene.



Figur 2.4: Bakgrunnstøy som funksjon av vind og temperatursvingninger [9]

Luftbobler og partikler som virvles opp i vannet vil ha sterk innvirkning på spredningen av det akustiske signalet (scattering cross section) og på lyd hastigheten. Bølgebrytning og tungt regnvær vil føre små luftbobler ned i de øvre lag av vannsøylen. De større luftboblene vil raskt stige til overflaten, men de små boblene vil kunne bli liggende en stund. Luftboblene vil utgjøre en liten del av det relative volumet, men på grunn av resonanskarakteristikk til luftboblene og de store forskjellene i akustisk impedans vil dette ha store effekter for signaltransmisjon i vann. Jens Hovem [9] gir en grundigere forklaring av disse fenomenene.

I de høyere frekvensområdene vil den termiske støyen dominere. Den termiske støyen gis av ligning 2.5

$$TS = 20 \log p_t, \quad p_t^2 = \frac{4\pi k T \rho f^2}{c} \quad (2.5)$$

der k er *Boltzmanns konstant* og T er sjøtemperaturen oppgitt i *kelvin*. Denne kan forenkles til ligning 2.6 ved vanlige verdier for tetthet ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$), temperatur ($T = 278 \text{ K}$), og lydhastighet ($c = 1500 \text{ m/s}$)

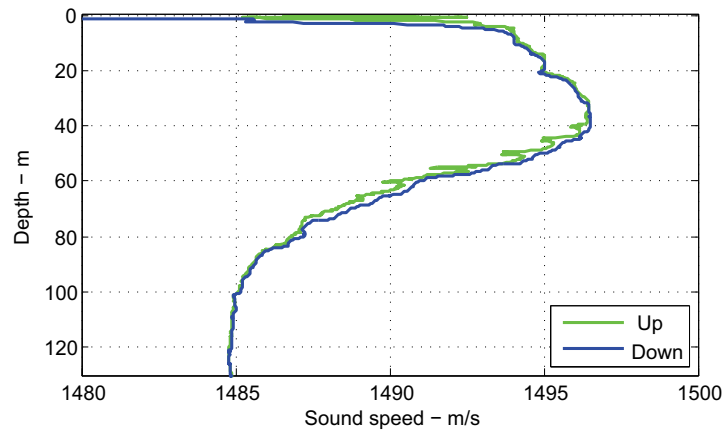
$$TS = -15 + 20 \log f \quad \text{dB} \quad (\text{re } 1 \mu\text{Pa}) \quad (2.6)$$

2.2.3 Variasjoner i lydhastigheten

Lydhastigheten i havet er ikke konstant. Grunnet endringer i tetthet, saltkonsentrasjon og temperatur vil hastigheten endre seg som en funksjon av dybde. Denne lydhastighetsprofilen kan til en viss grad forutsies på grunnlag av årstid og miljø, men må måles for å finne den nøyaktige lydhastigheten som funksjon av dybde. Det er rimelig å anta [9] at lydhastigheten er konstant som funksjon av posisjonen i planet, men ikke som en funksjon av dybden.

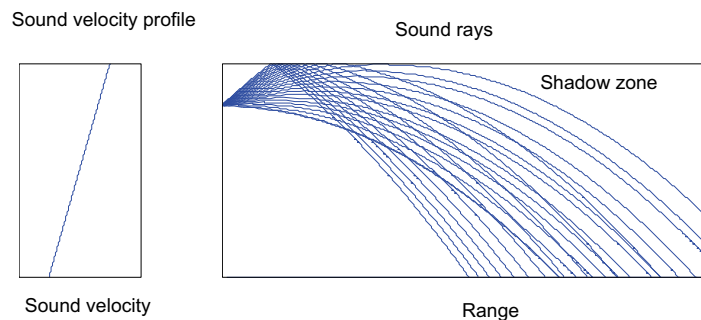


Figur 2.5: Instrument for måling av forskjellige sjøvannsparmetre, ombord på RV-Gunnerus.

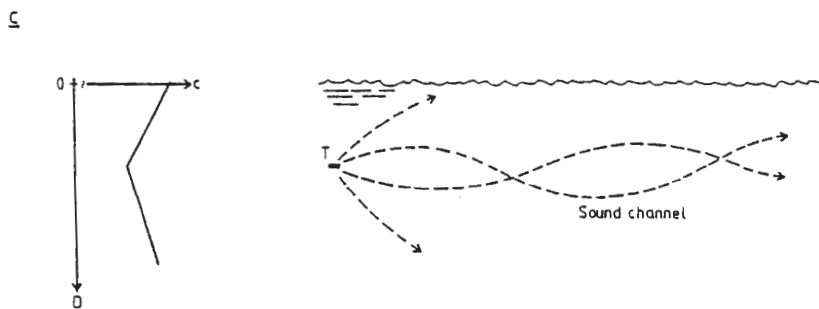
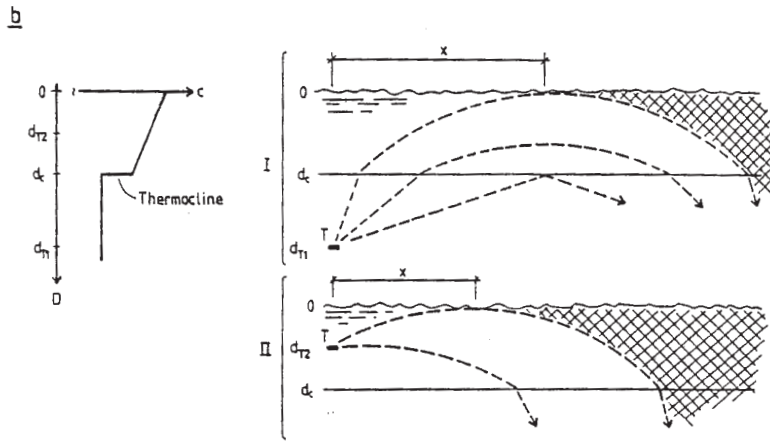
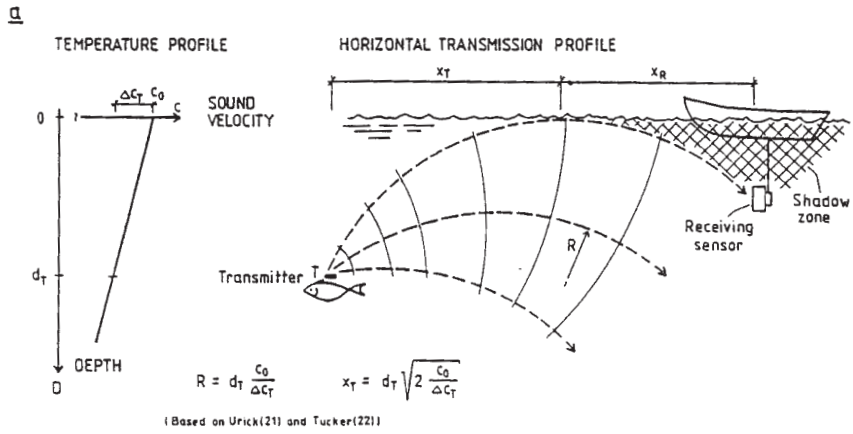


Figur 2.6: Lydhastighetsprofil målt med *RV Gunnerus* i Trondheimsfjorden den 5.september 2007

Endringer i lydhastigheten som funksjon av dybde (se figur 2.6) gjør at vi får en kontinuerlig brytning av lydbølgene. Avhengig av gradienten til lydhastighetsprofilen vil lydbølgene få avbøyning. Med en negativ gradient vil denne avbøyningen begrense hvor langt unna vi kan detektere signalet fra fiskemerket, da vi får dannet skyggesoner utenfor den ytterste lydbølgen. Hvis en hydrofonbøye befinner seg i skyggesonen, vil den ikke være i stand til å registrere signalet fra fiskemerket selv om ligning 2.4 skulle oppfylles. Hvis avbøyningen av lydstråler blir stor, vil det kunne oppstå et fenomen hvor ingen lydbølger når til overflaten. Dette kalles en *sound channel*. Sound channel-fenomenet vil være mest aktuelt i studier av dypvannsfisk som for eksempel hval eller kveite.



Figur 2.7: Lydhastighetsprofil og skyggesoner [9]



Figur 2.8: Skyggesoner ved signaltransmisjon i vann [8]

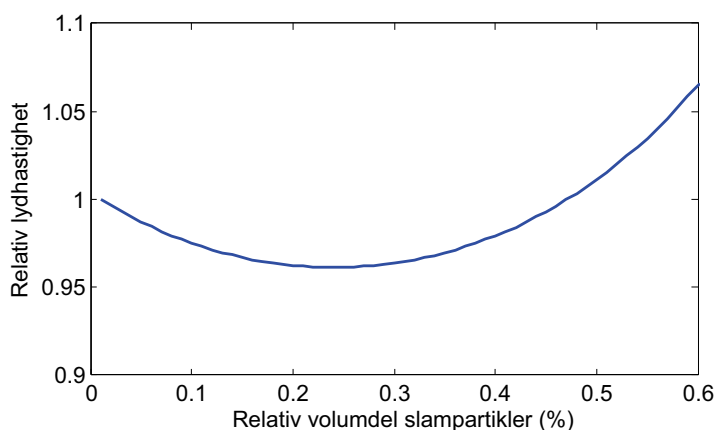
Spesielle tilfeller

I tillegg til den generelle variasjonen i lyd hastighet som funksjon av dybde, kan vi ha lokale variasjoner som følge av sedimenter eller luftbobler i vannet. Dette vil kunne gi store lokale variasjoner i lyd hastigheten og det vil dermed kunne gi store bidrag som feilkilder.

Hvis transmisjonsmediet er sammensatt av to stoffer med forskjellig tetthet, for eksempel saltvann med luftbobler eller saltvann med oppvirvlede sandkorn, vil lyd hastigheten være svært annerledes enn ved rent saltvann. Den gjennomsnittlige lyd hastigheten i et sammensatt materiale regnes ut ved bruk av [9] Woods ligning :

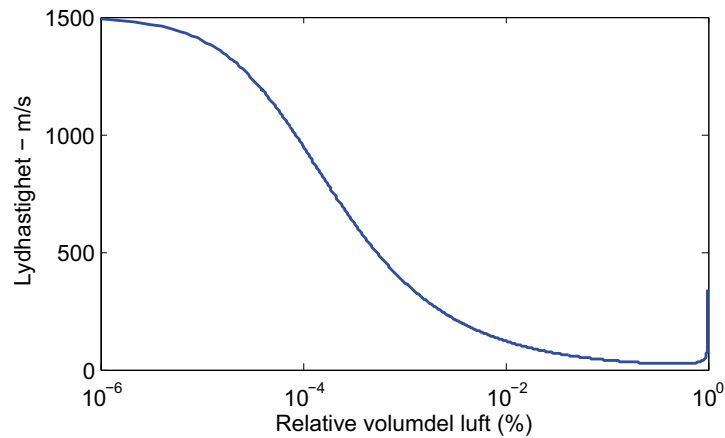
$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} = \frac{1}{\sqrt{[\frac{\phi}{K_f} + \frac{1-\phi}{K_s}][\phi\rho_f + (1-\phi)\rho_s]}} \quad (2.7)$$

Figur 2.9 viser hvordan lyd hastigheten varierer i et medium som består av sand og leirepartikler. I utregningen er Woods ligning benyttet med en antatt tetthet for sand- og leirepartikler på $2,6 \text{ g/cm}^3$.



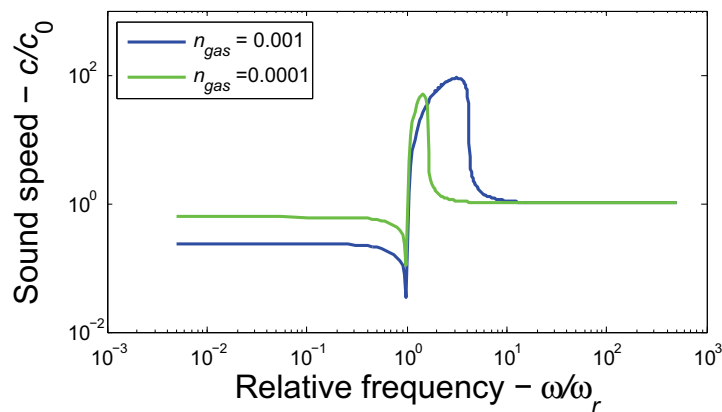
Figur 2.9: Lyd hastighet i vann med sand og leire-partikler

Figur 2.10 beskriver hvordan luftbobler i vannet har en mye større innflytelse på lyd hastigheten i transmisjonslinken enn sedimenter i vannet (figur 2.9) . Det er viktig å tenke på dette når man plasserer ut bøylene. Små luftbobler i vannet kan ofte forekomme som en følge av kraftig regnvær, store bølger, nærhet til elveutløp, gassutslipp, båttrafikk, etc. Siden utregningen av fiskemerkets posisjon baserer seg på at lyd hastigheten i vannet ikke endrer seg avhengig av posisjonen i planet, vil selv en liten konsentrasjon av luftbobler rundt en bøye kunne føre til store feil i posisjonsestimaten. Ved tilfeller med stor konsentrasjon av luft vil lyd hastigheten i mediet være ned mot 100 m/s , noe som er mye lavere enn lyd hastigheten ville vært i det mediet med lavest tetthet alene [9].

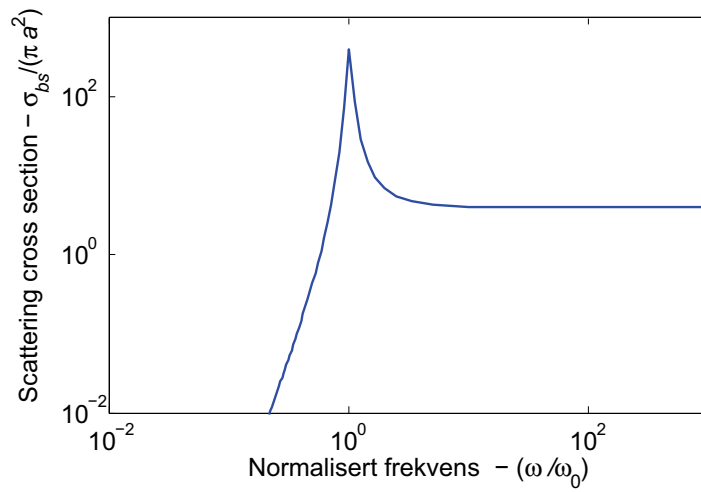


Figur 2.10: Lydhastighet i vann med luftbobler

Resonansfrekvensen til eventuelle bobler vil kunne ha stor innvirkning på akustiske signaler. Lydhastigheten vil variere sterkt rundt resonansfrekvensen til eventuelle luftbobler (se figur 2.11). Spredningstverrsnittet (scattering cross section) vil være størst ved resonansfrekvensen og holde seg konstant stor over denne. Dette bør man ta hensyn til når man velger senderfrekvens på stimfisk med svømmeblære. Hvis man ønsker å følge posisjonen til en torsk i *merd*, bør man velge en senderfrekvens som ligger under resonansfrekvensen til en gjennomsnittlig svømmeblære.



Figur 2.11: Lydhastighet som funksjon av resonansfrekvensen til bobler i overføringsmediet



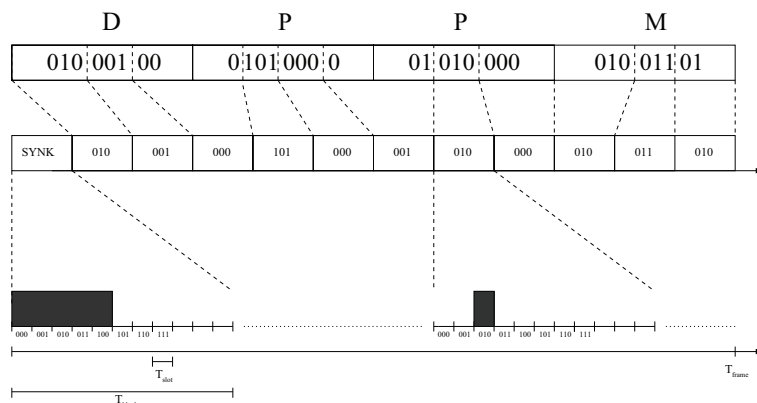
Figur 2.12: Spredningstverrsnitt fra en luftboble, plottet om resonansfrekvensen

2.2.4 Rekkevidde

Rekkevidden til systemet er ikke bestemt av hydrofonen i bøyene, men av kildestyrken hos fiskemerket. Avhengig av sendefrekvensen og kildestyrken vil den anbefalte avstanden mellom hydrofonbøyene kunne regnes ut. Thelma leverer en rekke fiskemerker med en kildestyrke på rundt 150 dB (rel. $1 \mu Pa$, 1 meters avstand). Om vi bruker en senderfrekvens på 80kHz og det antas at værforholdene er bra vil den termiske støyen dominere. Sammen med en båndbredde på 2 kHz vil støybidraget bli på ca 25 + 33 dB. Med en deteksjonsgrense på 20 dB, ender vi opp med et transmisjonstap på 73 dB, noe som tilsvarer en maksimumsavstand mellom sender og mottaker på ca. 600 meter.

