

Lav effekt sensornettverk, for registrering av kjøretøy

Erik Hals

Master i elektronikk

Innlevert: juni 2015

Hovedveileder: Snorre Aunet, IET

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for elektronikk og telekommunikasjon

Sammendrag

Denne prosjektoppgaven omhandler design og implementasjon av et lavenerginettverk bestående av parkeringsensorer. Dataen som skal sendes vil være om det er en bil parkert på parkeringsplassen, eller ikke. Systemet vil ha inntil 1000 noder der alle kommuniserer trådløst i ISM-båndet, og bruker CDMA modulasjonsteknikk.

Beregninger av rekkevidde, og energiforbruk er gjort, og CDMA kommunikasjonskanal er modellert og simulert i MATLAB.

Systemet er implementert ved produksjon av kretskort med tilhørende PCB-antenne, og bruk av utviklingskort. Og forsøk er gjort for å undersøke egenskapene til CDMA kommunikasjon med den aktuelle hardwaren.

Resultatet av forsøkene viser at CDMA kommunikasjon stiller strenge krav til mottakeren, for at flere brukere skal være i stand til å kommunisere samtidig.

Forord

Denne masteroppgaven er utført som et ledd i utdannelsen Elektronikk - masterstudium (2-årig) krets og systemdesign, design av digitale systemer ved Institutt for elektronikk og telekommunikasjon, på Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet(NTNU), og ble utført fra februar til juni 2015.

Jeg vil takke mine hovedveiledere Snorre Aunet og Anders Hagen for hjelp og tilrettelegning av prosjektarbeidet, i tillegg til Tor Ramstad og Brage Blekken som frivilling brukt av sin tid til å veilede prosjektarbeidet. Jeg vil også takke Q-Free som bruker resurser, og satser på studentoppgaver.

Til slutt vil jeg takke venner, familie og klassekamerater for støtte gjennom hele min studietid.

Trondheim, juni 2015
Erik Frøysaa Hals

Oppgavetekst

Oppgaven ønskes båndlagt, og går ut på å eksplorere muligheter for å lage et trådløst sensornettverk som overvåker en eller flere parametre. Nodene skal kunne kommunisere med en sentral basestasjon, enten direkte, eller via andre noder. Nodene vil ha behov for å oversende data fra tid til annen, og har ingen sentral klokke. Antall noder kan være flere hundre eller flere tusen, slik at mulige kollisjoner må tas hensyn til.

Hver trådløse node er batteridrevet, og har følgelig strenge krav til gjennomsnittlig effektforbruk. Maksimal avstand til basesatsjon eller andre noder er i størrelsesorden 250 meter.

Oppgaven er relativt fri, og kan inkludere, men er ikke nødvendigvis begrenset til: å vurdere ulike modulasjonteknikker, frekvenser og protokoller for formålet. Off-the-shelf komponenter såvel som egne design kan vurderes.

Innhold

1	Introduksjon	3
1.1	Q-Free	4
1.2	Trådløse parkeringssensorer	4
1.3	Kravspesifikasjon	5
1.4	Arbeid og avgrensning	5
2	Energi- og rekkeviddeberegninger	6
2.1	Rekkeviddeberegning	6
2.2	Energiberegninger	8
3	Kommunikasjon	11
3.1	Introduksjon	11
3.2	Nettverket	11
3.3	Spredt spektrum teknikk	12
3.4	CDMA	13
3.4.1	Signal og kanal model	13
3.4.2	Mottaker	14
3.4.3	CDMA fordeler	16
3.4.4	CDMA ulemper	16
3.4.5	Gold-sekvenser	16
3.5	Modellering av kommunikasjonskanal	17
4	Design, og produksjon av kommunikasjonskort	22
4.1	Q-Free p42v0.3 kommunikasjonskort	22
4.2	Antenne	23
5	Resultat	27
5.1	Testoppsett	27
5.2	Kodegain	29
5.3	Multiple access	32

INNHOLD

v

6 Diskusjon

35

7 Konklusjon

37

Figurer

2.1	Excel ark fra Silicon Labs, hvor rekkevidde kan beregnes ut i fra sendestyrke.	7
2.2	Til venstre: 2-veiskommunikasjon, til høyre: 1-veis kommunikasjon, mellom sensor og basestasjon.	8
2.3	Gjennomsnittlig kontinuerlig strømforbruk. 1: CDMA kommunikasjonskanal. 2 smalband med pakkestørrelse 8 byte.	10
3.1	Ulike multiple access teknikker	12
3.2	Digital korrelator	14
3.3	pn-sekvens med støy	17
3.4	Krysskorrelasjon	18
3.5	krysskorrelasjon av 5 ulike overlappende sekvenser.	19
3.6	Krysskorrelasjon av 2 sekvenser der sekvens 1 er sendt med 10dB høyere signalstyrke.	20
3.7	Kodelengde i forhold til feilrate med kodelengde, 10, 100, 1000. Og gold kode med lengde 1000.	21
4.1	Kretsskjema av matchnettverket	23
4.2	Smithkart etter match	24
4.3	Magnitude diagram som viser responsen til antenna etter match	25
4.4	Q-Free p42v0.3 kommunikasjonskort	26
5.1	Testoppsett bestående av sensorer og basestasjon	27
5.2	Krysskorrelert signal, pn-sekvens med lengde 504.	29
5.3	Krysskorrelert signal, pn-sekvens med lengde 504, attenuator 23dB.	30
5.4	Krysskorrelert signal, pn-sekvens med lengde 504, attenuator 27dB.	31
5.5	Krysskorrelert signal, pn-sekvens med lengde 504, attenuator 29dB.	31
5.6	Krysskorrelert signal, pn-sekvens med lengde 104, attenuator 18dB.	32
5.7	Krysskorrelasjon mellom mottatt sekvens og pn-sekvens sensor 1, 5x oversampling.	33

5.8 Krysskorrelasjon mellom mottatt sekvens og pn-sekvens sensor 2,
5x oversampling. 34

Kapittel 1

Introduksjon

De siste 40 årene har halvleder teknologien hatt en formidabel utvikling fra $10\mu\text{m}$ i 1971, til dagens 14nm produksjonsteknikk. Hver generasjon har gitt bedre energieffektivitet, samt at tettheten av transistorer øker, som muliggjør produksjon av større og mer kompliserte kretser enn tidligere. Dette kombinert med utviklingen av bedre batterier, hovedsakelig i form av Li-Ion batteriteknologi, har gjort mobiltelefoner, bærbare PCer, og nettbrett, har blitt noe vi i dag tar for gitt.

ARM produserte sin første mikroprosessor i 1985. Ved å lage enkel og energieffektiv prosessorarkitektur har de vokst til å bli en av verdens største leverandører av prosessor arkitektur, og av verdens 5 største produsenter av mikroprocessorer bruker 3 av dem ARM arkitektur[1].

Det største antall av mikroprocessorer finner vi ikke i de 3 overnevnte enhetene, men i innvevde systemer der mikroprosessen er del av et større system og gjør én spesifikk oppgave. De er ofte integrert i en mikrokontroller, som består av minne, IO-porter, og mikroprosessen. En mikrokontroller kan også inneholde hardware-akseleratorer til for eksempel signalbehandling, eller kryptering. Mikrokontrollere finnes i alt fra fjernkontroller, vaskemaskiner, leker, MP3 spillere, og stort sett alt av moderne elektriske artikler. Produktene er ofte trådløse og batteridreven, og beregningskraften vil være et skjæringspunkt mellom ytelse og batterilevetid. Ved å kombinere en mikrokontroller med en radio transceiver, og en eller flere sensorer, kan en enhet kommunisere og dele informasjon med andre enheter, og dermed danne et sensornettverk.

Trådløse sensornettverk er i stadig større utbredelse, og kan brukes til alt fra helse-relaterte sensornettverk[2], til overvåking av skogbrann[3]. Et sensornettverk er en samling av noder, som hovedsakelig består av en sensor, batteri, radio, og en mikrokontroller for prosessering av data og minne[4]. Nodene vil være organisert

enten som ad-hoc nettverk, eller kommunisere direkte med en basestasjon. Kombinasjoner forekommer også, og en kjent teknikk er å bruke noder til å videresende mottatt data, og dermed forlenge rekkevidden til den opprinnelige noden. Dermed kan man lage sensornettverk som dekker store geografiske områder[5].

1.1 Q-Free

Q-Free ble grunnlagt i 1984 og har utviklet seg til å bli en av verdens ledende leverandør av bom-brikke-, og vegadministreringssystemer[6]. De har også solgt systemer for parkeringshus, der en sensor er plassert ved hver parkeringsplass, og sender informasjon om plassen er i bruk. Informasjonen brukes så til å vise hvilke parkeringsplasser som er ledig, og antall ledige plasser i gitte etasjer, eller områder. Disse sensorene er kjøpt inn fra eksterne leverandører, og bruker chirp signal til å kommunisere. Q-Free ønsker å utvikle sin egen løsning, som skal være rimeligere ved hjelp av mer energieffektive kretser, som nylig har kommet på markedet.

1.2 Trådløse parkeringssensorer

Åpne parkeringsplasser har i motsetning til parkeringshus ikke mulighet til å montere en parkeringssensor i taket. Andre måter å montere dem på som for eksempel, i stolper, eller legge dem under bakken. Men kabler for strøm og kommunikasjon blir dyrt, vanskelig å ettermontere og vedlikeholde. Q-Free ønsker derfor å utvikle en batteridrevet sensor som kan bores, eller freses ned i veidekke under hver parkeringsplass, som trådløst kommuniserer med en sentral basestasjon. Til dette kreves en svært energieffektiv sensor slik at batterilevetiden blir tilstrekkelig, og et robust nettverk, som kan håndtere forstyrrelser som måtte oppstå. Sensoren må også har god nok rekkevidde for å kunne kommunisere, selv når en bil er parkert over sensoren.

1.3 Kravspesifikasjon

1. Rekkevidden til sensoren må være minst 250m.
2. Batterilevetiden må være minst 10år, og batterikapasiteten vil være 2,5Ah.
3. Systemet skal kunne bestå av opptil 1000 sensorer.
4. Systemet skal operere i 900MHzISM båndet, og tilfredsstillende 802.15.4g standarden.
5. Sendereffekt skal ikke overskride 0dBm.
6. Sensorene må kommunisere 100 ganger i døgnet(50 ganger når en bil ankommer, og 50 ganger hvor en bil forlater parkeringsplassen).

1.4 Arbeid og avgrensning

Prosjektarbeidet vil handle om kommunikasjonsdelen av parkeringssensoren, som vil bestå av sender, nettverk og mottaker. Parkeringssensoren vil bestå av en kommunikasjons del, og en sensor del som vil registrere om en bil er parkert på parkeringsplassen. Sensoren er under utvikling av Q-Free og vil ikke være en del av denne oppgaven. Nettverksdelen av parkeringssensoren vil ha et grensesnitt som sensoren kommuniserer mot.

