
Posisjonering av mobiltelefoner

- En evaluering av metoder og implementasjon
basert på WLAN signalstyrke.

Espen Kalnes

16. mai 2011
Halden, Norway



Forord

Nøkkelord: Mobiltelefoner, Posisjonering, Signalstyrke, WLAN, Android, Sensorer

Denne rapporten er et resultat av min masteroppgave i informatikk ved Høgskolen i Østfold. Masteroppgaven har omhandler posisjonering av mobiltelefoner. Dette har bestått av å kartlegge mulige posisjoneringsmetoder og deretter gå mer i detalj på en av disse metodene. Metoden som ble valgt ut var posisjonering ved hjelp av WLAN signalstyrke. Det som er spesielt med denne oppgaven er at denne oppgaven ser på hvordan dette kan implementeres på vanlige mobiltelefoner uten ekstra utstyr. Det er blitt fokusert på hvordan dette kan fungere i praktiske situasjoner for å kunne se hva som eventuelt kan påvirke posisjoneringen.

Arbeidet har bestått av en litteraturstudie og praktisk testing. Ved hjelp av disse arbeidsmetodene ble det beskrevet en prosess for å kunne bestemme avstand ved hjelp av WLAN signalstyrken. For å kunne evaluere denne prosessen ble det foretatt noen tester for å bestemme hvor nøyaktige avstandene kunne bli og hvor godt dette kan fungere i en mulig anvendelse.

Innhold

Forord	i
1 Innledning	1
1.1 Motivasjon	2
1.1.1 Mulige anvendelser	2
1.2 Målene	3
1.3 Mobiltelefoner	4
1.3.1 Android	4
1.3.2 Symbian	5
1.3.3 BlackBerry OS	5
1.3.4 webOS	5
1.3.5 iOS	5
1.3.6 Windows Phone	6
1.3.7 Java ME	6
1.3.8 Oppsummering av mobiltelefoner	6
1.4 Relevante teknologier	7
1.4.1 Kommunikasjonsteknologier	7
1.4.2 Sensorteknologier	9
1.4.3 Oppsummering av relevante teknologier	11
1.5 Relatert arbeid	11
1.5.1 An Experimental study of localization using wireless ethernet	11
1.5.2 Redpin-adaptive, zero-configuration indoor localization through user col- laboration	12

1.5.3	On the potential use of mobile positioning technologies in indoor environments	12
1.5.4	Survey of wireless indoor positioning techniques and systems	12
1.5.5	Experiments on local positioning with Bluetooth	13
1.5.6	Localization for mobile sensor networks	13
1.5.7	GPS-Free node localization in mobile wireless sensor networks	13
1.5.8	Collaborative probabilistic constraint-based landmark localization	14
1.5.9	Development and testing of a GPS-augmented multi-sensor vehicle navigation system	14
1.5.10	Distributed localization algorithms	14
1.5.11	Two different approaches for augmented GPS pedestrian navigation	15
1.5.12	Pedestrian dead reckoning: A basis for personal positioning	15
1.5.13	Oppsummering av relatert arbeid	16
1.6	Rapporten	16
2	Metoder	19
2.1	Litteraturstudie	19
2.2	Testing	20
2.3	Datainnsamling	20
2.4	Dataanalyse	21
2.5	Implementasjon	21
2.6	Prosjektorganisering	22
3	Posisjonering på mobiltelefoner	23
3.1	Posisjoneringsmetoder	23
3.1.1	Posisjonering ved hjelp av signalstyrken	24
3.1.2	Posisjonering ved hjelp av overføringstid	30
3.1.3	Posisjonering ved hjelp av bevegelsesregistrering	31
3.1.4	Posisjonering ved hjelp av assistert GPS	34
3.1.5	Relativ GPS-posisjonering	34
3.1.6	Posisjonering ved hjelp av alternative posisjoneringsnettverk	36
3.1.7	Oppsummering av posisjoneringsmetoder	40
3.2	Posisjonering ved hjelp av WLAN signalstyrke	40
3.2.1	Signalstyrken	40

3.2.2	Utjevning av signalstyrken	53
3.2.3	Regresjonsanalyse	56
3.2.4	Avstander opp til 5 meter	57
3.2.5	Avstander opp til 10 meter	59
3.2.6	Oppsummering av posisjonering ved hjelp av WLAN signalstyrke	60
3.3	Implementasjon på mobiltelefoner	60
3.3.1	Rammeverket	61
3.3.2	Applikasjoner	63
3.3.3	Testapplikasjon 1	63
3.3.4	Testapplikasjon 2	64
3.3.5	Testapplikasjon 3	64
3.3.6	Oppsummering av implementasjon på mobiltelefoner	65
3.4	Oppsummering	66
4	Resultater	67
4.1	Posisjonering ved hjelp av WLAN signalstyrke	67
4.1.1	Utjevning av signalstyrken	67
4.1.2	Avstander opp til 5 meter	69
4.1.3	Avstander opp til 10 meter	72
4.2	Implementasjonen	75
4.3	Oppsummering	76
5	Diskusjon	77
5.1	Signalstyrken	77
5.1.1	Signalstyrken på avstand	77
5.1.2	Stabiliteten til signalstyrken	78
5.1.3	Signalstyrken i ulike retninger	79
5.1.4	Signalstyrken ved ulike grep	79
5.1.5	Oppsummering av signalstyrken	80
5.2	Posisjonering ved hjelp av signalstyrken	80
5.2.1	Utjevning av signalstyrken	81
5.2.2	Signalstyrke til avstand	81
5.2.3	Oppsummering av posisjonering ved hjelp av signalstyrken	83
5.3	Implementasjonen	83

5.4	Andre posisjoneringsmetoder	83
5.4.1	Posisjonering ved hjelp av overføringstid	84
5.4.2	Relativ GPS-posisjonering	85
5.4.3	Oppsummering av andre posisjoneringsmetoder	85
6	Konklusjon	87
6.1	Alternative posisjoneringsmetoder på mobiltelefoner	87
6.2	Videre arbeid	88
6.3	Hva jeg har fått ut av denne oppgaven	88
	Referanser	90
A	Protokoll for tester	98
A.1	Forberedelse	98
A.2	Utførelse	98
A.3	Resultater	99
B	Rammeverkets klassesdiagrammer	101
C	R kode	106
C.1	Signalstyrke utjevning	106
C.2	Signalstyrke modell for avstander opp til 5 meter	107
C.3	Signalstyrke modell for avstander opp til 10 meter	108

Kapittel 1

Innledning

Posisjonering har til alle tider vært viktig for det moderne mennesket. I starten gikk posisjonering ut på å lokalisere seg innenfor ulike områder. Dette ble gjort ved å se etter faste landemerker, som for eksempel fjell og hav. Dette var en metode som fungerte bra i kjente områder, men etterhvert som nye områder skulle utforskes trengtes det nye metoder. Ved å bruke endringer i stjernehimmelen kunne det etterhvert mulig å orientere seg i ukjente områder langt unna de kjente landemerkene. Denne metoden forble den viktigste posisjoneringsmetoden i mange år, men på starten av 1900-tallet begynte dette å endre seg. Allerede i 1904 fikk O.Scheller og selskapet Lorenz. A. G. patentert en posisjoneringsmetode som tok i bruk trådløse signaler [46]. Under den andre verdenskrig ble denne metoden videreutviklet slik at den kunne brukes til å geleide fly til de riktige bombemålene og tilbake til rullebanen. Siden den den gang har denne metoden blitt videreutviklet, men selv i dag har flyplasser liknende systemer slik at fly kan lande trygt selv med dårlig sikt.

Mens denne metoden ble videreutviklet med signalkilder på landjorden begynte det forsvaret i USA å lage et liknende system der signalkildene ble inkludert i egne satellitter. I dag kjenner vi dette som GPS. GPS etterhvert blitt åpnet for allmennheten og per dags dato finnes dette i de fleste nye mobiltelefoner, i hvert fall i vår del av verden. Ser man på hvordan denne posisjoneringsmetoden i forhold til de tidligere metodene er denne en stor forbedring. Med GPS er det mulig å kunne finne den globale posisjonen, med noen få meters nøyaktighet [47], ved kun noen få trykk på mobiltelefonen. Selv om dette er en forbedring i fra tidligere posisjoneringsmetoder er det alltid rom for forbedring.

1.1 Motivasjon

I et av masterstudiets tidligere kurs, Mobile applikasjoner, hadde jeg et prosjekt kalt MR-ball [28]. MR-ball prosjektet brukte en kombinasjon av Blåtann og GPS for å hente ut relative posisjoner, som ble brukt til å kontrollere et spill på mobiltelefoner. Dette krevde at mobiltelefonene kunne posisjonere med en forholdsvis god nøyaktighet ettersom Blåtann-teknologien hadde en begrenset rekkevidde. Resultatene av dette prosjektet viste at nøyaktigheten til GPS i slike situasjoner ikke var god nok. Selv om denne kombinasjonen ikke fungerte tilfredsstillende syntes jeg det var meget interessant å jobbe med posisjonering. I en diskusjon med mine veiledere kom jeg frem til at det kunne være interessant å se på andre kombinasjoner av teknologier, som muligens kunne fungere bedre i slike situasjoner. Etterhvert som oppgaven utviklet viste det seg at det var WLAN signalstyrke-posisjoneringen som var mest interessant og det ble dermed denne posisjoneringsmetoden som fikk fokuset.

1.1.1 Mulige anvendelser

WLAN signalstyrke-posisjonering er utgangspunktet bedre egnet til relativ posisjonering enn det GPS-posisjonering er. Bruker man GPS-posisjonering vil man alltid få posisjonene i forhold til absolutte posisjoner, skal man ha relative posisjoner må man dermed ha to absolutte posisjoner. Dette er forholdsvis greit hvis den andre posisjonen er fast, men hvis dette er et mobilt punkt, som for eksempel en annen mobiltelefon, vil dette kreve en posisjonsutveksling mellom partene. Dette fungerer ikke alltid like godt [28]. WLAN signalstyrke-posisjonering derimot er i seg selv en relativ posisjoneringsmetode og trenger ikke å vite posisjonen til motparten(e) for å kunne finne sin egen relative posisjon. Skal man bruke posisjonering i situasjoner der to eller flere mobiltelefoner skal samarbeide er det gjerne relative posisjoner man er ute etter. Dermed kan dette være en meget relevant posisjoneringsmetode for mobiltelefoner. Et eksempel på slike samarbeids anvendelser er MR-ball prosjektet, men det finnes også andre mulige anvendelser. Ettersom de fleste andre posisjoneringsmetoder også er relative kan det være flere metoder som kan være relevante i slike sammenhenger, men i denne oppgaven ligger fokuset på WLAN signalstyrken.

Skattejakt

En mulig anvendelse kan være en skattejakt. I teorien kan dette gjøres på samme måte som vanlig navigasjon slik vi er kjent med fra GPS-navigeringen i biler. Problemet med denne typen navigasjon i en slik anvendelse er GPS-nøyaktigheten. Ønsker man for eksempel at denne typen anvendelser

skal brukes innenfor et begrenset areal, for eksempel 10x10 meter, vil GPS-nøyaktigheten sannsynligvis være for dårlig. Ved å bruke WLAN signalstyrken kan man for eksempel hente ut den relative avstanden til et WLAN aksesspunkt, som kan fungere som “skatten”. ut i fra denne avstanden kan det bli lagt inn en rekke utfordringer for for eksempel at man skal gå i en spesiell retning før man kommer til neste utfordring. Retningen kan for eksempel registreres med et kompass eller ved å bruke relative posisjoner til to WLAN aksesspunkter. Ved hjelp av to eller flere signalkilder er det mulig å bestemme relative lengdegrader og breddegrader på samme måte som GPS.

MR-ball

I prosjektet MR-ball ble det brukt relativ GPS-posisjonering til å bestemme relative avstander. Dette ble gjort ved GPS utveksling over Blåtann. I denne anvendelsen ble den relative avstanden brukt til å kontrollere en virtuell ball. Ved å bruke relativ WLAN signalstyrke-avstand er det mulig at dette konseptet kunne fungert bedre. Den relative avstanden ville da kunne blitt hentet ut direkte slik at det ikke var nødvendig å sende posisjonsdata mellom mobiltelefonene. Etersom WLAN også har lengre rekkevidde enn Blåtann kunne bruksavstanden også blitt lengre, dette var noe som var spesielt problematisk i MR-ball prosjektet [28].

1.2 Målene

På grunnlag av mitt ønske om å kartlegge kombinasjoner av teknologier, som kunne brukes til posisjonering, endte denne oppgaven med å kartlegge ulike posisjoneringsmetoder for mobiltelefoner.

De fleste føler nok at GPS gir dem mer enn gode nok posisjoner slik posisjonering brukes i dag, men etterhvert som vi utvikler oss kommer vi på nye anvendelser der dagens GPS ikke lenger er god nok. Dette kan for eksempel være at vi trenger enda bedre nøyaktighet på posisjonene, eller at vi trenger en mer pålitelig posisjoneringsmetode. Slik jeg ser det i dag virker det som om de fleste nye posisjoneringsanvendelsene vil basere seg på mobiltelefoner. Dette ble dermed et naturlig utstyrs valg.

Selv om det er GPS som er kongen på haugen av posisjoneringsmetoder i dag har det også blitt jobbet med andre metoder. Problemet med disse arbeidene er at de ikke får resultatene ut til forbrukerne. En slik posisjoneringsmetode er for eksempel WLAN signalstyrke-posisjonering. Hadde arbeidet med slike metoder vært mer åpent kunne man kanskje brukt dette som et reelt alternativ til GPS i mange situasjoner.

Formålet med oppgaven har vært som følger:

- Vise at det finnes alternative posisjoneringsmetoder til GPS.
- Demonstrere at noen av disse posisjoneringsmetodene kan implementeres på mobiltelefoner.
- Øke mine analytiske evner og min kompetanse innenfor emnet mobil posisjonering.

Resultatmålene til oppgaven har vært å:

- Lage en oversikt over posisjoneringsmetoder som kan implementeres på mobiltelefoner.
- Komme frem til en beskrivelse av hvordan WLAN signalstyrke-posisjonering kan implementeres og fungere på mobiltelefoner.

1.3 Mobiltelefoner

Mobiltelefoner har vært med oss i flere år, men det var først ved tusenårsskiftet at de begynte å bli allemannseie. På samme tid begynte også noen av mobiltelefonene å inkludere flere teknologier, som for eksempel GPRS og Blåtann. Dette åpnet for flere muligheter som for eksempel surfing på Internett. For å kunne utnytte alle de nye teknologiene ble også programvaren etterhvert mer avansert. Noen av mobiltelefonene åpnet etterhvert for så mange muligheter at de ble kalt for smarte mobiltelefoner. Slike smarte mobiltelefoner gav brukeren mer frihet til selv å bestemme hvilken programvare som skulle kjøre. I dag ser vi at slike smarte mobiltelefoner er blitt meget populære.

For at brukeren skal kunne velge hvilke programmer som skal kunne kjøre på mobiltelefonene kreves det en grunnprogramvare. Dette kalles gjerne for en plattform. Plattformen fungerer som et lag i mellom selve maskinvaren og de programmene som brukeren kan påvirke. Noen plattformer lar programmene få fri tilgang til det meste av maskinvaren, mens andre gir en mer begrenset tilgang. Skal man bruke flere deler av maskinvaren er det derfor viktig å velge en mobiltelefon med en mindre begrenset plattform.

1.3.1 Android

Android er en plattform laget for mange ulike enheter, som for eksempel mobiltelefoner. Denne plattformen er utviklet av Open Handset Alliance [8] og er en forholdsvis åpen plattform. Dette betyr at det i utgangspunktet skal være mulig å bruke plattformen slik man selv ønsker. Android-plattformen består av et grunnleggende operativsystem med et overliggende brukergrensesnitt. Selve operativsystemet er bygget på den frie Linux kjernen som også brukes på vanlige datamaskiner. Brukergrensesnittet består av et standard grensesnitt som kan utvides med valgfrie applikasjoner.

I løpet av de to og et halvt årene plattformen har vært på markedet har det kommet en lang rekke versjoner av plattformen, versjon 1.1, 1.5, 1.6, 2.0, 2.1, 2.2, 2.3 og 3.0. I dag er det versjon 2.2 som er mest brukt [7]. En av de store forskjellene mellom denne versjonen i forhold til forgjengeren er at den kan får mobiltelefonen til å fungere som et WLAN aksesspunkt, som annet WLAN utstyr kan koble seg til.

1.3.2 Symbian

Symbian har vært den mest brukte plattformen for mobiltelefoner i mange år. Plattformen har vært å finne på mobiltelefoner i fra de fleste av de store mobiltelefon produsentene, som for eksempel Nokia og Sony Ericsson. Populariteten til denne plattformen har som med andre aldrende plattformer begynt å dabbe av. Dette kan komme av at plattformen ikke har klart å henge med på den raske utviklingen som markedet har hatt de siste årene. Den 11 februar 2011 gikk Nokia, den viktigste Symbian produsenten, ut og informerte at de vil slutte med Symbian plattformen på sine smarte mobiltelefoner [38]. Utvikling av applikasjoner til denne plattformen har vært mulig ved hjelp av flere programmeringsspråk som for eksempel C++ og Phyton. Dette har gjort at utviklere har hatt stor frihet til plattformen og maskinvaren.

1.3.3 BlackBerry OS

Dette er den proprietære plattformen som brukes på BlackBerry enheter fra produsenten RIM. Dette er en plattform som aldri har vært spesielt utbredt i vår del av verden. Utvikling på denne plattformen gjøres i hovedsak med Java [27] og har noe begrenset tilgangen til maskinvare.

1.3.4 webOS

Dette er plattformen som brukes på nyere Plam/HP mobile enheter. Enheter med WebOS ble tilgjengelig i 2009, men har ikke fått skikkelig fotfeste. WebOS baserer seg i likhet med Android på Linux kjernen. Dette er en plattform som kan bli populær på et senere tidspunkt, ettersom HP visstnok også skal begynne å forhåndinstallere denne plattformen på sine nye PC-er i 2012 [13]. I likhet med BlackBerry OS er denne plattformen noe begrenset for utviklere og dermed også brukere.

1.3.5 iOS

iOS er Apples proprietære mobile plattform. Plattformen brukes på alle Apples mobile enheter og kan ikke brukes av andre produsenter. Denne plattformen har blitt forholdsvis populær i Norge

og andre vestlige land. Dette er en meget lukket plattform som er fullstendig kontrollert av Apple. Dette gjør at det kan være problematisk å utvikle til plattformen, spesielt hvis man trenger tilgang til mye av maskinvaren.

1.3.6 Windows Phone

Windows Phone er det nye navnet på Microsofts mobile plattformer, som tidligere gikk under navnet Windows Mobile. Dette er plattformer som er bygget på Microsoft Windows Embedded CE, eller Embedded Compact som det nå heter. I Norge er det i hovedsak bare den aldrende Windows Mobile plattformen som er aktuell, men høsten 2011 vil Microsofts nye plattform, kalt Windows Phone 7, bli lansert her i landet. Windows Mobile er og har i mange år vært en av de mest aktuelle plattformene når man har trengt god tilgang til maskinvaren. Plattformen gir god tilgang til maskinvaren både direkte og ved hjelp av rammeverk som ligger ovenpå plattformen. Problemet med denne plattformen er at den aldri har hatt de store brukermassene og er som Symbian blitt markert en døende plattform.

Den nye Windows Phone 7 plattformen er i motsetning til sine forgjengere en forholdsvis lukket plattform. Den er ikke like lukket som iOS, men har en rekke begrensninger på hvordan applikasjoner samhandle. Tilgangen til maskinvaren kan bare gjøres ved å bruke ferdige rammeverk som begrenser tilgangen til mye av maskinvaren. Denne plattformen er forholdsvis ny, ble sluppet i deler av verden 21 oktober 2010, og har ikke rukket å skaffe seg de store brukermassene.

1.3.7 Java ME

Java ME er en plattform som ligger ovenpå andre plattformer. Dette har ført til at applikasjoner har kunnet kjøre på enheter med forskjellige hovedplattformer, som for eksempel Windows Mobile og Symbian. Dette var i flere år en av de mest populære applikasjonsplattformene for mobile applikasjoner. Problemet med denne plattformen er at de nye hovedplattformene har sluttet å inkludere denne plattformen. Det er dermed ikke mulig å bruke Java ME på mange av de nye mobiltelefoner.