2.3 Digital Puls-Posisjons-Modulering (DPPM)

Fiskemerkene sender data ved hjelp av Puls-Posisjons-modulering. Den viktigste fordelen med dette er at effektforbruket blir svært lavt da det kun genereres pulser i 12% av den totale sendetiden [3]. Prinsippet bak digital puls-posisjons-modulering er at man deler opp en datamengde i blokker av en bestemt størrelse som igjen deles i tidsluker. Kun én tidsluke i hver blokk er aktiv (logisk høy) og denne tidsluken inneholder bitkombinasjonen som blokken representerer. Dette er svært hensiktsmessig med hensyn til effektforbruk i sender-elementet, da kun én tidsluke i hver blokk er aktiv.

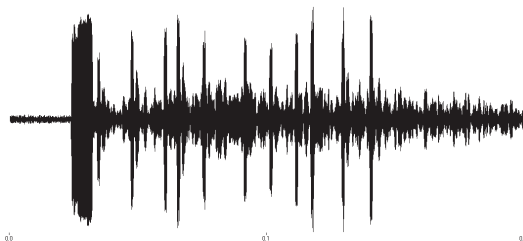


Figur 2.13: Oppbygning og overføring av DPPM-pakke [3]

Figur 2.13 illustrerer overføring av en 4 bytes fiskepakke inneholdende informasjonen “DPPM” i ASCII-kode. Hver blokk representerer 3 bit i fiskepakken, det er derfor 11 datablokker. Hver datablokk består av 11 tidsluker, der 8 representerer de forskjellige bitkombinasjonene mens de 3 siste alltid er lave, slik at det oppnås en liten dødtid mellom to tidsluker så pulser fra to naboblokker i minst mulig grad skal gli over i hverandre.

Først i overføringen er det en synkroniseringsblokk bestående av 5 aktive tidsluker med påfølgende 6 tidslukers dødtid. Denne blokken har som funksjon å varsle om at det kommer en DPPM-pakke, samtidig som den stigende flanken på pulsen i synkroniseringsblokken brukes som tidsreferanse for de etterfølgende tidslukene.

Figur 2.15 viser et eksempel på hvordan en slik DPPM-modulert fiskepakke kan se ut.



Figur 2.14: DPPM-modulert fiskepakke [3]

Demodulering av DPPM-signal:

Det akustiske DPPM-signalet blir forsterket og filtrert i et analogt båndpassfilter før det går gjennom en envelope-detektor. Deretter blir det koblet på en A/D-konverter på mastermodulen i hydrofonbøyen.

For å kunne motta og tolke et DPPM-signal korrekt må flere betingelser oppfylles.

- Man må være i stand til å skille synkroniseringspulsen og de aktive tidslukene fra naturlig støy og refleksjoner.
- Flanken på synkroniseringspulsen må tidfestes så nøyaktig at den kan brukes som referanse for tidfesting av etterfølgende tidsluker.
- Driften i tidfestingen av flanker må være ubetydelig, sett i forhold til tidslukens lengde.

Dersom kodingen av det DPPM-modulerte signalet endres, må rutinen for mottak og tolkning av DPPM-signaler i hydrofonmodulen endres tilsvarende. En kan se for seg en situasjon der det befinner seg flere typer fiskemerker med forskjellige bærefrekvenser og forskjellige DPPM-parametre innenfor det samme området. Systemet kan da velge hvilket fiskemerke som skal registreres ved å forandre senterfrekvens og sette riktige parametre.

Parametre i digital signalbehandling:

DPPM-tidslukens lengde :

For å oppnå en mer robust kommunikasjonslink eller høyere bitrate, kan DPPM-tidslukenes lengde økes eller minskes. Tidslukens lengde kan velges som et antall millisekund. Den nedre grensen for en tidsluke vil sannsynligvis være 1 ms, mens den øvre grensen er 26 ms. I utgangspunktet er tidsluken satt til 2 ms.

DPPM-datatidsluker :

Antallet datatidsluker i hver DPPM-blokk kan velges til 2, 4, 8, 16... Hydrofonmodulen finner selv ut hvor mange bit hver datatidsluke representerer. I utgangspunktet er det 8 datatidsluker i hver DPPM-datablokk.

DPPM-datablokk dødtid :

Dødtiden mellom hver datablokk kan velges som et antall tidsluker. I utgangspunktet er det 3 tidslukers dødtid etter datatidslukene i en DPPM-datablokk.

DPPM-synkroniseringspuls :

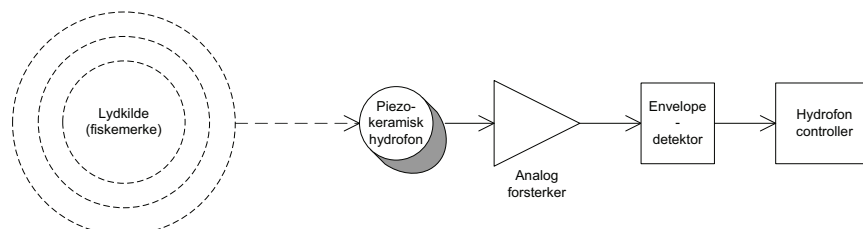
Lengden på synkroniseringspulsen i DPPM-signalet kan velges som et antall tidsluker. I utgangspunktet er DPPM-synkroniseringspulsen 5 tidsluker lang.

Dødtid etter synkroniseringspuls :

Dødtiden etter synkroniseringspulsen kan velges som et antall tidsluker. I utgangspunktet er dødtiden etter synkroniseringspulsen 6 tidsluker lang.

2.4 Hydrofon-modul

Hydrofonmodulen består av en ringformet piezokeramisk hydrofon og en enhet for analog signalbehandling. Det ringformede hydrofonelementet mottar akustiske signaler og omformer det til et analogt spenningsignal. Dette analoge signalet blir filtrert og forsterket før det konverteres til et digitalt signal igjennom en A/D-omformer.



Figur 2.15: Skisse av hydrofonmodulen

Mikrokontrolleren i hydrofonmodulen skal så forsøke å skille ut eventuelle kodete akustiske signaler fra naturlig støy og reflekterte eller kolliderende akustiske signaler. Om mulig dekodes det mottatte signalet og lagres som en binærkodet fiskepakke. Så snart en fiskepakke er detektert blir mastermodulen bedt om å tildele et tidsmerke, som blir lagret sammen med fiskepakken og bøyens absolutte posisjon når det akustiske signalet er ferdig prosessert. Pakken blir deretter overført til kommunikasjonsmodulen.

2.5 GPS-modul

GPS-modulen benytter NMEA0183 standard for posisjonering og tidsangivelse.

GPS-mottakeren trenger minst tre satellitter for å kunne beregne horisontal posisjon i to koordinater. Dataene fra GPS-mottakeren kan leses som en streng av ASCII-tegn bestående av:

- ZDA - standard NMEA tidsangivelse.
Denne tidsangivelsen er en uniform opadtellende tidsskala som ikke korrigeres med sekundhopp for å tilpasse jordrotasjonen slik vår vanlige tidsangivelse gjør. GPS-tid begynte på den 6.januar 1980 og ligger 1. juni 2008 ca 14 sekunder foran UTC (Coordinated Universal Time) Denne biasen vil ikke ha noen innvirkning på systemet vårt da vi benytter den samme tidsangivelsen i alle hydrofonbøyene.
- GLL - Geographic Position - Latitude / Longitude
Posisjon angitt i koordinatsystem med lengde og breddegrader.
- NSV - Sier hvor mange satellitter vi har kontakt med og gir informasjon om de forskjellige satellittene. Denne informasjonen brukes til å kontrollere den relative nøyaktigheten i posisjonsestimatet hos de forskjellige bøyene.

GPS-modulen er utstyrt med en svært presis 1PPS-puls (1 Pulse Per Second) som benyttes for presis timing og synkronisering. 1PPS-signalet vil være synkront i alle hydrofonbøyene og systemet benytter dette signalet til å synkronisere klokken som brukes til tidsstemping av fiskepakker. PinPoint-systemet er helt avhengig av at alle hydrofonbøyene opererer med samme tidsangivelse og det er dette signalet som gjør det mulig å synkronisere klokken.

2.6 Posisjonsestimat

PinPoint-systemet er avhengig av at algoritmen som regner ut posisjonsestimatet er rask og gir et nøyaktig posisjonsestimat. Skarphedinsson utviklet, gjennom sin masteroppgave ved NTNU i 2004, et trackingprogram basert på hyperbolsk posisjonering. For å benytte seg av hyperbolsk posisjonering kreves minimum tre hydrofoner som har forskjellige posisjoner i forhold til objektet med transduseren. Disse hydrofonene bør ideelt sett danne et triangel som dekker måleområdet. Simuleringer foretatt i [19] viser at avviket i algoritmens posisjonsestimat er så lite at avviket mellom virkelig og estimert posisjon vil bli dominert av usikkerheten ved samplingstidspunkt og usikkerheten i bestemmelse av lydshastigheten.

Systemet vil benytte tidsforsinkelsen i overførings-signalet til å regne ut posisjonen relativt til hydrofonbøyene. GPS-posisjonen gir ikke en tilfredsstillende sikkerhet i posisjonsbestemmelsene, men forsøk [21] viser at for bøyer som mottar data fra de samme satellittene, innenfor en begrenset geografisk utstrekning, vil ha omtrent det samme relative avvik. Det er derfor grunnlag for å anta at avviket i posisjonsbestemmelsen til GPS-systemet kan sees bort ifra da vi benytter relativ posisjon i forhold til bøyene i utregningen.

Trackingalgoritmen benytter differansen i deteksjonstidspunkt på den akustiske pulsen ved de forskjellige hydrofonbøyene. Overføringshastigheten i vann ligger på rundt 1500 m/s så et lite avvik i tid vil gi stort utslag i posisjonsestimatet, derfor er det avgjørende for utregningen at alle hydrofonbøyene har svært nøyaktig synkroniserte klokker. Dette oppnås ved å benytte et klokkesignal fra GPS-modulen som er synkronisert etter et atom-ur i satellitten. Ved å benytte tidsdifferensen vil man deretter kunne finne hyperbler for hver hydrofonbøye og måleobjektet vil ligge i krysningspunktet mellom disse hyperblene.

Trackingprogrammet er i stand til å regne ut posisjonen og presentere de estimerte posisjonene for brukeren. Programmet vil også sørge for å lagre posisjon og data fra fiskemerket i en database hvor de er lett tilgjengelig for senere bruk. Det er også sett på mulighetene for å presentere posisjonsdata fra fiskemerket i navigasjonsprogramvaren OLEX.

2.7 Olex

Olex er et unikt system for navigasjon, plotting og kartlegging av havbunn og strøm. Ved hjelp av ekkolodd og GPS plassert i båter, samler Olex-systemet inn dybde data som kontinuerlig blir kalkulert og tilpasset tidligere målinger. Dette gjør at kartene blir stadig bedre og mer nøyaktige. Resultatet visualiseres på skjermen som et realistisk 3D-bilde av havbunnen.

Systemet opererer under UNIX og lages av det Trondheimsbaserte firmaet Olex AS. Systemet er alltid operativt og det oppdaterer kontinuerlig sitt interne havbunnskart.

Systemet leser inn fire-dimensjonale observasjoner: tidspunkt, dybde, bredde- og lengdegrad, og oppdaterer en database hvor havbunnen er inndelt i små celler på omtrent 5x5 meter. Dette er tilpasset dagens billige GPS, som gir en posisjon med 5-6 meters feilradius. Hvis man har tilgang til mer nøyaktig posisjoneringsutstyr kan størrelsen på cellene reduseres for å lage et bunnkart med finere oppløsning. Cellene ligger kant i kant over hele jordens overflate. De inneholder en dybde som enten er målt, beregnet eller ukjent. Gjentatte målinger av samme dybdeboks gjør at måleverdien forbedres. Målingene medfører også en rekalkulering av de umålte boksene innenfor

en radius på cirka 500 meter.

Effektiv bruk av digitale sjøkart fordrer rask datamaskinell håndtering. Kartcellene konverteres derfor til et kompakt internt format, hvor de lagres i flere grovskalerte utgaver. Dette oppnås ved at kystkonturer og lignende rekalkuleres og reduseres. Derved holdes fremvisingsprogrammets opptegningstid og plassbehov noenlunde begrenset og konstant, enten man ser hele landet eller bare en liten holme. Man unngår også at skjermen gror igjen av bittesmå symboler.

Fremvisingsprogrammet vil selv skalere i flere trinn innenfor disse grovskalerte cellene. Man oppnår dermed en findelt og sømløs interaktiv skalering, uten å genereres av detaljene rundt celleinndelingen.

Olex kan idag benyttes trålposisjonering. Trålen visualiseres i 2D og 3D med avstand, retning, slepestrek og dørspredning. Samme softwarepakke kan benyttes til styring av undervannsfartøyer som ROV'er (Remotely operated vehicle) og AUV'er (Autonomous underwater vehicle).

Kapittel 3

Systemspesifikasjon

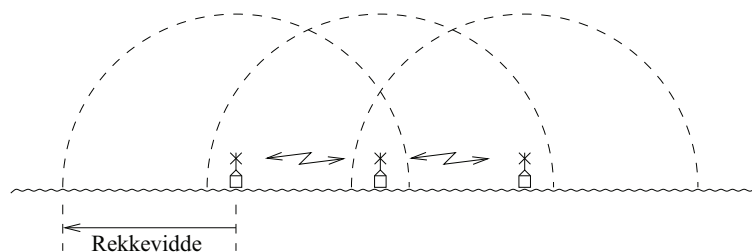
3.1 Kommunikasjon mellom bøyene

3.1.1 Nodenettverket

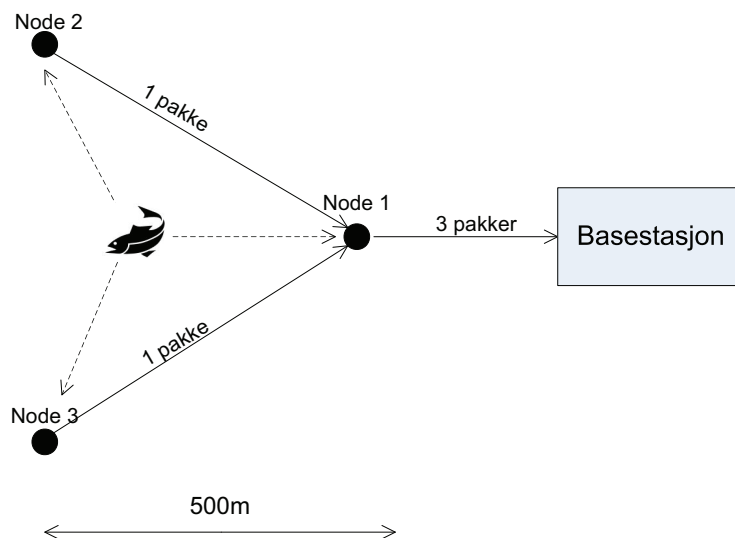
Vi ønsker at nodenettverket skal være dynamisk i den forstand at bøyene skal kunne bytte plass i nettverket uten at kommunikasjonen opphører. Det skal være mulig å legge til og ta ut bøyer fra nodenettverket uten å være nødt til å restarte systemet. For at bøyene skal kunne fungere som repeaterer er det nødvendig at alle nodene har en oppdatert oversikt over strukturen i nettverket. Vi ønsker at hydrofonbøyene skal kunne sende data på eget initiativ, men de skal også kunne polles fra basestasjonen for tilstandsrapport og nedlasting av informasjon.

Fiskemerkenes sendereffekt tilsier at bøyene i nettverket bør ha en maksimal avstand på 500m. I [7] ble det valgt en radiosender som passer godt til PinPoint-systemet. Der ble det konkludert med to radiosendere fra *Radiocrafts* som sender på 433MHz frekvensbåndet. RC1240 sender på et litt smalere bånd enn RC1040 og har derfor lov til å sende med en litt større sendereffekt. RC1040-modulen har ifølge produsenten en rekkevidde på 500 m ved fri sikt, mens RC1240 har en rekkevidde på 2-4 km.

PinPoint-systemet vil benytte seg av disse radiosenderne på hydrofonbøyene. Bøyene vil deretter bli koblet sammen i en *mesh-struktur* slik at pakker kan sendes fra hvilken som helst bøye og inn til basestasjonen. For å oppnå dette må hydrofonbøyene benyttes som repeaterer og det må utvikles en algoritme for routing av pakker i nettverket.

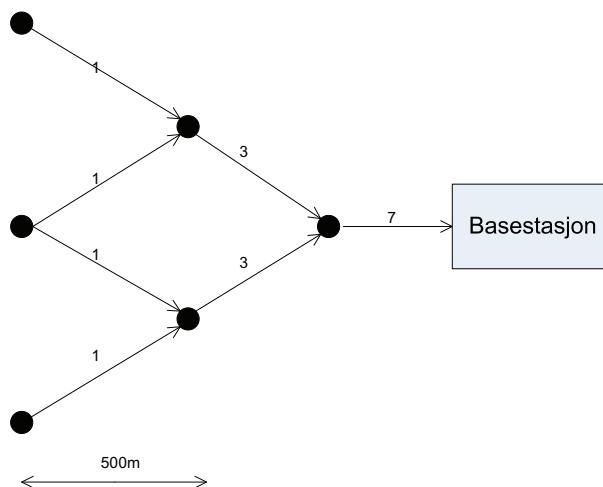


Figur 3.1: Bruk av hydrofonbøyer som repeaterer [3]



Figur 3.2: Oversikt over pakketransmisjon i et system med tre noder.