Nettverket vil bestå av opptil 1000 sensorer, og skal ha en sentral basestasjon. Det er lagt vekt på å lage sensorene så enkle som mulig, for så å legge kompleksiteten på basestasjonen, dette gjør sensorene mer energieffektive, og rimeligere å produsere. EZR32WG er valgt som kombinert mikrokontroller og radio, og gjør at nettverksdelen av prosjektet kan realiseres med kun en integrert krets.

CDMA er valgt som modulasjonsteknikk, og modellering av CDMA kommunikasjonskanal er gjort. Det er også foretatt energi og rekkeviddeberegninger, som regner ut effektforbruket i henhold til kravspesifikasjonen.

Nettverksdelen av sensoren vil bli produsert og CDMA kommunikasjonen vil bli testet, og sammenliknet med den simulerte modelleringa.

Kapittel 2

Energi- og rekkeviddeberegninger

Energiforbruket står sentralt i utviklingen av et trådløst system. Rekkeviddeberegninger som viser hvor mye energi som kreves for å kommunisere er gjort, og danner grunnlaget for beregning av strømforbruk, og batterilevetid.

2.1 Rekkeviddeberegning

Silicon Labs har laget en rekkevidde kalkulator i Excel der rekkevidden til radioen kan beregnes. Det er dermed mulig å lage et link budsjett ved å legge inn en verdi i figur 2.1 slik at man får ønsket rekkevidde. Ved -25dBm EIRP er rekkevidden 260m.

Målinger utført av Q-Free viser at signalet dempes med opptil 30dB, når en sensor blir plassert under en bil. Det bør også legges til -5dB antennegain i sensoren, og man kan dermed konkludere med at sensoren bør sende med en effekt på minst $+10\text{dBm}$ for at signalet skal nå 250m.

Range Calculator v84
 Do not attempt to enter values in grey cells. Shaded in grey results with published TX EIRP, RX Sensitivity and only valid if both TX and RX are operated in the same frequency band.

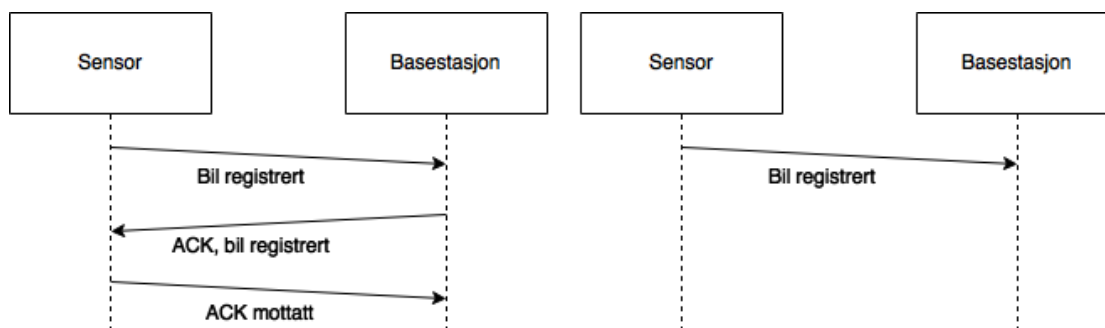
Choose TX Option	Choose RX Option	Choose Additional Options
Direct entry of TX EIRP [dBm] <input type="text" value=""/>	Direct entry of RX Sensitivity and antenna gain <input type="text" value=""/>	Propagation Model Ideal free space n=2
<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	Frequency [MHz] 1915
Enter TX EIRP [dBm] <input type="text" value="-25"/>	Enter RX Chip Sensitivity [dBm] <input type="text" value="-110"/>	<input type="text" value=""/>
<input type="text" value=""/>	Enter RX Antenna Gain [dBi] <input type="text" value="3"/>	<input type="text" value=""/>
Resulting TX EIRP [dBm] <input type="text" value="0.0372311"/>	Resulting RX Sensitivity [mV/m] <input type="text" value="0.0372311"/>	<input type="text" value=""/>
Resulting TX EIRP [W] <input type="text" value="3.162E-56"/>	Resulting RX Sensitivity [dBuV/m] <input type="text" value="31.344"/>	<input type="text" value=""/>
Resulting TX Field Strength [uV/m @ 3m] <input type="text" value="3.247E-403"/>		
Ideal Free Space Range [m] 260.9		
Range [m] 260.9		

Figur 2.1: Excel ark fra Silicon Labs, hvor rekkevidde kan beregnes ut i fra sendestyrke.

2.2 Energiberegninger

Rekkeviddeberegningene kan kombineres med strømforbruket oppgitt i EZR32WG databladet for å finne ut hva det totale strømforbruket vil bli. Målet med beregningene er å finne ut hvilken batterilevetid man kan forvente, og å sammenlikne smalbånd-, og spredt spektrumkommunikasjon.

Et MATLAB script er skrevet for å beregne forbruket. Scriptet regner ut det totale strømforbruket som en funksjon av, forbruket til Tx-, Rx-, standby-, og CPU aktiv modus, antall bevegelser, og antall pakker per bevegelse. Der en bevegelse er definert som at en bil parkerer, eller forlater en parkeringsplass. 2-veis kommunikasjon gir sett fra sensoren, 2 sendte, og en mottatt pakke per bevegelse, 1-veis gir kun en pakke per bevegelse som vist på figur 2.2.



Figur 2.2: Til venstre: 2-veiskommunikasjon, til høyre: 1-veis kommunikasjon, mellom sensor og basestasjon.

Ved smalbåndkommunikasjon er det brukt en sikkerhetsmargin på 6dB i forhold til minimumskravet på 10dBm fra rekkeviddeberegningene. Sendestyrken blir dermed satt til +16dBm. Kommunikasjonen er 2-veis, og sensoren sender 8 byte lange pakker, der de 3 første pakkene er “preamble“ etterfulgt av en “start of packet“ byte, 2 databyte, og 1 CRC byte.

Spredt spektrum kommunikasjon er satt til å bruke 1-veis kommunikasjon, og sender med 0dBm sendestyrke. Et kodegain på minst 10 kreves for å klare kravet på 10dBm fra, men dette vil ikke gi nok brukbare pn-sekvenser til å adressere alle sensorene. Beregningene er dermed utført med en kodelengde på 1000.

CDMA har strengere synkroniseringskrav med tanke på fasedrift i forhold til smalbåndkommunikasjon, som sender synkroniseringsbit i starten av hver pakke. Det er derfor tatt høyde for at en TCXO kreves ved bruk av CDMA, og strømforbruket til denne er tatt med i beregninga.

Tabell 2.2 viser parametere brukt ved beregning av energiforbruk. Alle verdiene er hentet fra EZR32WG datablad, hvor de typiske verdiene er valgt. Strømforbruk ved 0dBm sendestyrke er ikke oppgitt, men en estimering på 10mA er gjort. Antall bevegelser er satt til 100 i henhold til kravspesifikasjonen.

Modus	Strømforbruk
Tx @16dBm	43mA
Tx @ 0dBm	10mA
Rx	13.7mA
Standby radio	50nA
Standby CPU	650 μ A
CPU aktiv	6.1mA

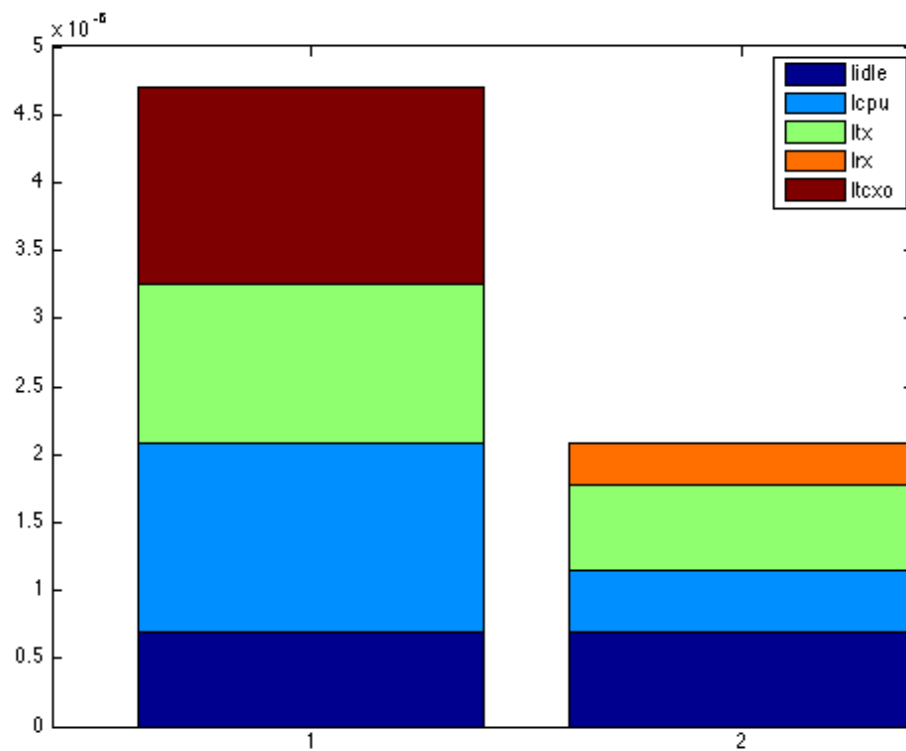
Tabell 2.1: Parametere brukt i energiberegningene.

Resultatet vises med stolpediagrammet i figur 2.3, hvor y-aksen er det gjennomsnittlig kontinuerlige forbruket til en sensor med 1: CDMA kommunikasjonskanal og 2: smalbandskanal. De ulike modusene er vist med de ulike feltene hvor vi fra bunn til topp har:

- $I_{standby}$: Strømforbruket når kretsen er i sovemodus, alle funksjoner er avslått, men dataene i minnet beholdes.
- I_{cpu} : Strømforbruket til CPU som er aktiv når sensoren har noe å sende.
- I_{tx} : Strømforbruket til radioen i Tx modus.
- I_{rx} : Strømforbruket til radioen i Rx modus.
- I_{tcxo} : Strømforbruket til TCXO.

CDMA kommunikasjon bruker omtrent dobbelt så mye energi som smalbandskanal. Men forbruket på ca. $4,7\mu A$ gir med et 2,5Ah batteri en batterilevetid på ca. 60år. Selvtlading av batteri er ikke tatt med i beregninga og vil være ca. 1% per år (Saft LS 14250).

Dataraten på kommunikasjonen er en av de viktigste faktorene når strømforbruket til CDMA kommunikasjon beregnes. Høyere datarate gjør at informasjonen overføres raskere og radioen kan slås av tidligere. Ulempen er at mottakersensitiviteten blir dårligere ved høyere datarate. Dataraten er satt til 10kbit/s, som gir en sensitivitet på over -110dBm.