1.3.8 Oppsummering av mobiltelefoner

I tillegg til de nevnte plattformene finnes det andre mindre plattformer som for eksempel MeeGo, bada og MeeGo. Denne oppgaven har sett på hvordan alternative posisjoneringsmetoder kan implementeres på mobiltelefoner. Dermed var det viktig å ha tilgang til mobiltelefoner med god tilgang til eventuelle teknologier. For at dette skulle kunne representerer hvordan dette skulle kunne

implementeres på vanlige mobiltelefoner var det også viktig at det ikke ble brukt en spesiell type mobiltelefoner. Ut i fra denne oversikten over plattformer ble det bestemt at det skulle brukes mobiltelefoner med Android-plattformen. Ved å bruke denne plattformen var det god tilgang til maskinvaren og et godt og omfattende utviklingsmiljø.

Selv om de fleste mobiltelefoner med Android-plattformen i dag har de samme teknologiene er det fortsatt forskjeller på resten av maskinvaren. Noen mobiltelefoner, spesielt de billige, har forholdsvis svak maskinvare i form av en treg prosessor og lite minne. For å unngå dette ble det i denne oppgaven brukt to HTC Desire mobiltelefoner som hadde forholdsvis god maskinvare. I tillegg til å ha brukbar maskinvare hadde disse også versjon 2.2 av Android-plattformen, noe som var viktig for å kunne teste WLAN. Uten WLAN aksesspunkt funksjonalitet som kom med denne versjonen ville det blitt vanskelig å teste WLAN signalstyrken. Det ville de vært nødvendig å teste med stasjonært WLAN utstyr, som for eksempel WLAN rutere.

1.4 Relevante teknologier

De siste årene har det blitt vanlig å ha flere kommunikasjons-og sensorteknologier i mobiltelefoner. Dette har og kan åpne for at mobiltelefoner kan få nye anvendelser. Teknologiene kan deles inn i to grupper, kommunikasjonsteknologier og sensorteknologier. Kommunikasjonsteknologier vil kunne være de som kan brukes til å sende og motta data fra andre mobiltelefoner eller Internett. Sensorteknologier vil kunne være de som kun registrerer ulike verdier, som for eksempel endringer i miljøet rundt mobiltelefonen.

1.4.1 Kommunikasjonsteknologier

Kommunikasjonsteknologiene er selve grunnsteinene i mobiltelefoner, uten disse ville de kun vært små individuelle datamaskiner. Ved hjelp av disse kan to eller flere mobiltelefoner kobles sammen og slik at informasjon kan utveksles.

RFID

RFID (Radio Frequency IDentification) er i utgangspunktet en kommunikasjonsteknologi som kan brukes til å sende data trådløst to veier, men blir for det meste kun brukt til enveiskommunikasjon og som en sensor [19]. En av de store fordelene med denne teknologien er at den er meget strømgjerrig. Dette er en teknologi som har kommet sakte men sikkert over en rekke år. Enn så lenge er det ikke

vanlig å ha dette i mobiltelefoner. Dette faktumet gjør at denne teknologien ikke er fullt så relevant per dags dato.

NFC

NFC (Near Field Communication) er en teknologi laget for kommunikasjon på kort avstand [19]. I likhet med for eksempel RFID er dette er teknologi som ikke er laget for store mengder data, men for identifisering. Mens RFID kan brukes mer aktivt over flere meter må NFC brukes på avstander på noen få centimeter. NFC er kompatibel med passive RFID brikker, men denne kompatibiliteten fungerer ikke den andre veien.

Blåtann

Blåtann er en kommunikasjonsteknologi som i dag finnes i tilnærmet alle mobiltelefoner. Teknologien er spesielt tilpasset kortdistanse-kommunikasjon mellom to eller flere enheter. De eldre og mest vanlige versjonene av denne teknologien er ikke spesielt strømgjerrige, men med de nyere versjonene skal dette bli forbedret. Dermed kan denne teknologien om noen få år også kunne konkurrere mot teknologier som RFID og NFC, som er meget strømgjerrige.

En ulempe med denne teknologien er at Blåtann har forholdsvis lang aktiveringstid [15, 9] i forhold til for eksempel WLAN. Dette er i hovedsak testet på en eldre standarder, versjon 2.0 [15] og versjon 1.1 [9], dermed kan dette ha blitt bedre med nyere versjoner. I følge spesifikasjonene for versjon 2.1 [14] skal dette ha blitt forbedret.

WLAN

WLAN er en trådløs kommunikasjonsteknologi laget for overføring av store mengder data. Problemet med WLAN er at teknologien bruker forholdsvis mye strøm i forhold til de andre kommunikasjonsteknologiene. Den største utfordreren til WLAN er Blåtann-teknologien. Disse teknologiene er teknisk sett meget like, men WLAN er i motsetning til Blåtann bygget opp slik at det alltid er en enhet som styrer nettverket og kommunikasjonen. Vanligvis er disse styreenhetene WLAN aksesspunkt eller WLAN rutere. Skal to eller flere mobiltelefoner kommunisere uten slikt utstyr må en av mobiltelefonene kunne settes opp som en slik styreenhet.

GPRS og 3G

GPRS og 3G er i denne sammenhengen nokså likt. I motsetning til de andre kommunikasjonsteknologiene bruker disse det mobile telenettverket til å overføre data. Dette gjør at man ikke trenger å ta hensyn til rekkevidden i mellom enheten som skal kommunisere. Problemet med dette er derimot at det krever at man befinner seg et sted der man har tilgang til det mobile telenettverket.

1.4.2 Sensorteknologier

Sensorer er i hovedsak en forholdsvis ny ting i mobiltelefoner. Det var først på midten av 2000-tallet at produsentene begynte å inkludere innebygde sensorer. Siden den gang har det kommet flere og flere sensorer. Den typen sensorer som er mest vanlig er de som brukeren selv kan manipulere, dermed er det for eksempel ikke slik at enhetene i dag er mobile værstasjoner.

GPS

GPS (Global Positioning System) er det eneste reelle alternative for posisjonering på mobiltelefoner slik situasjonene er i dag. Det finnes andre spesielle systemer, men disse er ikke i nærheten av å være klare for forbrukere i vår del av verden. GPS bruker satellitter til å triangulere frem en absolutt posisjon. Denne posisjonen kan bestemmes med en nøyaktighet ned til 5 meter [47], alt etter forholdene. Er man i bevegelse kan nøyaktigheten variere kraftig dermed er det vanligvis er innebygget en filtreringsmetode, et Kalman-filter, som prøver å korrigere for de største feilene. Dette gjøres ved å prøve å forutsi kursen mot de nye posisjonene ut i fra de forrige posisjonene. På denne måten lages det en forutsetning at den neste posisjonen er i nærheten av denne kursen. Ettersom man i noen tilfeller virkelig ikke følger denne kursen kan det ta en liten stund før systemet oppdager at forutsetningene er feil. Dette kan man oppdage hvis man følger med på GPS-posisjonene mens man sitter i en bil som tar en brå sving. Et stort problem med GPS er at det er avhengig av å ha kontinuerlig tilgang på satellittsignaler. Dette skaper gjerne trøbbel i tunneler eller inne i bygninger. Bruker man GPS over en lengre periode vil man også merke at GPS er meget strømkrevende.

Elektronisk kompass

Elektronisk kompass fungerer som et hvilket som helst kompass. Det registrerer retningen mot omgivelsens sterkeste magnetfeltet. Dette er som regel Nordpolen, men er man for eksempel nær en kraftig magnet vil kompasset peke mot denne. Denne sensoren er gjerne satt i sammen av tre

kompasser slik at magnetismen blir målt i alle retninger opp/ned, høyre/venstre og frem/tilbake. På denne måten trenger man ikke holde mobiltelefonen flatt for at kompasset skal fungere presist.

Akselerometer

Et akselerometer er en sensor som registrerer eksterne krefter [10]. Denne sensoren fungerer vanligvis i flere retninger. Det mest vanlige i dag er at akselerometeret kan registrere krefter opp/ned, høyre/venstre og frem/tilbake. Ettersom alt som befinner seg på jorden blir påvirket av jordens tyngdekraft vil dette alltid påvirke en slik sensor.

Gyroskop

Gyroskopiske sensorer fungerer på mye av den samme måten som akselerometerne, men gyroskopene gir i stede ut verdiene slik at man kan se orienteringen [10]. I likhet med akselerometeret registrerer denne sensoren vanligvis tre typer verdier. På denne måten kan den registrere vippe bevegelser frem/tilbake og til sidene, samt endringer i retning. På noen mobiltelefoner blir dette simulert ved hjelp av akselerometer-og kompassverdier.

Lys-sensor

Lys-sensorer eller fotosensitive-sensorer reagerer på lys og kan bestemme hvor sterke lysforholdene er. Slike sensorer brukes gjerne for å justere eller slå av lyskilder som for eksempel mobiltelefon-skjermer.

Nærhetssensor

Avstandssensoren er gjerne knyttet til lys-sensoren [24]. Denne sensoren fungerer vanligvis ved å registrere lysstyrken ved hjelp av lys-sensoren. Ut i fra lysstyrken kan den registrere om mobiltelefonen er i en bukselomme eller om den ligger fremme på et bord. Det er dermed en meget begrenset sensor.

Kamera

Kamera har vært vanlig på mobiltelefoner i mange år. Dette kan vanligvis brukes til både video og stillbilder. I praksis kan man bruke kameraet som en avansert lys-sensor. I motsetning til lys-sensoren kan kameraet gi mer beskrivende verdier, som for eksempel farge, og ikke bare intensitet.

1.4.3 Oppsummering av relevante teknologier

Som nevnt i denne seksjonen er mange tilgjengelige teknologier på dagens mobiltelefoner, men ikke alle er like relevante i sammenheng med posisjonering. Den mest relevante teknologien er GPS. Dette kommer av at denne teknologien i seg selv gir ut posisjoner. Problemet med å kun bruke denne teknologiene til posisjonering er at man da også får med seg teknologiens ulemper. Dette fører til at man for eksempel må leve med nøyaktigheten på noen meter og posisjoneringsavbrudd, når man for eksempel går inn i bygninger.

1.5 Relatert arbeid

Det finnes mange alternative posisjoneringsmetoder, og mange av disse tar også i bruk teknologier man kan finne på mobiltelefoner. Problemet med disse metodene er at det er gjort lite arbeid med å få disse implementert på mer vanlig utstyr. De er gjerne blitt testet på spesiallaget utstyr og/eller under spesielle omstendigheter som for eksempel i laboratorier.

1.5.1 An Experimental study of localization using wireless ethernet

Dette arbeidet [25] ser på hvordan man kan bruke trådløse WLAN nettverk til å lokalisere roboter i et kjent miljø. Dette gjøres ved å kartlegge signalstyrken til WLAN nettverk. Dette krever at man først går rundt og måler disse verdiene i hele det ønskede anvendelsesområdet. For å kunne relatere signalstyrken til en posisjon krever dette at man på forhånd kjenner måleposisjonen, enten om det er nøyaktige posisjoner eller kun enkle lokasjoner. Etter å ha gjennomført disse målingene sitter man på en stor database eller et kart der hver posisjon/lokasjon er listet opp med sine respektive signalstyrkeverdier. Når man senere skal bruke denne posisjoneringsmetoden måles først den aktuelle signalstyrken. Deretter sammenliknes denne med databasen og man kan få ut posisjonen/lokasjonen.

I dette prosjektet konkluderte de med at denne posisjoneringsmetoden kunne fungere med en nøyaktighet på 0,5 meter. Dette forutsetter at man er innenfor det kartlagte området og at forholdene ikke endrer på seg etter at signalstyrkene blir kartlagt. Dette prosjektet implementerte dette på roboter i et stabilt miljø og dermed var det få endringer underveis.

1.5.2 Redpin-adaptive, zero-configuration indoor localization through user collaboration

I likhet med det forrige arbeidet så dette arbeidet [15] på hvordan man kan bruke signalstyrken til posisjonering. Dette arbeidet ser på hvordan dette kan gjøres med systemet Redpin, som er et innendørs posisjoneringssystem for mobile enheter. Ettersom dette er et proprietært system ble ikke selve posisjoneringsmetoden beskrevet i detalj, men dette viser at at dette kan fungere på mobile enheter, slik som mobiltelefoner. Dette systemet fungerer ved å måle signalstyrken til stasjonære Blåtann, WLAN og GSM signalkilder. Ut i fra signalstyrken til de ulike signalkildene beregner systemet ut den mobile enhetens relative posisjon. Hvis ikke systemet klarer å finne posisjonen ut i fra noen av disse kildene beregner systemet nye posisjoner ut i fra de tre siste posisjonene. På denne måten kan dette også fungere når signalene forsvinner.

1.5.3 On the potential use of mobile positioning technologies in indoor environments

Dette arbeidet [20] ser på hvordan flere forskjellige posisjoneringsmetoder kan brukes i praksis. Det bli beskrevet en rekke forskjellige metoder som for eksempel kan implementeres med GPS, Blåtann eller WLAN. Noen av disse metodene er signalstyrke posisjonering, der man bestemmer avstanden til signalkildene, og overføringstidsposisjonering, der avstandene blir bestemt ut i fra hvor lang tid signalene bruker mellom sender og mottaker. Metodene blir ikke beskrevet i detalj ettersom dette arbeidet fokuserer på mulige anvendelser av disse.

1.5.4 Survey of wireless indoor positioning techniques and systems

I dette arbeidet [35] blir ulike trådløse posisjoneringsmetoder sammenliknet ut i fra kostnad og nøyaktighet. Arbeidet består i tillegg av en beskrivelse av metodene som viser kompleksiteten. Ettersom triangulering står sterkt i de fleste posisjoneringsmetodene er det også inkludert en god beskrivelse av hvordan dette kan gjøres. Resultatene av dette arbeidet viste for eksempel at ulike metoder for WLAN signalstyrke posisjonering kan bestemme posisjoner med en nøyaktighet på 1 til 5 meter. Full oversikt over resultatene kan man se i deres tabell 1 på side 11 [35]. Dette er dermed en fin referanse for mine resultater, hvis mine resultater ligger i nærheten av disse kan dette vise at dette også kan fungere på mobiltelefoner.

Noe av konklusjonen av det dette arbeidet konkluderte med var at det bør brukes mer resurser på å lage nye teknikker som kunne gjøre bruken enklere. Dette er nettopp det jeg har prøvd i denne oppgaven.

1.5.5 Experiments on local positioning with Bluetooth

Dette er et arbeid [29] som ser på hvordan man kan posisjonere kun ved hjelp av Blåtann-teknologien. De relevante posisjoneringsmetodene som blir beskrevet består av å bruke overføringstiden, på signalene mellom sender og mottaker, og signalstyrken. I tillegg til å beskrive metodene blir det sett på ulike problemstillinger rundt metodene. For eksempel at overføringstidsmetoden krever eksakt timing og at signalstyrken kan være uberegnelig.

Ved å måle signalstyrken fra en enhet til en annen og deretter filtrere dette med et extended Kalman filter klarte de i dette arbeidet å bestemme posisjoner med en nøyaktighet på 3,76 meter.

1.5.6 Localization for mobile sensor networks

I dette arbeidet [26] har de sett på problemstillingen som oppstår når enhetene som skal posisjoneres er i bevegelse. Er det bevegelse vil posisjonen endre seg meget raskt og man kan for eksempel ikke ta utgangspunktet i at for eksempel signalstyrken skal være stabil på en verdi. For å håndtere dette ser dette arbeidet på en metode kalt Monte Carlo localization (MCL). Dette er en filtreringsmetode som forsøker å forutsi den neste posisjonen basert på de foregående posisjonene. Det viste seg at denne metoden fungerer forholdsvis godt hvis de forrige posisjonene er korrekte og det ikke er brå endringer i retninger eller fart. Hvis ikke vil metoden kunne gi forholdsvis store posisjoneringsavvik, spesielt hvis posisjonene ikke blir rettet opp med jevne mellomrom.

Resultatet av dette arbeidet viste at denne problemstillingen med bevegelse kunne håndteres og at nøyaktigheten på posisjonene kunne bli bedre med en slik filtreringsmetode på toppen.

1.5.7 GPS-Free node localization in mobile wireless sensor networks

Trådløse posisjoneringsmetoder bygger gjerne på signalstyrken til teknologien. Dette arbeidet [1] tok derimot for seg en metode der man bruker overføringstiden på signalene for å bestemme den relative posisjonen. Posisjoneringsmetoden som ble brukt gikk ut på å bruke overføringstiden brukes til å bestemme avstanden, mens et kompass ble brukt til å bestemme retningen. Overføringstidsmetoden som ble brukt kalles for Time of Arrival (TOA). Denne fungerer ved å finne tiden signalene bruker på å komme fra senderen til mottakeren. Arbeidet kom frem til at dette var praktisk mulig, men at det var vanskelig å ta tiden riktig ettersom det var snakk om så korte tider.

1.5.8 Collaborative probabilistic constraint-based landmark localization

Dette arbeidet [44] ser på hvordan man kan bruke visuelle landemerker til å bestemme en posisjon. Landemerkene som dette prosjektet tok i bruk var både permanente, slik som bygninger, og mobile, slik som mennesker. I dette arbeidet beskrev de hvordan de hadde brukt dette slik at flere roboter kunne forholde seg til hverandre i et gitt område. Posisjoneringen brukte kameraer og bildegjenkjenning. Ved å utstyre hver robot med et kamera var det mulig for robotene å relatere seg til hverandre og resten av miljøet. Dette fungerte ved at robotene tok oppdaterte bilder og skilte ut landemerkene. Landemerkene ble så sjekket opp i mot et register med posisjonen til hvert landemerke. Ut i fra disse posisjonene kunne robotene bestemme sine egne posisjoner ettersom kombinasjoner av de ulike landemerkene bare kunne sees fra spesielle posisjoner. Med denne posisjoneringsmetoden kunne hver robot bli posisjonert med en nøyaktighet ned mot 0,1652 meter.

1.5.9 Development and testing of a GPS-augmented multi-sensor vehicle navigation system

Ettersom GPS-navigering er avhengig av åpen himmel kan man få problemer når man beveger seg inn i store tettbebygde byer, tunneler eller dype daler. Dette arbeidet [43] har sett på hvordan man kan begrense disse problemene ved å inkludere andre sensorverdier. Det ble eksperimentert med flere ulike sensorer som for eksempel gyroskop. Ettersom dette prosjektet i hovedsak var vinklet mot bilnavigasjon hadde de også tilgang til verdier i fra bilens egne systemer. Posisjoneringsmetoden som ble tatt i bruk i dette prosjektet var bygget på Dead reckoning (DR), eller bestikkregning som det kalles innen sjøfart. Dette går ut på at man går ut i fra en kjent posisjon og deretter fortsetter å beregne nye posisjoner ut i fra verdier som fart og retning. Dette prosjektet brukte disse ulike sensorene til å bestemme disse nye posisjonene i de situasjonene der GPS-signalene forsvant.

Arbeidet kom frem til at navigeringen kunne fungere tilnærmet 100% ved å kombinere en enkel gyroskopisk sensor og bilens innebygde ABS med en vanlig GPS. Nøyaktigheten det ble jobbet med i dett prosjektet var 20 meter og dermed kan ikke dette direkte kalles en presisjonsposisjoneringsmetode, men i det aktuelle anvendelsesområdet var det mer en godt nok.

1.5.10 Distributed localization algorithms

Med temaet, lokalisering basert på ad-hoc sensor-nettverk, så dette arbeidet [34, 33] på algoritmer som kunne fungere som alternativer til GPS-posisjonering. For å få til dette ble det beskrevet en posisjoneringsmetode basert på trådløse nettverk. Ut i fra beskrivelsen måtte flere enheter først

kobles i sammen i et nettverk. Ved å la enhetene finne sine posisjoner i forhold til sine naboer og deretter se hvordan disse var i forhold til naboenes posisjoner kunne det bygges opp et relativt posisjoneringssystem. Dette kunne utvides til å gi absolutte posisjoner slik som GPS posisjoner ved å la en eller flere av enhetene fungere som referansepunkt i det relative nettverket.

Konklusjonen i dette arbeidet var at denne måten posisjoneringsmetoden kunne gjøres forholdsvis lett så lenge enhetene opprettholdt kommunikasjonen og holdt seg innenfor hverandres kommunikasjonsrekkevidde. Dette var i hovedsak en posisjonering metode som ble beregnet på et større antall enheter, men mye av arbeidet som ble gjort i dette arbeidet kan også brukes på et mindre antall enheter.

1.5.11 Two different approaches for augmented GPS pedestrian navigation

I dette arbeidet [31, 30] tok de for seg hvordan man kan forbedre GPS-navigering ved å håndtere problemene som kan oppstå når GPS-signalene ikke er tilgjengelige. I motsetning til Development and testing of a GPS-augmented multi-sensor vehicle navigation system var dette arbeidet fokusert på et mer portabelt system og ikke for bilnavigasjon. Ved å kombinere GPS med et kompass eller et gyroskop kunne de i dette prosjektet fortsette å navigere rundt til fots uten problemer selv om GPS-signalene forsvant. I eksperimenter kom det frem at nøyaktigheten fortsatt holdt seg ned mot 5 meter selv om GPS signalene i perioder forsvant. Selv om kompasset og gyroskopet ikke ble kombinert i dette prosjektet kom det frem at resultatene muligens kunne bli bedre hvis begge sensorene ble kombinert. Dette er vist at kombinasjoner av forholdsvis vanlige sensorer kan finne kan gi forholdsvis gode posisjoneringresultater og gi mer pålitelighet.