Figur 3.2 viser hvordan mengden med data som sendes gjennom hver node øker jo nærmere vi kommer roten i nodetreet. Et “worst case scenario” hvor hver node har to naboer slik som i figur 3.3, og hvor alle nodene sender pakker, vil få en eksponensiell vekst i dataflyt mellom nodene innover mot roten i nodetreet.



Figur 3.3: Worst case nodesystem

Gitt at belastningen på radiolinken hos de hydrofonbøyene som ligger nærmest roten i nodetreet øker eksponensielt med antall hydrofonbøyer som finnes i nodetreet, vil det være nødvendig å begrense antallet radiopakker.

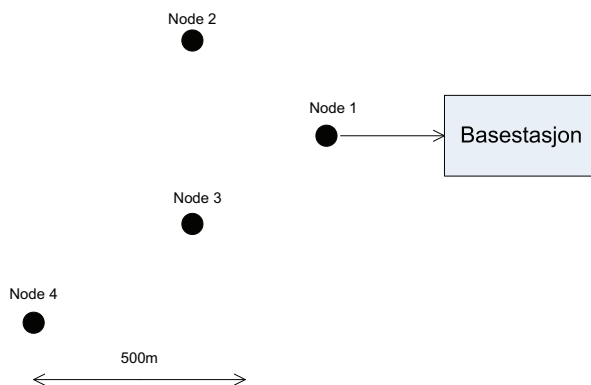
Tiltak som er gjort for å minimere trafikken over RF-link

- Det er utviklet en algoritme for direkte adressering og ruteplanlegging.
- Symmetri i datastrukturer utnyttes for å minimere størrelsen på sendte data.
- Komprimering. Flere fiskepakker pakkes sammen og sendes i samme RF-datapakke.
- Liten bruk av ACK-datapakker.
- Hydrofonbøyene kan både polles for statusrapporter og settes til å sende på eget initiativ.

3.1.2 Nodetabell

Nodene eller hydrofonbøyene vil bli organisert i en trestruktur der basestasjonen regnes som rotnode. Kommunikasjonen vil foregå enten til eller fra basestasjonen. Nodene vil ikke ha noen kommunikasjon seg imellom bortsett fra videresending av meldinger. Sentralenheten vil lage en oversikt over systemet basert på hydrofonbøyenes kjennskap til sine egne naboer. Denne oversikten vil distribueres til alle nodene og brukes til routing av pakker. Nodene vil vektet etter hvor langt unna rotnoden de er.

Et nodetre med 4 noder vil kunne se slik ut:



Figur 3.4: Nodetre

Dette nodetreet kan representeres ved en tabell hvor nodene er oppført på x og y-aksene og hvor avstanden i antall hopp mellom de aktuelle nodene er angitt i skjæringspunktet. Hvis avstanden er ukjent er den angitt med 0. For nodetreet i Figur 3.4 blir tabellen seende slik ut:

Tabell 3.1: Nodetabell

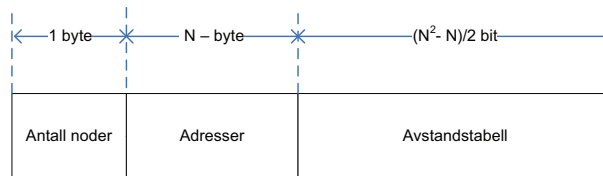
<i>Addr</i>	<i>S</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
S	X	1	1	2	3
1	1	X	1	1	2
2	2	1	X	1	0
3	2	1	1	X	1
4	3	2	0	1	X

Nodetabellen vil alltid være symmetrisk om diagonalen og den kan dermed forenkles, uten at noe av informasjonen i tabellen går tapt. Etter forenklingen kan størrelsen på tabellen dermed representeres som:

$$\sum_{k=1}^N n = \frac{N^2 - N}{2} \quad (3.1)$$

Hvor N er antall noder i systemet.

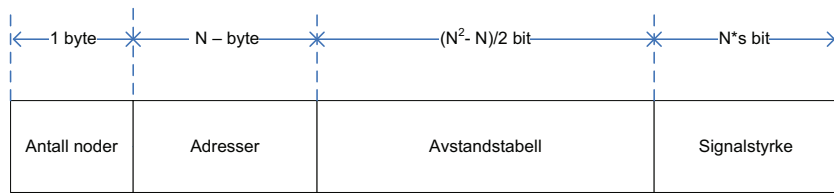
Vi ser at størrelsen på tabellen øker eksponentielt med antallet noder. Om vi regner et system med maksimalt 16 noder vil vi trenge 120 ruter à 4 bit, noe som gir 60 byte, for å representere alle. Om vi derimot går ned til 12 noder trenger vi bare 33 byte for å representere systemet. Radiomodulene har en maksimal pakkelengde på 128 byte. Det er derfor ønskelig å holde systemet under denne grensen, selv om det er mulig å dele opp nodetabellen i flere datapakker, slik at vi minimerer trafikken på nettverket.



Figur 3.5: Nodetre-datapakke

3.1.3 Utvidelse av nodetabellen

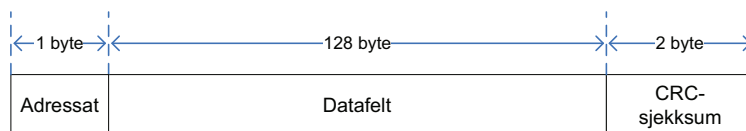
Radiomodulen har en funksjon for å måle signalstyrken på mottatt signal (RSSI). Det kan være aktuelt å lagre denne informasjonen i tabellen for en utvidet versjon av routingalgoritmen. Datafeltet i en nodetrepakke vil da kunne se slik ut:



Figur 3.6: Nodetre-datapakke (utvidet)

3.1.4 RF-datapakke

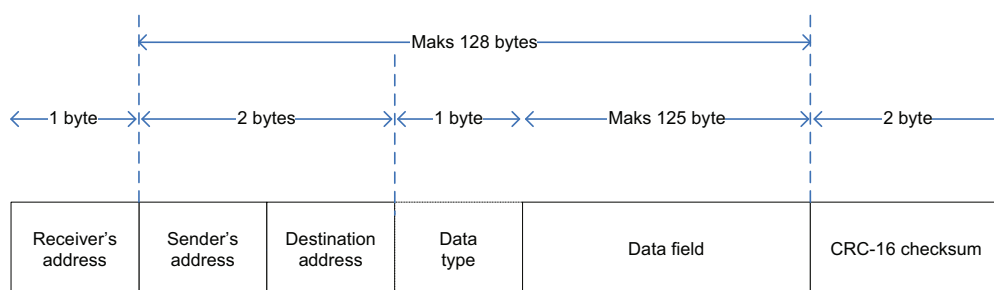
En RF-datapakke er den datapakken som sendes mellom radiomodulene i systemet. Radiosenderne fra Radiocrafts tilbyr transmisjon av pakker på maksimum 128 byte. Utenpå disse 128 byte ligger det en mottakeradresse og en 16-bit CRC-sjekksum:



Figur 3.7: Radiopakke

Pakker som er større enn de fastsatte 128 byte må deles opp og overføres i flere omganger. For å minimere belastningen på radiolinken er det også gunstig å pakke flere små PinPoint-pakker i én radiopakke. Med en maksimumlengde på 125 byte i datafeltet er det plass til å kombinere fire PP-pakker til en multi-PP-pakke i hver RF-datapakke som sendes.

PinPointsystemet baserer på at vi skal bruke hydrofonbøyene som repeatere for å sende data mellom bøyene og helt fram til mottaker. Derfor er må det implementeres noen ekstra adressefelt inne i radiopakken. Det må også legges inn et felt som viser hvordan dataene i pakken skal tolkes. Det er derfor bestemt et dataformat på radiopakkene som vist i figuren nedenfor:



Figur 3.8: RF-pakke

De forskjellige datatypene er definert i tabell 3.2. Feltet *datatype* viser hvilken definisjon datatypen har i programkoden og feltet *Retning* viser om datapakken skal ut ifra basestasjonen eller inn til den.

NODETRE :

Pakker med denne datatypen inneholder informasjon om hvordan topologien i PinPoint-nettverket ser ut. En node som mottar en slik pakke skal oppdatere sitt interne notetre.

SET DPPM :

En hydrofonbøye som mottar en slik pakke skal ved hjelp av det *bit-bandede* SPI-grensesnittet mot hydrofonen oppdatere parametrene som styrer den analoge signalbehandlingen. Den skal også oppdatere parametre i mikrokontrolleren som styrer den digitale signalbehandlingen.

CHANGE RF PARAMETERS :

Denne datatypen brukes om man ønsker å stille parametre på radiomodulen. Det kan tenkes at det for eksempel er to hydrofonbøyer på det samme nettet som forsøker å benytte samme adresse. Da er systemet nødt til å be den ene om å endre adresse.

PING NODE :

Ping node benyttes når systemet ønsker og sjekke opp en bøye. Da vil bøyen returnere statusrapport til basestasjonen.

DATA REQUEST :

Data request sendes fra basestasjonen når den oppdager at den mangler noen datapakker. Den vil derfor be om å få tilsendt disse på nytt.

PINPOINT PAKKE :

En PinPoint-pakke inneholder data fra én fiskepakke.

PINPOINT MULTIPAKKE :

En PinPoint-multipakke inneholder data fra flere fiskepakker.

I AM ALIVE :

I_AM_ALIVE-pakker brukes til av nodene til å opprette en kobling til nye noder. Disse pakkene blir sendt ut i kringkastingsmodus med jevne mellomrom. Om en node mottar slike pakker fra en node den ikke har registrert som nabo vil den sende beskjed om dette til basestasjonen.

NEW NODE DETECTED :

Om en node oppdager en node den ikke har registrert som nabo vil den sende beskjed om dette til basestasjonen om en NEW NODE DETECTED. Alle noder som mottar slike pakker vil legge til sin adresse i pakken. Se mer om dette i avsnitt 3.1.6.

NODE LOST :

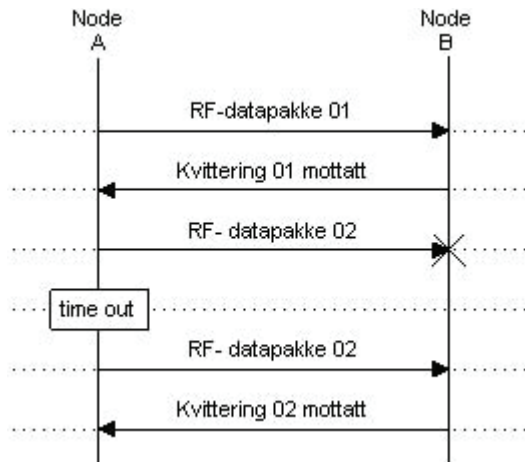
Om en node mister kontakten med en annen node vil den gi beskjed om dette til basestasjonen med en NODE_LOST-pakke.

Tabell 3.2: Datatype – RF-pakker

<i>Datatype</i>	<i>Retning</i>
NODETRE	ut
SET_DPPM	ut
CHANGE_RF_PARAMETERS	ut
PING_NODE	ut
DATA_REQUEST	ut
PINPOINT_PAKKE	inn
PINPOINT_MULTIPAKKE	inn
I_AM_ALIVE	inn
NEW_NODE_DETECTED	inn
NODE_LOST	inn

3.1.5 Retransmisjon mellom radiomodulene

Radiomodulene fra radiocrafts tilbyr 16 bits CRC-sjekksum for detektering av feil. Pakker som ikke stemmer med sjekksummen, vil bli forkastet. Det må derfor implementeres en rutine for retransmisjon av datapakker som ikke kommer frem. Dette løses ved å sende kvitteringer for mottatte radiopakker. For å kunne se hvilken datapakke som hører til vil alle datapakker gis et sekvensnummer. Hvis radiomodulen ikke mottar noen kvittering innen en gitt tidsfrist vil meldingen sendes over radiolinken på nytt.



Figur 3.9: Retransmisjon ved uteblitt kvittering.

Hvis det ikke er blitt mottatt noen kvittering etter N forsøk vil vi anse kontakten med noden som tapt. Det kan være at noden er utenfor rekkevidde, avslått eller at noe er galt. Hvis vi ikke har mottatt kvitteringen innen N forsøk vil det bli sendt beskjed til sentralenheten om at kontakten med noden er opphørt, og sentralenheten vil deretter oppdatere nodetabellen.

3.1.6 Initialisering av systemet

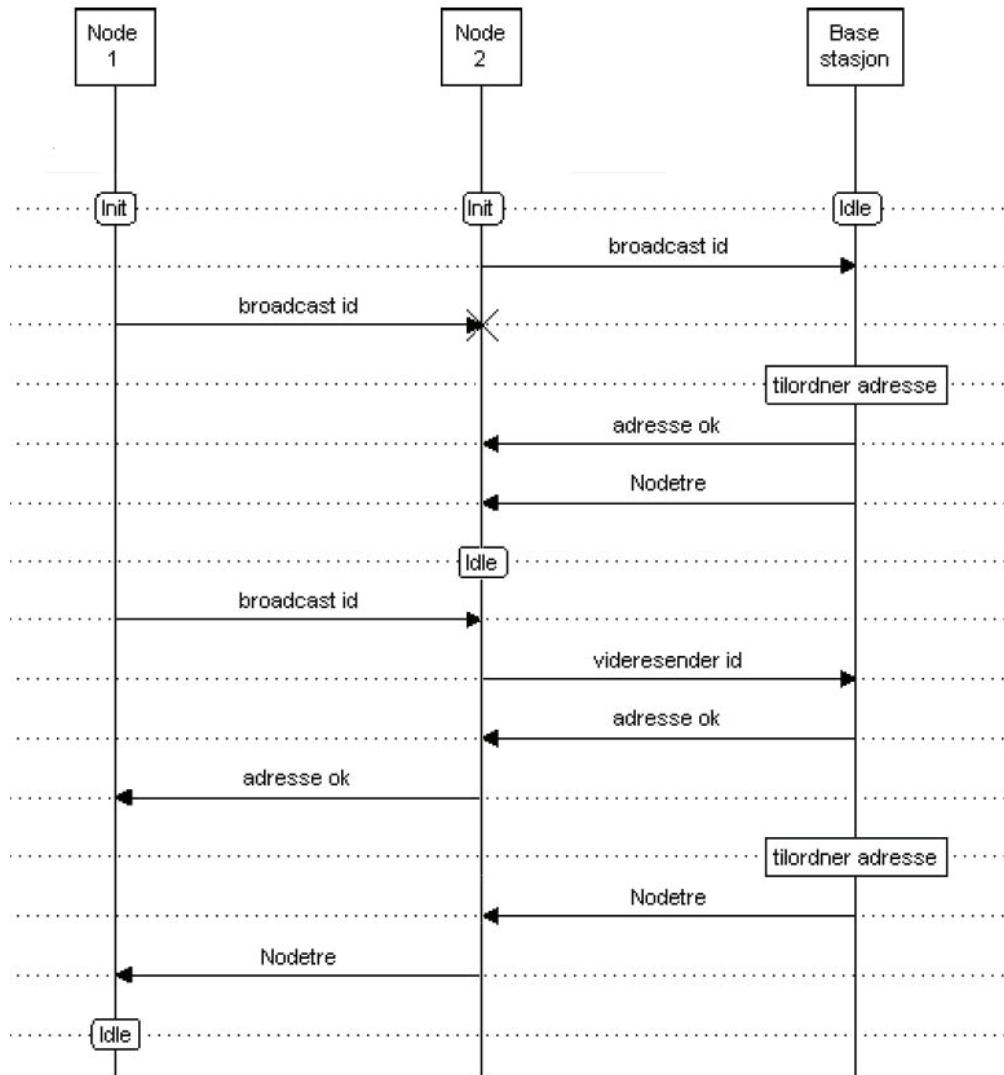
Sentralenheten vil ha ansvaret for å administrere systemet. Alle noder som ikke er tilkoblet systemet vil kjøre i 'singelmodus'. En node som kjører i singelmodus vil operere på egenhånd og lagre informasjon fra hydrofonmodulen sammen med GPS-data på eget minnekort for senere nedlasting. Noden vil med jevne mellomrom sende ut en forespørsel til andre noder med samme nettverksmaske. Hvis denne forespørselen blir tatt imot av en annen node som er koblet til sentralenheten, vil den få tilordnet en plass i nettverket. Hver node som videresender en slik init-pakke vil legge til informasjon om seg selv i datafeltet slik at sentralenheten er i stand til å bygge opp nodetabellen beskrevet i kapittel 3.1.2 Noder som ikke er tilkoblet noe nettverk vil kaste slike forespørsler fra andre så lenge de kjører i singelmodus.

Sentralenheten vil motta en serie med datapakker som gjør den i stand til å bygge opp representasjonen over nodene. Vi vil her gjennomgå oppbyggingen av systemet vi har sett på tidligere (figur 3.4). Hvis vi antar at nodene blir startet opp i den rekkefølgen de er notert vil sentralenheten motta disse datapakkene som vist i Tabell 3.3

Tabell 3.3: Datapakker mottatt av sentralenheten

<i>Datatype</i>	<i>Datafelt</i>
NEW_NODE_DETECTED	[node1 id]
NEW_NODE_DETECTED	[node2 id] [node1 id]
NEW_NODE_DETECTED	[node3 id] [node1 id]
NEW_NODE_DETECTED	[node3 id] [node2 id] [node1 id]
NEW_NODE_DETECTED	[node4 id] [node2 id] [node1 id]

Sentralenheten vil deretter være i stand til å bygge opp en oversikt over systemet tilsvarende det vi så tidligere i Tabell 3.1.