Figur 2.3: Gjennomsnittlig kontinuerlig strømforbruk. 1: CDMA kommunikasjonskanal. 2 smalband med pakkestørrelse 8 byte.

Kapittel 3

Kommunikasjon

Følgende kapittel vil handle om hvordan kommunikasjonen mellom sensorene og basestasjonen skal fungere, og hvordan utfordringene knyttet til trådløs overføring av informasjon er løst i dette systemet. Videre vil det bli presentert et teoretisk grunnlag for CDMA kommunikasjonskanaler, for deretter å bli modellert og simulert i MATLAB.

3.1 Introduksjon

For å kunne presentere riktig informasjon er det viktig at systemet hele tiden pålitelig er i stand til å motta informasjonen som blir sendt fra sensorene. Til dette kreves en robust kommunikasjonsforbindelse, som fortsatt vil kunne kommunisere selv om det er stor tilstedeværelse av støy, kollisjoner, og andre forstyrrelser. Parkeringsystemet skal hele tiden være informert om en parkeringsplass er ledig, eller er opptatt ved at den står en bil parkert der. For å vite dette må informasjon om dette sendes fra parkeringsplassens sensor til en sentral basestasjon som til en hver tid skal kjenne statusen til alle sensorene. Den skal også kunne videreformidle informasjonen til andre systemer som har behov for dette.

3.2 Nettverket

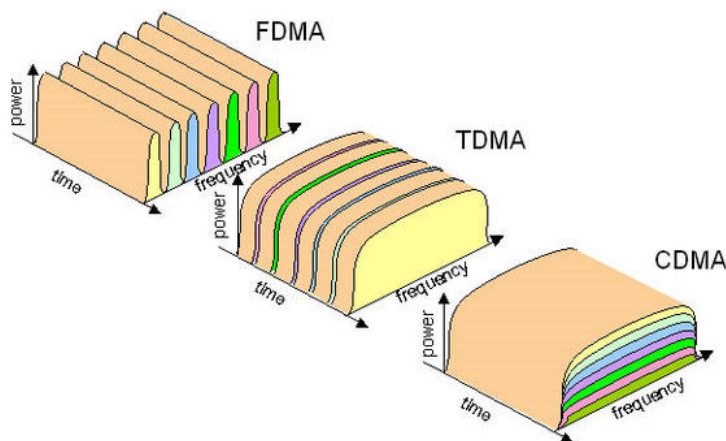
Systemet består av opptil 1000 sensorer, og en basestasjon. Dette vil føre til mye trafikk, som øker sannsynligheten for kollisjoner, og tap av informasjon. Teknikker

for “multiple access“ må derfor implementeres slik at flere sensorer kan kommunisere samtidig over samme link, uten at informasjon blir tapt.

Sensorene vil være organisert i stjernetopologi, som i motsetning til multi-hop nettverk gjør at sensorene kan slåes av når de ikke har noen informasjon å sende, og sparer derfor mye strøm. Men det krever at basestasjonen hele tiden ser alle nodene for at informasjon ikke skal gå tapt.

3.3 Spredt spektrum teknikk

Spredt spektrum er en teknikk som brukes til overføring av data i ulike kommunikasjonssystemer. Og går ut på å spre radiosignalet i enten tid-, frekvens-, eller kodedomenet. Dette gjør at signalet blir mer robust mot smalbandstøy, og gir mulighet for at flere brukere kan sende samtidig på samme kommunikasjonsmedium uten å miste informasjon. Det også vanskeligere å avlytte, ettersom både sender, og mottaker må være tilpasset signalet det skal motta.



Figur 3.1: Ulike multiple access teknikker

Spredt spektrum har lenge vært brukt i militære kommunikasjonssystemer for å gjøre det vanskelig å avlytte og forstyrre kommunikasjonen. Men har i senere tid i større moderne kommunikasjonssystemer, der “multiple access“ er en viktig faktor i nett der mange brukere forsøker å kommunisere, som for eksempel i mobilkommunikasjon der CDMA2000 er en sentral teknologi brukt i 3. generasjons systemer.[8]

3.4 CDMA

CDMA er en spedt spektrum teknikk der signalet blir spedt i kodedomenet ved at dataene blir multiplisert med en fast og forhåndsbestemt sekvens kalt en pseudo-random noise sekvens (pn-sekvens), som senderen bruker til å modulere og spre signalet med. Mottakeren bruker samme sekvens når signalet skal demoduleres, og ved å bruke ulike sekvenser, kan flere brukere kommunisere over samme kommunikasjonskanal samtidig.[9]

3.4.1 Signal og kanal model

Vi kan definere en sekvens $g_k(t)$ med lengde T som følger:

$$g_k(t) = \sum_{n=0}^{L-1} a_k(n)p(t - nT_c), \quad 0 \leq t \leq T \quad (3.1)$$

Hvor $a_k(n)$ er en pn-sekvens bestående av L chips som tar verdien ± 1 , $p(t)$ er en puls med varighet T_c , hvor T_c er chip intervallet.

Videre kan vi se på det sammensatte signalet for K brukerne i systemet, som kan uttrykkes som:

$$s(t) = \sum_{k=1}^K \sqrt{\varepsilon_k} \sum_{i=1}^N b_k(i)g_k(t - iT - \tau_k) \quad (3.2)$$

Hvor ε_k er signal energien per bit, og τ_k er transmisjonsforsinkelsen som oppstår som følge av at systemet ikke synkronisert, og signalene vil ankomme mottakeren på ulike tidspunkt.

Ved overføring av signaler over fysiske medium er det rimelig å anslå at signalet blir påvirket støy $n(t)$ i form av AWGN, og det mottatte signalet kan dermed uttrykkes som:

$$r(t) = s(t) + n(t) \quad (3.3)$$

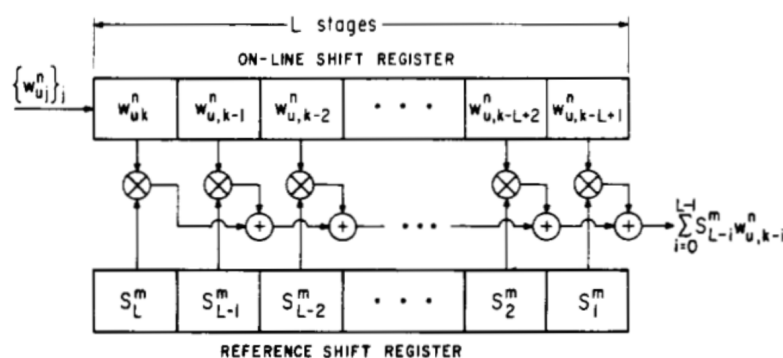
3.4.2 Mottaker

Signalet $r(t)$ fra likning 3.3 digitaliseres av mottakeren, og gir en vektor $r(n)$, med lengde L . Vi forutsetter at systemet er synkronisert, og at fasefeil ikke forekommer. Vektoren skal nå krysskorreleres med pn-sekvensen $a_k(n)$ fra likning 3.1. Vi definerer databitene $p(t)$ diskret som $p(n)$, og pn-sekvensen $a(t)$ som $a(n)$.

Krysskorrelasjon av digitale signaler kan gjøres på flere måter, men en vanlig teknikk er å bruke et "matched-filter". Et digitalt "matched filter" består i hovedsak av to korrelatorer, hvor en av dem vist på figur 3.2[10]. Denne tar inn en sekvens w_{uk}^n med lengde L , og korrelerer den med referansesekvensen S_L^m . Hvor:

$$w_{uk}^n \equiv r(n)$$

$$S_L^m \equiv a(n)$$



Figur 3.2: Digital korrelator

Utgangssignalet vil være en summen av antall '1' ved riktig posisjon, og uttrykkes som:

$$\sum_{i=0}^{L-1} S_{(L-i)}^m w_{uk}^n = y(n) \equiv \sum_{i=0}^{L-1} a(n)r(n) = y(n)_{hy} \quad (3.4)$$

Dette gjelder kun når data med verdi '1' sendes. Ved sending av verdi '0' vil $s(t)$ være invertert, og sekvensen blir dermed svært ukorrelet med $a(n)$. For å få den fullstendige korrelasjonen mellom $r(n)$ og $a(n)$ må sekvensen $r(n)$ invertteres, for så å kjøres gjennom en ny korrelator, men som fortsatt korrelerer signalet med $a(n)$. Vi

kan definere: $y(n)_{hy} - y(n)_{lav} = y(n)_{total}$ hvor $y(n)_{total}$ indikerer amplitudeverdien av krysskorrelasjonen mellom $r(n)$ og $a(n)$.

Deteksjon av data skjer ved at $r(n)$ eller $\bar{r}(n)$ oppnår høy korrelasjon, og $y(n)_{hy}$ eller $y(n)_{lav}$ får en høy verdi. $y(n)_{total}$ går over en gitt forhåndsbestemt terskel, og man kan dermed konstatere at en databit $p(n)$ er mottatt.

Kompleksiteten til logikken i mottakeren vil være svært høy. Hver bruker K , i systemet vil ha behov for K filtre, som inneholder 2 korrelatorer, ett shift register til pn-kodene, samt en summator som teller antall treff for hvert mottatte symbol. Og utføres ofte i en ASIC eller FPGA.

Ved en datarate på 40kbit/s, kodelengde 1000, og 1000 brukere vil mottakeren totalt måtte gjøre 40.000.000.000 multiplikasjoner og summeringer per sekund, i tillegg til å telle antall treff 40.000.000 ganger per sekund. Dette er uten eventuell oversampling av signalet.

3.4.3 CDMA fordeler

CDMA har mange fordeler sammenliknet med TDMA og FDMA systemer. På grunn av de mange sensorene ville det vært behov for K brukere antall unike frekvenser ved bruk av FDMA. Og ved bruk av TDMA ville det vært behov for 1000 tidsluker, noe som gjør utnyttelsesgraden til nettet svært lav etter som sensorer som oftest ikke har noen informasjon å sende. Synkronisering er en svært sentral del av TDMA for å unngå kollisjoner, noe som praksis vil være svært vanskelig å gjennomføre på en effektiv måte. Med CDMA kan flere sensorer kommunisere overlappende over samme frekvensbånd samtidig.

CDMA har høy motstand mot multipath fading. Så lenge to signaler er forskjøvet med ett symbol avstand, vil de være svært ukorrelerte, og på grunn av krysskorrelasjons egenskapene til CDMA bli filtrert bort.

CDMA gir mulighet å adressere sensorer ved at man tildeler hver sensor en egen og unike pn-sekvenser. Dette gjør at datamengden som må overføres betraktelig reduseres, fordi man ikke trenger å sende adressen via datafeltet i en pakkastruktur.