1.5.12 Pedestrian dead reckoning: A basis for personal positioning

Dette [12] var et arbeidet som tok for seg problemstillingen som oppstår når GPS signaler ikke er tilgjengelige. I likhet med Two different approaches for augmented GPS pedestrian navigation og Development and testing of a GPS-augmented multi-sensor vehicle navigation system ble GPS teknologien kombinert med en annen sensor. Dette prosjektet kombinerte GPS med et akselerometer på en måte som gjorde at akselerometeret fungerte som en skritteller. Ved å lage et system der akselerometerverdiene ble behandlet av et nevralt nettverk ble det vist at dette kan være en forholdsvis god metode for å bestemme tilbakelagt avstand. Dette kunne så brukes til å bestemme nye posisjoner når GPS-signalene forsvant. Dette ble gjort med spesialtilpasset utstyr slik at akselerometeret var plassert stabilt på brukeren.

1.5.13 Oppsummering av relatert arbeid

Ut i fra det relaterte arbeidet er det tydelig at det finnes flere posisjoneringsmetoder som kan være relevante for mobiltelefoner. Det finnes eksisterende arbeid som har tatt i bruk alt fra Blåtann til akselerometer, men slik jeg oppfattet dette virket det som om det var WLAN teknologien som virket mest relevant. Ut i fra det ene arbeidet som hadde sett på mange forskjellige trådløse posisjoneringsmetoder [35] var det tydeligvis ønsket om at det ble gjort mer arbeid rundt signalstyrke posisjonering. En av grunnene til at WLAN signalstyrke-posisjonering virket interessant var at dette virket å være en metode som i utgangspunktet skulle kunne implementeres rett frem også på mobiltelefoner. Selv om det i teorien ser ut til å være rett frem er det i praksis mer komplisert. Det har for eksempel blitt gjort noe arbeid for å håndtere noen av problemene rundt bevegelse [26] etter som bevegelser i utgangspunktet kan være problematiske. Denne oppgaven må dermed også se på eventuelle problemer som kan følge med denne posisjoneringsmetoden.

1.6 Rapporten

Metoder

Kapitel 2 går igjennom metodene som er brukt i gjennomføringen av denne oppgaven.

Posisjonering med mobiltelefoner

Kapitel 3 gir først en introduksjon i ulike posisjoneringsmetoder som kan være relevante for mobiltelefoner. Deretter beskrives WLAN signalstyrke-posisjonering og hvordan dette kan implementeres på mobiltelefoner. I sammenheng med dette blir det beskrevet noen tester av signalstyrken.

Resultater

I kapitel 4 blir resultatene av WLAN signalstyrke-testene presentert og beskrevet.

Diskusjon

Kapitel 5 består av en diskusjon av WLAN signalstyrken og hvordan dette kan brukes til posisjonering. Kapitlet består også av en diskusjon rundt de andre kartlagte posisjoneringsmetodene. Resultatene blir sammenliknet med hverandre og resultater fra andre eksterne kilder.

Konklusjon

I kapitel 6 blir det sett på hva som har kommet frem og hva som kan gjøres for å bygge videre på disse resultatene. Til slutt blir det sett på hva jeg har fått ut av denne oppgaven.

Kapittel 2

Metoder

Dette kapittelet beskriver hvilke arbeidsmetoder som er blitt brukt i denne oppgaven.

2.1 Litteraturstudie

Litteraturstudien startet allerede i planleggingsfasen. Etter å ha definert oppgaveemnet ble det startet med å kartlegge hva som allerede fantes av informasjon innen dette emnet. På denne måten kunne oppgaven videre tilpasses, til å bygge videre på det eksisterende arbeidet i stede for å gjenta arbeid som allerede var gjort. Litteraturstudien fortsatte også ut igjennom hele arbeidet, men det meste av informasjonen ble kartlagt i de første ukene.

Litteraturstudien ble gjort ved å gjøre et omfattende emnesøk i Google Scholar [21]. Noen av søkeordene som ble brukt var for eksempel “mobile sensor location”, “assisted mobile navigation” og “micronavigation”. Dette gav litteratur om mange ulike former for posisjonering i mobile sammenhenger, men det viste også at det var en mangel på informasjon om hvordan dette eventuelt kunne brukes i sammenheng med mobiltelefoner. I den litteraturen som var relevant ble det fokusert på hvordan man kunne bruke spesiallaget utstyr, men det var ingen som beskrev hvordan dette kunne fungere på mobiltelefoner. Mye av den relevante litteraturen var fra starten av 2000-tallet og kunne virke “gammeldags” i forhold til hvordan vi bruker mobile enheter og posisjonering i dag. Det var allikevel mye av denne “gamle” litteraturen som virket mest relevant for denne oppgaven ettersom det var disse som beskrev de ulike teknologiene og posisjoneringsmetodene best. Den nyere litteraturen refererte gjerne tilbake til denne “gamle” litteraturen uten å komme med mer informasjon som kunne være relevant for denne oppgaven.

2.2 Testing

I denne oppgaven ble det utført en rekke tester. Disse testene bestod i hovedsak av å undersøke hvordan de relevante teknologiene og posisjoneringsmetodene fungerer i praksis. Mye av denne testingen gikk ut på å måle verdier over lengre avstander, ettersom posisjonering gjerne gjøres på lengre avstander. Dette førte til at det måtte finnes passende testområder der verken testprosessene eller målingene ville bli forstyrret. Et av områdene som ble funnet som passende var en nærliggende gressbane. Dette var et sted hvor utenforstående kunne forstyrre testingen, dermed ble disse testene gjort på kveldstid da det var mindre folk ute. I de testene der det ikke trengtes like store testområder ble testingen gjort ute på en forholdsvis stor gårdsplass.

Noe av testingen gikk ut på å teste hvordan teknologien ble påvirket. Dette krevde i mange tilfeller at testen ble foretatt i et lukket miljø med mer stabile forhold. Disse testene ble derfor foretatt i en tomt kjellerrom.

Testingen ble gjort for å se hvordan teknologiene og posisjoneringsmetodene kunne oppføre seg i vanlige mobiltelefonapplikasjoner. Det var derfor viktig at jeg ikke brukte spesielle måleinstrumenter. For å gjøre de nødvendige målingene laget jeg derfor egne applikasjoner som hentet de aktuelle verdiene på samme måte som andre mobiltelefonapplikasjoner. Målingene ble i testapplikasjonene vist på skjermen og logget til filer. I noen tilfeller var det nødvendig å registrere spesielle måleverdier. I slike tilfeller ble de spesielle målingene enten logget til egne filer, eller notert manuelt av skjermen og inn på et regneark. Ettersom det ville vært vanskelig å skrive av alle de nødvendige verdiene, ble hver registrering av nye verdier gitt en egen unik identifikatorer. Ved å lese disse av skjermen kunne de manuelle målingen sammenliknes med applikasjonens egne loggfiler.

Alle testene som ble gjort i denne oppgaven ble gjort ut i fra en definert protokoll, se Vedlegg A. Denne protokollen beskriver hva som måtte gjøres før testene, hvordan testene skulle utføres, samt hvilke måleverdier som var ønsket å fange opp.

2.3 Datainnsamling

Datainnsamlingen ble utelukkende gjort i sammenheng med mine tester. Dataene kom i fra automatiske og/eller manuelle logger. I noen tester var de manuelle dataene kun pekere til spesielle deler av de automatiske loggene. Det betydde vanligvis at den ønskede måleverdiene var i denne delen. For å finne disse dataene der det var minst påvirkninger ble det i flere av testene sett på verdiene fra det innebygde akselerometeret. Hvis disse verdiene var stabile betydde dette vanligvis

at mobiltelefonen lå i ro. Det neste steget gikk ut på å se på verdiene i fra sensorene som målte magnetismen i ulike retninger, XYZ. Disse verdiene kunne vise om det hadde vært påvirkninger fra elektromagnetisk støy. Etter å ha sett på verdiene fra disse to sensorene var det gjerne kun en til fem registreringer igjen som kunne være relevante. Var det flere en en registrering ble det tatt et gjennomsnitt av måleverdiene verdiene i de ulike registreringene.

Hvilke verdier som ble registrert og logget varierte ut i fra hva som skulle testes. Det var unødvendig å ta med for mange sensorverdier hvis jeg ikke trengte dem. Uthenting av disse ekstra verdiene kunne i verste tilfelle påvirke resultatene, selv om dette ikke ble testet i praksis.

2.4 Dataanalyse

Etter å ha generert data i testene ble dataene analysert. Det meste av disse analysene ble gjort ved å behandle dataene i statistikkverktøyet R [41]. De fleste av dataanalysene gikk ut på å beregne ulike avvik og annen statistikk, men i sammenheng med signalstyrkeposisjonering ble det også gjennomført noen regressjonsanalyser. I et av disse tilfellene ble det også brukt et verktøy kalt Eureka [42]. Eureka er et verktøy som bruker en genetisk programmeringsalgoritme til å generere en mulig modell ut i fra et datasett. Dette modellen vil da kunne generere nye data som tilsvarer de verdiene som finnes i datasettet. Ettersom dette er et ressurskrevende verktøy brukte jeg dette kun en gang. Resultatet jeg fikk fra Eureka ble brukt som grunnlag til de videre regresjonsanalysene jeg foretok i verktøyet R.

2.5 Implementasjon

For å utføre testene måtte det først settes sammen egne testapplikasjoner. Disse ble tilpasset til hver enkelt test. I tillegg til at testene trengte å logge ulike verdier, trengte mange av testene også ulike visuelle grensesnitt. I noen av testene var det nødvendig å vise målingene med stor tekst på skjermen slik at de kunne leses av på lang avstand. I andre tilfeller var det mindre viktig å vise målingene ettersom de ble registrert ved å manuelt trykke på en loggeknapp. Selv om designet var forskjellig ble det for det meste implementert forholdsvis enkelt. Mer detaljer rundt disse applikasjonene er å finne lengre ut i rapporten.

All utvikling foregikk i utviklingsverktøyet Eclipse [45] med tilleggspakken ADT [22]. Med dette verktøyet kunne jeg lage mine testapplikasjoner slik at jeg kunne kjøre disse på de to tilgjengelige mobiltelefonene, som kjørte Android.

2.6 Prosjektorganisering

For å holde oversikt over alle dokumenter, data og kode var det essensielt å ha et godt versjonstyringssystem. I denne oppgaven ble det brukt en Subversion [16] server som var satt opp på Høgskolen i Østfold. Dette fungerte også som en backup løsning i tilfelle noe skulle skje med dokumentene.

I denne oppgaven var det ukentlige veiledingsmøter. Disse møtene ble dokumentert med egne møtereferater, som ble publisert i et lukket wiki-verktøy kalt Trac [17]. For å holde styr på hva som måtte gjøres ble det satt opp arbeidsoppgaver i dette samme verktøyet. Hver uke ble det gjort en oppsummering av hva som hadde blitt gjort slik at det ble enklere å få oversikten over hva som var gjort og hva som gjenstod.

Kapittel 3

Posisjonering på mobiltelefoner

Dette kapitlet beskriver først en rekke posisjoneringsmetoder som kan være relevante for mobiltelefoner. Deretter blir det sett mer detaljert på metoden som bruker WLAN signalstyrke til posisjonering. Ut i fra dette blir det beskrevet en rekke tester som kan kartlegge hvordan denne metoden kan fungere på mobiltelefoner.

3.1 Posisjoneringsmetoder

Etter å ha undersøkt hva som eksisterer av posisjoneringsmetoder var det klart at det meste av det eksisterende arbeidet rundt alternative posisjoneringsmetoder var gjort ved hjelp av spesialtilpasset utstyr. En ett av tilfellene ble det for eksempel brukt et system der brukeren måtte gå rundt med både en hjelm og ryggsekk fullspekket av elektronikk [12]. Dette var dermed ikke en spesielt brukervennlig implementasjon. For at vanlige folk skal ta i bruk slike posisjoneringsmetoder er det viktig at det kan implementeres på en slik måte at brukeren ikke trenger å bære på noe ekstra utstyr, eller ta spesielt mange hensyn.

De fleste kommunikasjonsteknologier kan brukes til posisjonering på en eller annen måte. Dette kan for eksempel gjøres ved at det blir bestemt at man er på en posisjon når man er innenfor kommunikasjonsrekkevidden til en spesiell enhet. Ettersom man kan måle styrken på signalene fra slike teknologier er det også mulig å spesifisere mer detaljerte posisjoner [25, 35]. Er signalene sterkere betyr det at man befinner seg nærme signalkilden, i motsetning vil det bety at man er lengre unna hvis signalene er svakere. En annen mulig metode er ved å ta tiden på signalet [1, 23, 35]. Signalene bruker naturlig nok lengre tid på å tilbakelegge lengre avstander en korte og dermed skal ulike overføringstider bety ulike avstander.

Andre teknologier som kan brukes til posisjonering er sensorer. Ulike sensorer kan brukes på ulike måter og dermed kan de i tillegg også kunne kombineres slik at enkle metoder kan få utvidet funksjonalitet. Sensorene som kan være relevante for disse metodene er de som allerede er nevnt under relevante sensorteknologier. Noen metoder for sensorposisjonering er for eksempel kamera og kompass posisjonering. Ved å først lokalisere seg ved hjelp av landemerkegjenkjenning med kamera [44], kan man senere bestemme sin relative posisjon i forhold til landemerket ved hjelp kompassets verdier. Dette er metoder som krever at man har et register med landemerker og en algoritme som kan finne landemerkene. Selv om mobiltelefoner i dag er nokså kraftige er dette funksjoner som ikke er like passende å implementere direkte på mobiltelefonene. Det måtte i så tilfelle blitt gjort i sammenheng med en nettverkstjeneste der det for eksempel er en sentral server som gjør grovarbeidet. Andre sensor metoder er for eksempel posisjonering ved hjelp av bevegelsesregistrering.

GPS-posisjonering er den posisjoneringsmetoden som muligens flest forbinder med posisjonering. GPS er et posisjoneringssystem utviklet av forsvaret i USA, men ble etterhvert også åpnet for almenheten i og utenfor USA [18]. I dag har de fleste nye mobiltelefoner tilgang dette posisjoneringssystemet, noe som gjør at man på en forholdsvis enkel måte kan hente ned sin globale posisjon. Et av problemene med dette posisjoneringssystemet er at det helt og holdent er styrt av forsvaret i USA, og dermed kan de også gjøre alle avhengige systemer ubrukelig. Per i dag ser det ikke ut til at GPS vil bli stengt, men ettersom det er en mulighet er det dumt å kun ta utgangspunktet i dette ene posisjoneringssystemet. Et annet problem er at GPS krever tilnærmet åpen himmel, ettersom posisjoneringen foregår ved hjelp av satellittsignaler. Dette problemet støter mange på når man prøver å bruke GPS inne i bygninger, tunneler og tette byer. Det første problemet er det lite å gjøre med, mens det andre problemet kan løses ved å kombinere GPS med andre posisjoneringsteknologier, som for eksempel bevegelsesposisjoneringsmetoder. Ser man bort i fra disse problemene er GPS en forholdsvis perfekt posisjoneringsteknologi for globale posisjoner. Posisjonene kan med dette bestemmes med en nøyaktighet ned til 5 meter [47]. Skal man derimot bestemme ukjente posisjoner i forhold til andre ukjente posisjoner ved hjelp av relativ posisjonering får man et nytt problem. Dette kommer av at man da trenger å utveksle posisjons informasjon, noe som også vil gjøre at unøyaktigheten til begge posisjonene må legges i sammen.

3.1.1 Posisjonering ved hjelp av signalstyrken

Dette er en metode som bruker en av de fysiske egenskapene som følger med alle signaler. Dette går ut på at alle signaler blir svakere etterhvert som de kommer lengre unna senderen. Hvor mye svakere

signalene blir bestemmes av teknologien, miljøet og hvor mange dimensjoner signalet sendes ut i. Dette fungerer i prinsippet på samme måten som lyset fra en lyskilde blir svakere etterhvert som man går lengre unna kilden. Har man en lyspære vil lysstyrken bli oppfattet som svakere 10 meter unna en det lysstyrken til en laserlys-kilde ville blitt i den samme retningen. Dette har med at lyspæren lyser i tre dimensjoner, men laserlys-kilden fokuserer lyser i tilnærmet en retning.

Siden signalstyrken i utgangspunktet er effekten på signalet er betegnelsen dBW, der W'en står for watt, som er betegnelsen på effekt. dB betyr desibel og er betegnelsen på en logaritmisk verdi. Signalstyrken betegnes gjerne som en logaritmisk verdi ettersom signalene i utgangspunktet avtar med mer og mer ettersom avstanden til senderen øker. I de fleste tilfeller er effekten på signalstyrken nede på milliwatt, dermed er det mer vanlig å oppgi signalstyrken i dBmW eller bare dBm.

Signalstyrken registreres gjerne i kommunikasjonsutstyret slik at det internt vet hvor godt signalet kan ventes å være. Er signalstyrken lav, vil det være vanskeligere å registrere hele signalet og dermed kan kommunikasjonen bli begrenset, slik man for eksempel kan se på overføringshastigheten til WLAN nettverk. I tilfellene der signalstyrken ikke betegnes som en db-verdi blir den gjerne omtalt som RSSI (Received Signal Strength Indicator). Verdien består da vanligvis av 8 bit, som kan gi verdier fra 0 til 255 ettersom 2^8 gir 256 muligheter.

For å kunne fremstille signalstyrken på en riktig måte må den sees på i forhold til den ideelle verdien GRPR (Golden Receive Power Range). GRPR har brukes gjerne på et lavt nivå, men kan benyttes både når man se på signalstyrken som db-verdier og som RSSI-verdier. GRPR-verdien kan variere fra enhet til enhet. Dermed bør senderen ha sendt sin GRPR verdi til mottakeren [29]. Hvis ikke vil mottakeren ikke vite eksakt hvilken GRPR verdi som gjeler for senderen og dermed må den bruke sin egen verdi og anta at senderens verdi er den samme. Har man denne verdien kan man bestemt si at avstanden til senderen er lik null når mottakeren registrerer en signalstyrke som er lik GRPR verdien. Heldigvis trengs det vanligvis ikke å tas hensyn til disse verdiene på et slik nivå ettersom plattformene signalstyrken skal hentes ut fra gjerne beregner signalstyrkeverdien automatisk slik den kan hentes ut direkte [5, 6].

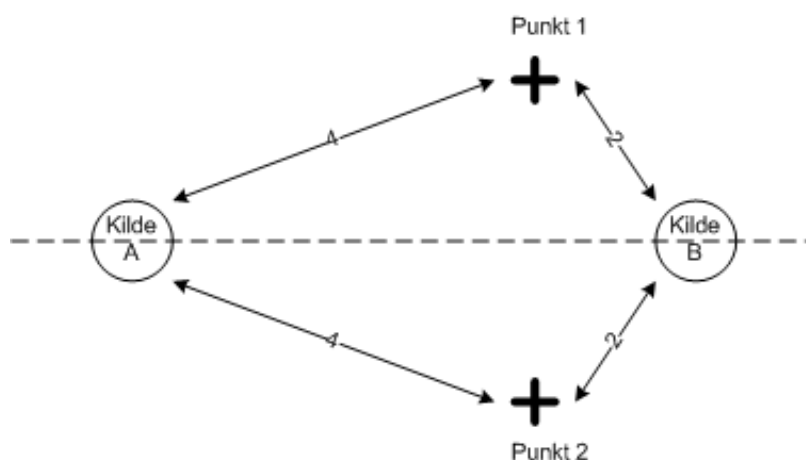
Skal man bruke signalstyrken til posisjonering vil oppdager man fort at verdien i seg selv ikke si stort og at man aldri klarer å få ut den ideelle GRPR-verdien. Signalstyrken i seg selv sier lite ettersom den kun illustrerer en relativ verdi som uten noen referanser ikke kan si noe spesielt om avstander. Det at man vanligvis ikke klarer å registrere signalstyrkeverdier lik GRPR-verdiene kommer av at GRPR-verdiene kun er teoretiske for antennene og at antennene gjerne er innebygget i enhetene.

Skal signalstyrken implementeres som en posisjoneringsmetode på mobiltelefoner på en brukervennlig måte bør metoden kunne brukes uten for mye forarbeid. Ønsker man kun enkle unøyaktige relative posisjoner kan det i utgangspunktet være nok med å bruke signalstyrken direkte. Nøyaktigheten vil da for det meste komme av på hvor godt brukeren klarer å anta avstanden til signalkilden ut i fra hvordan brukeren ser at signalstyrken øker. For å gjøre dette mer nøyaktig kan man for eksempel la brukeren kalibrere den ideelle signalstyrken ved å måle signalstyrken helt inntil signalkilden. Brukeren vil da ha et mer nøyaktig referansepunkt å sammenlikne nye signalstyrken med.