Figur 3.10: Sekvensdiagram for initialisering av system med to noder

3.1.7 Routing av radiopakker i nettverket

Når nodene er lagt til i nettverket og alle nodene har fått et oppdatert nodetre, er systemet operativt. Hvis sentralenheten ønsker å sende en datapakke til en av nodene langt ute i nettverket er denne datapakken nødt til å routes via noen av nodene for å nå frem. For at datapakken skal routes riktig er vi nødt til å lagre adressen til mottakeren i datafeltet på meldingen slik at de andre nodene kan lese det. Når en node mottar en datapakke på radiomodulen vil den sjekke om den er riktig mottaker. Hvis pakken har kommet frem til riktig node vil den behandle datapakken som datatype-feltet tilsier. Hvis pakken ikke har kommet frem til riktig node må den videresendes. Da slår noden opp i sin nodetabell (se Tabell 3.4) for å finne ut hvem den skal sende pakken videre til.

Routing-algoritmen er laget slik at noden slår opp i tabellen og finner alle sine naboer. Deretter vil den sammenligne alle naboene og sende pakken videre til den av sine naboer som er nærmest mottakeren.

Eksempel:

Tabell 3.4: Nodetabell

<i>Addr</i>	<i>S</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
S	X	1	1	2	3
1	1	X	1	1	2
2	2	1	X	1	0
3	2	1	1	X	1
4	3	2	0	1	X

1. Node 1 mottar en pakke fra sentralenheten som skal videresendes til Node 4
2. Node 1 finner sine naboer som er Node 2 og Node 3
3. Node 1 finner ut at Node 2 ikke vet hvor node 4 befinner seg, men at Node 3 er ett hopp unna Node 4
4. Node 1 videresender datapakken til Node 3

Om algoritmen oppdager at to eller flere av naboene har den samme avstanden til sluttmottakeren vil den velge den naboen som ligger øverst i tabellen. Koden i algoritmen ligger på vedlagte CD-rom

3.2 Bøyens operasjonsmodi

- **STAND_ALONE_MODE:**
Bøya lytter etter fiskepakker, men radiomodulen er ikke aktiv. Denne tilstanden vil også kunne brukes i aktiv søken etter to-veis fiskemerker for nedlasting av tidsløpet for fiskemerker beregnet på rundreise.
- **SINGLE_SEEKING:**
Bøya ligger og lytter etter fiskepakker og søker aktivt etter et nettverk å koble seg til samtidig.
- **OPERATIV_NODE:**
Bøya er en operativ del av et nodenettverk.
- **POWER_SAVING_MODE:**
Bøya er i strømsparingsmodus. Etter et visst tidsintervall t vil den våkne opp og finne sin egen GPS-posisjon. Deretter vil den kringkaste statusinformasjon og vente noen sekunder på svar. Hvis bøya ikke mottar svar i løpet av noen få sekunder vil den gå tilbake til strømsparingsmodus og vente et nytt tidsintervall t .
- **PC_CONNECTED:**
Bøya er koblet til en pc via RS232 grensesnitt gjennom MASTER-inngangen.

3.3 Sanntidskrav

Et system som opererer i sanntid har krav til reaksjonstid og responstid. Hvis vi ikke finner det nøyaktige ankomsttidspunktet for en fiskepakke, men i stedet benytter et unøyaktig anslag for ankomsttidspunktet vil posisjoneringsalgoritmen regne ut feil posisjon på objektet. Dette ønsker vi å unngå. Vi ønsker derfor å sette opp noen krav til systemets sanntidsegenskaper.

- Hydrofonen må samples med minimum 4kHz.
For at usikkerheten i posisjonsbestemmelsen skal havne innenfor ønsket nivå er vi nødt til å sample hydrofonen med en viss frekvens. En lydhastighet på 1500 m/s og en samplingsfrekvens på 4kHz vil gi oss en usikkerhet på under 40 centimeter. Dette sanntidskravet oppnåes ved å benytte et *timer counter compare* hardware interrupt som er bygget inn i Atmega32L.
- Signalet `gps_time_capture` må settes høy umiddelbart etter deteksjon.
Etter at vi har detektert en fiskepakke (eller etter et bestemt, ikke-variabelt antall klokkesykler) vil `gps_time_capture` eller *Input Capture Pin* (PD6 på GPS-modulen) settes høy. Deretter vil vi kunne hente ut mottakstidspunktet når fiskepakken er ferdig mottatt og dekodet.

Det er også svært viktig at programmet har en effektiv feilhåndtering slik at ikke programmet i mastermodulen krasjer. Programmet som kjøres på hydrofonbøya bør være så robust at det kan håndtere alle forutsette og uforutsette feil. For å unngå overbelastning på mastermodulen vil det også være fordelaktig å flytte alt som har med radiomodulen å gjøre (adressering, retransmisjon, videresending, kommunikasjonssjekk osv.) ut på en egen mikrokontroller.

3.4 Akustisk signaltransmisjon

3.4.1 Fiskepakker

En fiskepakke er definert som formatet på data som sendes mellom fisk og hydrofon. En fiskepakke kan være på flere formater avhengig av fiskemerke. De fleste fiskemerkene som brukes i dag er kompatible med kodesett fra *Vemco*. Dette er forskjellige kodesett med:

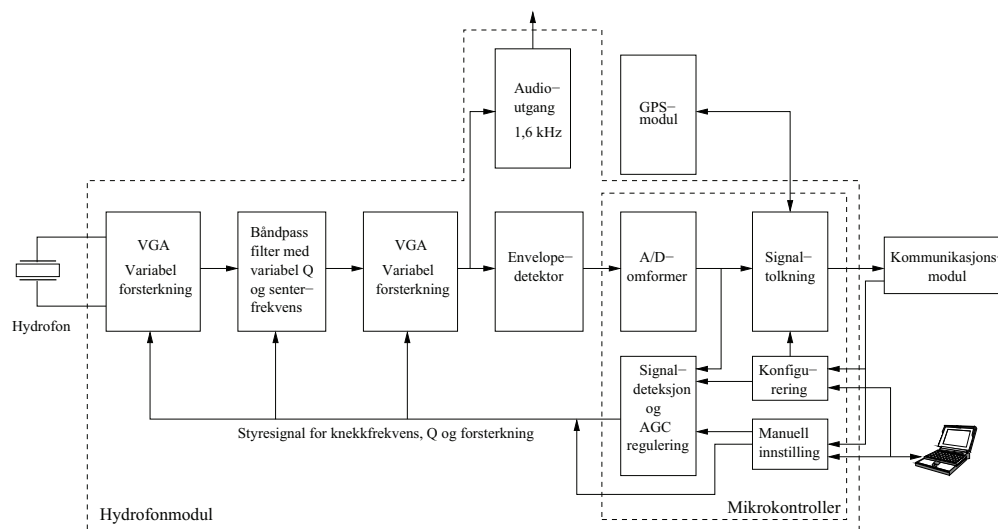
- 8-bit ID (1-256) og 8-bits sjekksum,
- 12-bit ID (1-4096) og 8-bit sjekksum,
- 16-bit ID (1-65536) og 8-bit sjekksum,
- 8-bit ID (1-256), 8-bit data og 8-bit sjekksum.

Systemet er i dag konfigurert slik at fiskepakkene ikke blir behandlet noe videre i hydrofonbøyene, men lagrer fiskepakkene som de er. Dette vil si at kontroll av sjekksum må gjøres i basestasjonen. Det vil være fordelaktig og flytte denne kontrollen ut i hydrofonbøyene, for slik å oppnå distribuert kontroll av fiskepakker og dermed unngå å belaste radiolinken med skadede, eller falske fiskepakker.

3.4.2 Hydrofonforsterker

Det analoge signalet fra hydrofonelementet går igjennom en serie med filtre og forsterkere for å skille ut signalet fra fiskepakken fra bakgrunnstøy og refleksjoner. Parametrene som bestemmer signalbehandlingen (se side 16) kan settes til forventningsverdier, eller brukes i en tilbakekoblet reguleringsløye basert på digital signalbehandling og Kalman-filtre. En reguleringsløye vil kunne hjelpe oss til å få en høyere mottaksprosent under vanskelige støyforhold. Den er også koblet en *envelope-detector* på inngangen til mikrokontrolleren slik at det skal bli enklere å lese av verdien.

Figuren viser en tidligere versjon av hydrofonmodulen, utviklet av Jan Eyolf Bjørnsen.



Figur 3.11: Analog signalbehandling i hydrofonforsterkeren. [3]

3.4.3 Signaldeteksjon

Systemet er avhengig av at mottakstidspunktet til fiskepakken bestemmes så nøyaktig som det er mulig å gjøre det. Mikrokontrolleren i hydrofonbøyen vil polle signalet på hydrofonen med 4 kHz. En DPPM-pakke begynner alltid med en synkroniseringspuls og det er derfor implementert en teller som gir alarm når vi har mottatt et bestemt antall høye verdier i serie. Hvis det i løpet av denne serien mottas en lav verdi, vil telleren nullstilles. Slik vil systemet kunne filtrere bort falske meldinger samtidig som ankomsttidspunktet blir registrert med nøyaktig samme rutine på de forskjellige hydrofonbøyene. Når det er registrert en innkommende fiskepakke vil det gis en kort puls på GPS-modulens *input capture-pinne* samtidig som systemet starter registrering og dekoding av fiskepakken. Siden verdien skal av signalet skal enten detekteres som null eller en, kan oppløsningen på analog- til digital-omformerer (ADC0) være lav.

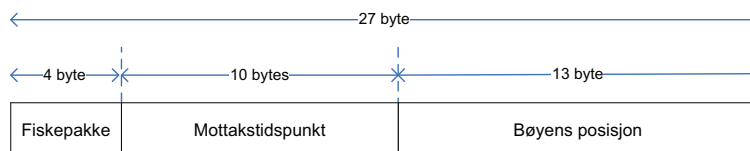
3.4.4 Tolkning av mottatt signal

Signalet som mastermodulen skal tolke vil være et DPPM-modulert envelopesignal som er koblet til AD-converteren på mikrokontrolleren. Når mastermodulen har detektert en flanke vil den starte opp en *teller*. Denne telleren vil telle antallet høye sample som forekommer innenfor tidsrommet definert som en DPPM-tidsluke. Innenfor hver tidsluke vil vi deretter sammenligne verdien med en øvre og en nedre grense. Hvis verdien er høyere enn den øvre grensen vil vi regne denne tidsluken som høy. Hvis verdien er lavere enn nedre grense vil vi regne tidsluken som lav, og hvis verdien ligger mellom disse terskelverdiene vil vi anta at det er en feil og avslutte mottaket mens vi venter på neste flanke. Disse grensene vil det være mulig å konfigurere slik man ønsker dem

Algoritmen er avhengig av at flanken på synkroniseringspulsen detekteres nøyaktig. Hvis deteksjonen skjer for sent, eller hvis driften i klokken som styrer samplingsfrekvensen er for stor, vil vi ikke kunne tyde fiskepakken riktig.

Når alle tidslukene er mottatt vil vi prosessere dataene i henhold til DPPM-protokollen. Hvis vi oppdager at det er for få eller for mange pulser innefor hver datablokk vil vi forkaste dataene. Hvis pakken ser ut til å være uskadet vil den bli satt sammen med tid og posisjonsdata fra GPS-modulen.

Når dataene er ferdig tolket vil fiskepakken bli kombinert med data fra GPS-modulen og danne en *PinPoint-pakke* eller *PP-pakke*



Figur 3.12: PinPoint-pakke

3.4.5 To-veis kommunikasjon med fiskemerker

I områder hvor det finnes flere aktive fiskemerker som sender på samme frekvens vil det være svært nyttig om systemet kan ha muligheten til å utdele sendetid til de forskjellige fiskemerkene. Ved å benytte en slik løsning vil problemet kollisjon av fiskepakker bli sterkt redusert, og vi kan få overført større datamengder per tid.

Forvaltningen av fiskebestanden bygger på matematiske modeller av økosystemer. Disse modellene er utviklet ved hjelp av observasjoner og målinger basert på data som er hentet inn fra merket fisk. Ved en slik merking av fisk kan man loggføre data om fiskens adferd og levemønster. Man kan blant annet ved å bruke en lyssensor på fiskemerket finne ut ved hvilken breddegrad fisken oppholder seg. Problemet med slik merking er at gjenfangsten av merket fisk i dag er svært lav. Ved å benytte fiskemerker for to-veis akustisk kommunikasjon og utplassering av hydrofonbøyer på strategiske steder kan man øke gjenfangsten av informasjon fra slik fisk.

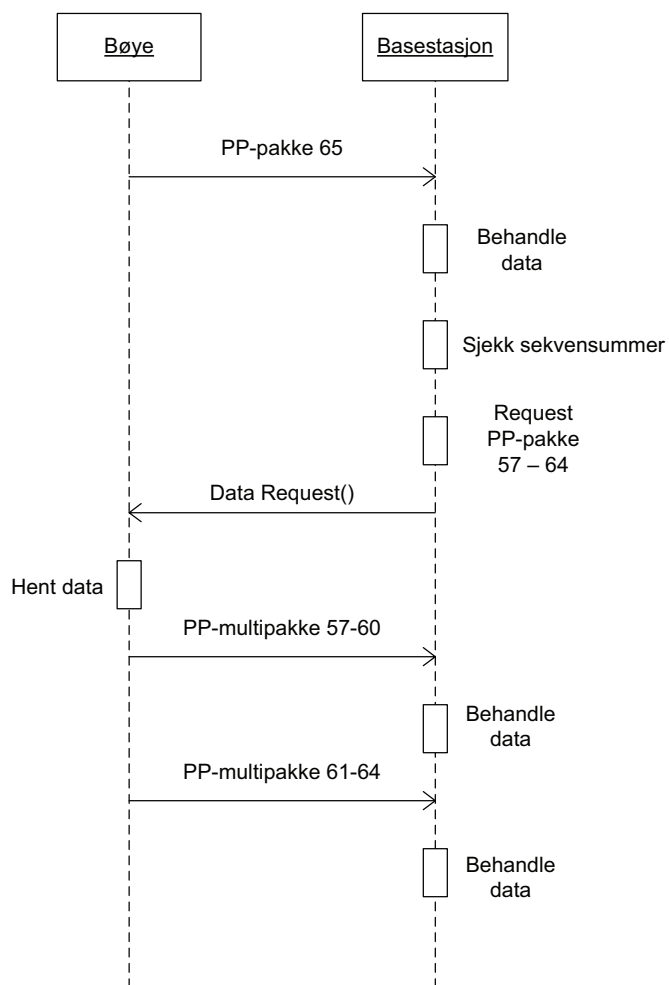
Utvikling av nye fiskemerker som kan vekkes til live ved hjelp av et akustisk signal vil være et svært nyttig supplement til dagens metode med gjenfangst. Når fiskemerket kommer innenfor rekkevidde av hydrofonbøyen vil det vekkes til live av en akustisk puls fra PinPoint-bøyene og deretter ksn den laste opp all insamlet data fra reisen.

Et nyttig aspekt ved dette er at hydrofonbøyen godt kan ligge i `STAND_ALONE`-modus og ikke trenger å være tilkoblet noe nettverk. Man har i dag god oversikt over hvor fisken antas å befinne seg til bestemte tidspunkter. Atlanterhavslaks (*Salmo salar*) vil med meget stor sannsynlighet passere området utenfor en bestemt elvemunning i løpet av livsløpet, og store deler av atlanterhavstorsken (*Gadus morhua*) gyter i Lofoten-området. Slik kan hydrofonbøyer fra PinPoint-systemet være en økonomisk måte å øke andelen av fiskemerker som "gjenfanges". Dette vil øke andelen av utplasserte fiskemerker vil returnere informasjon om fiskers adferd gjennom livsløpe, noe som igjen kan gi forvaltningen et bedre beslutningsgrunnlag.

3.5 Nedlasting av data

Det er ønskelig å kunne laste ned de dataene som ligger lagret hos hydrofonbøyene. En hydrofonbøye som mister kontakten med nettverket over et kortere eller et lengre tidspunkt kan allikevel fortsette å motta fiskepakker og lagre dem lokalt. Da er det essensielt at basestasjonen kan laste ned alle fiskepakker som ble mottatt i det aktuelle tidsrommet. Det kan også være ønskelig å laste ned logg over signifikante hendelser hos bøyen, så som hvilke satellitter den hadde kontakt med samt tidspunktet og posisjonen til bøyen da den mistet kontakten med nettverket. Slik kan man oppdage om en node ligger i skygge for enten GPS eller radiosignaler og eventuelt flytte den til et mer egnet sted.

For å minske trafikken av radiopakker i nettverket kan det være ønskelig å sende flere PinPoint-pakker sammen i en radiopakke. En PinPoint-pakke er i utgangspunktet på 27 byte mens bufferen på RC1040-kortet tillater radiopakker på hele 128 byte. Dette betyr at vi kan pakke flere PinPoint-pakker sammen i en radiomelding. Basestasjonen kan be om nedlasting av PP-pakker på to måter. Enten ved å be om å få tilsendt pakker i et sekvensnummer-intervall, eller ved å be om å få tilsendt pakker fra et tids-intervall.