3.4.4 CDMA ulemper

Mottakeren i et CDMA system er mer komplisert enn ved et typisk smalbandsystem, fordi den mottatte datastrømmen må krysskoreleres med pn sekvensen til alle brukerne i nettverket. Dette er en intensiv operasjon å krever mye maskinkraft, eller hardwareakselerator.

Et annet kjent problem med CDMA er såkalt nær-fjern effekt problematikk. Ideell ytelse i et CDMA system får vi når alle signalene har lik styrke ved mottakeren, men det er vanskelig å kontinuerlig justere sendestyrke, og vil være umulig med 1-veis kommunikasjon.

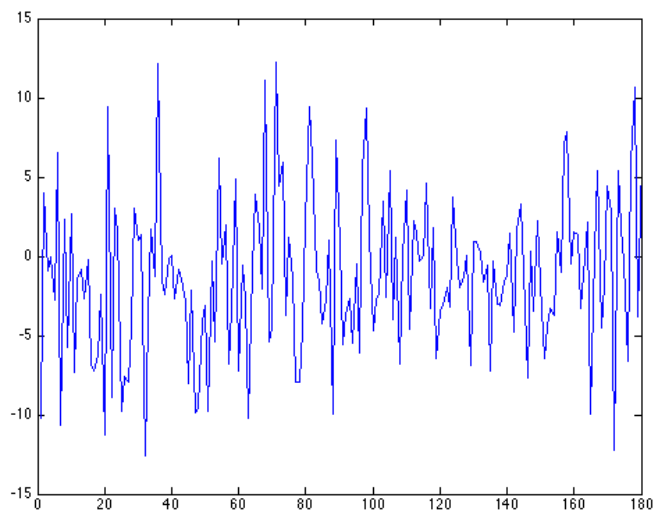
3.4.5 Gold-sekvenser

Gold-sekvenser ble generert med funksjoner i MATLAB. Disse sekvensene har bedre krysskorrelasjons-, og autokorrelasjonsegenskaper enn tilfeldig genererte koder. Gold-sekvenser ble brukt i de praktiske forsøkene av systemet.

3.5 Modellering av kommunikasjonskanal

Et MATLAB script ble laget for å simulere egenskapene til CDMA kommunikasjon.

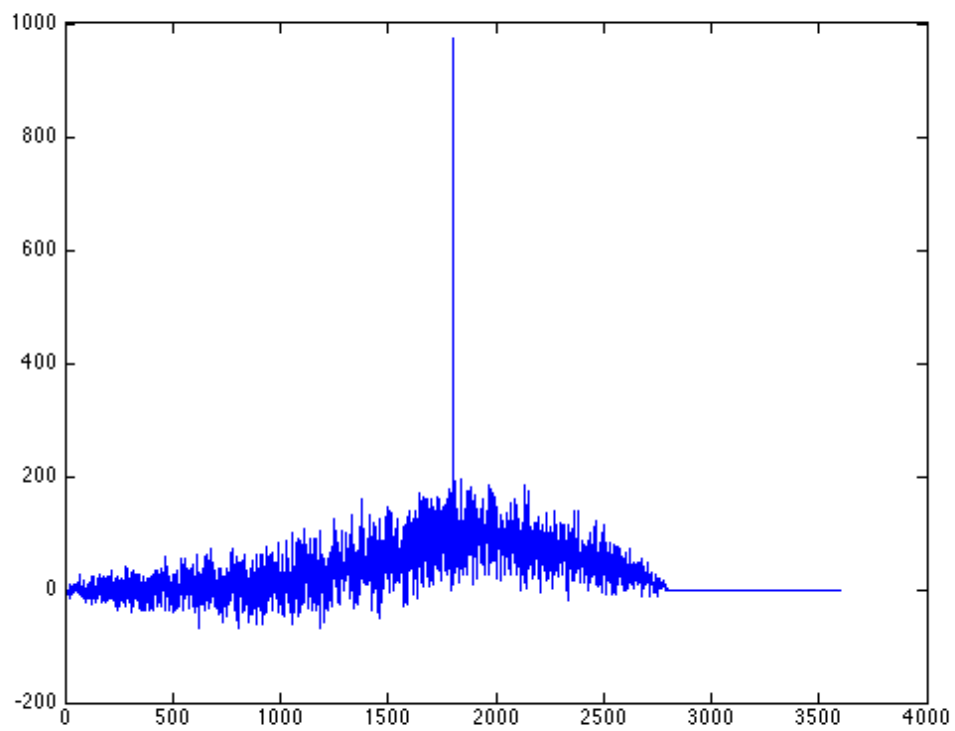
Scriptet genererer en tilfeldig pn-sekvens med lengde 10-, 100-, og 1000 bit, for så å legge på gausisk støy. Kanalen blir deretter kvantisert for så å bli krysskorrelert med tilhørende pn-sekvenser. Scriptet gir mulighet til å simulere flere brukere, samt bestemme effekt på både støy, og sendestyrke til de individuelle brukerne. Resultatet blir at man kan se hvordan signalene påvirkes ved ulik SNR, og forstyrrelse fra andre signaler med lik, eller forskjellig styrke. Simuleringa tar høyde for asynkron overføring, men ingen fasefeil mellom sender og mottaker, og ingen overlappende symboler.



Figur 3.3: pn-sekvens med støy

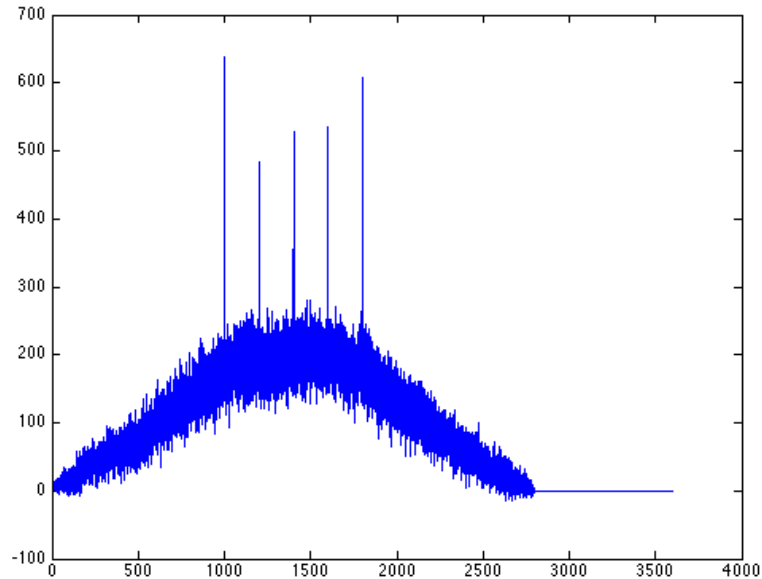
Figur 3.3 viser en pn-sekvens pålagt gausisk støy. Ved krysskorrelere signalet vil vi på figur 3.4 få en amplitudetop som indikerer korrelasjonen ved den gitte tidsforsinkelsen.

”Multiple access” er simulert ved at 5 signaler er lagt over hverandre med en forsinkelse på 200 symboler. Pn-kodene har en lengde på 1000, og SNR er 1. Figur 3.5 viser krysskorrelasjon av 5 overlappende signaler. Toppene kommer tydelig frem, og ingen signaler går tapt.



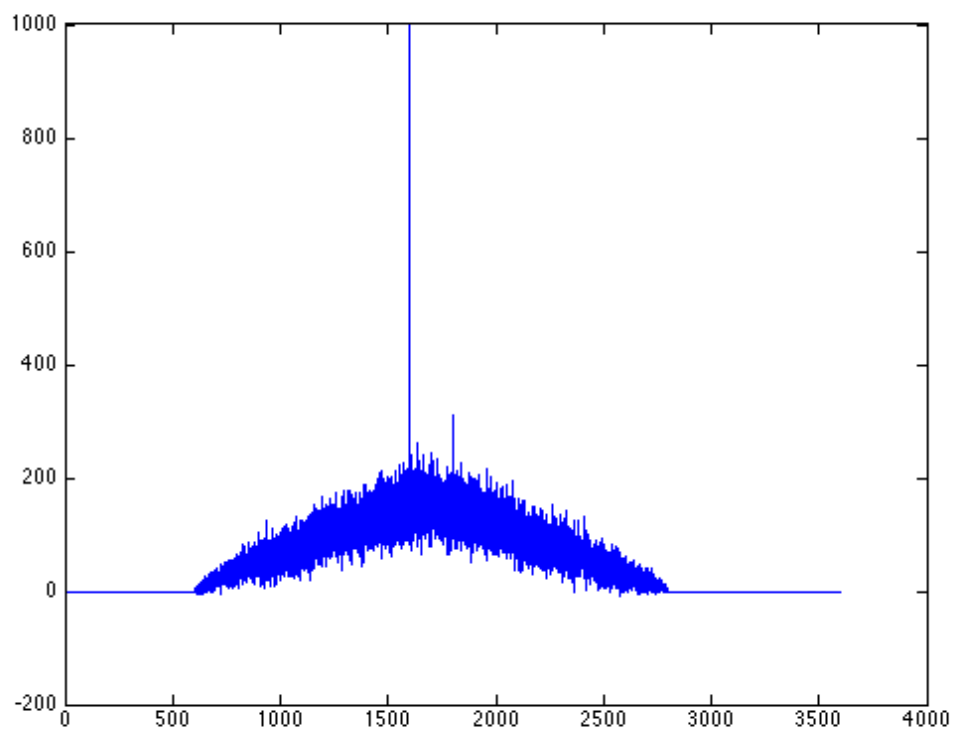
Figur 3.4: Krysskorrelasjon

Effektkontroll er en sentral del ved bruk av CDMA systemer. På figur 3.6 er 2 signaler med lengde 1000 sendt med 200 symboler mellomrom. Det første signalet er sendt med 10dB høyere sendestyrke enn det andre signalet. Resultatet er at den andre signalet vil bli svært vanskelig å detektere.