Hvis brukeren i tillegg kalibrerer en annen signalstyrke slik at avstanden ved denne signalstyrken er kjent kan det laget et system der avstandene i mellom de to kalibreringspunktene kan bestemmes ut i fra en funksjon. Ettersom signalstyrken vanligvis ikke følger avstanden lineært vil disse to kjente signalstyrkene kun gi forholdsvis riktige avstander når signalstyrken er rundt disse verdiene. Dette kommer av at dette forholdet i utgangspunktet er logaritmisk [36]. Finner man derimot først et forhold som passer og deretter kalibrerer dette med de to kalibreringspunktene vil man i teorien kunne få bedre nøyaktighet. Hvor nøyaktig dette da vil kunne bli bestemmes av hvor godt det valgte forholdet passer til de signalene som måles. Skal man dermed ha en nøyaktig posisjoneringsmetode, som bruker signalstyrken, bør brukeren på forhånd kalibrere signalstyrken i forhold til de(n) ønskede signalkilden(e). Det underliggende systemet bør da også ha et forholdsvis godt signalstyrke-til-avstand forhold som kan kalibreres for de aktuelle signalkildene.

Når det gjelder teknologier skal denne metoden kunne brukes på alle typer kommunikasjonsteknologier så lenge signalstyrken bli tilgjengeliggjort, noe som bestemmes av mobiltelefonens plattform. Ikke alle plattformer gir tilgang til signalstyrken ettersom denne verdien gjerne ikke blir sett på som viktig for andre overliggende systemer.

Skal man bruke signalstyrken til posisjonering kan man bruke signalstyrkeverdiene direkte ved for eksempel å sammenlikne dem med forhåndsbestemte avstandsverdier [25]. Dette krever da at man måler signalstyrken på alle de ønskede avstandene på forhånd og deretter forutsetter at det ikke blir endringer i miljøet. Dette kan fungere greit i faste miljøer, men ettersom brukere gjerne ikke ønsker å gjøre for mye for å få ting til å fungere kan dette være problematisk i andre situasjoner. Dette vil også i utgangspunktet kun gi posisjoner som ikke er retningsbestemte. Et signal kan for eksempel bli målt til den samme verdien i alle retninger rundt senderen. Skal man ha retningsbestemte posisjoner må man da ha minst to signalkilder slik at det kan lages et trianguleringssystem med hjelp av de to avstandene. Også kun to signalkilder kan være problematisk ettersom signalene for hver av senderne fortsatt kan måles til samme verdi i to punkter, se figur 3.1.



Figur 3.1: Avstandene til punkt 1 og 2 er de samme. Hvis ikke det tas hensyn til dette vil de også den samme posisjonen.

Mulige implementasjoner

Ettersom det finnes flere ulike kommunikasjonsteknologier på mobiltelefoner kan det være mange mulige implementasjoner av en slik metode.

RFID kan brukes ved å bruke aktive brikker. Aktive RFID brikker skiller seg i fra de mer vanlige passive brikkene ved at de sender ut egne signaler, der de passive bare kan leses ved hjelp av andre signaler. Dette gjør at RFID brikker kan plasseres på spesifiserte posisjoner slik at man kan bruke signalstyrken til disse som referanser. Ettersom disse brikkene gjerne er forholdsvis billige kan dette være en meget relevant teknologi når man trenger mange referansepunkter i et stort område. Ved å bruke triangulering kan dette danne grunnlag for posisjoner på lik linje med GPS, med slik som lengdegrader, breddegrader og eventuelt høyde. Nøyaktigheten i slike situasjoner kan ligge mellom 1 centimeter og 1 meter [40]. Som nevnt tidligere er RFID fortsatt lite brukt på vanlige mobiltelefoner og dermed er dette vanskelig å implementere på det eksisterende markedet.

I likhet med RFID kan man også bruke signalstyrken fra Blåtann. Blåtann skiller seg i fra RFID ved at Blåtann ikke har de samme mulighetene med aktive brikker. Skal man bruke relativ Blåtann posisjonering trenger man annet utstyr rom for eksempel andre mobiltelefoner som referansepunkter. Selv om Blåtann er noe anderledes skal det fortsatt være mulig å bruke dens signalstyrke til å bestemme relative posisjoner med en nøyaktighet på mellom 10 centimeter og 1 meter [40].

WLAN er en meget populær kommunikasjonsteknologi som vanligvis har en lengre rekkevidde enn RFID og Blåtann. Dermed kan denne teknologien åpne opp for posisjoneringer over lengre avstander. Problemet med denne teknologien er at den krever at man setter opp et sett med aksesspunkt

som kan fungere som signalkilder. Dette kan gjerne også gjøres på mobiltelefoner, men ettersom dette vil okkupere WLAN antennen vil ikke mobiltelefonene som blir satt opp som aksesspunkt kunne relatere seg til andre signalkilder. Skal denne teknologien brukes til relativ posisjonering kan nøyaktigheten ligge rundt 1,5 til 10 meter [40].

Trenger man enda lengre rekkevidde kan man bruke telenettverket. Ettersom dette er bygget opp med ett nettverket av kommunikasjonsmaster, som fungerer som signalkilder kan det samme prinsippet med signalstyrkeposisjonering brukes. Dessverre er dette i dag vanskelig for utenforstående ettersom telenettverksleverandørene ikke vil åpne opp for identifisering av mastene. For å kunne vite hvilke master man måler signalstyrken i fra trenger man å kunne skille en mast i fra en annen og i tillegg vite hvor disse mastene er i forhold til hverandre. Med de andre kommunikasjonsteknologiene er dette forholdsvis enkelt ettersom signalkildene gjerne er godt synlige og har hver sin unike MAC (Media Access Control)-adresse. Selv om signalstyrken og identifiseringen til denne teknologien ikke er like tilgjengelig for vanlige personer er dette allerede blitt implementert på en del mobiltelefoner i dag. Dette brukes da til å hjelpe til i GPS-posisjonering. GPS-posisjoneringen kalles da gjerne for A-GPS og kan gi en nøyaktighet ned mot 1 til 10 meter [40].

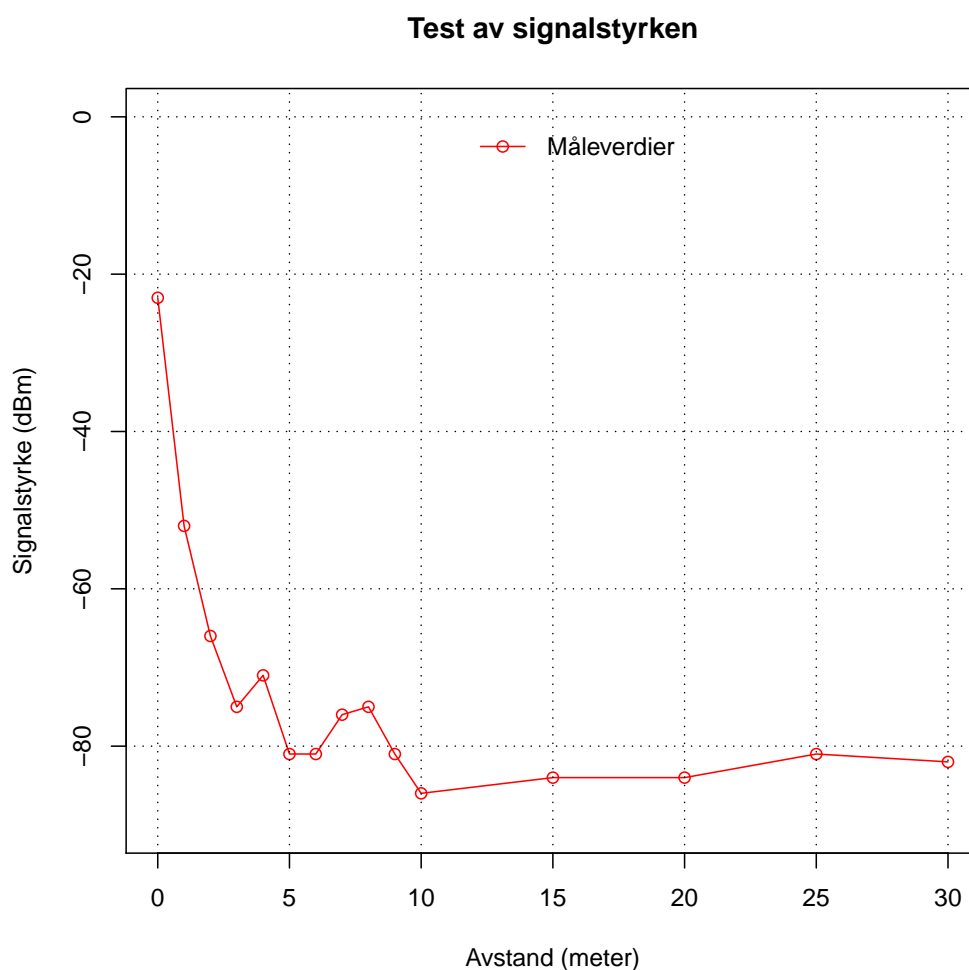
Testing av posisjonering ved hjelp av signalstyrken

For å teste om denne posisjoneringsmetoden kunne være relevant på mobiltelefoner ble det gjort en liten test. Denne testen ble gjort ved å forsøke å implementere relativ avstandsberegning med WLAN signalstyrke på et par mobiltelefoner.

Selve implementasjonen gikk forholdsvis greit ettersom plattformen som ble brukt på mobiltelefonene gav enkel tilgang til signalstyrkeverdiene fra WLAN. For å kunne teste hvordan dette kunne fungere ble det laget en liten testapplikasjon som logget signalstyrken kontinuerlig og samtidig viste verdien på skjermen.

Testingen ble gjort over avstander opp til 30 meter. For å kunne se hvordan signalstyrken kunne brukes til relativ avstand ble det sett på verdiene ved hver meter fra 0, 1, 2, osv opp til 10 meter, deretter ved hver 5 meter fra 10, 15, osv opp til 30 meter. Se leve testingen ble utført i henhold til protokollen i Vedlegg A.

På figur 3.6 kan man se at signalstyrken tydelig endrer seg etterhvert som avstanden øker. Det var tydeligvis en del støy på målingene ettersom måleverdiene gikk litt opp og ned, men ettersom det kan virke som om det er en tendens som sier at avstanden øker etterhvert som signalstyrken synker ser dette ut til å være en brukbar metode.



Figur 3.2: Resultatene fra testen av signalstyrken.

Oppsummering

Posisjonering ved hjelp av signalstyrken ser ut til å kunne være en meget relevant metode for mobiltelefoner. Det virker som om det er mange mulige implementasjoner av denne metoden ettersom metoden kan implementeres ved hjelp av flere ulike teknologier. I de fleste tilfeller vil man gjerne ha så lang rekkevidde som mulig og dermed er det mulig at det er WLAN signalstyrken som er det mest aktuelle alternativet til GPS. Etter å ha foretatt en praktisk test av denne signalstyrken på et sett med vanlige mobiltelefoner viste det seg at det er mulig å bestemme avstanden ved hjelp av signalstyrken, men at dette kan bli noe problematisk på grunn av støy.

3.1.2 Posisjonering ved hjelp av overføringstid

Et av problemene med avstandsberegning basert på signalstyrken er at denne verdien kan bli påvirket av andre signalkilder og fysiske hindringer. Som et alternativ til dette finnes det en metode der avstanden kan beregnes ut i fra hvor lang tid signalet bruker fra senderen til mottakeren. Ettersom dette krever meget presis timing, mindre enn $1\mu s$, er det hensiktsmessig og i stede beregne tiden det tar å sende og deretter få svar tilbake (The Round Trip Time). Man vil da doble tiden og dermed vil det bli enklere å registrere endringer. Selv om man i dette tilfellet vil gå ut i fra den samme klokken, på den samme enheten, kan dette være komplisert. For at dette skal bli nøyaktig nok forutsettes det at man vet hvor lang tid selve maskinvaren og den overliggende programvaren bruker på å sende og motta signalet. Forutsatt at denne tiden som brukes på å sende og motta er fast skal dette på en forenklet måte kunne brukes til å beregne den relative avstanden mellom de to partene.

Ettersom ikke signalenes overføringstid blir påvirket på samme måte som signalstyrken vil denne relative avstanden forholde seg stabilt i de fleste situasjoner. Metoden fungerer kort sagt ved å registrere om det tar lengre eller kortere tid på overføre signalene, som da kan bestemme om mottakeren er lengre unna eller nærmere. Hvis det tas høyde for eksakte sende og mottakstider kan man i teorien bestemme absolutte avstander ved å gå ut i fra hvor mange meter signalet har tilbakelagt. Dette skal i det minste for WLAN kunne gi mer presise avstandsmålinger [23, 35]. I teorien skal dette i likhet med signalstyrke posisjoneringsmetoden kunne brukes uavhengig av kommunikasjonsteknologi. Den eneste funksjonaliteten som trengs er at det er mulig å registrere sendte og mottatte signaler, noe som er en selvfølge hvis teknologien er tilgjengelige.

I følge A. Gunther og C. Hoene [23] skal det være mulig å registrere endringer i overføringstiden etterhvert som avstanden endrer seg. Problemet med dette var at de hadde testet dette på spesialisert utstyr og det var dermed usikkert om dette kunne være mulig også på mer vanlige mobiltelefoner. Utstyret som disse prosjektene brukte gav tilgang til lavnivåprogrammering slik at signalene kunne times mer presist i det de forlot og kom tilbake til utstyret. På mobiltelefoner er det vanligvis ikke tilgang til slike lave nivåer.

Mulige implementasjoner

Ettersom relativ posisjonering ved hjelp av overføringstid kun trenger en kommunikasjonskanal er denne metoden forholdsvis åpen for alle kommunikasjonsteknologier. Kan det sendes noen i mellom to mobiltelefoner kan denne metoden implementeres. Hvor godt denne metoden fungerer på ulike teknologier kan muligens variere ettersom hvor komplekse teknologiene er. For at dette skal kunne

fungere best mulig er det viktig å kunne registrere sende og mottakstidene nøyaktig. Dette kan være vanskelig hvis det ligger et tykt lag med prosesser i mellom maskinvaren og applikasjonen som bruker metoden. Dermed vil det muligens være bedre å bruke en enklere teknologi som for eksempel Blåtann.

Testing av posisjonering ved hjelp av overføringstid

Testingen av overføringstid ble gjort med Blåtann. Dette ble implementert i en enkel applikasjon som sendte en kommando fra en mobiltelefon. Denne kommandoen ble fanget opp av mottakeren som sendte et svar tilbake. I det den første mobiltelefonen fikk svar ble tiden sammenliknet med sendetiden. Forskjellen mellom disse gav overføringstiden. Målingene ble gjort ved to avstander, 0 og 15 meter. For å registrere tidene ble de notert etterhvert som avstanden endret seg og tidene ble vist på skjermen.

Resultatene ved 0 meter varierte på det verste mellom 10 og 85 μs . Det var perioder der denne variasjonen ikke var så stor, men sett over hele perioden som enheten lå på denne avstanden var det dette som var grensene. Da testenhetene ble flyttet i fra hverandre fortsatte disse variasjonene. Selv når avstanden øket til 15 meter forholdt variasjonene seg innenfor det samme nevnte området.

Oppsummering

Posisjonering ved hjelp av overføringstid kunne i utgangspunktet se meget relevant ut. Ved testing annet utstyr enn mobiltelefoner kunne man få forholdsvis gode resultater. Problemet med metoden virket å være at man trenger forholdsvis eksakt tidtaking, noe som krever at signaler registrere med en gang de kommer til mobiltelefonene. Etter å ha testet dette med Blåtann på et sett med mobiltelefoner, viste det seg at dette problemet ville være for stort på vanlige mobiltelefoner. Ettersom det ikke var mulig å se noen forskjell mellom overføringstiden på ulike avstander virker det som om denne metoden ikke vil kunne være relevant på vanlige mobiltelefoner.

3.1.3 Posisjonering ved hjelp av bevegelsesregistrering

Det som virker å være den mest relevante posisjoneringsmetoden når man skal bruke ulike sensorer, er bevegelsesregistreringsmetoden. Dette er noe mange har eksperimentert med de siste årene [32, 30, 31, 37, 12]. Det kan derfor virke rart at nesten ingen har sett på hvordan dette eventuelt kan brukes på mer vanlige mobiltelefoner. Det har vært diverse applikasjoner for mobiltelefoner som

bruker akselerometer til å lage skrittellere [48], men ingen av disse bruker denne funksjonaliteten til å bestemme relativ avstand eller posisjon.

En skritteller er i utgangspunktet en forholdsvis god metode for å bestemme tilbakelagt avstand. Finner man først tilbakelagt avstand og man forutsetter at man også har oversikt over retningen, ved at man for eksempel bare går i en retning, kan man bestemme nye relative posisjoner i forhold til startpunktet. Derfra er det også mulig å bestemme globale posisjoner ved at man vet den globale posisjonen til startpunktet. Alt dette forutsetter at man i utgangspunktet klarer å bestemme avstanden ved hjelp av skrittelling.

Skrittelling kan gjøres ved at man bruker en sensor til å registrere hver gang en bruker tar et nytt skritt. Dette kan gjøres med flere forskjellige sensorer ettersom dette bygger på at det er spesielle støtendringer som skal registreres. Et akselerometer kan brukes ved at de ulike kreftene sensoren blir utsatt for, i det et nytt skritt blir tatt, blir registrert. Det må dermed settes opp en profil for hvilke sensorverdier som tilsvarer et skritt, ellers vil det bli registrert skritt i hytt og pine. Andre sensorer som for eksempel elektroniske kompass og gyroskopiske sensorer kan også brukes til å registrere skritt på samme måte. Etter å ha registrert et skritt vil man sitte med en registrering som i utgangspunktet ikke sier stort. For at dette skal kunne beskrive en tilbakelagt avstand vil man trenge å vite hvor langt et skritt er for nettopp denne brukeren. Dette kan gjøres ved en enkel kalibrering. Enten ved å la brukeren gå en gitt distanse mens systemet registrerer hvor mange skritt brukeren bruker på dette. Ellers kan det gjøres ved at brukeren går et gitt antall skritt og legger inn hvor lang dette var. Med avstandsmetoder basert på skritt er det viktig å være klar over at brukeren kan endre sin skrittlengde fra en gåtur til en annen. I tillegg er det vanlig at vi mennesker går med en ujevn takt og skrittlengde [32], men over en lengre avstand vil disse variasjonene vanligvis følge et mønster. Dette mønsteret kan man kompensere for ved å bruke en Gaussian tilnærming [37].

Det største problemet med å bruke slike skrittellermetoder er at det er vanskelig for sensorene å registrere skrittene når plasseringen ikke forholder seg konstant. Ut i fra eksperimenter som andre har gjort rundt dette [32, 30, 31, 37, 12] virker løsningen å være og feste sensoren godt til kroppen. Dette er en løsning som ikke er like implementerbar på mobiltelefoner ettersom de gjerne enten ligger løst i en lomme eller holdes med ulike grep i hånden. Det er tydeligvis mulig også på mobiltelefoner ettersom det finnes applikasjoner som tar i bruk dette, men disse bygger på forutsetningen at mobiltelefonen er i en stabilt plassert og ikke viftes rundt.

Går man ut i fra at man klarer å registrere skrittene ved hjelp av en av sensorene og deretter klarer å oversette dette til en avstand har man en posisjoneringsmetode som kan fungere forholdsvis godt [12]. Skal man derimot ha retningsbestemte posisjoner må man kombinere skrittellingen med

andre metoder. Det man trenger da er metoder som kan si noe om hvilken retning man beveger seg i. Det enkleste ville da være å kombinere avstandene med retningen slik at man alltid vet hvor langt man har gått i en retning. Dette kan også gjøres ved å anta at man får endringen i orientasjon eller at man klarer å hente ut de aktuelle kreftene som påvirker brukeren når det blir en retningsendring. Man kunne da eventuelt bruke gyroskop eller akselerometer. Disse to siste sensorene ville blitt vanskelige å få til å gi riktige retningsendringer, og ettersom kompass er nokså overlegent på slike jobber, er det mest naturlig å bruke kompass verdier til å bestemme retningen.

En annen bevegelsesregistreringsmetode er ved å se på brukerens akselerasjon og deakselerasjon. Ut i fra slike verdier kan man bestemme hastigheten brukeren beveger seg i og dermed den tilbakelagte avstanden. Dette kan igjen kombineres med andre metoder slik som skritteller metodene. Problemet med å bruke akselerasjonen er at disse selv med at akselerometer kan være vanskelig å skille ut i fra andre krefter. Det vil i så tilfelle være mest aktuelt å bruke i sammenheng med bil eller båt kjøring, eller for eksempel sykling, der man kan feste mobiltelefonen til kjøretøyet og mindre støy på verdiene.