Figur 3.13: Sekvensdiagram for nedlasting av data fra hydrofonbøye

3.6 Kommunikasjon mellom modulene i PinPoint-bøyene

Mastermodulen er hjernen i hydrofonbøyen og kontrollerer de andre modulene. Til dette benyttes flere protokoller for overføring av data.

GPS :

Mastermodulen kommuniserer mot GPS-modulen over et interruptbasert TWI-interface. Fra mastermodulen går det kommandoer til GPS-kontrolleren og tilbake mottas GPS-data på NMEA-format [1] Det er også koblet opp et `gps_time_capture`-signal som er koblet til *Input Capture Pin* (PD6 på GPS-modulen). Når `gps_time_capture`-signalet settes høyt, vil GPS-modulen lagre posisjonen sin sammen med et nøyaktig klokkeslett som vi kan hente til mastermodulen når fiskepakken er ferdig mottatt og prosessert.

Radiomodul :

Kommunikasjonen mot Radiomodulen går over et UART-grensesnitt. I operativ modus vil UART-porten brukes til kommunikasjon med radiomodulen. Både til pakkeoverføring og innstillinger av radioparametre på RC1040-modulen. Det samme UART-grensesnittet brukes også til konfigurering av parametre i radiomodulen etter at radiosenderen RC1040 er satt i konfigurasjonsmodus. Dette gjøres ved å sette spenning på PC7 på mastermodulmikrokontrolleren, som er koblet til CONFIG-pinnen på radiomodulen.

Minnebrikke :

Etterhvert som vi mottar fiskepakker vil disse bli lagret i minnet sammen med et sekvensnummer. Andre signifikante hendelser som endringer som brudd i kommunikasjonslinken mellom to hydrofonbøyer, eller endring av hvilke satellitter vi mottar data fra vil bli lagret i en "event log". Kommunikasjon mot minnebrikken går på SPI-buss. Minnebrikkene er i utgangspunktet så store at datalagring ikke byr på noe problem, men det bør utredes en løsning for sletting av data når datamengden nærmer seg smertegrensen. Da må man se på hvilke data som er mest verdt og om man eventuelt skal slette de eldste dataene eller la de nyeste dataene forsvinne.

Hydrofonforsterker :

Mastermodulen har et *bit-banget* SPI-grensesnitt som brukes mot den analoge hydrofonforsterkeren. Dette brukes til å sette ønsket forsterkning og senterfrekvens på hydrofonforsterkeren. Ved hjelp av disse innstillingene kan man justere og kompensere for mottakerforhold, og man kan svitsje mellom flere aktive fiskemerker i samme område, som sender på forskjellig bærefrekvens. Om man implementerer en mer komplisert algoritme for signalbehandling kan man bruke dette bit-bangede grensesnittet i en tilbakekoblingsløype. Dette vil gjøre det mulig å motta signaler fra fiskemerker også under vanskeligere støyforhold.

PC-tilkobling :

Det er lagt opp til at man skal kunne koble seg til hydrofonbøyens mastermodul via et RS232-grensesnitt. Muligheten for dette er tilstede, men det er ikke implementert noe videre funksjonalitet utover mulighetene man har over RF-linken.

3.7 Innkapsling og flyteelement

Det vil ikke bli gått inn på konkret design av bøyen i denne oppgaven. Vi vil nøye oss med å spesifisere noen viktige punkter som må tas med i betraktningen ved utviklingen av en slik bøye.

- Bøyen må ha tilkoblingsmuligheter for programmering, oppdatering og nedlasting av data. Denne tilkoblingen trenger ikke være spesielt lett tilgjengelig da slike oppdateringer i hovedsak vil bli gjort på land.
- Bøyen må ha mulighet for lading eller enkel bytting av batterier. For bøyer som skal ligge ute lenge vil det være interessant å se på mulighetene for integrert strømproduksjon. Det kan tenke seg at solceller, bølgeagregat eller vindturbin vil kunne være aktuelle som strømforsyning.
- Det vil være praktisk å ha muligheten til å ta ut minnekortene for avlesning, uten å ta fra hverandre hele bøyen.
- Det må taes forhåndsregler for å unngå att vann trenger inn og at vi får korosjon i kontaktene.
- Utformingen av bøyen må ta hensyn til at ankerfestet og hydrofonelementet må plasseres slik at de ikke kommer i veien for hverandre.
- Bøyen må ha en utforming, med farge og eventuelle lyssignaler, som tilfredsstillter forskrifter fra myndighetene.

Det kunne også være interessant å se på muligheten for et slepbart system, der tre hydrofonbøyer kan slepes etter en båt for å kunne følge måleobjektet og dermed utvide rekkevidden på systemet. Da må utformingen av hydrofonbøyene ta hensyn til strømningsegenskaper i utformingen. Et slikt system kan være interessant for å studere oppførselen til dypvannsfisk, slik som kveite (*Hippoglossinae*), eller store hvaler som gjerne forflytter seg over lengre avstander ved hvert dykk. Et system som tåler å taues vil også være svært anvendelig til studier av fiskers adferd i interaksjon med fiskeredskaper som for eksempel trål.

Kapittel 4

Design

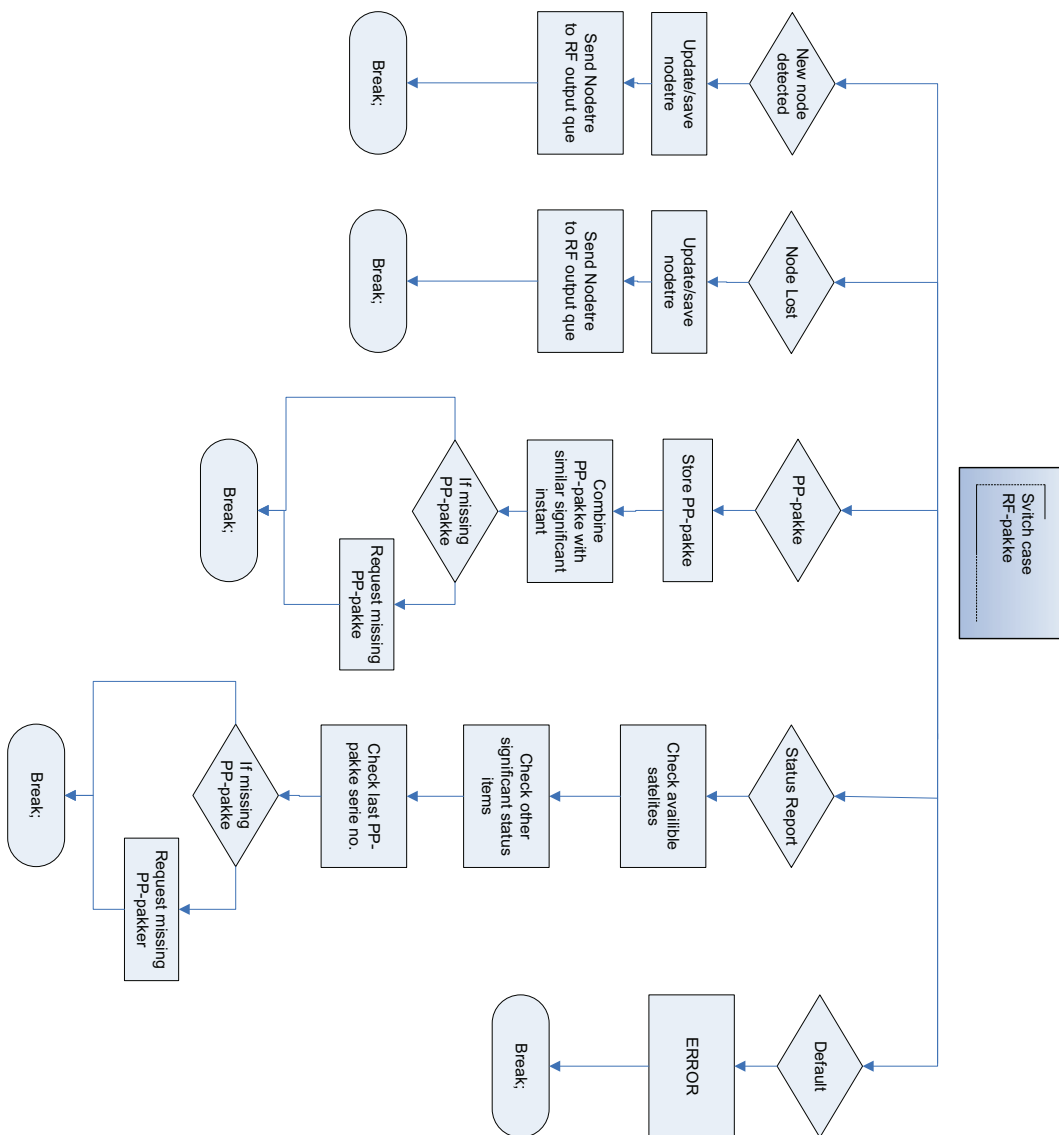
4.1 Basestasjon

Basestasjonen har flere oppgaver. Vi kan se for oss et system der den eneste oppgaven basestasjonen har ansvaret for, er å administrere nodenettverket og samle informasjon. Da kan basestasjonen fungere som en integrert del i en av hydrofonbøyene. Denne delen av applikasjonen er i hovedsak ferdig implementert og testet, og skjema for programflyt ved innkommende radiopakke finnes i figur 4.1. Når basestasjonen er integrert i en av hydrofonbøyene vil man ved å koble basestasjonen til en kraftig radiosender, for eksempel en GSM-antenne, kunne få overført data til et kontrollrom. Basestasjonen kan også ligge fast på land hvis nodenettverket ligger i umiddelbar nærhet av land.

Det som derimot vil være mer interessant er å se på en applikasjon som kobler disse egenskapene sammen med et grafisk brukergrensesnitt. Et system hvor man kan følge bevegelsene til et fiskemerke i sann tid og samtidig benytte måledata fra fiskemerket, vil være svært nyttig om man ønsker å bruke PinPoint-systemet som en del av en reguleringsløyfe i et oppdrettsanlegg eller lignende. Systemet bør i tillegg ha muligheten til å endre konfigurasjonsinnstillinger på hydrofonbøyene, som for eksempel hvilket fiskemerke vi ønsker å følge.

For å oppnå dette vil det være nødvendig å se mer på interaksjonen mellom trackingalgoritmen og kartprogrammet OLEX, samt hvordan brukergrensesnittet og den visuelle informasjonsutformingen skal være.

I scenarioriet hvor vi har mange enkeltstående bøyer, vil det være ønskelig om basestasjonen kan koble opp med disse bøyene og deretter laste ned data. Da vil det være nok å passere bøyene med båt for å hente ut informasjon om de fiskemerkene som har passert bøyen.

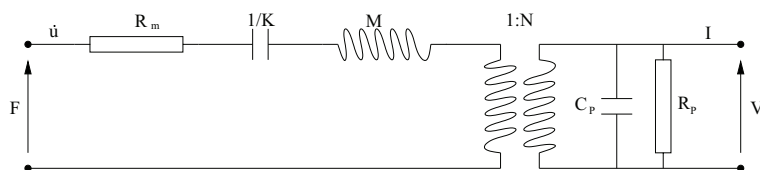


Figur 4.1: Flytskjema for switch case på RF-pakke hos basestasjonen

4.2 Hydrofonmodulen

Hydrofonmodulen i PinPoint-systemet er utviklet av THELMA AS og vil ikke bli gjennomgått i detalj her. Vi vil nøye oss med å se på hvordan en generell hydrofon virker.

Modulen består av et piezokeramisk transduser-element for mottak av akustiske signaler og en modul for analog signalbehandling. En egenskap ved piezokeramiske materialer er at en mekanisk deformasjon vil resultere i et elektrisk felt. Omvendt vil et elektrisk felt føre til at det piezokeramiske materialet deformeres mekanisk. En piezokeramisk transduser er *resiprok* og kan dermed brukes både som sender og mottaker. Dette kan utnyttes til å utvikle programvare for et system med toveis kommunikasjon med fiskemerker, uten å behøve å bytte ut noen komponenter i hydrofonbøyene.



Figur 4.2: Elektromekanisk ekvivalentskjema for en piezokeramisk transduser

Hydrofonmodulen har to hovedoppgaver:

- Detektere mottatte akustiske signaler fra fiskemerker og koble disse sammen med tidsmerke med nøyaktig tidspunkt for deteksjon.
- Omforme signalet til en envelope for å lette identifiseringen av fiskemerket signalet ble sendt fra, og eventuelle andre data som signalet inneholder.

For at hydrofonmodulen skal kunne fungere som et best mulig bindeledd mellom fiskemerkene og landstasjonen må bøyene kunne konfigureres ved hjelp av mastermodulen og radiomodulen som er plassert i hydrofonbøyen. I den analoge signalbehandlingen er det flere parametere som kan endres:

- Filterets senterfrekvens
- Filterets Q-faktor
- AGC settpunkt
- Deteksjonsnivå
- DPPM parametere.

Båndpassfilterets senterfrekvens kan settes til en frekvens mellom 35kHz og 195kHz med 256 steg mellom minste og høyeste verdi [3]. Q-faktoren varierer med senterfrekvensen og bestemmer knekkfrekvensen. Forsterkningen og deteksjonsnivået kan reguleres av hydrofonmodulen selv, avhengig av støy og signalnivå, eller settes av brukeren. På utgangen til hydrofonmodulen finnes det et *envelope-signal* som kobles på A/D-converteren i mastermodulen for registrering og dekodning.

Hvis det finnes flere fiskemerker i området med forskjellige bærefrekvenser og forskjellige DPPM parametere, kan vi ved å endre senterfrekvens og DPPM-parametere, velge hvilket fiske-merke vi ønsker å lytte etter.

4.3 Mastermodul

Mikrokontrolleren på mastermodulen har det overordnede ansvaret for at hydrofonbøyen utfører de oppgavene den er satt til, og den har kontrollen over kommunikasjonsflyten mellom modulene i bøyen. Den skal fungere som en sentralenhet som samler og bearbeider informasjon fra de andre enhetene. En oversikt over kommunikasjonen mellom modulene er gitt i figur 4.3, og formatet disse datene overføres på er gitt i tidligere kapitler.

Mastermodulen eller “*hydr_amp_ctrl-kortet*” er koblet opp med kontaktere for enkel tilkobling av eksterne enheter. Den har JTAG-kontakt for direkte programmering og kontakter for enkel tilkobling av databusser. Kretskjema for mastermodulen er gitt i Appendix A

Det har i denne oppgaven blitt gjort forsøk med to forskjellige versjoner av disse kretskortene da det ikke var nok enheter tilgjengelig av den nyeste versjonen.

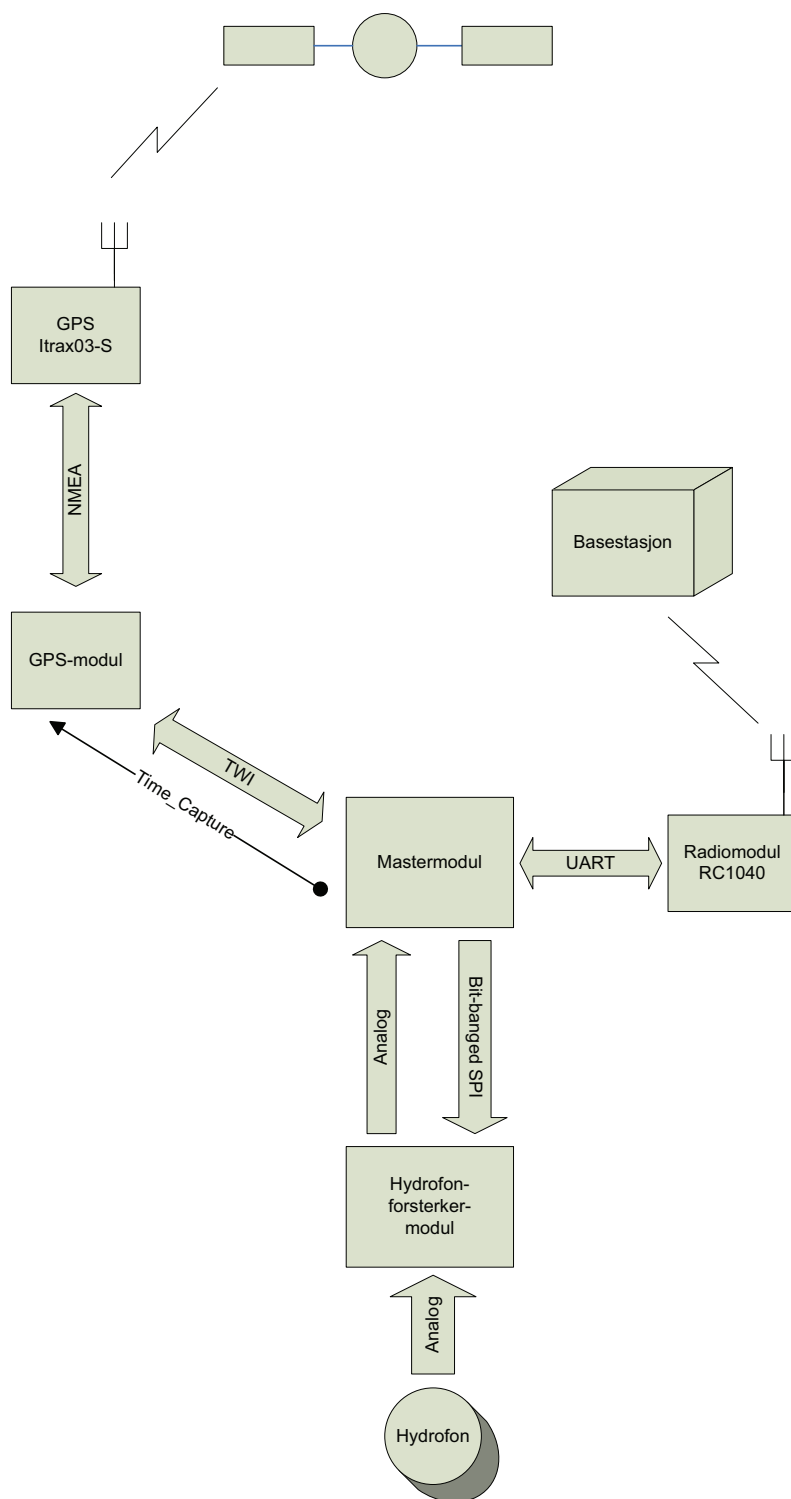
De viktigste oppgavene mastermodulen håndterer er å:

- polle hydrofonmodulen med nøyaktig frekvens.
- signalisere til GPS-enheten uten forsinkelse, ved detektert synkroniseringspuls på hydrofonen.
- dekode og behandle mottatte data.
- fungere som en selvstendig node i radionettverket.