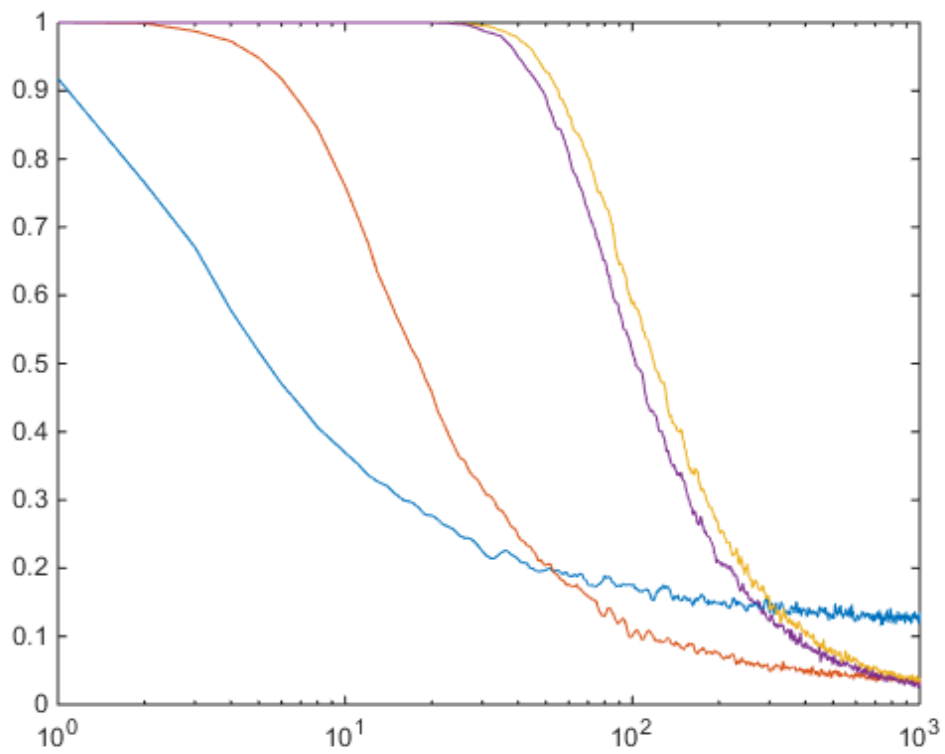


Figur 3.5: krysskorrelasjon av 5 ulike overlappende sekvenser.

Figur 3.7 viser feilraten til signalet i forhold til kodelengde. Fra venstre har vi pn-sekvens med lengde 10, 100, og 1000. Den 4. kurven er en Gold-sekvens med lengde 1000.



Figur 3.6: Krysskorrelasjon av 2 sekvenser der sekvens 1 er sendt med 10dB høyere signalstyrke.



Figur 3.7: Kodelengde i forhold til feilrate med kodelengde, 10, 100, 1000. Og gold kode med lengde 1000.

Kapittel 4

Design, og produksjon av kommunikasjonskort

Følgende kapittel omhandler hvordan kommunikasjon, og logikk delen av parke-ringssensoren er designet og implementert. Samt hvilke hensyn som danner grunnlaget for hvordan kretsen ble utformet, og til slutt målinger som viser egenskapene og ytelsen til antenna.

4.1 Q-Free p42v0.3 kommunikasjonskort

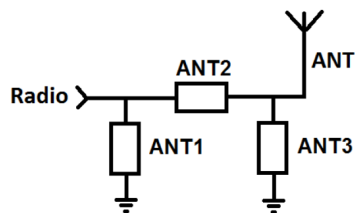
Silicon Labs EZR32WG230 ble valgt som mikrokontroller. Kretsen har blant annet en Si4461 radio, en kraftig 32-bit ARM Cortex M4 prosessor, integrert spenningsregulator, og avansert energistyring som gjør at moduler som ikke er i bruk eller periodisk inaktive kan slås av, og dermed spare mye energi. Kretskortet vil derfor kun bestå av en integrert krets, og tilhørende passive komponenter. Og ble produsert av ICAPE. 5 kretskort ble montert av NOCA AS.

Kretskortet skal først og fremst brukes som et utviklingskort, hvor egenskapene til EZR32WG kretsen, antenna, og CDMA kommunikasjonen skal undersøkes. Tilgang til alle radio GPIO, 4 mikrokontroller GPIO, og Q-Free debug kontakt med SWD og UART ble lagt ut. I tillegg til 6 LED lys, som brukeren selv kan bestemme funksjonaliteten til.

4.2 Antenne

Kretskortet ble designet med en PCB helix antenne publisert av Texas Instruments[11] i en design note". Antenna har fordelen at den kan implementeres på et 2 lags kretskort ved å bruke viaer til å koble sammen mønstre på topp-, og bunnlaget for å lage en helix. Strålingsmønsteret er godt egnet for det aktuelle bruksområdet siden antenne har lav antennegain, og relativt isotropisk strålingsmønster.

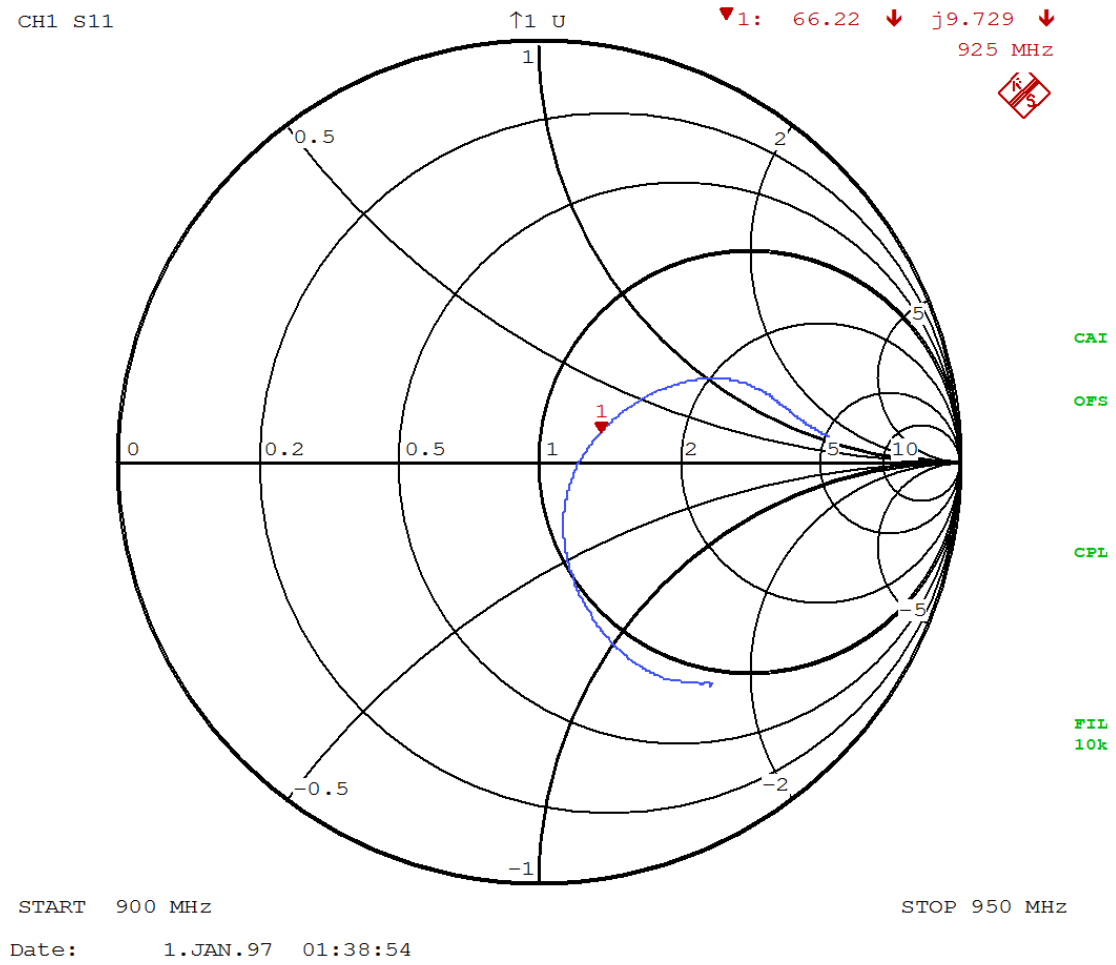
Antenna består av 3 deler. Helixen, jordplanet, og matchnettverket som brukes til å tilpasse antenne, slik at responsen er tilpasset frekvensen man ønsker å sende på. Design noten var opprinnelig tilpasset 868MHz, men da kretsen ble analysert med nettverksanalysator ble det klart at antenne fikk en bedre respons ved å forlenge antenne med en ekstra vikling.



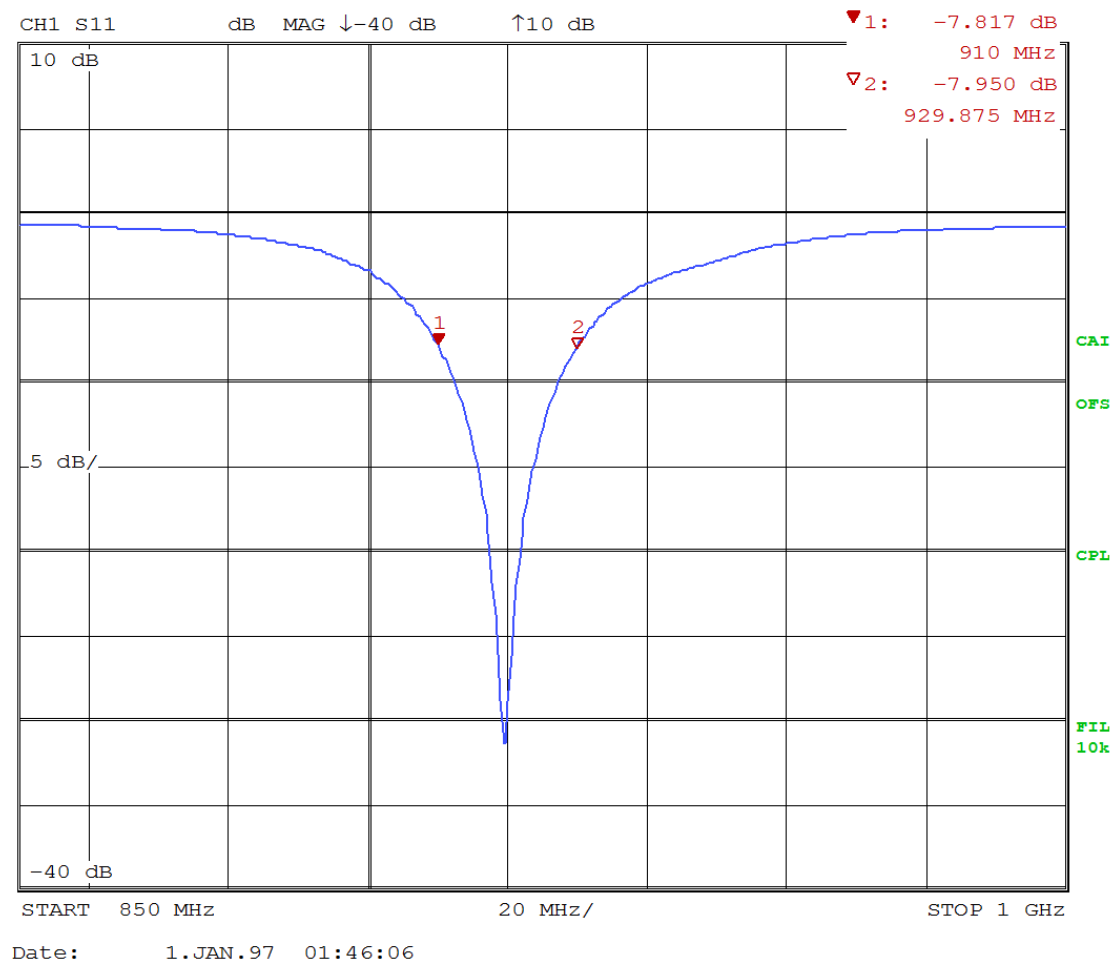
Figur 4.1: Kretsskjema av matchnettverket

Matchnettverket på figur 4.1 er en viktig del av antenne der målet er at antenne skal oppføre seg som en ideell 50Ω last. Matchnettverket fjerner eventuell induktans eller kapasitans antenne måtte ha ved en bestemt frekvens, og må tilpasses hvert enkelt kretskortdesign. Nettverksanalysator ble brukt til å analysere antenne. En kondensator på 2.7pF ble lagt til ANT3 på figur4.1, og en kondensator på 3.3pF ble lagt til ANT2. Resultatet av matchet antenne vises i figur 4.2 og 4.3.