En annen alternativ bevegelsesregistreringsmetode som kan brukes til posisjonering er ved å bruke ulike bevegelser av mobiltelefonen til å bestemme om man er i bevegelse eller ikke og eventuelt hvilken retning. Dette blir mer slik som man ser sensorene brukes i mobiltelefonapplikasjoner i dag ved at de brukes til å styre diverse hendelser skjermen. Ettersom dette er en metoden som vil være meget vanskelig for brukeren å få til å bli nøyaktig er dette en lite aktuelle metode.

Oppsummering

Ser man bort i fra sensoren GPS sitter man fortsatt igjen med en rekke sensorer som kan brukes til posisjonering. Posisjonering ved hjelp av ulike sensorer virker å fungere best i situasjoner der man kan registrere bevegelser, ettersom de for det meste ikke kan gi relative verdier i forhold til andre posisjoner. Slik sensornavigering bygger dermed i hovedsak på kartlegging av bevegelser slik at systemet kan se tilbake på hvordan bevegelsene har vært i forhold til tidligere registreringer. Dette er tidligere blitt vist at kan brukes til å bestemmer relative posisjoner både i en og to dimensjoner, men det er ikke blitt gjort noen forsøk på å implementere slike komplette posisjoneringsmetoder på mobiltelefoner. Det er for eksempel blitt implementert skrittellere, men de er ikke blitt brukt til å bestemme relative posisjoner. Det som er implementert på mobiltelefoner fra før er bare metoder som teller skrittene. Fra en slik implementasjon er det bare å finne et tilpasset forhold som skrittlengden og eventuelt legge til retningen. Gjør man dette skal man kunne få brukbare relative posisjoner.

Det finnes også alternativer til bevegelsesregistreringsmetoder, men disse krever gjerne mer

ressurser og andre teknologier for å hente informasjon.

3.1.4 Posisjonering ved hjelp av assistert GPS

Assistert GPS kan løse både store og mindre problemer med GPS teknologien. På nyere mobiltelefoner i skrivende stund er GPS kombinert med andre kommunikasjonsteknologier, som for eksempel GSM, i en betegnelse som kalles A-GPS. Ved å bruke en type landemerke gjenkjenning av GSM sendere kan GPS teknologien raskere kunne orientere seg og finne posisjonen raskere. Et annet alternativ som brukes til å assistere GPS på denne måten er ved å bruke Internettilkoblingen. Ettersom de fleste fordelingspunktene på Internett har kjente posisjoner kan man få en tilnærmet lokalisering basert på det nærmeste kjente punktet. Disse assisterende lokaliseringen kan også brukes alene til å gi grove posisjoner, men er per i dag vanligvis ikke nøyaktig nok til å kunne brukes til presisjonsposisjonering.

I motsetning til de nevnte assisterende teknologiene kan man også bruke andre teknologier som for eksempel sensorer. Ved å bruke disse teknologiene, slik det ble sett på tidligere, kan man håndtere bortgang av GPS-signalene i korte eller lengre perioder. Ettersom hvilken type sensorposisjoneringsmetode som brukes kan man enten oppnå bedre, lik eller noe dårligere nøyaktighet. Dette ble for eksempel vist i et prosjekt [31] som klarte å holde nøyaktigheten på 5 meter selv om GPS-signalene ikke var tilgjengelig over en lengre periode.

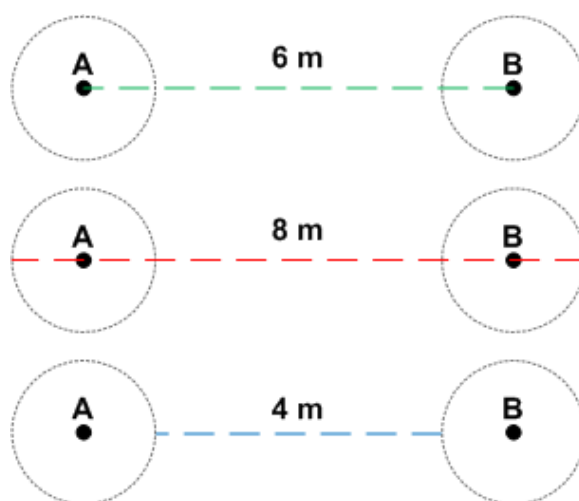
Oppsummering

Posisjonering ved hjelp av assistert GPS kan fungere på ulike måter. Slik det for det meste fungerer i dag blir dette omtalt som A-GPS. Dette tar for eksempel i bruk telenettverket til å skaffe en grov posisjon slik at GPS systemet raskere kan bestemme en mer nøyaktig posisjon.

3.1.5 Relativ GPS-posisjonering

I utgangspunktet er GPS i seg selv en relativ posisjoneringsmetode, ved at posisjoner blir hentet relativt til et fast punkt på jordkloden. Dette fungerer bra så lenge man ønsker sin globale posisjon, men skal man derimot ha sin posisjon i forhold til andre ukjente punkter blir det verre. I slike situasjoner må man først finne posisjonen til det ukjente punktet, og deretter sammenlikne dette med sin egen posisjon. Ettersom dette da må gjøres med to målinger blir det også to unøyaktigheter som må tas hensyn til. Dette var godt synlig i prosjektet MR-ball [28]. posisjonene kunne da bare bestemmes med en nøyaktighet som var det dobbelte av den originale nøyaktigheten til GPS-teknologien. Dette

kan føre til at den relative posisjonen blir vanskelig å bruke på korte avstander. På figur 3.3 kan man se hvor store påvirkninger dette kan ha. I dette eksempelet er det tatt utgangspunktet i at begge posisjonene er bestemt med en nøyaktighet på 1 meter. I utgangspunktet er det 6 meter i mellom dem, men ettersom det da kan forekomme avvik på opp til 2 meter kan den målte avstanden vise alt mellom 4 og 8 meter. Dette er en forholdsvis mye i denne situasjonen ettersom det korteste tilfellet sier at det bare er halvparten av avstanden i forhold til det som det lengste tilfellet sier. Det nevnte



Figur 3.3: De fargede strekene illustrerer GPS avstanden mellom A og B. De stiplede ringene rundt A og B illustrerer arealet GPS posisjonen til A og B kan befinne seg i. Det øverste AB paret illustrerer den virkelige relative avstanden. Det midterste illustrerer situasjonen der feilen mellom A og B er slik at den relative avstanden blir maksimal, mens det nederste illustrerer der avstanden er minimal.

eksempelet tar utgangspunktet i bare 1 meters unøyaktighet, men på mange enheter kan dette være 5 meter [47], og da vil dette kunne gi unøyaktigheter rundt 10 meter. På en 6 meters avstand kan for eksempel posisjonene tilnærmet bytte posisjoner slik at punkete som egentlig er til høyre i en slik figur havner på venstre og motsatt.

Testing av relativ GPS-posisjonering

Testingen av relativ GPS posisjonering ble gjort for å se om nøyaktigheten ville kunne bli så dårlig som teorien viste. Dette ble implementert i en enkel applikasjon som kontinuerlig sendte sin GPS posisjon til en annen mobiltelefon. På denne andre mobiltelefonen kjørte det en applikasjon som mottok disse posisjonene og beregnet sin egen relative posisjon i forhold til disse ved å selv hente sin egen posisjon.

Denne testen ble gjort over en avstand på opp til 30 meter. Først ble den relative avstanden

mellom posisjonene registrert hver meter fra og med 0 opp til 10 meter, deretter hver 5 meter til og med 30 meter.

I mitt forrige forsøk på å bruke relativ GPS-posisjonering [28] ble den relative GPS-posisjonen hentet ut ved hjelp av posisjonsutveksling med Blåtann-teknologien. Dette var ikke vellykket, mye på grunn av rekkevidden til Blåtann-teknologien. For å prøve å unngå dette problemet valgte jeg å i stede bruke mobiltelefonenes innebygde WLAN-teknologi. Ved å sette opp et aksesspunkt på den ene mobiltelefonen kunne to mobiltelefoner utveksle GPS-posisjoner på samme måte som de kunne i MR-ball prosjektet [28]. Ettersom det ville blitt meget komplisert å sett på de relative posisjonene i sin helhet ble testen forenklet til bare å se på de relative avstandene. På denne måten er det kun en verdi som trengs å måles og dermed holder det også med teste dette på en rett strekning.

Testingen ble gjort seks ganger. Dette gjorde at det er en stor sannsynlighet for at resultatene er representative for hvordan dette kan fungere også i andre applikasjoner.

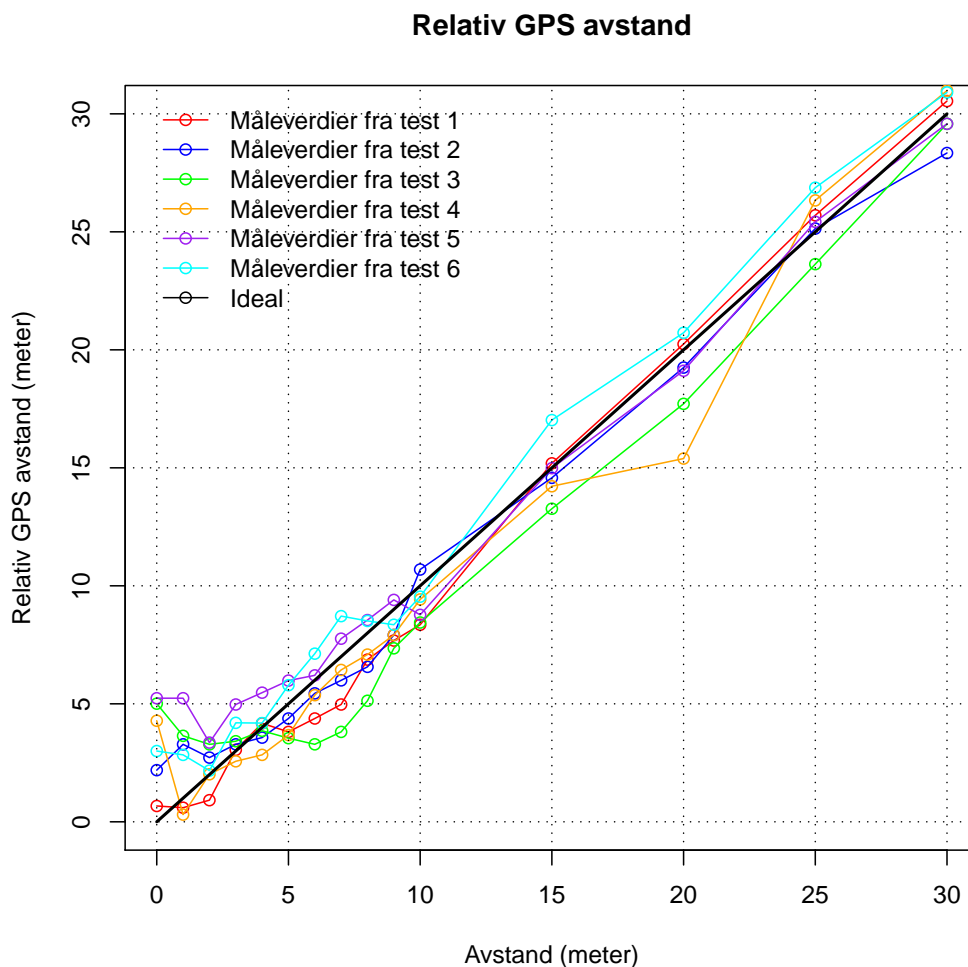
Resultatene fra denne testingen bestod av den relative GPS-avstanden, se figur 3.4, GPS-ens egen unøyaktighetsverdi, se figur 3.5, og den virkelige avstanden fra de aktuelle målepunktene. Når det gjelder GPS avstanden, i figur 3.4 og figur 3.5, kan det se ut til at det har vært noe mer problemer med å få riktige posisjoner i starten. GPS-en skulle dermed ha fått mer tid før målingene ble startet. Ut i fra disse resultatene kunne det uansett se ut til at relativ GPS-posisjonering kunne fungere forholdsvis godt. Selv om GPS'ens egen nøyaktighet tydet på unøyaktigheter opp til over 2 ganger 16 meter kunne det ut i fra de virkelige avvikene se ut til at dette kun var på nærmere 5 meter.

Oppsummering

Relativ GPS-posisjonering kan i teorien være problematisk. Dette viste deg også å kunne være problematisk i praksis med to mobiltelefoner i bevegelse. Dette var noe jeg hadde erfart i et av mine tidligere prosjekter. Ut i fra dette prosjektet hadde jeg dermed begrenset tro på denne metoden. Etter å ha testet dette på nytt kom jeg til en nokså annen konklusjon. I den praktiske testingen viste det seg at avvikene i fra de virkelige avstandene ikke var mer en opp til 5 meter.

3.1.6 Posisjonering ved hjelp av alternative posisjoneringsnettverk

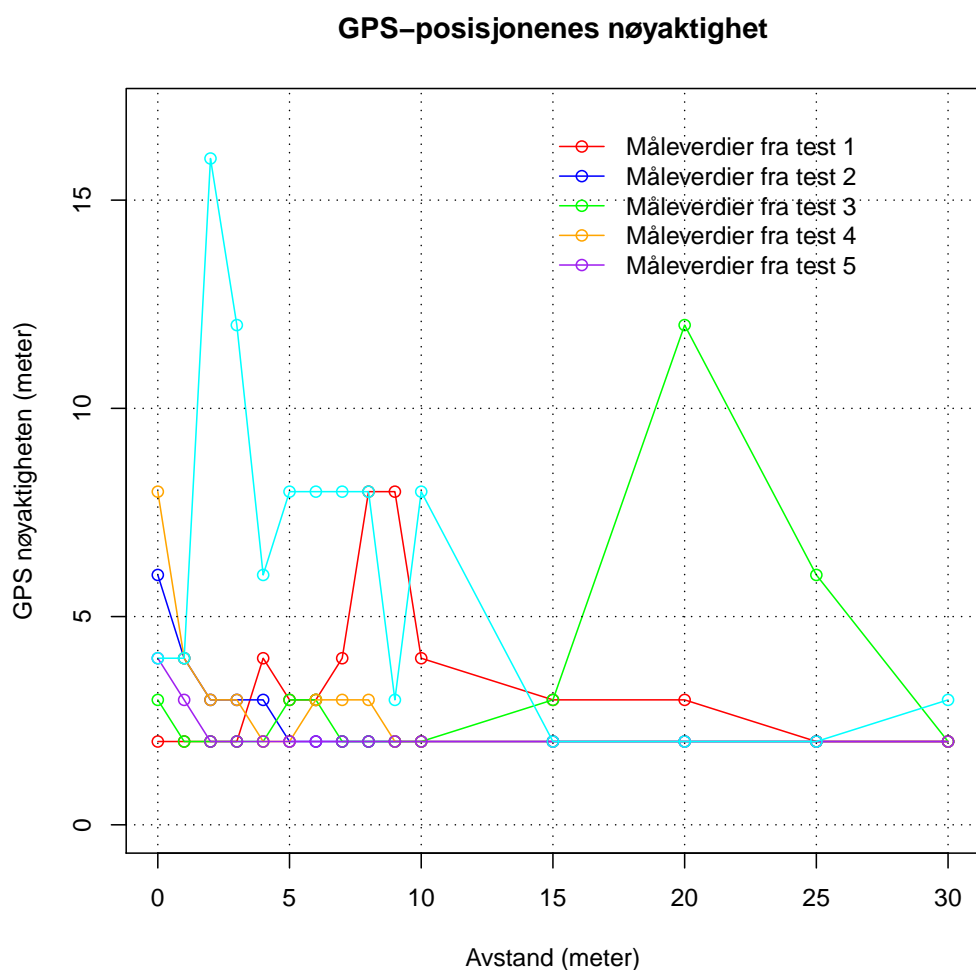
Det mest vanlige posisjoneringsnettverket er det som brukes når man bruker GPS-posisjonering. Dette nettverket er spesiallaget til posisjonering i motsetning til andre nettverk som gjerne brukes til kommunikasjon og dataoverføring. I teorien er det ingen grund til at disse andre nettverkene også



Figur 3.4: Graf over GPS-avstanden ved målepunktene i seks eksperimenter.

kan brukes til posisjonering på lik linje med GPS ettersom de sender ut signaler slik som GPS-nettverket. Nettverk kan gjerne deles inn i to typer; kablede nettverk og trådløse nettverk. Når man skal bruke nettverkene til posisjonering er det i hovedsak snakk om trådløse nettverk ettersom det er disse som kan brukes mobilt. Kablede nettverk kan for eksempel brukes til grovposisjonering, og krever en ren fysisk kobling til nettverket. Trådløse nettverk gjør at man fritt kan bevege seg rundt så lenge man holder seg innenfor nettverkets rekkevidde.

Nettverk kan brukes til posisjonering ettersom man, for eksempel ved hjelp av signalstyrken, kan bestemme den relative avstanden til en eller flere av enhetene i nettverket. Dette kan i prinsippet



Figur 3.5: Graf over GPS-ens egen nøyaktighet ved målepunktene i seks eksperimenter.

fungere likt enten om man bruker kablede eller trådløse nettverk. Problemet med kablede nettverk er i tillegg til kabelen at man gjerne bare kan bestemme posisjoner ved at enheten i andre enden har en kjent posisjon og ikke er langt unna. Trenger man bare avstander kan kablede nettverk fungere på tilsvarende lik linje med trådløse nettverk, så lenge man bare ønsker lengden på kabelen og ikke avstanden i rett linje til den andre enheten. Trådløse nettverk derimot kan gi avstanden til flere enheter i nettverket og dermed gi opp til tredimensjonale posisjoner, lengde, bredde og høyde. Dette kan gjøres ved hjelp av triangulering ut i fra avstandene.

Trådløse nettverk kan gjerne kun gi relative posisjoner ettersom trådløse nettverk gjerne kun

strekker seg utover et begrenset område. Telenettverkene er per i dag det beste alternative nettverket til GPS ettersom dette gjerne dekker mesteparten av anvendelsesområdene. Disse nettverkene brukes til posisjonering i dag, men detter er ikke implementert godt nok til at det gir noe presisjonsposisjonering. Det gir for eksempel bare posisjoner som viser hvilket kvartal man er i og ikke noe mer nøyaktig. Uten for byene der det er langt i mellom telemastene blir nøyaktigheten gjerne dårligere. Skal man kun posisjonere i et meget begrenset område som for eksempel inne i et bygg virker det som som det er WLAN-nettverk som er mest aktuelle, ettersom de gjerne er godt utbygd. Ved å bruke de kartlagte kommunikasjonsmetodene kan det være fullt mulig å få gode posisjoneringsresultater ved hjelp av slike nettverk.

Som med de fleste andre relative posisjoneringsmetoder kan slike alternative posisjoneringsnettverk bruke stil å bestemme globale posisjoner på lik linje med GPS så lenge man vet de globale posisjonene til referanse punktene. Det er dermed få fordeler igjen med GPS-posisjonering ovenfor slike alternative nettverk. Det er gjort en del forsøk på å lage slike alternative posisjoneringsnettverk [26, 15], men det har aldri blitt tatt i bruk i noen større skala. Dette kan ha noe med at man ikke har noen alment tilgjengelige systemer som bruker dette. Med de riktige resursene bør dette ikke være noe problem å implementere dette på mobiltelefoner, men det krever en god del informasjon om nettverkens oppbygning, som nettverkseierne gjerne ikke vil dele.

Alternativt til slike signalførende nettverk kan man også bruke en helt annen type nettverk. Ved for eksempel å bygge opp nettverket med visuelle landemerker kan man i teorien triangulere seg frem til nye posisjoner. For at dette skal bli en posisjoneringsmetode som kan brukes på mobiltelefoner bør det kombineres med for eksempel et kamera slik som det ble beskrevet tidligere.

Oppsummering

Når man snakker om posisjonering ved hjelp av alternative posisjoneringsnettverk er det gjerne alternativer til GPS det snakkes om. Slike alternative nettverk kan fungere på den samme måten som GPS, og kan gi alt i fra mer til mindre nøyaktige posisjoner. Felles for disse alternativene er at de kun fungerer i begrensede områder og må gjerne tilpasses fra nettverk til nettverk. Det kan dermed være vanskelig å implementere dette på mobiltelefoner som et alternativ til GPS. Ettersom nettverk kan være bygget opp på mange forskjellige måter er det flere metoder som kan brukes for slik posisjonering. Man kan for eksempel bruke signalstyrken til trådløse WLAN-nettverk, og eventuelt triangulere seg til posisjoner ut i fra flere signalkilder. Ellers kan man bruke andre metoder som heller bygger på visuelle landemerker. Det som kan gjøre at slike alternative posisjoneringsmetoder er aktuelle er at GPS har en rekke ulemper. Trenger man for eksempel å posisjonere seg nede i en

kjeller er det nødvendig å sette opp et alternativ ettersom GPS-signalene vanligvis ikke rekker ned i kjellere.