I tillegg til disse oppgavene vil mastermodulen føre en statuslog som kan hjelpe oss se hvordan systemet fungerer.

Mastermodulen vil, i *idle*-modus, kjøre i en løkke der den sjekker statusflagg for om det er mottatt en fiskepakke eller en RF-pakke som må håndteres. Pollingen på det analoge hydrofonsignalet og koblingen til *gps_time_capture* blir håndtert i en interrupt-rutine som er koblet til *Timer 0 output compare*-registeret på atmega32L mikrokontrolleren. Når alle tidslukene i en fiskepakke er registrert vil det bli satt ett flagg slik at den ferdig mottatte pakken blir håndtert i hovedtråden i programmet.

På mastermodulen sitter det et vanlig minnekort med flashminne for lagring av data. Kommunikasjonen mot dette minnekortet foregår via et SPI-grensesnitt. Her vil alle motatta fiskepakker lagres sammen med en log-fil for hydrofonbøyen.



Figur 4.3: Kommunikasjon mellom modulene i bøyen

4.3.1 Programvare

Mye av programvaren på mastermodulen er drivere til de forskjellige busslinjene som alle må være interrupt-drevet. Modulen har fire muxede UART kanaler, et antall TWI-kontakter og SPI-buss mot flashminnet samt den analoge hydrofonforsterkeren. I tillegg til disse driverne kommer det kode som skal håndtere digital signalbehandling av fiskepakkesignaler og kode som håndterer radionettverket. Noe av koden er skrevet av Jan Eyolf Bjørnsen i Thelma og noe er skrevet av undertegnede. Programkoden finnes vedlagt på cd-rom.

4.3.2 Statuslog

For å kunne gå tilbake og inspisere robustheten til systemet samt nøyaktigheten i posisjonsbestemmelsen av hydrofonbøyen vil vi føre en statuslog som lagres i flash-minnet på mastermodulen. Ved å studere hyppigheten nodenettverket oppdateres med kan vi se om plasseringen til hydrofonbøyene kan gjøres mer optimal. Derfor vil en del av lagringsplassen på flashminnet bli satt av til en statuslog.

Noen av de statusparametrene som kan være interessante å lagre i statusloggen er listet her. Det vil være enkelt å endre hvilke parametre som lagres i programkoden. Det er også mulig å endre hva som lagres avhengig av hvor mye ledig plass det er på flash-minnet.

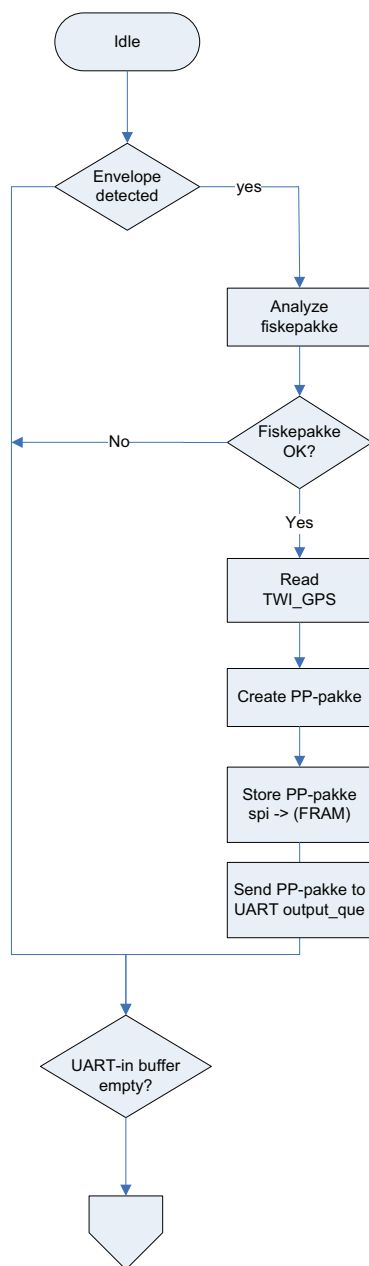
- Node detected
- Node lost
- Radio parameters changed
- New satellite constellation
- deviation in position
- DPPM-parameters changed
- Statusrapport sendt
- Flash-minne 50%, 75%, ... fullt

4.3.3 Programflyt i operativ node

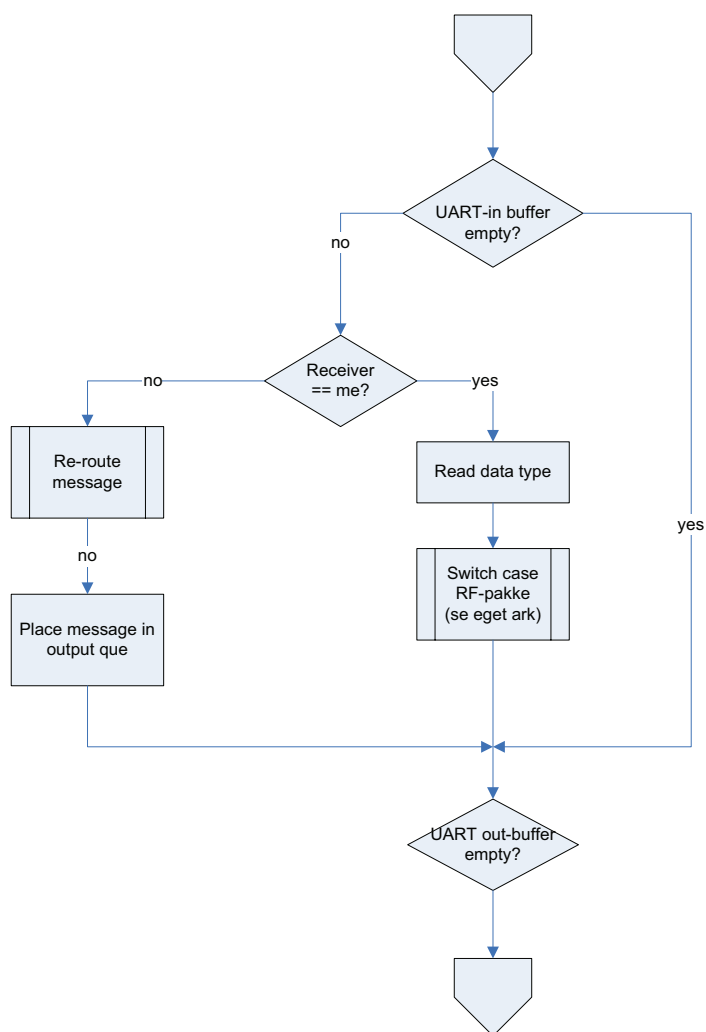
I dette delkapittelet vil vi presentere programflyten i mastermodulen. I operativ modus vil mastermodulen kjøre en løkke hvor den sjekker flagg for om det ligger noen innkommende pakker i kø som skal behandles. Pollingen av det analoge envelopesignalet fra hydrofonmodulen skjer i en timer compare interruptrutine. Om en synkroniseringspuls er detektert i henhold til fastsatte kriterier blir mottak startet og det blir gitt en puls på *gps_time_capture-pinnen*. Når pakken er ferdig mottatt vil den lagres i minnet samtidig som et flagg signaliserer at pakken er ferdig mottatt. Figur 4.4 viser hva som skjer når det er signalisert en mottatt fiskepakke.

Først blir fiskepakken analysert og hvis den viser seg å inneholde feil vil den bli forkastet. Hvis fiskepakken er mottatt og komplett vil vi hente tid- og posisjonsdata som korresponderer med

den siste pulsen på time_capture-pinnen fra TWI-bussen på GPS-interfacekortet. Fiskepakken vil deretter kombineres med data fra GPS-enheten før den lagres lokalt på flash-minnet, og om radiomodulen er aktiv, legges i køen for utgående radiopakker. Deretter vil programmet tilbakestille flagg-variabelen.

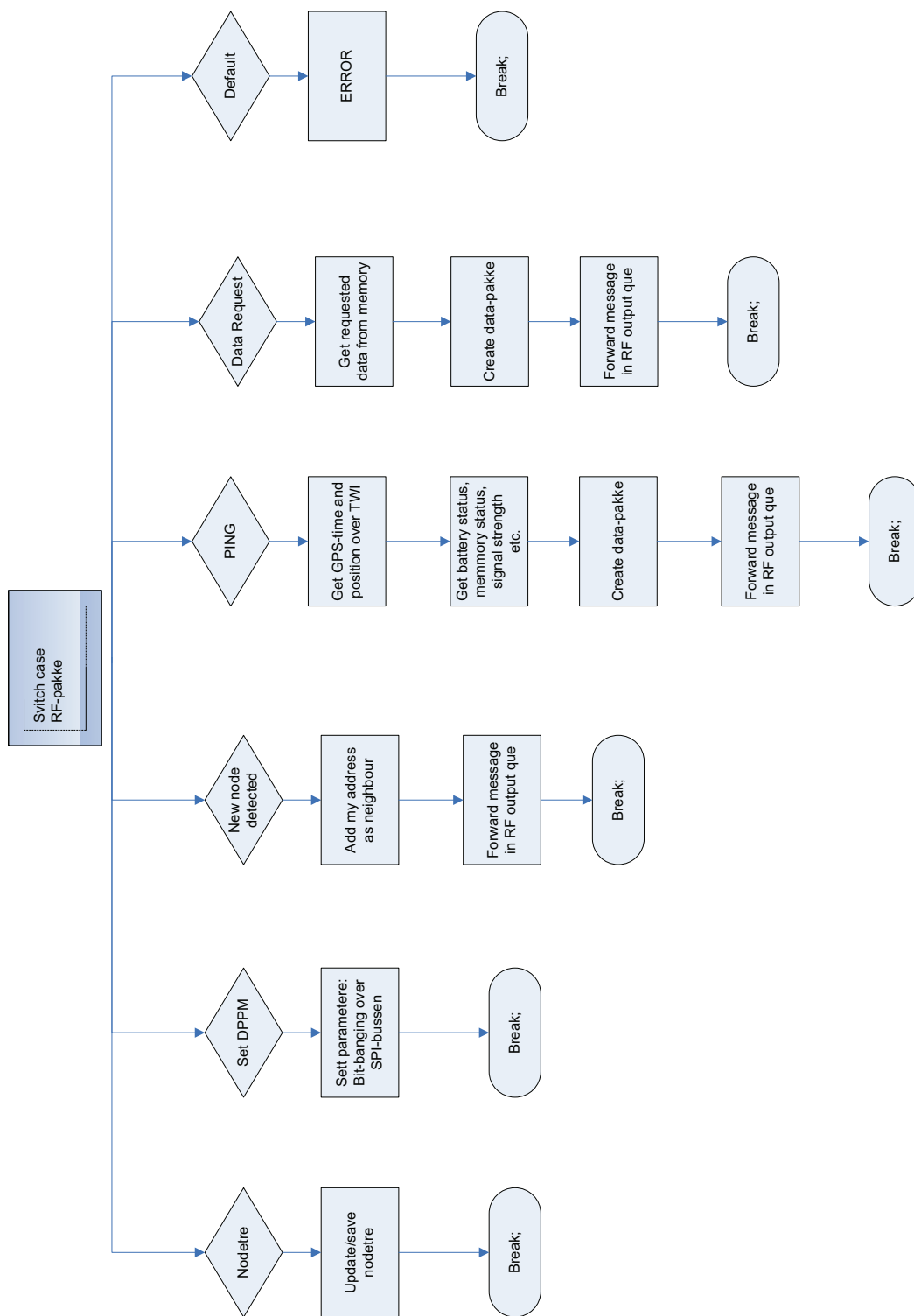


Figur 4.4: Flytskjema for Envelope Detected



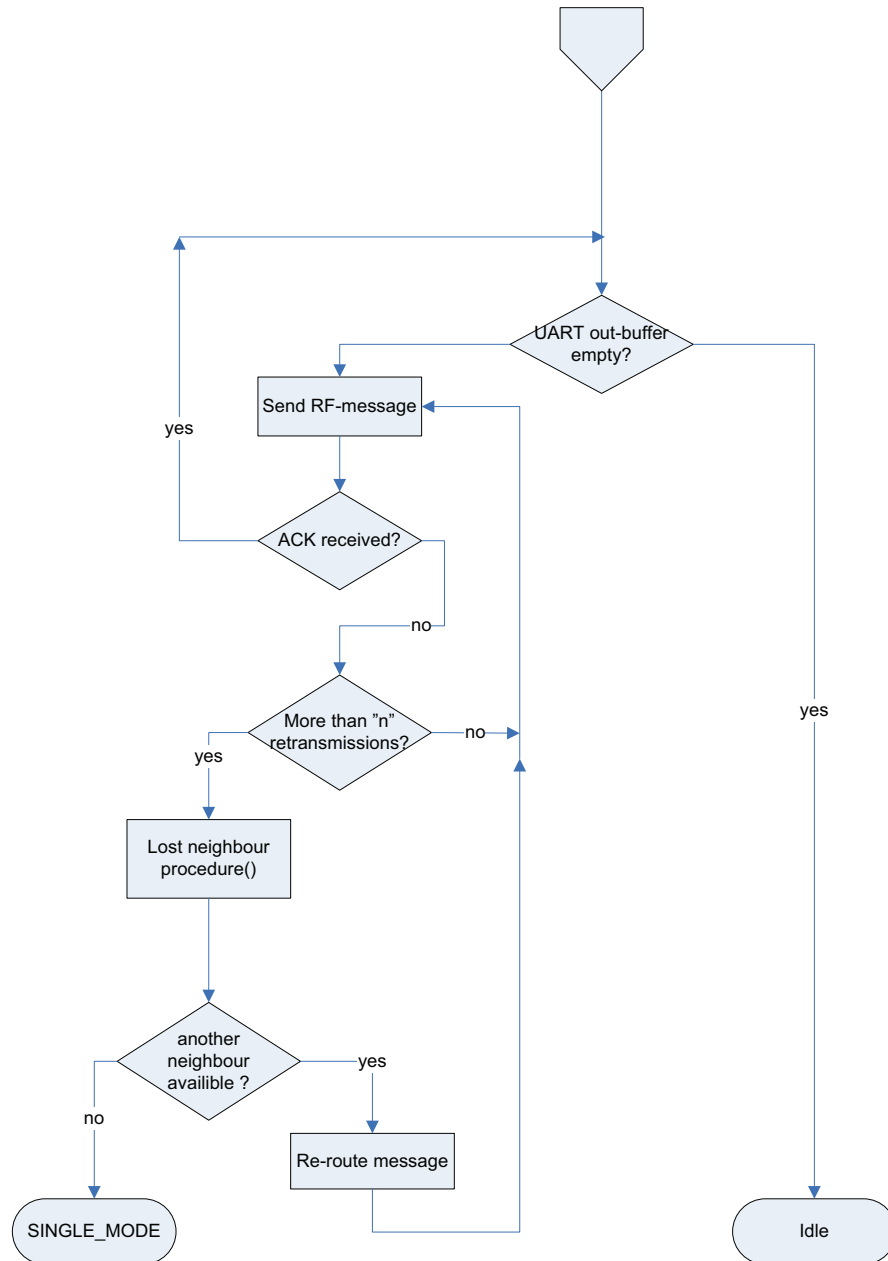
Figur 4.5: Flytskjema for in-buffer til Radiomodulen

Når mastermodulen eventuelt har håndtert en innkommet fiskepakke vil den se om flagget for innkomne pakker på serieporten fra radiomodulen. Hvis dette er tilfellet må den kjøre en enkel sjekk på om pakken skal re-adresseres og legges i køen for utgående radiopakker eller om den skal behandles lokalt i bøyen. Om pakken skal behandles lokalt vil masterenheten undersøke hva slags datatype pakken har for deretter å behandle forespørselen. Figur 4.6 viser oss programflyten avhengig av datatype.