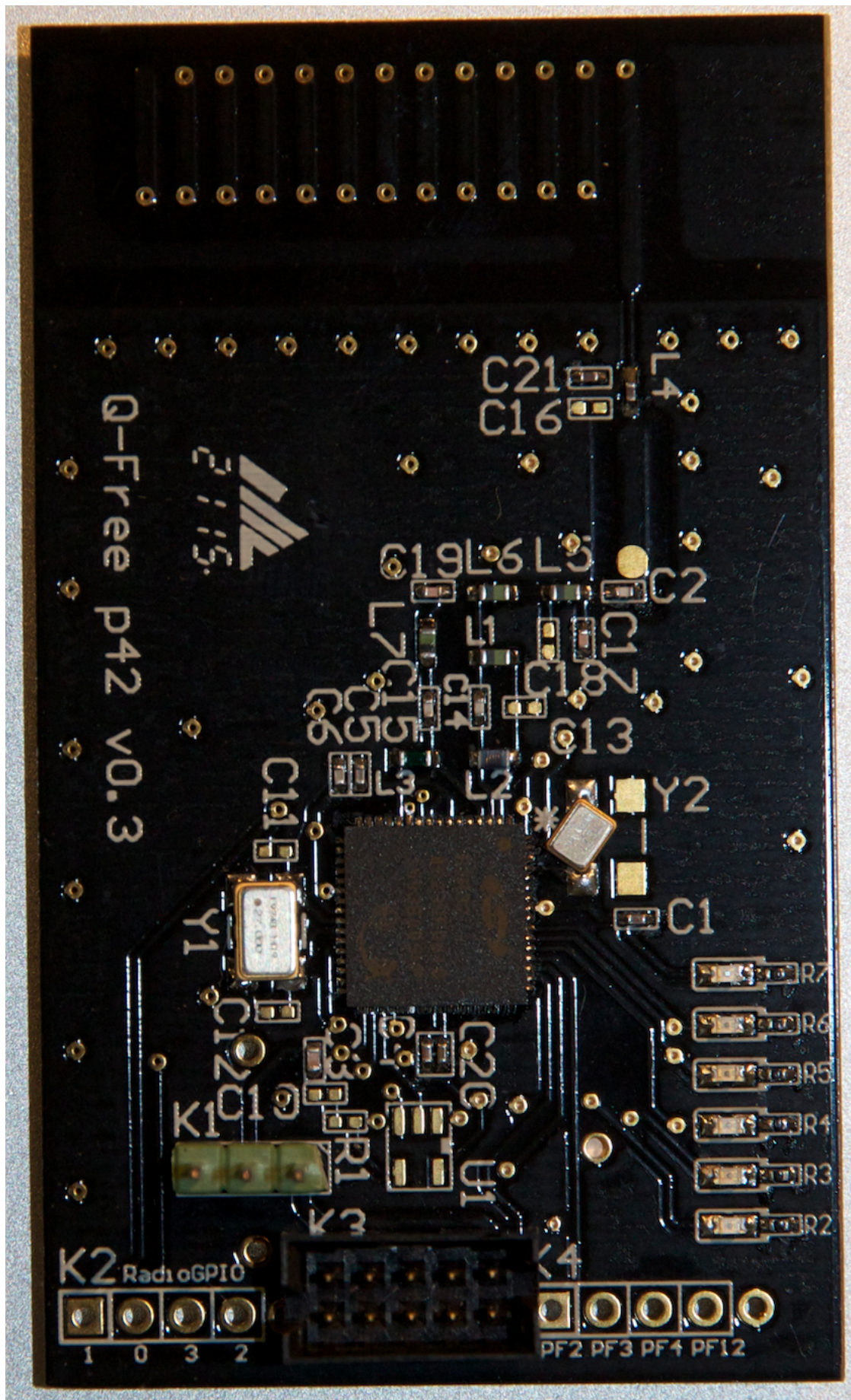
KAPITTEL 4. DESIGN, OG PRODUKSJON AV KOMMUNIKASJONSKORT24



Figur 4.2: Smithkart etter match



Figur 4.3: Magnitude diagram som viser responsen til antenna etter match



Figur 4.4: Q-Free p42v0.3 kommunikasjonskort

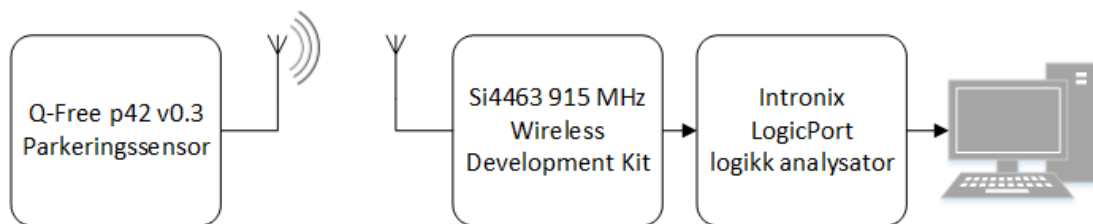
Kapittel 5

Resultat

Følgende kapittel vil handle om resultatet av prosjektarbeidet, hvor testoppsettet av systemet skal presenteres, og hvilke parametere som har blitt testet. Kommunikasjonen mellom sensor og basestasjon vil bli presentert og analysert. For deretter å kunne sammenlikne teorien-, og modellering av en CDMA kanal fra kapittel 3, med målingene foretat på lab.

5.1 Testoppsett

For å måle egenskapene til kretskortet og kommunikasjonsforbindelsen, ble det satt opp et testnettverk bestående av 5 sensorer og en basestasjon som vist i figur 5.1. Sensorene bestod av 5 Q-Free p42 v0.3, mens basestasjonen bestod av Silabs Si4463 915MHz Wireless Development Kit, Intronix LogicPort logikk analysator, og en PC for krysskorrelasjon av de mottatte sekvensene.



Figur 5.1: Testoppsett bestående av sensorer og basestasjon

Si4463 utviklingskortet ble satt opp i en konfigurasjon som gjorde at den kunne motta informasjon fra sensorene, og rådata fra demodulatoren ble matet up på en GPIO pin. Rådataene ble deretter lagret på en PC via logikkanalysator som

samplet inntil 2048bits, for så å bli krysskorrelert med pn-sekvensene i MATLAB. Nettverket ble satt opp i et ekkofritt kammer, slik at resultatet ikke ble påvirket av støykilder.

For å måle ”processing gain” ble det først satt opp kun en sensor, og pn-sekvenser med lengde 8, 104, og 504 ble testet. Fra kapittel 3 har vi pn-sekvenser med lengde 10, 100, og 1000, men i test oppsettet ble de tilpasset fifo buffere i radio kretsen, som opererte i bytes samt en bufferstørrelse på maks 64 byte.

En attenuator ble satt på coaxkabelen mellom antenna og mottakeren, slik at bitfeilraten kan økes, og egenskapene til de ulike kodelengdene gjør seg gjeldene. Alle pn-sekvenser som ble testet bestod av Gold-koder generert i MATLAB.

”Multiple-access” ble testet ved at 5 sensorer ble satt opp parallelt mot mottaker antenna, og programmert med hver sin unike Gold-sekvens, med lengde 504. Sensorene sendte sekvensene tilnærmet kontinuerlig i en ”while-loop”, og basestasjonen vil motta en kontinuerlig strøm av informasjon fra 5 ulike kilder.

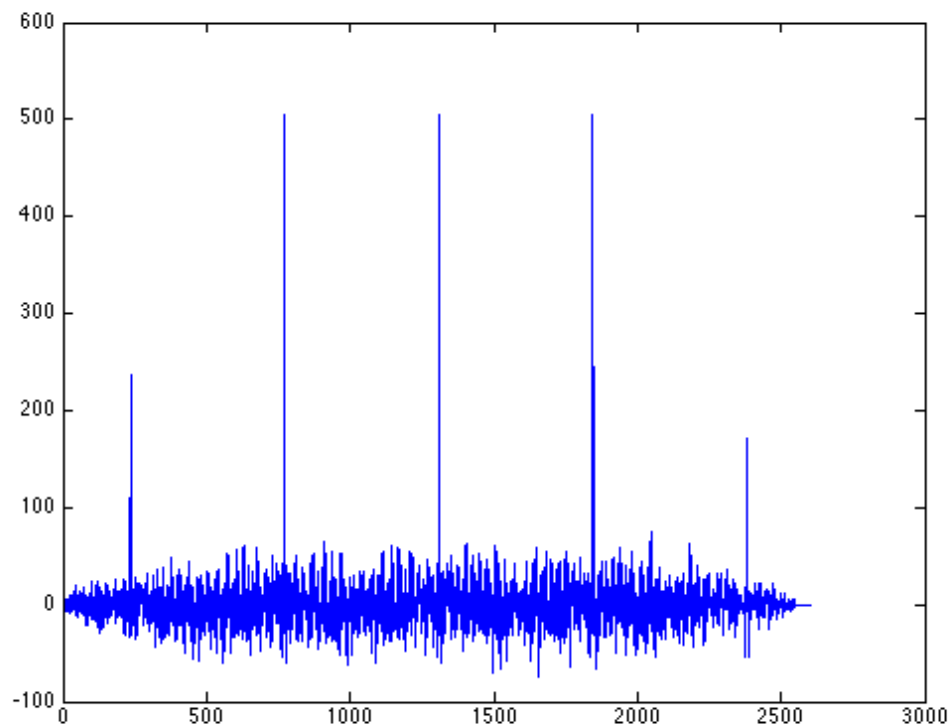
Siden effekt kontroll er svært viktig i CDMA systemer ble signalnivået til de ulike sensorene målt med en spektrum analysator. Tabell 5.1 viser effektnivået til de ulike sensorene.