3.1.7 Oppsummering av posisjoneringsmetoder

I denne seksjonen har det blitt beskrevet en rekke posisjoneringsmetoder. Ut i fra testingen av tre av metodene kom jeg frem til at minst en av disse metodene ikke ville være gjennomførbar på vanlige mobiltelefoner i dag. Mens denne ene metoden ble avkreftet som relevant, kunne de to andre testene bekrefte at både relativ GPS-posisjonering og posisjonering ved hjelp av signalstyrken kunne være meget relevante. Ettersom relativ GPS-posisjonering i hovedsak kan gjøres forholdsvis enkelt på de fleste mobiltelefoner i dag valgte jeg å heller se på signalstyrken. Posisjonering ved hjelp av signalstyrken kunne se ut til å kreve en del mer jobb og dermed kunne det være nyttigere å gå i mer detalj på denne metoden. Dette var også en metode som andre ønsket at det ble gjort mer arbeid rundt [35].

3.2 Posisjonering ved hjelp av WLAN signalstyrke

Signalstyrke-posisjonering gjøres ved å måle signalstyrken til en eller flere signalkilder. Brukes det bare en signalkilde kan man i utgangspunktet bare få den relative avstanden til denne signalkilden. Trenger man mer detaljerte posisjoner vil man trenge flere signalkilder eller en kombinasjon med andre teknologier. Andre teknologier som kan brukes kan for eksempel være et kompass. Peker man mobiltelefonen mot signalkilden ved alle målinger kan man få en retningsbestemt avstand i forhold til signalkilden. Har man derimot flere signalkilder kan man bruke avstanden til disse til å triangulere seg frem til relative posisjoner.

3.2.1 Signalstyrken

For å kunne se på hvordan signalstyrkeposisjonering kan fungere på mobiltelefoner måtte jeg først se på hvordan selve signalstyrken fungerer. Dette gikk ut på å teste signalstyrken under forskjellige omstendigheter.

Signalstyrken på lang avstand

Den som kanskje viktigste egenskapen å kartlegge er hvordan signalstyrken endrer seg etterhvert som avstanden øker. Fra før hadde jeg funnet ut at dette skulle følge et logaritmisk forhold der signalstyrken hadde store endringer på korte avstander og mindre endringer etterhvert som avstanden øker. Ettersom jeg ikke fant noen eksakt oversikt over hvordan dette fungerer i praksis, foretok jeg en test som skulle demonstrere om denne teorien i praksis.

I teorien skulle Wi-fi-teknologien som jeg tok i bruk kunne gi opp til 100 meters rekkevidde. Jeg begrenset denne testen til kun 30 meter ettersom jeg ikke brukte faste aksesspunkter, men mobiltelefonenes innebygde aksesspunktfunksjonalitet. Testen ble ellers utført ved hjelp av den forhåndsbestemte undersøkelsesprotokollen i vedlegg A. For å kunne måle signalstyrken opp i mot denne distansen måtte jeg lage et målesystem der jeg kunne registrere signalstyrken ved forhåndsdefinerte avstander. I denne testen ble disse avstandene satt til hver meter fra 0, 1, 2, osv opp til 10 meter, deretter gikk jeg over til å måle ved hver 5 meter fra 10, 15, osv opp til 30 meter. Denne testen skulle gi 15 målinger. I utgangspunktet er dette et forholdsvis lite antall målinger, ettersom det er en så lang distanse, men ettersom jeg kun var ute etter å se tendenser mente jeg at dette var nok. Testen ble gjort seks ganger for at jeg kunne være helt sikker på resultatene. Grunnen til at jeg ville ha hver meter opp til 10 meter var at signalstyrken ut i fra teorien skulle endre seg mest der og dermed trengte jeg å gjøre målingene tettere.

I tabell 3.1 og på figur 3.6 kan man se resultatene jeg fikk fra denne testingen. Fra figuren kan man se at forholdet mellom signalstyrken og avstand følger en slags logaritmisk funksjon. Sett ved siden av den logaritmiske funksjonen $-\log_{10}(\text{avstand} + 1) * 60$, som man kan se på figuren, kan det se ut til at forholdet mellom signalstyrke og avstand er mer komplisert enn som så. Dette forholdet ser ut til å ha en meget kraftig endring av signalstyrken i starten og meget svak endring etterhvert. Den samme tendensen ser man også på den logaritmiske funksjonen, men endringene i denne er mye svakere. På grunn av de kraftige endringene i starten kan det virke som om det kan være lettere å få nøyaktige målinger på korte avstander, ettersom hver meter kan deles inn i flere signalstyrkeverdier.

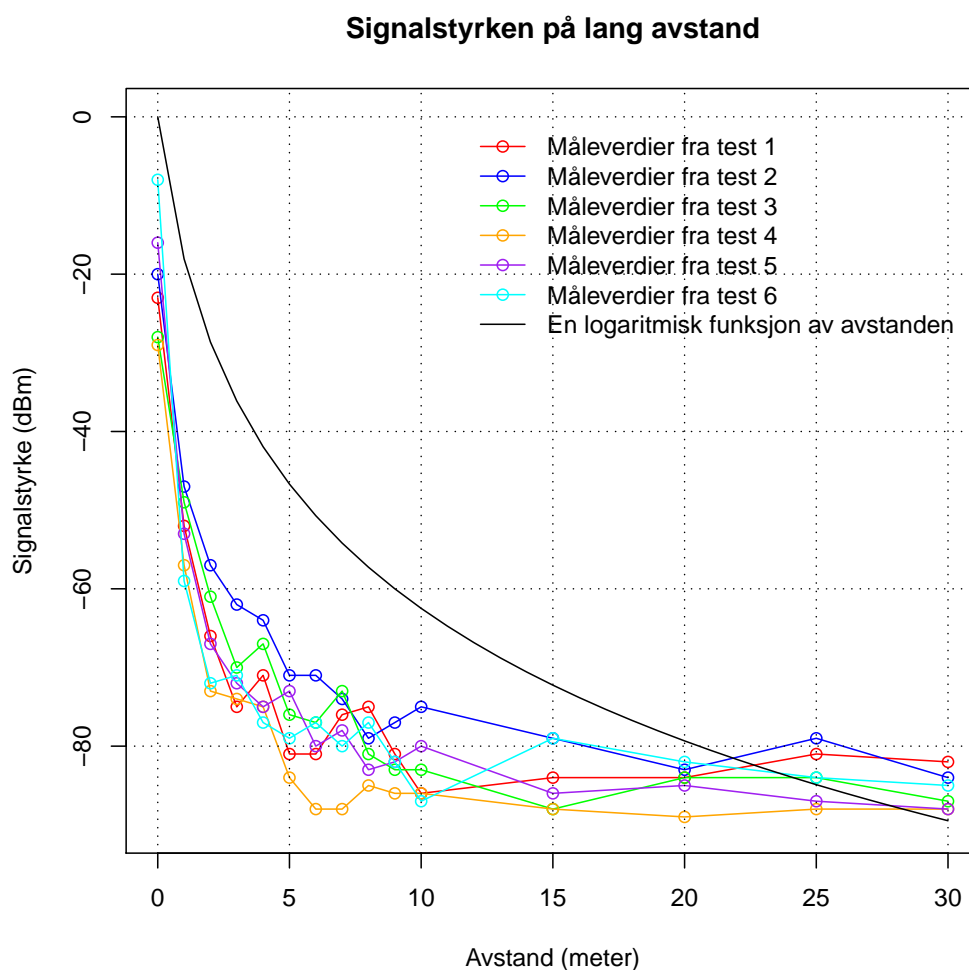
Noe som kan vise seg å gjøre bruken av signalstyrken problematisk er variasjonene man kan se i fra resultattabellen. Man kan se at det var forholdsvis store forskjeller i hvilke signalstyrkeverdier jeg målte ved avstandene. På 0-meters avstandsmålingen fikk jeg hele 21 dBm forskjell i signalstyrken. Hvis man ser dette i forhold til at signalstyrken under testene holdt seg innenfor -8 til -89 er dette en veldig stor variasjon. Denne variasjonene ser ut til å avta etterhvert som avstanden øker, men ettersom forholdet mellom signalstyrkeverdiene og avstandene avtar enda raskere kan

Avstand Meter	Signalstyrke						Maks	Min	Differanse
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6			
0	-23	-20	-28	-29	-16	-8	-8	-29	21
1	-52	-47	-49	-57	-53	-59	-47	-59	12
2	-66	-57	-61	-73	-67	-72	-57	-73	16
3	-75	-62	-70	-74	-72	-71	-62	-75	13
4	-71	-64	-67	-75	-75	-77	-64	-77	13
5	-81	-71	-76	-84	-73	-79	-71	-84	13
6	-81	-71	-77	-88	-80	-77	-71	-88	17
7	-76	-74	-73	-88	-78	-80	-73	-88	15
8	-75	-79	-81	-85	-83	-77	-75	-85	10
9	-81	-77	-83	-86	-82	-82	-77	-86	9
10	-86	-75	-83	-86	-80	-87	-75	-87	12
15	-84	-79	-88	-88	-86	-79	-79	-88	9
20	-84	-83	-84	-89	-85	-82	-82	-89	7
25	-81	-79	-84	-88	-87	-84	-79	-88	9
30	-82	-84	-87	-88	-88	-85	-82	-88	6

Tabell 3.1: Tabell med signalstyrkeverdiene fra de seks testene på lang avstand.

dette bli problematisk. Hvordan dette kan påvirke kan man tyde ut i fra resultatene. Ved 10-meters målepunktet viste det seg at signalstyrken kunne være i mellom -75 og -87. Dette betyr at alle disse signalstyrkeverdiene tilsvarer 10 meter. Se man på resultatene i fra 3-meters målepunktet kan man se at også denne avstanden kan beskrives med en signalstyrken på -75. Samtidig kan man se at -87 også kan bety at avstanden er 30 meter. I dette tilfellet ville derfor en eventuell bruk av signalstyrken bli meget problematisk.

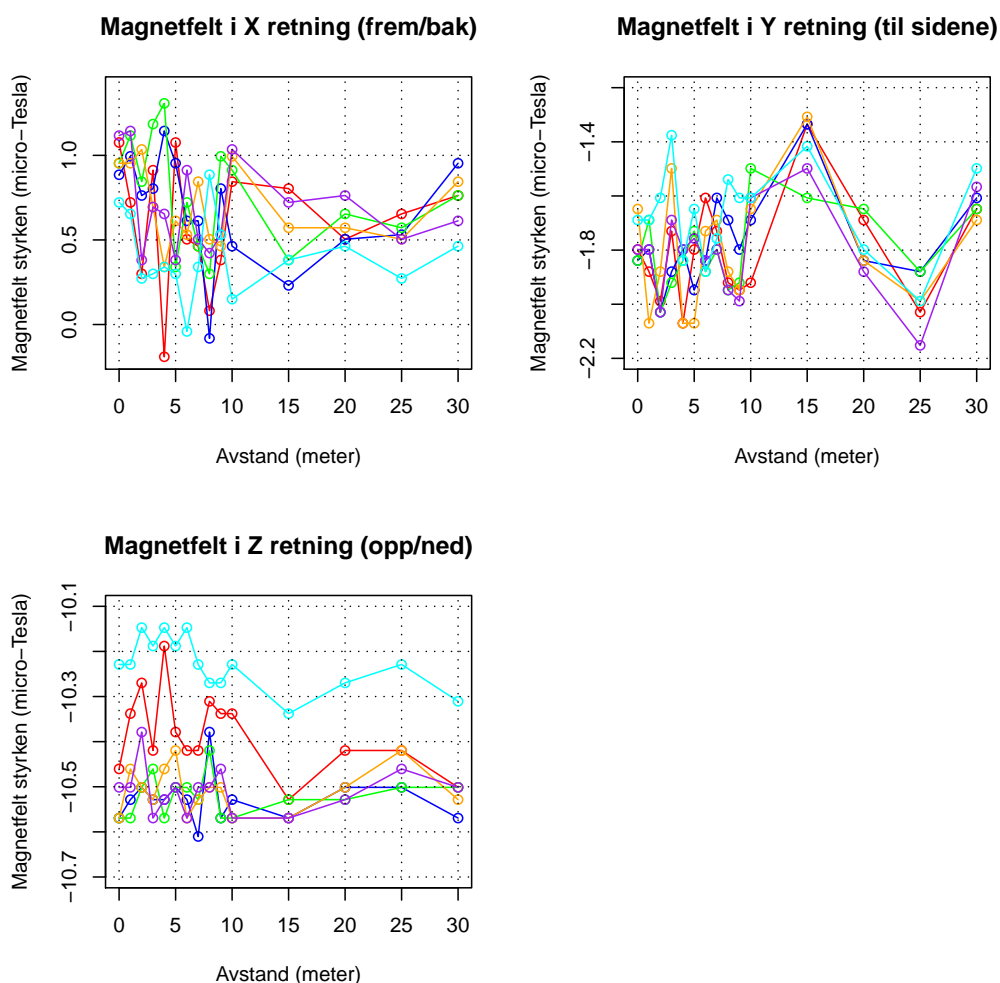
Samtidig som signalstyrken ble målt ble det også foretatt målinger av de magnetiske forholdene, se figur 3.7. Dette er målinger som ble gjort i ulike retninger. Ut i fra disse målingene kan man se at disse forholdene også varierer underveis og fra test til test. Ser man på tendensene til disse resultatene i forhold til signalstyrken er det ingen direkte sammenhenger. Hvis slike magnetiske verdier kan påvirke signalstyrken er det i så tilfelle merkelig at signalstyrken ikke blir spesielt påvirket av de store endringene i magnetfeltet mellom 15 og 25 meter. Ut i fra disse målingene ser det dermed ut til at dette ikke er en av kildene til de problematiske variasjonene.



Figur 3.6: Graf over signalstyrkene fra testen på lang avstand, ved seks ulike stillinger.

Signalstyrken på kort avstand

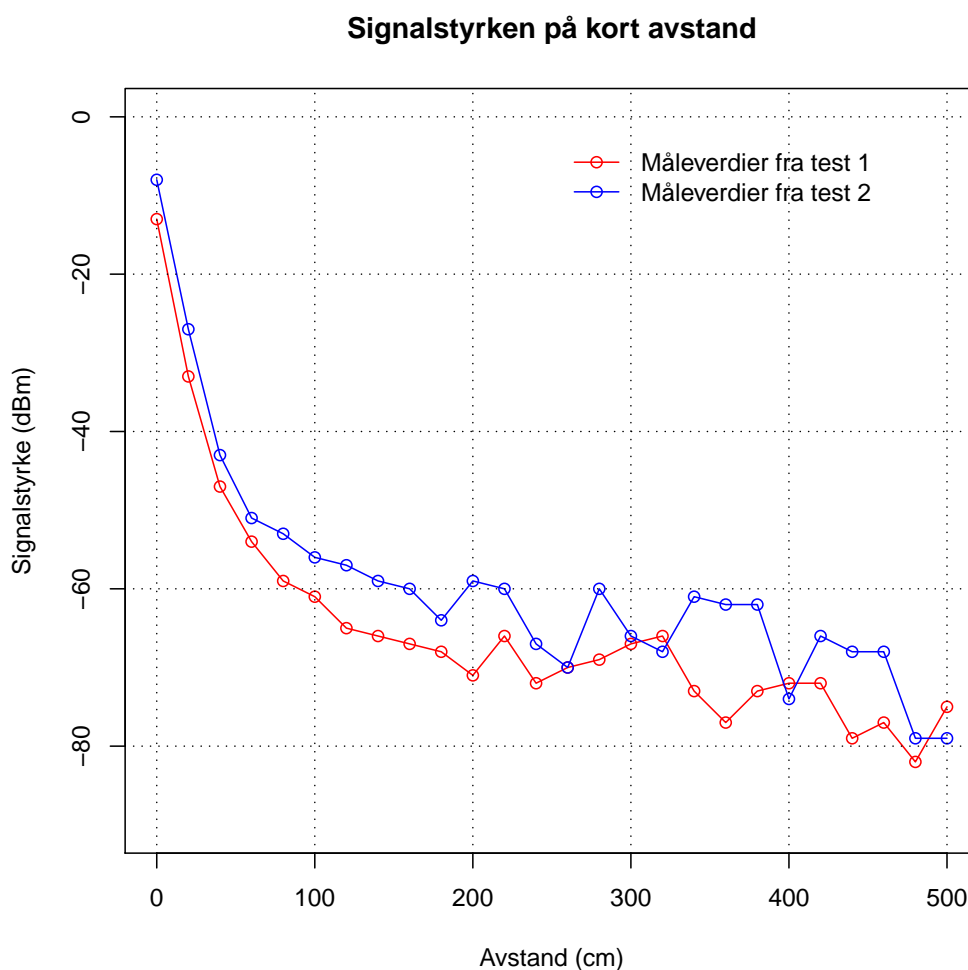
Testen jeg foretok på lang avstand kan fungere som referansemålinger hvis man ønsker å se på signalstyrken opp til 30 meter. Trenger man kun å se på signalstyrken opp til 5 meter ønsker man gjerne mer detaljer i målingene. Disse avstandene kan være relevante hvis man skal presisjonsposisjonere innendørs der man ikke trenger de store avstandene. For å se på hvordan signalstyrken oppfører seg på opp til 5 meter så jeg dermed på hver 20 centimeter fra 0 til 5 meter. Dette førte til hele 26 målinger, noe som førte til en vesentlig bedre oppløsning i forhold til testen på lang avstand. Dette ble gjort to ganger. Bortsett fra at avstandene var forskjellig ble disse testene gjort på den samme



Figur 3.7: Grafer over de magnetiske målingene under testingen av signalstyrken på lang avstand.

måten som testen på lang avstand.

På figur 3.8 kan man se hvordan signalstyrken endrer seg på avstandene opp til 5 meter. I likhet med testen av signalstyrken opp til 30 meter kan man her se at de største endringene foregår i starten, mens signalstyrkeverdiene dabbet av etterhvert som avstandene nærmer seg 5 meter. Det er også mulig å se tendensene til de samme variasjonene som var så tydelige i 30-meters testen. På noen avstander ser signalstyrken målt til den samme som den er blitt målt til på en annen avstand. Dette sier dermed at disse variasjonene ikke bare kan være problematiske på lengre avstander, men også på andre skalaer. Det der dermed mulig at denne tendensen også ville vært til stede på avstander



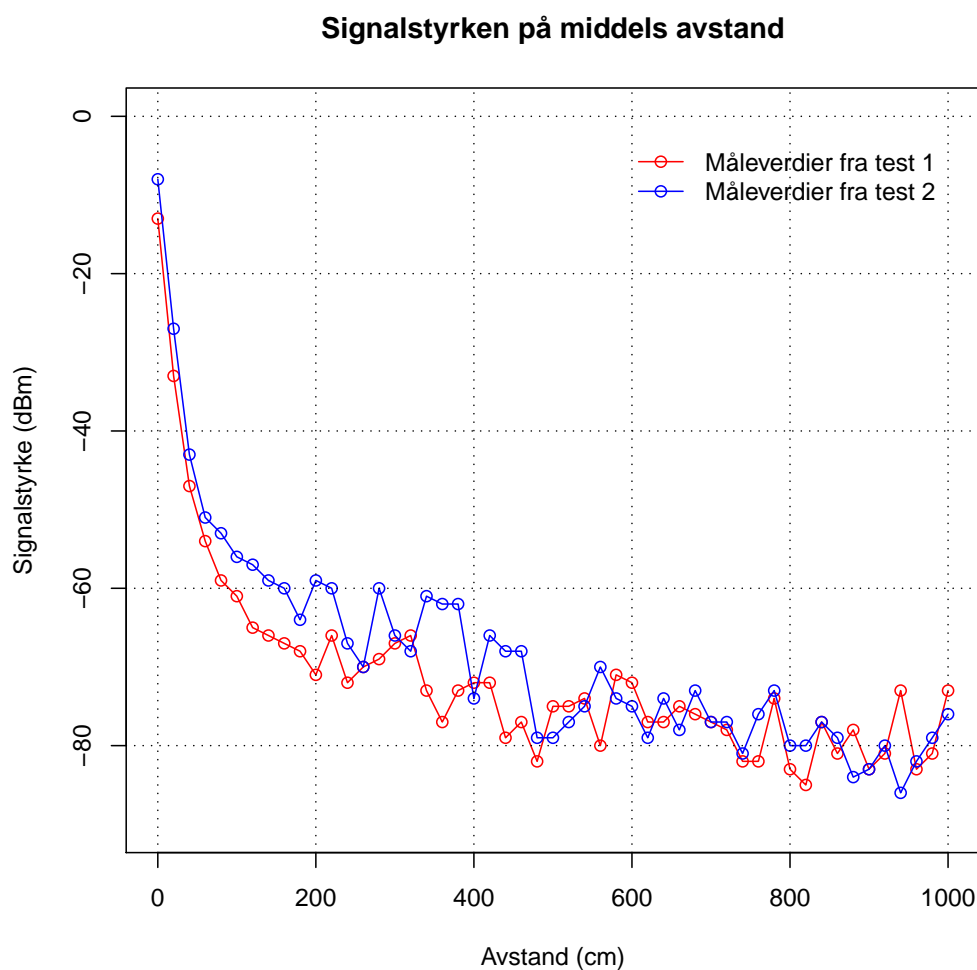
Figur 3.8: Graf over signalstyrken på kort avstand.

opp til 100 meter og nede på under 1 meter. Variasjonene i signalstyrken kan dermed se ut til å kunne beskrives som en fraktal [11].