Figur 4.6: Flytskjema for switch case på RF-pakke datatype

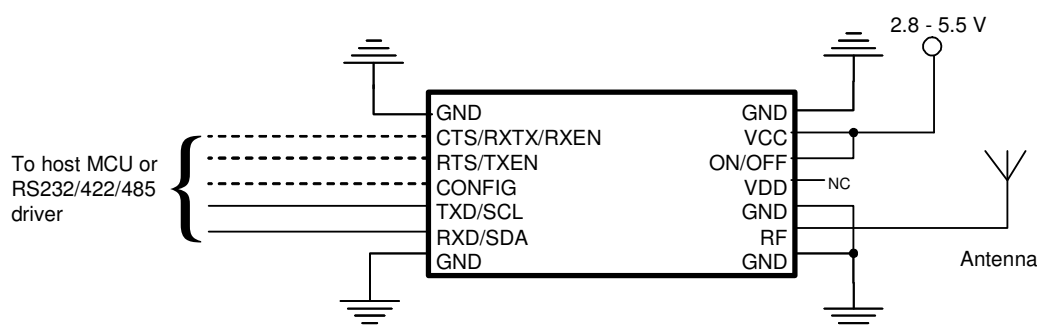
Flytskjemaet i figur 4.7 viser oss hvordan systemet håndterer ventende meldinger i køen for utgående pakker. Radiopakkene blir forsøkt sendt et antall ganger, og om de ikke kommer igjen vil systemet anse kontakten med naboen som tapt. Deretter vil systemet forsøke å finne en alternativ rute, og om det ikke finnes noen vil hydrofonbøyen gå i tilstanden SINGLE_MODE.



Figur 4.7: Flytskjema for out-buffer til Radiomodulen

4.4 Radiomodul

I tidligere arbeider [7] ble Radiocrafts med modellene RC1040 og RC1240 valgt som foretrukket radiomodul i PinPoint-systemet. Disse senderne benytter det samme kommunikasjonsgrensesnittet med omgivelsene og kan dermed benyttes om hverandre. Kommunikasjonen til mastermodulen foregår ved UART eller RS232 grensesnitt. Radiokommunikasjonen benytter adressering, pakkeoverføring og CRC-checksum for feildeteksjon. Både RC1040 og RC1240 benytter seg av kommunikasjonsgrensesnittet som er vist i figur 4.8.



Figur 4.8: Koblingskjema for RC1040 [16]

Både RC1040 og RC1240 benytter ISM-båndet rundt 433MHz. RC1240 sender på et smalere bånd enn RC1040 og har derfor lov til å sende med større sendereffekt. Databladet fra Radiocrafts sier at RC1040 har en rekkevidde på ca 500 m ved fri sikt, mens RC1240 har en rekkevidde på 2-4 km. Innenfor disse frekvensbåndene er det begrensninger på hvor stor del av tiden man har lov til å sende. Der er derfor ønskelig å holde trafikken over radiolinken på et så lavt nivå som mulig.

I følge Post- og teletilsynets regler for bruk av ISM-frekvensbånd [13] er det tillatt å overskride sendetiden noe, dersom LBT (Listen Before Talk) benyttes slik den er definert i standarden *EN 300.220*. Det er i denne oppgaven ikke implementert noen form for LBT, og det er heller ikke lagt inn noen begrensningen for sendetid i software. Innenfor denne oppgaven har det kun vært benyttet svært få noder, og man må opp i et større antall hydrofonbøyer før man nærmer seg grensene som er fastsatt.

Radiosenderne fra Radiocrafts er enkle å konfigurere. En må sette en høy puls på CONFIG-pinnen for å få radiomodulen i konfigurasjonsmodus. Deretter kan man skrive til registre på radiomodulen gjennom UART-grensesnittet og avslutte konfigurasjonsmodus ved å sende en exit-melding. For detaljer om registrene for konfigurasjonsinnstilling vises det til datablader for Radiocrafts radiosendere.[16]

Buffer-modus

Radiomodulen håndterer dynamiske pakkelengder opp til maksimum 128 byte. Data blir sendt fra radiomodulen ved å:

- Sende et avslutningstegn
- Gjøre ett opphold etter siste byte
- Ved å fylle bufferen helt opp. Disse størrelsene (pakkelengde, tidsforsinkelse og avslutningstegn) kan konfigureres i radiomodulens konfigurasjonsminne.

Adressering

Modulen tillater både adresserte pakker og kringkasting. Hver modul har en *system-id* og en *unik-id* som er satt i minnet. Modulene har også en destinasjons-id som settes i minnet. Alle nodene i et system er nødt til å ha samme system-id og forskjellig unik-id for å kunne kommunisere. Om to noder med samme *unik-id* skulle bli koblet på i et PinPoint-nettverk vil det være mulig for basestasjonen å be den ene om å endre sin adresse. Dette vil bli den av de to nodene som ligger først i nodetabellen da det er den som får alle radiopakker adressert til en av disse to. Deretter må nodetabellen oppdateres på nytt hos alle bøyene.

CRC-modus

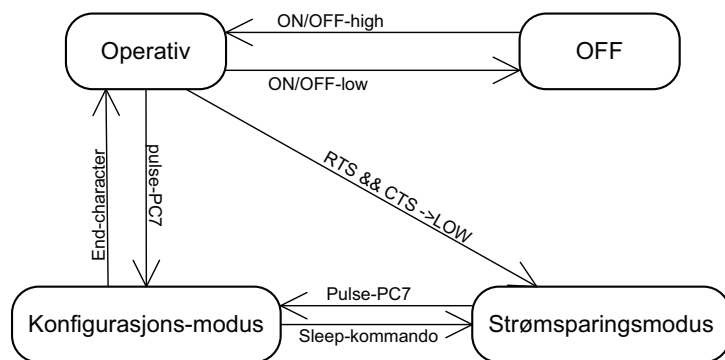
Radioprotokollen har bygget inn en automatisk sjekk for feil i overføringen. Den bruker en 16-bit CRC (Cyclic Redundancy Check) til å oppdage feil i overføringen av pakker. Hvis en feil blir oppdaget i en overføring blir pakken forkastet uten at noen beskjed blir sendt til mastermodulen.

Synkront grensesnitt for ubuffret dataflyt

Radiomodulen har mulighet for overførsel av store datamengder uten pakketransmisjon. Til dette brukes RXEN og TXEN. Systemet må da selv se hva som er slutten på dataoverføringen. Når det ubruffede grensesnittet brukes må CRC og adressering være koblet ut.

Strømsparing

Modulen kan settes i hvilemodus for å spare strøm. Dette kan gjøres ved å sende *sleep* kommando i konfigurasjonsmodus eller ved å trekke RXEN og TXEN lav. Modulen kan deretter vekkes opp igjen ved å gi en puls på enten CONFIG, RXEN eller TXEN pinnen. I hvilemodus vil ikke radiomodulen motta inkommende data, hverken fra master (UART) eller via RF-mottakeren. Modulen kan skrus av ved å trekke ON/OFF-pinnen lav. Denne kan kobles opp mot pinne 6 på Port C på mikrokontrolleren. Radiomodulen kan deretter settes på igjen ved å sette ON/OFF-pinnen høy. Modulen vil da starte opp med alle parametre satt tilbake til default-verdier.



Figur 4.9: Tilstandsdiagram for radiomodul

4.5 GPS-modul

GPS-modulen har to viktige funksjoner i PinPoint-systemet.

- Den skal forsyne mastermodulen med den nøyaktige globale posisjonen til hydrofonbøyen. Denne posisjonen brukes til å regne ut posisjonen til fiskemerket og må derfor være pålitelig.
- GPS-modulen skal også sørge for at alle bøyene har én og samme synkrone klokke som brukes til å logge ankomsttidspunktet til datapakken fra fiskemerket. Lydhastigheten i vann er omkring 1500 m/s så et lite avvik i loggtidspunktet ved hydrofonbøyene kan gi stor feil i posisjonsestimaten. Derfor synkroniseres modulens klokke mot 1PPS (1 pulse per second) som finnes på GPS-enheten.

Det er viktig å merke seg at posisjonsestimaten fra GPS-modulen alene ikke er godt nok til vårt formål. Det er viktig at alle bøyene mottar signal fra de samme satellittene. Tidligere arbeider [21] viser at når GPS-modulen mottar signal fra de samme satellittene vil den relative posisjonen innbyrdes mellom bøyene være god. Vi ønsker derfor å lagre data om satellittene sammen med data fra fiskemerke slik at vi kan gå tilbake å finne usikkerheten til posisjonsestimaten.

GPS-enheten som benyttes i PinPoint er produsert av den finske produsenten Fastrax.

Fastrax itrax03-S egenskaper [5]:

- Liten størrelse: 16.2mm x 18.8mm x 2.8mm
- Svært lavt strømforbruk: 95mW @ 2.7V
- Svært høy følsomhet: -156 dBm(Tracking)
- iTALK 3 og NMEA0183 protokoll
- Kalman Filter
- Støtter trådløs firmware oppgradering
- Data-logger opp til 37.000 data points (Lat/Lon)
- A-GPS støtte
- Versatile interface port

GPS-enheten er montert på et interface-kort produsert hos Thelma AS. Interface-kortet styres av en atmega32L mikrokontroller som styrer har kontrollen over GPS-enheten og som kommuniserer med mastermodulen via et TWI-grensesnitt.

I det øyeblikket mastermodulen detekterer synkroniseringsflanke på den analoge inngangen vil den trigge *Input Capture Pin* i port B på GPS-kontrolleren. GPS-kontrolleren vil deretter sørge for å hente ut posisjon og kalibrert tidspunkt og gjøre disse tilgjengelig for mastermodulen via et TWI-grensesnitt. Slik oppnår vi at tidfestingen av synkroniseringspulsen blir nøyaktig nok til å tilfredsstille kravene til systemet.

Så lenge GPS-mottakeren mottar signal fra minst én satellitt, vil den kunne levere klokke-data, og dermed tidsmerker til merking av innkommende fiskepakker. Tidsmerker er imidlertid ikke nyttige om en ikke vet bøyens posisjon, men i noen tilfeller vil det være mulig å estimere bøyens posisjon basert på historie. Om bøyen stor sett ligger i ro innenfor et område kan man bruke tidligere posisjonsdata for å regne ut posisjonsestimaten, om enn med noe større usikkerhet.

Operasjonskommandoer

De forskjellige operasjonskommandoene som benyttes i kommunikasjon med GPS-modulen er listet her:

GPS_OPCODE_FAILURE :

GPS_OPCODE_FAILURE returneres hvis kommunikasjonen svikter eller Op-koden ikke kjennes igjen.

GPS_OPCODE_ON :

Om GPS_OPCODE_ON blir sendt skrus GPS-modulen på.

GPS_OPCODE_OFF :

Om GPS_OPCODE_ON blir sendt Skrus GPS-modulen av.

GPS_OPCODE_READ_STATUS :

Denne operasjonskommandoen henter *status struct* fra GPS-enheten. Denne inneholder informasjon om status til GPS-enheten.

GPS_OPCODE_READ_POS :

GPS_OPCODE_READ_POS henter posisjonsdata fra GPS-enheten.

GPS_OPCODE_READ_TIME :

GPS_OPCODE_READ_TIME henter GPS-tid. Denne tidsangivelsen er en uniform opadtelende tidsskala som ikke korrigeres med sekundhopp for å tilpasse jordrotasjonen, og 1. juni 2008 ligger den ca 14 sekunder foran UTC (Coordinated Universal Time)

GPS_OPCODE_READ_HDOP :

GPS_OPCODE_READ_HDOP henter HDOP-verdien fra GPS. Dette er den horisontale to-dimensjonale posisjonsangivelsen angitt i koordinatsystem med lengde og breddegrader.

GPS_OPCODE_READ_NUM_PRNS :

GPS_OPCODE_READ_NUM_PRNS gir oss antallet tilgjengelige satellitter.

GPS_OPCODE_READ_NUM_PRNS :

GPS_OPCODE_READ_NUM_PRNS gir oss hele datastrukturen fra GPS-enheten, inkludert tid og posisjon og antall satellitter.

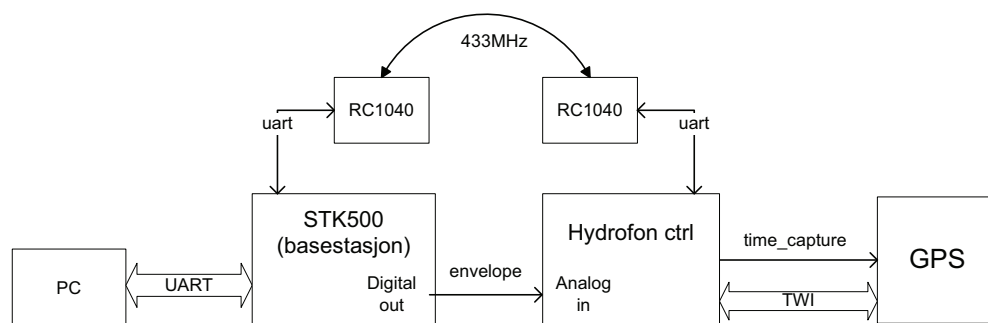
Kapittel 5

Test og dokumentasjon

5.1 Fase 1 – Hydrofonbøyen

5.1.1 Mottak av simulert DPPM-signal

For å teste systemets egenskaper ble et stk501-kort med en atmega128L mikroprosessor programmert til å sende ut et simulert envelope-signal ved triggering. Det simulerte envelope-signalet skal deretter tydes av mastermodulen og lagres sammen med GPS-data på minnebrikken. Deretter lastes dataene ned for inspeksjon via RS232-grensesnittet på mastermodulen.



Figur 5.1: Kommunikasjonsdiagram for testoppsett

Systemet hadde en tilfredsstillende respons på denne testen. Hydrofonmodulen mottar og tyder det simulerte DPPM-signalet. Mastermodulen klarte å hente ned posisjonsdata fra GPS-modulen via TWI-grensesnittet. Systemet klarte å kombinere disse dataene til en fullverdig PinPoint-pakke som sendes tilbake til basestasjonen via radiolinken på RC1040DK-modulen.

Resultat:

Tabell 5.1: Testresultat

Mottak	ok
Lagring	ok
Nedlasting	ok
Tidspunkt	hh:mm:ss.ssss

5.1.2 Kontroll av tidsdifferanse

For å verifisere at systemet ikke har betydningsfull drift tidsstemplingen av fiskepakkene ble to bøyemoduler koblet opp til triggeren på stk501-kortet. Da det bare var en GPS-modul tilgjengelig ble begge mastermodulene var koblet opp mot et Philips PM3331 oscilloscop med en oppløsning på $1\mu\text{s}/\text{div}$ for verifisering. På dette oscilloskopet vil det være mulig å oppdage drift på over $1\mu\text{s}$, noe som vil tilsvare ca 15mm avvik i posisjonsbestemmelsen.

Først ble begge modulene trigget samtidig. Deretter ble den ene modulen trigget før den andre slik at den simulerte reisetiden til signalet skulle bli forskjellig.

Resultat:

På oscilloskopet var det ikke mulig å måle noen drift i signalet. Dette stemmer med teorien om at mastermodulene skal trigge etter det samme antall klokkesykler da dette håndteres i en høyt prioritert timerinterrupt-rutine.

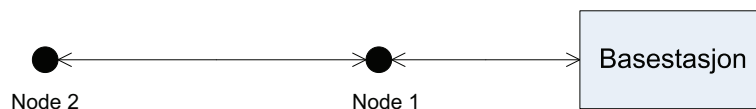
For å få en mer nøyaktig måling av tidsdifferansen ble time_capture-utgangen på mastermodulen koblet til et external interrupt på stk500 kortet . Da modulene ikke er startet opp synkront vil heller ikke samplingen av envelope-signalet være synkron, men det var ikke mulig å påvise noen vesentlig drift i time_capture-signalet.

5.2 Fase 2 – PinPoint-systemet

5.2.1 Omstrukturering av bøynettverk

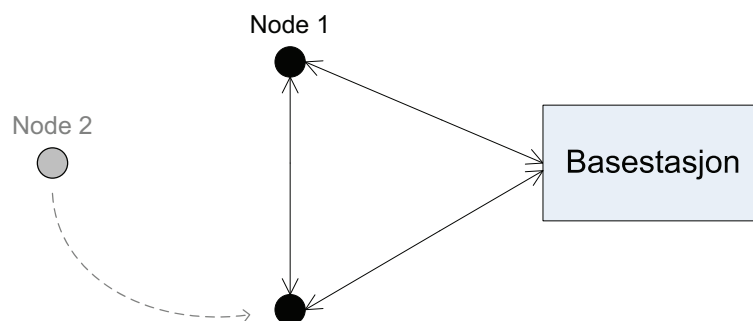
I kravspesifikasjonen til systemet har vi gått inn for at systemet skal være dynamisk. Vi ønsker derfor å teste om systemet klarer å håndtere at to noder bytter plass i nettverket. Rokeringen vil bli utført i tre trinn. Det vil bli sendt fiskepakker til de to nodene i løpet av testen.

Trinn 1



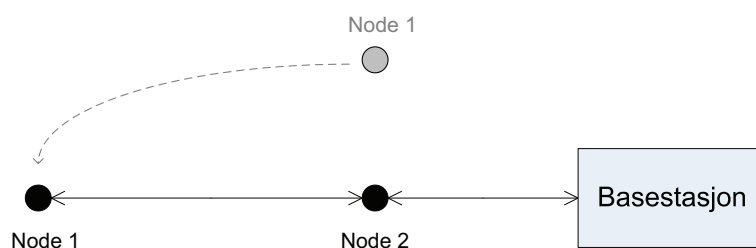
De to bøyene er satt opp slik at kun node 1 har radiokontakt med basestasjonen.