Sensor 1	-88.90dB
Sensor 2	-91.65dB
Sensor 3	-87.70dB
Sensor 4	-89.70dB
Sensor 5	-86.69dB

Tabell 5.1: Effektnivå sensor 1-5.

5.2 Kodegain

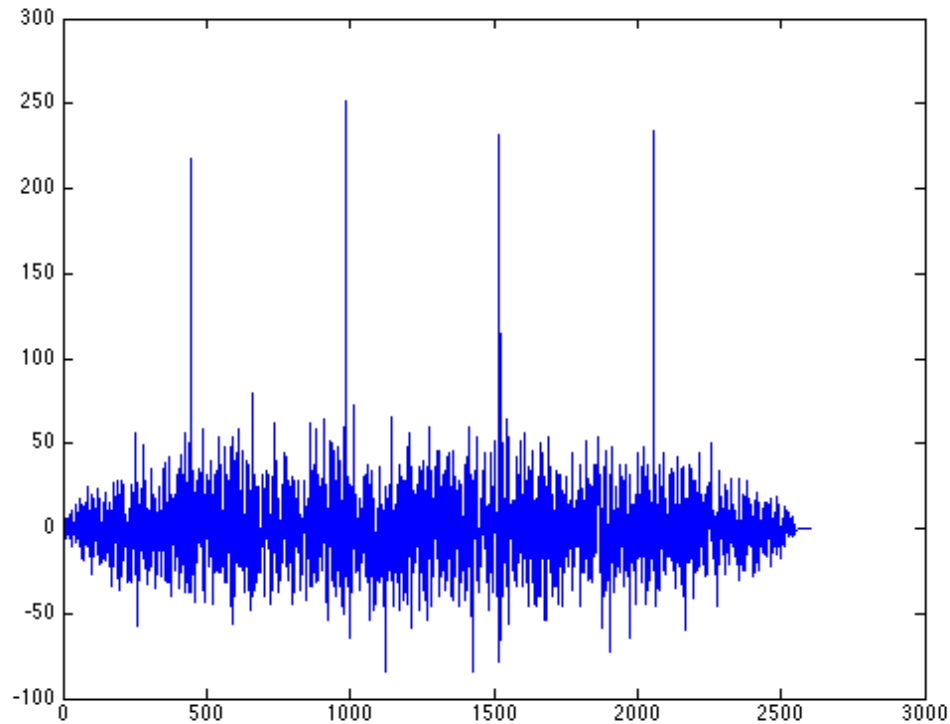
Ved svært god SNR vil bitfeilraten gå mot null. Ved å krysskorrelere en mottatt sekvens uten bitfeil, vil resultatet tilsvare autokorrelasjonen til pn-sekvensen i området der pn-sekvensen ble sendt. Figur 5.2 viser krysskorrelasjonen mellom en pn-sekvens med lengde 504, og sekvensen mottatt av basestasjonen, BER er null.



Figur 5.2: Krysskorrelert signal, pn-sekvens med lengde 504.

Den mottatte sekvensen har lengde 2048bits. Sensoren vil sende ut en kontinuerlig strøm av pn-koder, og vi ser at 3 hele, og 2 halve pn-sekvenser blitt samlet. Når en halv pn-sekvens blir krysskorrelert med en hel pn-sekvens vil kun halve koden treffe, som medfører at amplituden blir halvert.

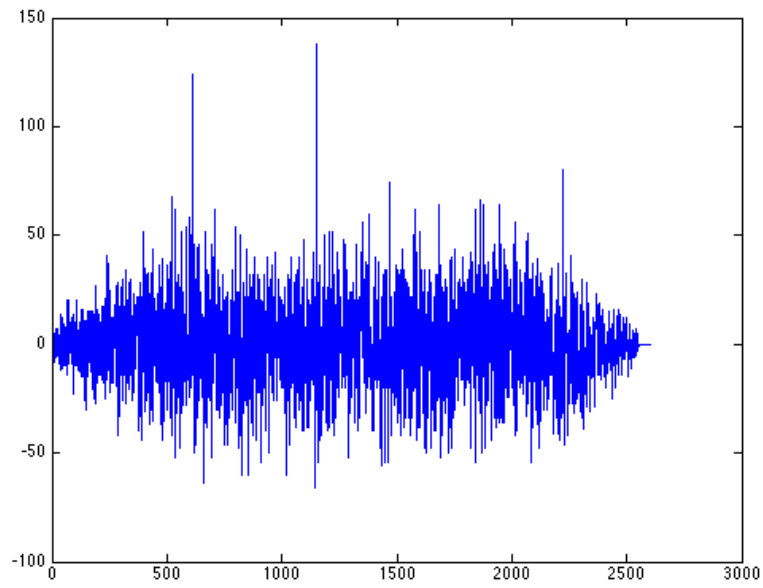
Støy er nå introdusert i signalet. Dette gjøres ved å oppjustere attenuatoren, slik at BER øker. Figur 5.3 viser samme pn-sekvens som i figur 5.2, men med attenuatoren satt til 23dB.



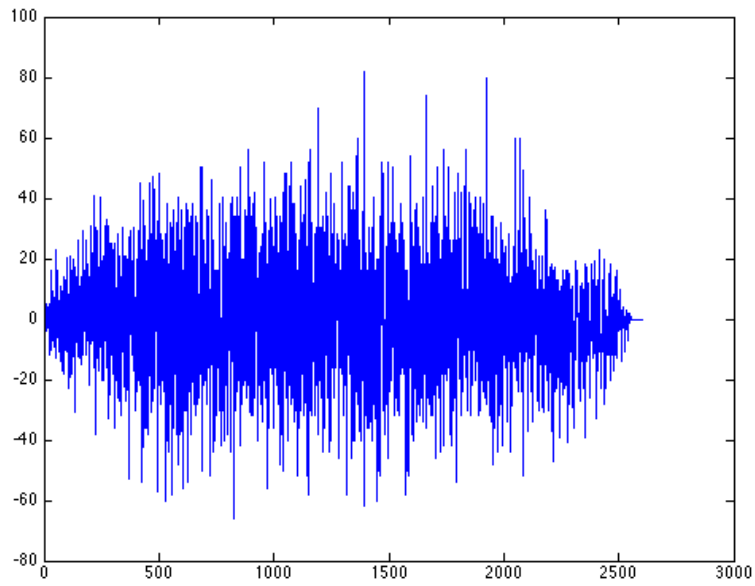
Figur 5.3: Krysskorrelert signal, pn-sekvens med lengde 504, attenuator 23dB.

BER øker kraftig til ca. 30%. Amplituden til de 4 toppene varierer fra 220-250, som tyder på at kommunikasjonen er ustabil, og er i ferd med å bryte sammen. Ved å øke atenuatoren til 27dB, vil vi få en BER på 35-40% figur 5.4 viser at kommunikasjonen er svært ustabil, og sekvens 3 har falt bort.

Ved å fortsette å øke attenuatoren til 29dB, går BER over 40%, og kommunikasjonen bryter sammen. Figur 5.5 viser resultatet av krysskorrelasjonen, der resultatet kun kan tolkes som støy.



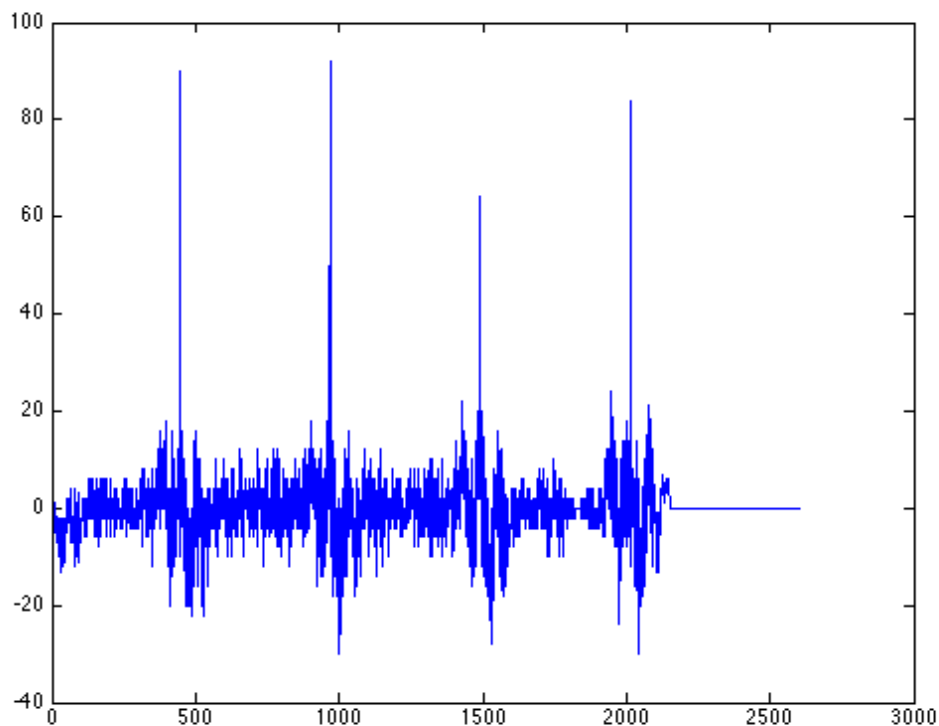
Figur 5.4: Krysskorelert signal, pn-sekvens med lengde 504, attenuator 27dB.



Figur 5.5: Krysskorrelert signal, pn-sekvens med lengde 504, attenuator 29dB.

Ved kodelengde 104, vil kommunikasjonen gradvis bryte sammen på samme måte som med kodelengde 504. Men den vil gjøre dette tidligere. I følge teorien fra kapittel 3, vil en sekvens med lengde 100 gi 7dB dårligere “processing-gain“ enn en sekvens med lengde 500.