Signalstyrken på middels avstand

Ettersom 5 meter, som ble testet på kort avstand, ikke egner seg til de fleste anvendelsene man kan tenke seg å bruke posisjonering bestemte jeg meg for å gjøre et nytt sett med målinger. Disse ble gjort opp til 10 meter. I likhet med 5-meters testen ble dette testet ved å foreta målinger hver 20 centimeter. Dette ble også gjort to ganger. To tester er i utgangspunktet minimum ettersom man

alltid trenger et sett man kan bruke til å bestemme om det første sette kan være representativt for de virkelige verdiene. Hvis begge settene gir de samme resultatene kan man være sikrere på at man har målt representative verdier. Det beste ville være å foreta flere tester slik at man ved eventuelle avvik kan se hvilket av de to først settene som er mest riktige. Dette ble ikke gjort i disse testene ettersom det ville ta for mye tid.



Figur 3.9: Graf over signalstyrken på middels avstand.

Resultatene av testene av signalstyrken opp til 10 meter viste seg å være forholdsvis like resultatene jeg fikk på de andre avstandene. Ut i fra målingene jeg fikk i disse testene, se figur 3.9, kan man se at signalstyrken svinger opp og ned. I motsetning til testen på opp til 30 meter virker det som

om både denne testen og testene på kort avstand har mer tydelige signalstyrke-til-avstand tendenser. Selv om det er forholdsvis store variasjoner i alle testene virker det som om forholdet mellom signalstyrken og avstand er mer tydelig på disse kortere testene. Dette bekrefter at signalstyrken kan være mer problematisk på lengre avstander.

Stabiliteten på signalstyrken ved utladning

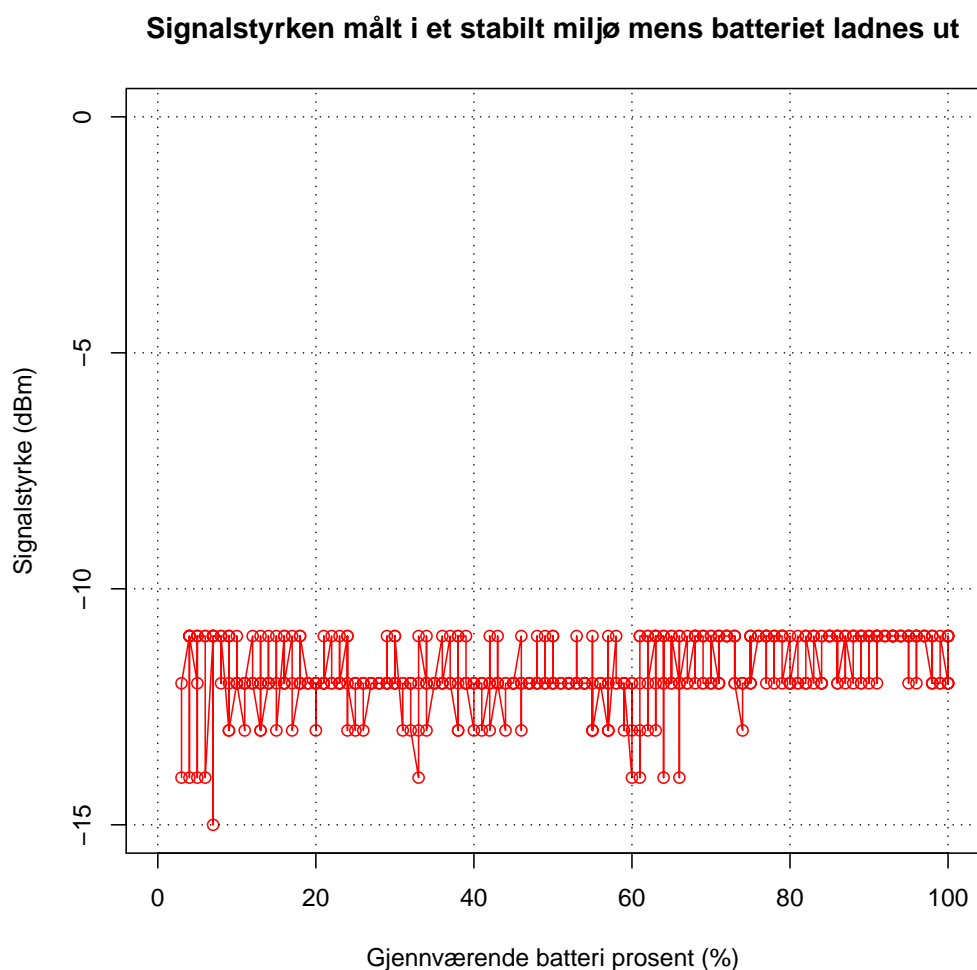
Batteridrevet utstyr har det med å prestere dårligere etterhvert som batterinivået synker. Dette er noe man kan se på alt i fra leketøys biler til lommelykter. Hvis dette også på noen måte gjelder for mobiltelefoner vil dette være merkbart på signalstyrken. Ut i fra personlige erfaringer virker ikke dette være et problem på mobiltelefoner, men for å være sikker utførte jeg en dedikert test for denne mulige problemstillingen. Testen ble gjort ved å la en mobiltelefon lade seg ut mens den med jevne mellomrom målte signalstyrken og batterinivået. Ved å se på slike målinger skulle jeg kunne se om det ble noen endringer underveis. Testen tok rundt 10 timer og målte verdiene hvert minutt.

Denne testen viste at signalstyrken forholdt seg stabil underveis. På figur 3.10 ser man at signalstyrken forholder seg nokså stabilt. Variasjonene som forekommer gjennom hele testen kan ha kommet av at signalstyrken egentlig lå på et nivå i mellom disse verdiene. De større variasjonene kan ha kommet av støy i fra miljøet. Det er ekstra store svingninger på slutten, men om dette kommer i fra støy eller batteriet er vanskelig å si noe om. Det virker i det minste ikke som om det er noen store endringer som følge av batterinivået.

Stabiliteten på signalstyrken

Det er forholdsvis mange støykilder som kan påvirke signalstyrken. Som mange har oppdaget hjemme kan signalene for eksempel påvirkes av mikrobølgeovner og hårføner. I tillegg til slike hjemmeapparater er det også gjerne fullt av annen svakere ambient støy i luften, som for eksempel kan komme i fra et annet nærliggende trådløst nettverk. For å se hvordan slik ambient støy kan påvirke målinger av signalstyrken utførte jeg en test der jeg prøvde å holde alle påvirkninger til det minimale. Ved å isolere testenhetene i et eget rom i en kjeller prøvde jeg å skjerme for de verste påvirkningene. Testen ble gjort ved å la de to enhetene ligge side om side i 15 minutter. Dette mente jeg burde være nok til å kunne se eventuelle tendenser. Resultatene i fra denne testen kunne for eksempel kunne bestemme hvor nøyaktig man kan få signalstyrken.

Etter å ha kjørt denne testen så det ut til at signalstyrken kan forholde seg nokså stabil i stabile miljøer, se figur 3.11. De eneste variasjonene som forekommer er de samme små svingningene som

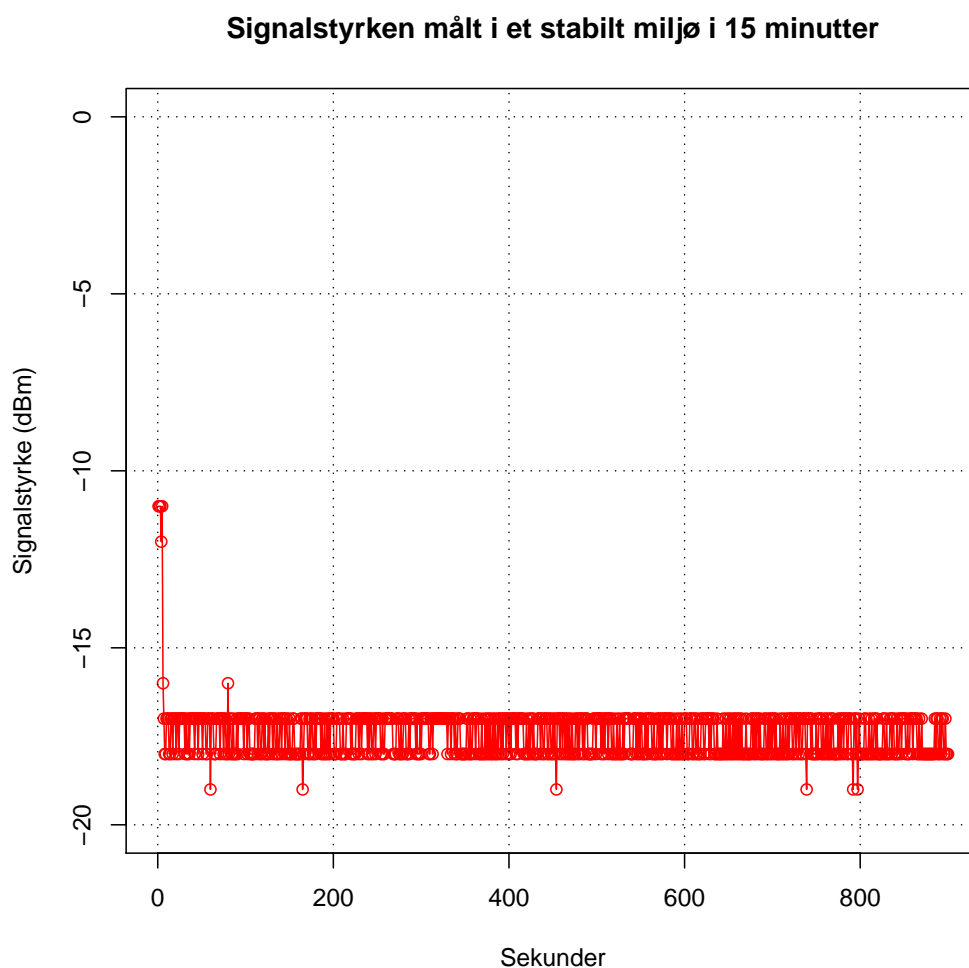


Figur 3.10: Resultatet av stabilitetstesten av signalstyrken ved utladning.

var tilstede under testingen ved utladning. Ettersom denne testen målte signalstyrken ofte fikk den muligens med seg at jeg trakk meg unna. De første målingene som avviker i fra de andre ble i det minste tatt før jeg hadde fått kommet meg ut av rommet der testen ble gjort.

Signalstyrken i ulike retninger

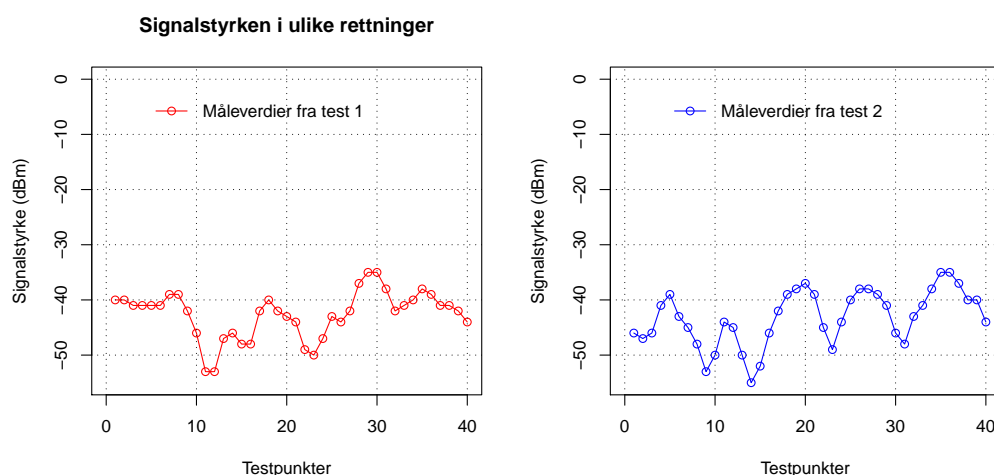
Antenner har vanligvis har en utbredelse som varierer ut i fra retningen og hva signalene må igjennom. Spesielt på mobiltelefoner der antennen ligger inni enheten kan det være forskjeller i hvor mye



Figur 3.11: Resultatet av stabilitetstesten av signalstyrken.

signalstyrken kan måles til i de ulike retningene. For å finne ut av hvilken grad retningen påvirker signalstyrken på mobiltelefoner ble det satt opp en enkel test. Mens den ene enheten lå stabilt i en retning ble den andre enheten snurret rundt tilnærmet 360 grader. Dette ble gjort to ganger med samme type enhet. Ettersom resultatene fra en slik test vil variere fra enhetstype til enhetstype var dette kun en demonstrasjon på hvordan dette kan påvirke signalstyrken. Med en stor enhet kan eventuelle påvirkninger være større ettersom det da er mer enhet for signalene å trenge igjennom.

Ut i fra denne testen ble det klart at dette ville være vanskelig å teste nøyaktig, i det minste på den måten jeg brukte. På figur 3.12 kan man se at begge testene resulterte i signalstyrkevariasjoner.



Figur 3.12: Resultatet av signalstyrken i ulike retninger.

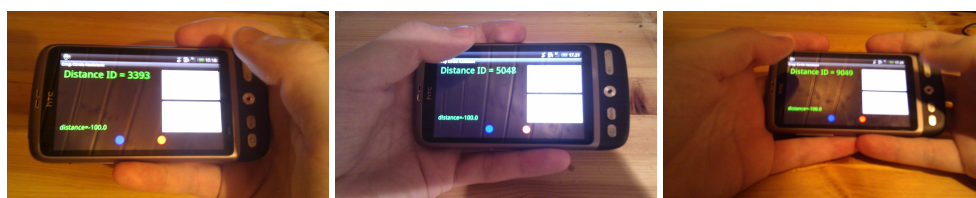
Variasjonene kunne være helt opp på 20 dBm ut i fra mine tester på 1-meters avstand. Ser man på hvordan variasjonene endrer seg kan det se ut til at det kan være fire topppunkter og fire bunnpunkter. I mine tester var det tydeligvis noe spesielt på begynnelsen av testene som gjorde at det ble flere svingninger, men ser man på testene helhetlig kan det se ut til at det var fire store svingninger. Ettersom enheten som ble rotert startet og sluttet i en retning som peket enhetens toppdel mot den andre enhetens toppdel kan det virke som om signalstyrken rundt denne typen mobiltelefoner er lik ved hver 90 grader. Svingningene virket dermed å ligge mellom hver av disse retningene.

Signalstyrken i ved ulike grep

Det er gjerne ikke så veldig mange ulike måter å gripe rundt mobiltelefoner, men ut i fra personlige erfaringer bestemmes dette av hva som skal gjøres på skjermen. Noen oppgaver gjøres med mobiltelefonene i landskapsmodus, mens andre i portrettmodus. Grunnen til at dette er relevant er at man ved å holde rundt mobilen muligens kan påvirke signalstyrken. Holder man rundt akkurat der antennen ser man vanligvis at man får dårligere signaler på de vanlige telefonsignalene. Dette kan muligens også føre til store endringer på signalstyrken, og dermed satte jeg sammen en egen test for nettopp dette. I denne testen tok jeg for meg åtte grep, se figur 3.13, jeg mente kunne være mest relevante i sammenheng med mobiltelefoner. For å se på hvordan disse grepene kan påvirke signalstyrken tok jeg også med en referansemåling der jeg la i fra meg mobiltelefonen. Denne testingen ble gjort på 3-meters avstand i fra signalkilden.



(a) Stående med høyre hånd
 (b) Stående med høyre hånd med tommel på høyre side og pekefinger på toppen
 (c) Stående med venstre hånd
 (d) Stående med venstre hånd med tommel på venstre side og pekefinger på toppen
 (e) Stående med to hender

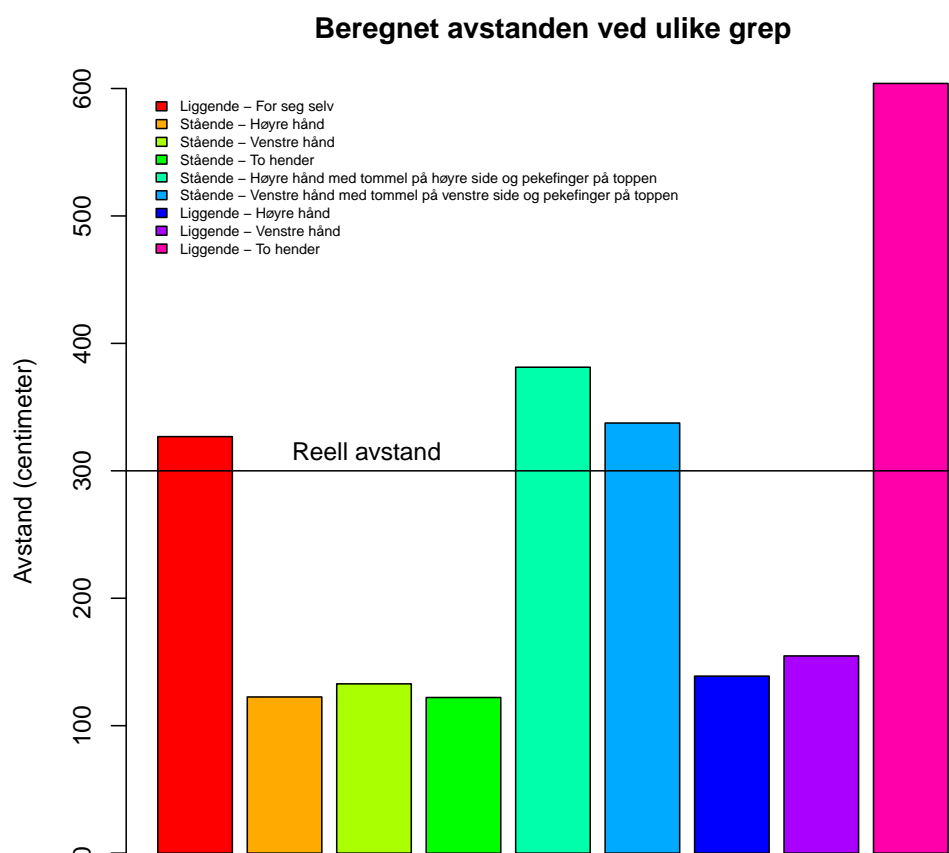


(f) Liggende med høyre hånd
 (g) Liggende med venstre hånd
 (h) Liggende med to hender

Figur 3.13: De ulike grepene som ble testet i sammenheng med signalstyrken.

<i>Situasjon</i>	<i>Signalstyrke (dBm)</i>	<i>Avstand (centimeter)</i>
Liggende - For seg selv	-67	327
Stående - Høyre hånd	-52	123
Stående - Venstre hånd	-53	133
Stående - To hender	-52	122
Stående - Høyre hånd med tommel på høyre side og pekefinger på toppen	-70	381
Stående - Venstre hånd med tommel på venstre side og pekefinger på toppen	-67	337
Liggende - Høyre hånd	-54	139
Liggende - Venstre hånd	-55	155
Liggende - To hender	-79	604

Tabell 3.2: Målinger av signalstyrken i ved ulike grep.



Figur 3.14: Målinger av signalstyrken i ved ulike grep.