Trinn 2



Node 2 blir flyttet inn mot basestasjonen slik at disse danner et triangel. I denne posisjonen har alle kontakt med alle.

Trinn 3



Node 1 blir flyttet utenfor rekkevidde til basestasjonen slik at de to nodene nå har byttet plass. Vi vil deretter laste ned hendelsesloggen fra de to bøyene og kontrollere at alle fiskepakkene ble mottatt på basestasjonen.

Oppsummering

Systemet håndterte denne testen rokeringen i henhold til spesifikasjonen og forventet oppførsel.

Utdrag fra hendelseslogg:

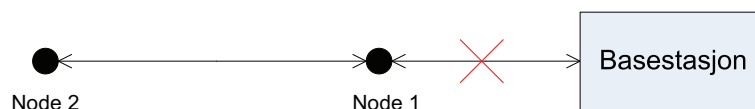
- Node 2: opprettet kontakt med basestasjon
- Node 1: nodetabell oppdatert
- Node 2: nodetabell oppdatert
- Node 1: mistet kontakt med basestasjon
- Node 2: nodetabell oppdatert
- Node 1: nodetabell oppdatert

5.2.2 Brudd på kommunikasjonslinjer

Brudd på kommunikasjonslinjer kan enkelt utføres ved å skru av antennen på bøyen. Systemet skal være dynamisk slik at det kan ettersende fiskepakker som ble mottatt mens systemet ikke hadde kontakt med basestasjonen.

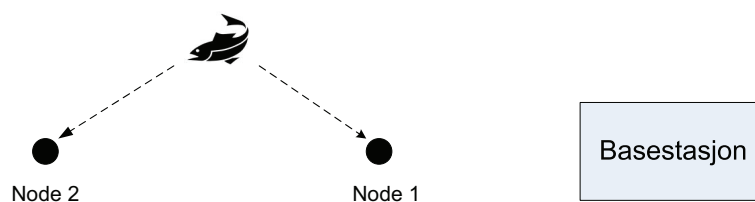
Trinn 1

Brudd mellom node 2 og basestasjon. Node 2 skal deretter gå i single modus.



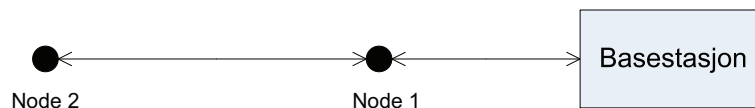
Trinn 2

Simulerte fiskepakker blir overført til nodene.



Trinn 3

Systemet blir koblet opp igjen. Deretter blir det foretatt nedlasting av fiskepakker og hendelseslogg fra de to nodene.



Resultat:

Systemet håndterte denne testen slik som forventet.

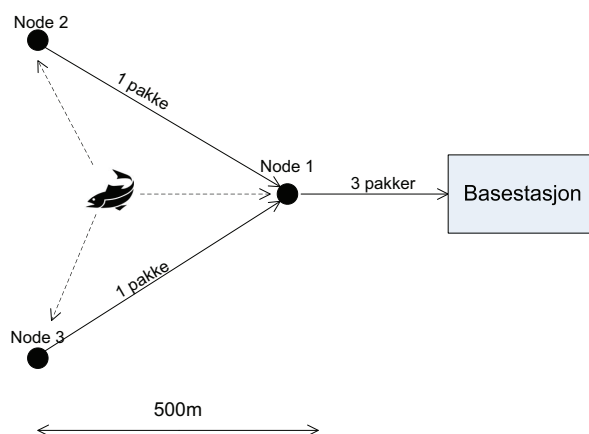
Utdrag fra hendelseslogg:

- Node 1: mistet kontakten med basestasjonen
- Node 1: ingen alternativ rute til basestasjonen. Går i tilstand SINGLE_SEEKING.
- Node 2: mistet kontakten med node 2
- Node 2: ingen alternativ rute til basestasjonen. Går i tilstand SINGLE_SEEKING.
- Fiskepakker mottatt
- Node 1: kontakt opprettet
- Node 1: nodetabell oppdatert
- Node 2: kontakt opprettet
- Node 1: nodetabell oppdatert
- Node 2: nodetabell oppdatert

5.2.3 Nettverk med flere noder.

For å undersøke om algoritmene for nettverkshåndtering fungerer som ønsket ble det, i tillegg til de to nodene i forrige kapittel, ved hjelp av en PC med UNIX operativsystem lagt til flere simulerte noder. Herfra ble det sendt simulerte meldinger slik at vi fikk et nettverk bestående av flere noder. Mastermodulen håndterte dette nodesystemet bestående av åtte simulerte noder uten problemer.

En mastermodul ble satt opp som node 1 i et system med tre noder (se figur).

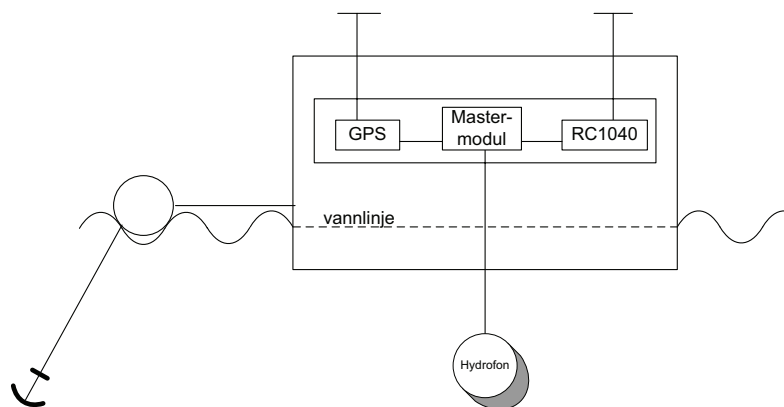


Figur 5.2: Testsystem med tre noder

De andre nodene (node 2 og node 3) ble simulert på pc og var satt opp til å sende radiopakker, adressert til node 1, med et gjennomsnittlig tidsopphold tilsvarende den dobbelte frekvensen av et fiskemerke. Mastermodulen på node 1 hadde ingen problemer med å håndtere alle oppgavene sine innenfor tidsrammen.

5.2.4 Prototyp

For å kunne teste enkelte egenskaper i bøyen var det ønskelig å lage en flytende prototyp. Det laget en skisse, men det har ikke blitt anledning til å bygge og teste systemet i sjøen.



Den flytende prototypen ble planlagt realisert som en uthulet isoporblokk. Ved å legge dekket godt over vannlinjen minner sannsynligheten for sprut, selv om hullet til hydrofonelementet ikke skulle være helt tett. Bøyen har blitt utstyrt med et eksternt flyteelement for å oppnå et vertikalt drag fra ankerlinen. Dette gjør også at vi får en viss avstand mellom hydrofonelementet og ankerlinen.

Kapittel 6

Diskusjon

Interaksjon mellom modulene

Applikasjonen på GPS- og mastermodulen sørger for at nødvendig data til tid- og posisjonsbestemmelse føyes til de mottatte datene fra fiskemerket. Det vil ikke innebære noen stor endring å endre på informasjonsmengden som legges ved hver fiskepakke for å spare lagringsplass og radiooverføringskapasitet. Løsningen som er gitt for radiokommunikasjonen er uavhengig av innholdet så lenge pakkelengden holder seg på et rimelig nivå.

På grunn av datamengden som må prosesseres i forbindelse med routingen av pakker i radionettverket, og sanntidskravene vi har til behandling av hydrofondata, vil det være fordelaktig å plassere radiomodulen på et kort med en egen dedikert mikrokontroller for å håndtere kommunikasjonskontroll samt adressering og oppdatering av adresseregister. For et mindre system med få hydrofonbøyer og begrenset radiokommunikasjon ser det imidlertid ut til å fungere godt slik det er implementert i dag.

Drift i time capture-signalet

Som vist i avsnitt 5.1.2 er det oppnådd gode resultater med hensyn på driften i behandlingstid fra synkroniseringspuls ble mottatt på analog inngang til `time_capture`-signalet trigges. Dette er essensielt for å få en nøyaktig posisjonsbestemmelse. Med en antatt lydshastighet i sjøvann på 1500 m/s, vil signalet vandre 1,5 mm per mikrosekund. Usikkerheten i posisjonsbestemmelsen er idag dominert av samplingsraten, dagens samplingsfrekvens på 4kHz gir en usikkerhet på under 40cm og av usikkerheten i GPS-posisjonsbestemmelsen. Det er ønskelig at bidraget til usikkerheten er så lite som mulig i alle andre ledd av systemet.

Radiosender

Radiosenderne fra Radiocrafts har vist seg å være gode og stabile og jobbe med. Det har desverre ikke blitt anledning til å teste systemet opp mot maksimum rekkevidde for radiosenderne, men for små systemer med opp til fire noder plassert rundt i bygningsmassen på Gløshaugen har de vist seg å være robuste, både mot den refleksjon og støy som oppstår i slike omgivelser, og på

systembasis, mot fremprovoserte svikt i deler av systemet.

Programvare

Utviklingsverktøyet som er brukt i programmeringen av modulene er CodeVision AVR Versjon 2.03.3. Dette har vist seg å være et godt program som hjelper til med kode-generering og debug-ging. Mye tid har gått med til å gå over disse automatisk genererte kodebitene, da problemer med en JTAG ICE som ble brukt til programmering av mikrokontrollerne førte til problemer med modulene. En JTAG ICE som var utlånt fra fakultet, og brukt til å programmere en atmega128L mikroprosessor, klarte ikke å programmere atmega32L mikroprosessorene på mastermodulen. JTAGen gav istedet en feilmelding om for lav forsyningsspenning til mikroprosessoren samtidig som lysdiodene på kretskortet dimmet når JTAGen ble koblet til. Etter en del feilsøking sammen med Jan Eyolf Bjørnsen hos THelma ble feilen funnet og problemet løste seg da jeg fikk låne en alternativ JTAG hos Thelma.

Når det gjelder testingen av radio og nodenettverks-protokollen har noe av simuleringen blitt kjørt på PC'er med LINUX operativsystem. Da det kun har vært et GPS-interfacekort og tre mastermodul-kretskort tilgjengelig var dette nødvendig for å kunne teste routing-algoritmen på et system med flere noder. Det har vist seg uproblematisk å overføre algoritmen til små systemer bestående av to eller tre mastermoduler. Kretskortene har påmontert en ekstern 3,6864 MHz oscillator og det anbefales at denne benyttes for å få feilfri overføring av data ved høy baudrate.

Posisjonsestimat

Nøyaktigheten i posisjonsestimatet vil hovedsakelig domineres av nøyaktigheten til GPS-mottakeren og samplingsraten på hydrofonen. GPS-mottakeren som benyttes idag har implementert kalman-filter på posisjonsestimatet så dette vil være ganske stabilt selv i noe sjø. En samplingsrate på 4kHz gir en usikkerhet på ca 37,5 cm i utregningen av avstanden fra hydrofonen til fiskemerket. Med tre hydrofonbøyer vil det gi oss en sirkel med radius 37,5 cm som fiskemerket befinner seg innenfor. Det vil være mulig å øke samplingsraten noe uten at det går ut over sanntidsegenskapene til mastermodulen, særlig hvis routingen av pakker i radionettverket flyttes ut på en egen mikrokontroller. Litt avhengig av bruksområdet til systemet vil dette være posisjonsestimatet være nøyaktig nok til de fleste formål.

Kapittel 7

Konklusjon

En prototyp av hydrofonmodulen som oppfyller de viktigste kravene ble realisert. Prototypen håndterer informasjonsflyten mellom nodene i hydrofonbøyen, og den sørger for at informasjonen sendes videre mellom hydrofonbøyene i systemet, og inn til basestasjonen.

- Modulen detekterer og dekker envelope-signaler fra en simulert hydrofonmodul.
- Mastermodulen trigger *time_capture*-signalet.
- Applikasjonen kobler overførte data fra den simulerte hydrofonmodulen sammen med posisjonsdata og tidspunkt for deteksjon fra GPS-modulen.
- Modulen sender disse dataene inn til en basestasjon ved å benytte et nettverk av hydrofonbøyer med radiosendere som fungerer som repeatere.

Det har i denne oppgaven vært lagt særlig stor vekt på opprettelsen av bøyenettverk, og nettverkskommunikasjonen.

Komponentkostnadene i PinPoint-systemet er lave sett i forhold til mange av de andre systemene for posisjonering av fiskemerker. PinPoint-systemet ser ut til å gi et posisjonsestimat som er stabilt og nøyaktig.

Kapittel 8

Videre arbeid

PinPoint er nå svært nær å kunne realiseres for våt-test i sjøvann. Funksjonaliteten i mastermodulen er i hovedsak ferdig utviklet. De hovedpunktene som hennstår for utvikling er:

- Utvikling av et grafisk brukergrensesnitt til basestasjonen.
- Utvikling og design av selve bøyen.
- Utvikling av fiskemerker som kan benyttes i toveis kommunikasjon med PinPointsystemet.
- For å oppnå ønsket posisjonsnøyaktighet til enhver tid, bør muligheten for å kunne bestemme hvilke satellitter som skal brukes i utregningen av posisjonen utredes.

Tester [21] viser at to GPS-mottakere som befinner seg innefor det samme begrensede geografiske området, ofte kan benytte seg av data fra forskjellige satellitter i utregningen av posisjonsestimatet. Siden usikkerheten i GPS-mottakerens HDOP (horizontal dilution of precision) gir det største bidraget til usikkerheten i fiskemerkets posisjon, bør dette være et innsatspunkt.

Videre vil det være interessant å se på mulighetene for utvikling av nye funksjonaliteter som kan åpne for bruk i flere sektorer. Det vil kunne være interessant å se om systemet vil kunne brukes som en attraksjon ved ett av landets store akvarier: “følg din fisk”. Det kan også være aktuelt å se på utviklingen av et mer avansert “dykkermerke” til bruk for dykkere som ønsker å markere et funn. Det kan være posisjonen til ett vrak, et korallrev, en undervannsgrotte eller ett godt fiskested. Slike ting kan det eventuelt være interessant å videreutvikle sammen med Olex for å merke av kulturminner som gamle skipsvrak eller korallrev i deres kartsystemer.

Bibliografi

- [1] National Marine Electronics Association. Nmea0183. <http://www.nmea.org/>, june 2008.
- [2] Atmel. Datablad. <http://www.atmel.com/>, june 2008.
- [3] Jan E. Bjørnsen. Utvikling av intelligent hydrofonbøye for PinPointII. Master's thesis, NTNU, 2002.
- [4] Cormen et al. *Introduction to algorithms*.
- [5] Fastrax. Itrax03-s datablad. <http://www.fastraxgps.com/products/gpsmodules/03series/it03s/>, june 2008.
- [6] M. Fowler. *UML distilled - a brief guide to the standard Object Modelling Language*.
- [7] J. Hammer. Akustisk posisjoneringssystem for fisk. Prosjektoppgave, NTNU, 2007.
- [8] Holand and Mohus. Fish telemetry manual. *Sintef*, 1983.
- [9] Jens M. Hovem. *Marine Acoustics, The Physics of sound in underwater environments*. 2007.
- [10] Malcolm Jobling. *Environmental Biology of Fishes*. Chapman & Hall, 1995.
- [11] Kernighan and Richie. *Ansi C - The C programming language*.
- [12] Lucas and Southgate. *Aquaculture - Farming aquatic animals and plants*. Blackwell, 2003.
- [13] Post og Teletilsynet. Regler for bruk av ISM-frekvensbånd. <http://www.lovdatab.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20070420-0439.html>, okt 2007.
- [14] OLEX. webside. <http://olex.no/>, june 2008.
- [15] I.G. Priede. *Wildlife Telemetry: an introduction*. London, 1992.
- [16] Radiocrafts. RC1040 Datablad. <http://www.radiocrafts.com/>, june 2008.
- [17] Radiocrafts. RC232 embedded RF-protocol user manual. <http://www.radiocrafts.com/>, june 2008.
- [18] Karl Rottman. *Matematisk formelsamling*. Spektrum forlag, 2003.
- [19] S. Skarphedinsson. Development of the main processing unit for PinPoint - an automatic hydroacoustic fish tracking system. Master's thesis, NTNU, 2004.

- [20] A.M. Tannenbaum. *Computer Networks, 4th edition*. Pearson Education International, 2003.
- [21] Ansgar Martin Thorsen. Utvikling av telemetriboye for PinPoint-systemet. Master's thesis, NTNU, 2004.

Tillegg A

Kretsskjemaer

Kretsskjemaer er ikke vedlagt på vedlagt CD-rom da disse er Thelmas eiendom.

- Kretsskjemaer for mastermodulen (hydr_amp_ctrl)
- Kretsskjemaer for GPS-modulen

Tillegg B

Datablader

Datablader finnes på vedlagt CD-rom

- atmel atmega32L datasheet
- itrax03-s datasheet
- Radiocrafts RC1XX0DK User manual
- Radiocrafts RC1040 Transceiver module datasheet
- Radiocrafts communication protocol - RC232TM

Tillegg C

Programkode

Deler av programkoden er Thelmas eiendom og finnes derfor ikke vedlagt på CD-rom.

1. hydr_amp_ctrl.c
2. fiskepakke.c
3. usart.c
4. main.h
5. dppm.c
6. radiomodul.c