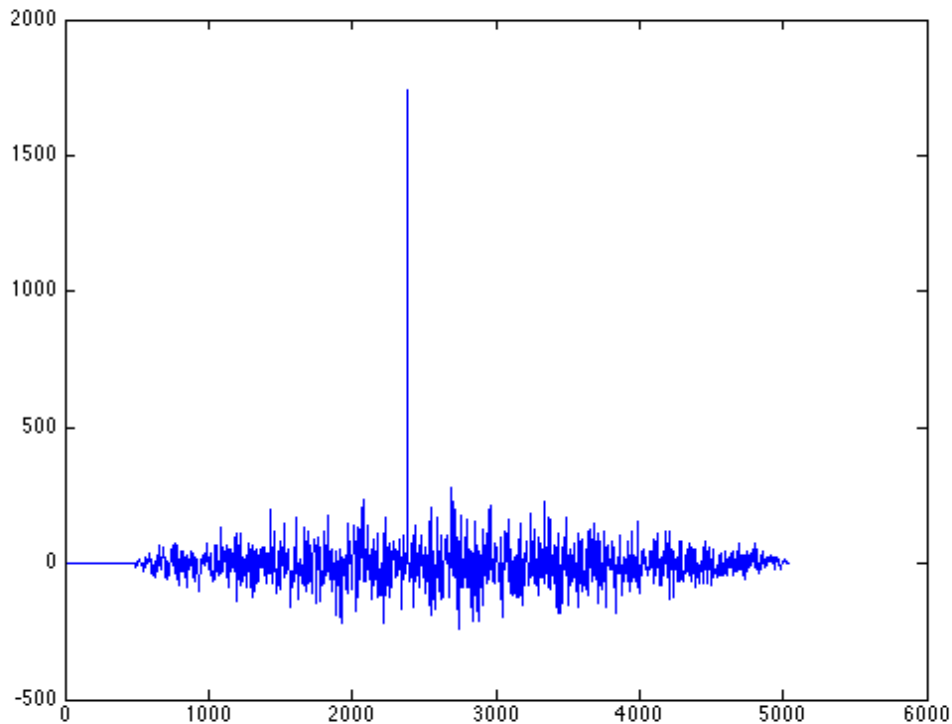
Når attenuatoren settes på 18dB vil det oppstå bitfeil, og kommunikasjonen blir ustabil, som vises på figur 5.6. Over 20dB bryter kommunikasjonen sammen, og krysskorrelering gir støy.



Figur 5.6: Krysskorelert signal, pn-sekvens med lengde 104, attenuator 18dB.

5.3 Multiple access

“Multiple access“ ble testet ved at alle 5 sensorene sendte en kontinuerlig strøm av pn-sekvenser med lengde 504. Datastrømmen fra mottakeren ble oversamlet med 5 ganger datarate, før krysskorrelasjon ble gjort. Figur 5.7 viser resultatet av krysskorrelasjon mellom den mottatte sekvensen, og pn-sekvensen sendt fra sensor 1.

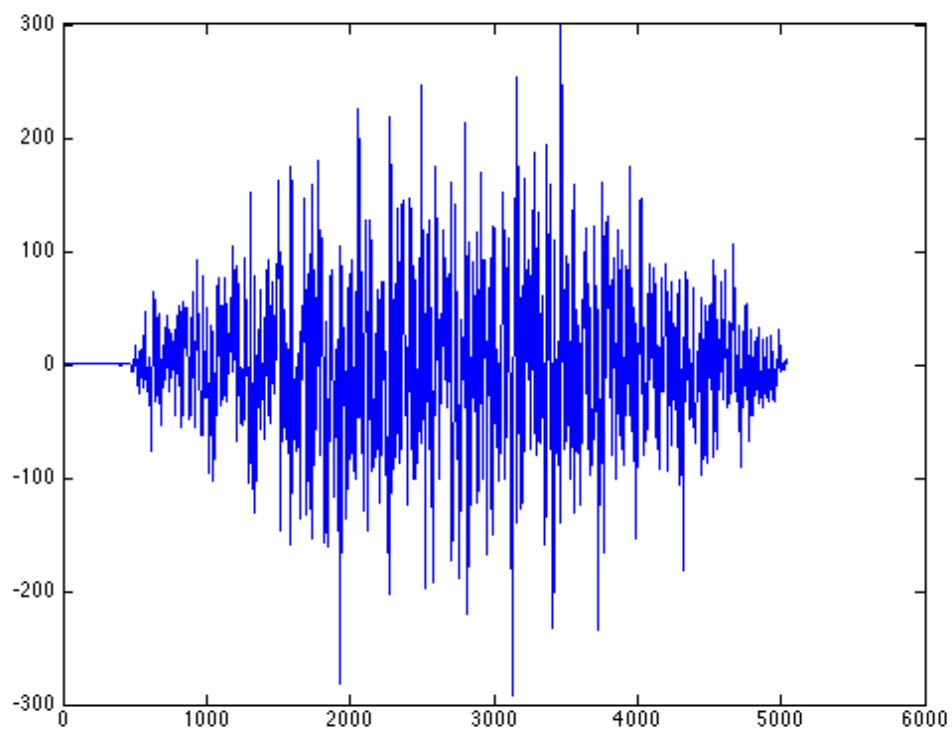


Figur 5.7: Krysskorrelasjon mellom mottatt sekvens og pn-sekvens sensor 1, 5x oversampling.

Krysskorrelasjonen gir en tydelig topp, hvor signalet har en bitfeilrate på ca. 15%.

Ved å krysskorrelere signalet med sekvens 2, ser vi resultatet vist på figur 5.8.

Krysskorrelasjonen gir ingen definert topp, amplitudeverdiene er lave, og signalet er støy. Sekvens 2 har dermed ikke klart å overføre dataene. Det samme resultatet ble observert med de resterende pn-sekvensene, og kun sekvens 1 ble mottatt. Forsøk ble gjort der sensor 1 ble koplet fra slik at kun sensor 2,3,4 og 5 sendte. Resultatet ble at kun sensor 3 ga utslag ved krysskorrelasjon. På mottakeren ble båndbredden økt til 200.000kHz, "Phase Lock Loop" og "Automatic Frequency Calibration" ble deaktivert, men resultatet var fortsatt at mottakeren kun mottok data fra en av sensorene. Og ikke som en sum av sekvensene fra alle sensorene.



Figur 5.8: Krysskorrelasjon mellom mottatt sekvens og pn-sekvens sensor 2, 5x oversampling.

Kapittel 6

Diskusjon

CDMA kommunikasjon Fordelene til CDMA er mange. Til bruk i et trådløst parkeringssensor system egner det seg spesielt godt, hovedsakelig fordi:

- Dataraten er lav og man har mulighet til å adressere sensorene med unike pn-sekvenser.
- Kommunikasjonen er motstandsdyktig mot smalbandstøy.
- Kommunikasjon skjer ved et lavere effektnivå, og blir dermed vanskeligere å avlytte, sabotere, eller forstyrre.
- Nettverksstrukturen er svært enkel og det vil ikke være behov for typiske MAC protokoller som, adressering, aksess kontroll, eller kollisjons deteksjon.

Hoved ulempen med CDMA kommunikasjon vil være effektkravet for å unngå near-farproblematikken, men kompleksiteten til mottaker gjør 2-veis kommunikasjon vanskeligere på grunn av strenge kravene til energiforbruk, samt at man ønsker at sensorene skal være så enkle som mulig. En stor utfordring er derfor å kare å justere effekten med 1-veis kommunikasjon. Dette kan gjøres ved at sensorene blir programmert med økende sendestyrke jo lengde fra basestasjonen de er plassert. Sensoren vil også vite om det står en bil over den, og kan med det justere sendereffekten.

1-, vs 2-veis kommunikasjon 2-veis kommunikasjon har mange fordeler med mulighet for bruk av ACK og overføring av status-, og konfigurasjonsmeldinger. Kommunikasjonen blir sikrere, og muligheten for retransmisjon av meldinger gjør at man kan klare seg med et lavere link budsjett, og dermed spare energi. Med 1-veis kommunikasjon må man sørge for et tilstrekkelig høyt link budsjett, slik at feilraten blir minimal. I CDMA system er mottakeren svært komplisert, og det

kreves hardware akselerator for krysskorrelasjon. Man ønsker at sensoren skal være så enkel som mulig med tanke på energiforbruk og kostnad, det vi derfor være mye å tjene på at man klarer seg med 1-veis kommunikasjon.

Praktiske resultat av CDMA De første forsøkene med CDMA kommunikasjonskanal viste et kodegain som oppførte seg i henhold til teorien. "Multiple accessdelen av CDMA fungerte dårlig, og det var ikke mulig å få reproduerbare resultater som viste at flere signaler kunne sendes over samme link. EZR32 kretsen er designet for smalbåndskommunikasjon, og er "coherent". Funksjoner som AGC, AFC, og bit synkronisering gjør at mottakeren sannsynligvis vil fiksere på ett signal, og forsøke å blokkere andre signal. Basestasjonen bør derfor ha en mottaker som er ikke "coherent", der den mottatte dataen blir være summen av de mottatte signalene.

Kapittel 7

Konklusjon

Et trådløst sensornettverk ble designet og implementert, hvor et kretskort ble laget, og fungerte som sender. Basestasjonen ble realisert med, Silicon Labs Si4463 utviklingskort som radio mottaker, en logikkanalysator som samlet signalet, som til slutt ble krysskorrelert i MATLAB. Forsøk viste at mottakeren klarer å motta data, der en bitstrøm fra mottaker blir demodulert ved å krysskorrelere signalet med pn-sekvensen sendt av sensoren.

Energiberegninger som ble foretatt som viser at den tildelte batterikapasiteten på 2.5Ah, gir en batterilevetid på over 60år.

Mottakeren fungerer ikke tilfredsstillende, og mer arbeid må gjøres for å implementere en mottaker tilpasset CDMA kommunikasjon. Det må også gjøres mer arbeid for å kunne avgjøre om CDMA egner seg som modulasjonsteknikk, med tanke på kravene CDMA har i forhold til sendereffekt.

Bibliografi

- [1] IC Insights. The McClean Report 2015.
- [2] Bajcsy, R., "A Wireless Body Sensor Network for Different Health Related Applications, Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing (SUTC), 2010 IEEE International Conference on , vol., no., pp.1,1, 7-9 June 2010
- [3] Yingli Zhu; Lingqin Xie; Tingting Yuan, "Monitoring system for forest fire based on wireless sensor network," Intelligent Control and Automation (WICCA), 2012 10th World Congress on , vol., no., pp.4245,4248, 6-8 July 2012
- [4] Liu Yong-Min; Wu Shu-Ci; Nian Xiao-Hong, The Architecture and Characteristics of Wireless Sensor Network," Computer Technology and Development, 2009. ICCTD '09. International Conference on , vol.1, no., pp.561,565, 13-15 Nov. 2009
- [5] Cree, J.V.; Delgado-Frias, J., "Management of large-scale wireless sensor networks utilizing multi-parent recursive area hierarchies, Green Computing Conference (IGCC), 2013 International , vol., no., pp.1,6, 27-29 June 2013
- [6] <https://www.q-free.com/about/about-q-free-asa/>
- [7] Fakatselis, John. Processing Gain in Spread Spectrum Signals.
- [8] <http://www.protocols.com/pbook/cdma2000.htm>
- [9] Barry, John R., Lee, Edward A., Messerschmitt, David G. Digital Communication (third edition).
- [10] Turin, G.L., "An introduction to digital matched filters, Proceedings of the IEEE , vol.64, no.7, pp.1092,1112, July 1976 doi: 10.1109/PROC.1976.10274
- [11] Texas Instruments, DN038.