Denne testen resulterte i verdiene man kan se i tabell 3.2 og på figur 3.14. Ser man på signalstyrkene i tabellen kan det se ut til at forskjellene mellom de ulike grepene er forholdsvis store. På denne avstanden kunne signalstyrken endre seg mellom -52 og -70. Ettersom dette kun ble testet en gang er det sannsynlig at disse endringene kan være større. På 3 meter som det ble testet her er signalstyrken kommet opp på et stadium der små endringer kan bety store endringer i avstand. Dette kan man se ut i fra avstandsbergingene jeg har lagt ved disse resultatene. Dette viser hvilke avstander de ulike signalstyrkene kan tilsvare. På figur 3.14 viser dette at forskjellene i hvordan mobiltelefonen blir holdt kan få store konsekvenser. Ut i fra disse resultatene er det ikke bare mulig

å blokkere signalene slik at signalstyrken blir dårligere. I flere av tilfellene kan det virke som om signalstyrken ble forsterket i forhold til referansen og dermed gav kortere avstander. Dette kan ha kommet av at en hånd har fungert som en utvidelse av antennen og gjort mottakingen lettere. Ellers er det også tydelige tegn på at hendene kan blokkere signalene og på denne måten gi avstander som er lengre enn de skal.

Oppsummering av signalstyrken

For å få osubsec: over hvordan signalstyrken oppfører seg i praksis utførte jeg en rekke tester. Disse testene skulle kunne danne oversikter over hvordan signalstyrken kan endrer seg ved ulike avstander. De skulle også vise hva som eventuelt kan påvirke signalstyrken ute i den virkelige verdenen. Resultatene fra disse testene kan være viktige når man skal bruke signalstyrken til posisjonering ettersom posisjonene i disse tilfellene vil kunne "arve" unøyaktigheter og variasjoner i fra signalstyrken.

3.2.2 Utjevning av signalstyrken

Ut i fra testene som ble gjort av signalstyrken viste seg at det var forholdsvis store variasjoner i signalstyrken. Dette er noe som kan gi store unøyaktigheter i avstandsmålingene. Er variasjonene kjente kan man for eksempel kompensere for dette ved å legge til eller trekke i fra noen verdier. Ettersom variasjonene sjeldent er kjente vil dette være vanskelig å gjennomføre. Løsningen på dette kan være å foreta en utjevning av signalstyrkeverdiene. Utjevning er vanligvis en form for dynamisk kompensering av verdier. Måles det nye verdier som varierer veldig mye i forhold til de ventede verdiene vil de bli justert slik at variasjonen blir begrenset. Problemet med å bruke utjevning på denne måten er at man også kan begrense de ønskede variasjonene. Det er dermed viktig å kunne tilpasse utjevningen slik at man kun jevner ut de uønskede variasjonen.

Kalman filter

Kalman filtre er en type utjevning algoritmer som bruker tidligere verdier til å bestemme nye verdier. Dette gjøres ved at algoritmen ser tilbake på de tidligere verdiene bestemmer nye verdier ut i fra verdienes tendens. Har alle de siste verdiene ligget på en verdi er det stor sannsynlighet for at de nye verdiene også skal ligge rundt denne verdien og dermed blir den tilpasset etter dette.

Kalman filtre jobber i utgangspunktet med matriser, men kan også jobbe med enkle diskrete verdier. I hovedsak består Kalman filtre av to blokker, en estimeringsblokk og en oppdateringsblokk.

Disse fungerer i en løkke slik at blokkene tar over resultatet til den andre og bruker dette for å generere nye resultater. Mer detaljert ser algoritmen slik ut:

u = Verdien til den siste målingen

y = Verdien til den nye målingen

Oppdaterer den estimerte verdien:

$$x = A * x + B * u$$

Kalkulerer forskjellen mellom den andre måleverdien og den estimerte verdien:

$$Inn = y - C * x$$

Kalkulerer kovariansen:

$$s = C * P * C' + Sz$$

Kalkulerer forsterkningen:

$$K = A * P * C' * s^{-1}$$

Retter opp estimeringen:

$$x = x + K * Inn$$

Kalkulerer kovariansen til estimeringsfeilen:

$$P = A * P * A' - K * C * P * A' + Sw$$

Det finnes flere typer Kalman filtre, der noen av disse er Extended Kalman filter, Unscented Kalman filter, Ensemble Kalman filter og Fast Kalman filter. Felles for disse er at de bygger på det originale Kalman filteret. Filtrene har gjerne fordeler på forskjellige felt. Noen er for eksempel for ikke-lineære målinger, mens andre er for lineære målinger. Ettersom de har ulik kompleksitet vil noen av typene ta lengre tid å eksekvere en andre, noe som i mange tilfeller vektes viktigere enn gode resultater.

Kalman filtre er en meget vanlig utjevningemetode. Dette er for eksempel bygd inn i GPS-teknologien. Tegn på dette kan man se når man bruker GPS til bilnavigasjon. Hvis man følger med på GPS-posisjonene når man svinger kan man se at posisjonene ikke helt henger med i svingen. Dette kommer av at denne implementasjonen av utjevningen er konfigurert slik at de nye verdiene ikke blir tatt på alvor før det har blitt mange nok av de nye verdiene som sier at man svinger. Hvis

GPS-teknologiene hadde blitt implementert med en kortere hukommelse av verdiene eller vektet de nye verdiene høyere kunne slike situasjoner blitt begrenset til nesten å være ikkeeksisterende. Grunnen til at dette er konfigurert slik det er er for å kunne gjøre utjevningen i alle andre tilfeller så god som mulig.

En enkel utjevningsmetode

Som man kan se ut i fra beskrivelsen av Kalman filtre kan utjevning være forholdsvis komplisert. Dette gjøre det ikke bare vanskelig å implementere men det kan også bli ressurskrevende. For å unngå dette kan man bruke forenklede versjoner av utjevning. Den enkleste utjevningsmetode man kan implementere er gjennomsnitt mellom den nye og den forrige verdien. Dette vil gi meget begrensede resultater ettersom eventuell støy gjerne påvirker mer en en verdi. Støyen kan gjerne påvirke i lengre perioder med ujevn intensitet.

For å håndtere støy som påvirker i lengre perioder kan man implementere gjennomsnitt over lengre perioder. Etterhvert som man gjør periodene lengre kan man fort få problemer med at utjevningen blir for kraftig. Det vil da kreve mange nye verdier før man kan se den virkelige endringene. Dette er derfor heller ikke en god utjevningsmetode.

Går man derimot et skritt lenger å legger til vektning av de tidligere verdiene og den nye verdien kan man tilpasse gjennomsnittsfunksjonaliteten. Slik kan man ta mer hensyn til de nyere verdiene samtidig som man også tar hensyn til tendensen over en lengre periode. Utjevning algoritmen kan da se slik ut:

x_k = Estimert verdi

W = Vektfaktoren til de nye inn-verdiene

x_{k-1} = Den forrige inn-verdien

y = Den nye inn-verdien

Estimering av nye verdier:

$$x_k = (1 - W) * x_{k-1} + W * y$$

Algoritmen fungerer ved at den forrige verdien x_{k-1} er med på å bestemme hva den estimerte verdien x_k skal bli. Hvor viktig den forrige verdien er for resultatet bestemmes av verdien W . Hvis W er stor (opp mot 1) vil resultatet bestemmes mer av den nye verdien y enn den forrige verdien. I motsatt tilfelle vil resultatet være mer likt den forrige verdien.

Skal man bruke algoritmen med en lengre historikk av tidligere verdier kan utjevningssalgoritmen utvides til å se slik ut:

V = Vektfaktoren til de historiske verdiene

t = Antall verdier i historien

Beregning av vekt faktoren:

$$V = (1 - W)/(t + 6)$$

Estimering av nye verdier:

$$x_k = V * 4 * x_{k-1} + V * 3 * x_{k-2} + V * 2 * x_{k-3} + V * x_{k-4} + \dots + V * x_{k-t} + W * y$$

Her blir de tre siste verdiene i historien vektlagt mer enn resten av historien, og det er den nye verdien som er viktigst etterfulgt av den nest siste osv.

Oppsummering

Utjevning av variasjonene på signalstyrken kan gjøres på flere måter. Trenger man gode og jevne verdier kan det være relevant å gå for et avansert Kalman filter. Dette er en ressurskrevende form for utjevning, et alternativ kan dermed være å bruke en enklere form for utjevning der man kutter ut noen av stegene i Kalman filtre. For å se hvor godt dette kan jevne ut variasjoner på signalstyrken foretok jeg en test av ett av datasettene med målinger av signalstyrken på kort avstand.

3.2.3 Regresjonsanalyse

Forhold mellom signalstyrken og avstanden er ikke lineært, det kan dermed være problematisk å bruke signalstyrken direkte. Det vil dermed være relevant å kjøre signalstyrken igjennom en funksjon som kan gjøre dette forholdet mer lineært. I utgangspunktet vet man at dette forholdet skal likne på en logaritmisk funksjon, men uten noe mer informasjon er det vanskelig å si noe mer. Har man derimot noen målepunkter kan man bruke disse i en form for regresjonsanalyse. Dette skal da kunne gi en modell som kan gi avstander i fra hvilke som helst signalstyrkeverdier.

Å foreta en regresjonsanalyse er å finne en sammenheng mellom kjente data. En metode for regresjonsanalyse er kurvetilpasning eller curve fitting, som det heter på engelsk. Dette gjøres ved å først finne en funksjon som ligger så nær dataene som mulig og deretter beregne feilen mellom dataene og denne funksjonen. Har man en anelse om hvordan denne formelen ser ut kan

denne brukes som et utgangspunkt. For å generere den best mulige formelen kan man bruke mange forskjellige metoder. En slik metode er ved hjelp av genetisk programmering. Dette er en form for automatisk programmering og bruker evolusjons prinsippet. Denne metoden kan starte med en helt enkel formel og utvikle denne til å passe et datasett. Ved å legge til en eller flere variabler og/eller matematiske operatører, og deretter teste de nye formelene opp i mot datasettet, kan denne metoden nærme seg den beste formelen. Hvis den nye formelen er dårligere blir den forkastet, men hvis den er bedre vil metoden gå over til å forbedre denne formelen.

3.2.4 Avstander opp til 5 meter

For å finne en passende modell for forholdet mellom signalstyrke og avstand ble datasettet fra testingen av signalstyrken på kort avstand brukt. Dette datasettet ble brukt ettersom dette var det mest detaljerte datasettet på kort avstand og var det datasettet som hadde minst variasjoner. Ettersom det ut i fra testene virket som om det var på korte avstander som signalstyrken ville fungere best var det dette som ble prioritert for modellen.

For å generere modellen ble det først vurdert å bruke den ikke-lineære regresjonsfunksjonen nlsfit i statistikkverktøyet R. Dette viste seg å være vanskelig ettersom den krever en forholdsvis riktig funksjon som utgangspunkt. Løsningen ble til slutt å bruke genetisk programmering med programmet Eureka[42]. Dette programmet ble konfigurert slik:

- Datasett: Dataene fra den første testen av signalstyrken på kort avstand.
- Utjevning (Weight Smooth): $1/Signalstyrke$ Dette ble gjort for å jevne ut dataene i datasettet ettersom det var så store sprik noen steder.
- Ønsket formel: $Avstand = f(Signalstyrke)$ Det er signalstyrken som er den kjente variabelen og avstanden som er målet.
- Fitness metode: Mean Absolute Error
- Blokker: Constant, Add, Subtract, Multiply, Devide, Square root, Exponential, Logarithm, Absolute value, Power og Power to constant Jeg var ute etter en logaritme liknende funksjon og dermed hadde jeg ikke bruk for noen mer avanserte operatører som cosinus osv.

Med denne konfigurasjonen kjørende noen timer kom det frem flere funksjoner som kunne passe forholdsvis godt i forhold til dataene. Problemet med de beste funksjonene var at de var for

spesialiserte til nettopp dette datasettet. Det verste eksempelet på dette var:

$$\begin{aligned}
 Avstand = & (-8.9334517 * Signalstyrke - 632.07483) / (0.90175498 * Signalstyrke \\
 & + 11.408734 * abs(62.282085 + Signalstyrke) \\
 & + 5.7097087 / (60.610847 + 0.90175498 * Signalstyrke)) \\
 & + 5.7097087 / (60.610847 + 0.90175498 * Signalstyrke) \\
 & + 11.408734 * abs(62.282085 + Signalstyrke) \\
 & - 35.196899 / (632.07483 + 9.0021982 * Signalstyrke) \\
 & - 13.358765 * Signalstyrke \\
 & - 753.35913
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Denne funksjonen var teoretisk den mest passende funksjonen, men som man kan se har den nesten et ledd til hver enkelt data og er derfor for spesialisert.

I den andre enden av listen av passende funksjoner kunne man finne en forholdsvis enkel eksponential-funksjon.

$$f(y) = (-0.037650846 * y)^{5.7311201}$$

Selv om denne funksjonen ikke passet like godt var dette formelen som var best egnet som modell. Dette kommer av at dette er en fin og jevn funksjon som ikke har tilpasset seg et spesielt datasett, og kan dermed brukes av på andre datasett.

Selv om denne formelen var et resultat av en flere timer lang utvikling, var passet ikke formelen helt til dataene. I stede for å la utviklingen av denne formelen fortsette noen dager eller uker, som fort kan trenge når man bruker en slik metode, ble formelen i stedet flyttet over til den ikke-lineære regresjonsfunksjonen nlsfit i statistikkverktøyet R. Dette forbedret formelen ved å endre på konstantene a og b . Den nye formelen ble da:

$$f(y) = ((-0.05019342 \pm 0.008873209) * y)^{(4.46130090 \pm 0.601715957)}$$

På figur 4.2 kan det se ut til at modellen er blitt litt bedre på de korteste avstandene etter at nlsfit har gjort seg ferdig. Den grønne grafen viser modellen som kom fra den genetiske algoritmen, mens den oransje grafen viser den nye modellen som nlsfit genererte. På den samme figuren kan man også se at begge modellen også passer et annet datasett noenlunde. Dette andre datasettet kommer også

i fra testingen av signalstyrken på kort avstand, men disse dataene var hentet på og fra en annen mobiltelefon litt senere. I utgangspunktet er det en forskyvning av dataene i mellom datasettene, se figur 3.8. Dette synes ikke like godt på figur 4.2 ettersom det i dette tilfellet er lagt inn en kalibrering som forskyver det nye datasettet slik at de begge starter med den samme signalstyrken. Dette gjøres for at de nye dataene skal passe til modellen på best mulig måte. Skal man bruke en slik modell i praksis bør man alltid kalibrere enheten etter modellen på forhånd for å få best resultater ettersom signalstyrken kan variere fra enhet til enhet og slik som her.

For å teste hvordan min beste signalstyrke-til-avstand modell fungerer i praksis ble det gjort en praktisk test. Denne testen skulle vise om utjevningmetoden og modellen fungerte når det ble gjort direkte på en mobiltelefon.

Testen ble utført ved å bære testenheten fra 0-punktet, helt inntil aksesspunktet, til 5-meters merket. Ved hvert 20 centimetersmerke stoppet jeg og logget verdiene. For å holde omstendighetene så stabile som mulig hadde jeg alltid testenheten rettet mot aksesspunktet samtidig som grepet ble holdt fast gjennom hele testen. Aksesspunkteneheten var plassert slik som bildet nederst til høyre på figur A.1, med toppen mot meg og testenheten.

3.2.5 Avstander opp til 10 meter

Etter å ha testet signalstyrke-til-avstand modellen virket det som om modellen kunne fungere på avstander opp til 5 meter. Dette er en forholdsvis kort avstand og når nøyaktigheten var på rundt 2 meter er anvendelsesområdet begrenset. Grunnen til at modellen ble laget og testet for opp til 5 meter var at det var på denne avstanden det var størst forskjell mellom avstandenes signalstyrke verdier. Under testingen av signalstyrken virket det som om en slik modell også kan fungere på avstander opp til 10 meter, men at signalstyrken på disse avstandene har store variasjoner. Disse variasjonene skal kunne begrenses ved hjelp av utjevning og dermed mente jeg at det var verdt et forsøk å øke den maksimale avstanden til 10 meter.

Ettersom den eksisterende modellen kun var laget for opp til 5 meter var den sannsynligvis ikke egnet til disse nye avstandene. For å teste dette måtte jeg lage en ny modell som var laget på grunnlag av måledata opp til 10 meter.

Datasettet som ble brukt til å lage denne utvidede modellen bestod av dataene i fra testen av signalstyrken på middels avstand. Den nye utvidede modellen ble laget ved å bruke regresjonsanalyse verktøyet i R på den samme måten som den forbedrede modellen ble generert. Dette endret på konstantene a og b slik at jeg satt igjen med en modell som så slik ut:

$$f(y) = ((-0.05019342 \pm 0.008873209) * y)^{(4.46130090 \pm 0.601715957)}$$

Den nye modellen ble så testet opp i mode den tidligere modellen ved å bruke begge modellene til å beregne nye avstander av de to datasettene som går opp til 10 meter. På figur 4.4 er det tydelig at den tidligere modellen er bedre på kortere avstander opp til rundt 5 meter, deretter er det den nye utvidede modellen som ser ut til å vær best.

Testen ble utført ved å bære tastenheten fra 0-punktet, helt inntil aksesspunktet, til 10-meters merket. Ved hvert 20 centimetersmerke stoppet jeg og logget verdiene. For å holde omstendighetene så stabile som mulig hadde jeg alltid testenheten rettet mot aksesspunktet samtidig som grepet ble holdt fast gjennom hele testen. Aksesspunkteneheten var plassert slik som bildet nederst til høyre på figur A.1, med toppen mot meg og testenheten. Dette ble gjort likt for begge modellene. For at resultatene skulle bli så definitive som mulig ble testen gjentatt for begge modellene.

3.2.6 Oppsummering av posisjonering ved hjelp av WLAN signalstyrke

For å kunne evaluere hvordan WLAN signalstyrken kan brukes på mobiltelefoner måtte det først kartlegges hvordan disse verdiene kan oppføre seg. Etter flere ulike tester viste det seg at signalstyrken varierte forholdsvis mye spesielt på avstander rundt og over 10 meter. For å håndtere dette ble det sett på hvordan signalstyrke verdiene kan utjevnes slik at variasjonene blir minimalisert. Posisjonering ved hjelp av WLAN signalstyrke kan gjøres på ulike måter avhengig av om man ønsker avstander eller rene posisjoner. Uansett vil dette kreve at det blir beregnet relative avstander. For å finne avstanden fra signalstyrken ble det testet en rekke modeller. To ulike modeller ble laget for avstander opp til 5 meter mens det ble laget en modell for avstander opp til 10 meter.

3.3 Implementasjon på mobiltelefoner

I denne oppgaven har jeg sett på hvordan noen posisjoneringsmetoder kan fungere på mobiltelefoner. For å kartlegge dette måtte det også gjøres noen praktiske tester. Disse testen ble gjort ved å implementere posisjoneringsmetodene i forskjellige applikasjoner. Det var noen tester, som for eksempel kartlegging av signalstyrken i ulike situasjoner, der samme applikasjon kunne brukes, men for det meste måtte applikasjonene designes forskjellig fra test til test. For å slippe å implementere alt på nytt i hver av applikasjonene ble det meste av funksjonaliteten lagt inn i et eget rammeverk. Dette rammeverket ble tidlig designet slik at det kunne utvides med andre posisjoneringsmetoder.

3.3.1 Rammeverket

Et rammeverk eller API (Application Programming Interface) er et grensesnitt som kan tilby ett sett med metoder, som for eksempel kan gjøre en jobb enklere eller tilby en tjeneste som ellers ikke ville være tilgjengelig. Ett eller flere rammeverk ligger til grunn for de fleste applikasjoner i dag, både på PC og mobiltelefoner. Ved å bruke et rammeverk slipper utviklerne å tenke på hva som skjer i bakgrunnen og kan fokusere på sine spesielle funksjoner og brukergrensesnitt. Rammeverket som ble designet og implementert i denne oppgaven skulle gjøre arbeidet med å lage testapplikasjoner lettere, i tillegg til å kunne gjøre mine implementasjoner av posisjoneringsmetodene lett tilgjengelig for andre. Etterhvert som oppgaven utviklet seg endte dette med at selve implementasjonen ble mer begrenset slik at det er mindre brukbart for andre, men selve designet ble værende.

Designet

Et rammeverk bør være oppbygget slik at det er lett å bruke. For å få inspirasjon til hvordan dette kunne gjøres ble det dermed sett på en rekke eksisterende rammeverk. Ettersom dette også skulle bli en form for posisjoneringsrammeverk var det denne typen rammeverk jeg studerte mest.

Ett av rammeverkene jeg studerte mest var Android-rammeverket [4]. Dette er rammeverket som både mitt rammeverk og mine testapplikasjoner skulle bygge på. I dette rammeverket er det allerede et posisjoneringsrammeverk, det skal til og med kunne utvides med nye posisjoneringsmetoder. Per dags dato er det bare GPS-og Internett-posisjonering som er inkludert. Problemet med dette er at det er meget komplisert [39] å utvide. Dermed ble det i stede fokusert på å designe et eget rammeverk. Selv om jeg bestemte meg for at jeg ikke skulle utvide dette ferdige rammeverket, var det allikevel mye av dets design som var bra. Det var for eksempel bygget opp slik at man skulle kunne implementere nye posisjoneringsmetoder ved å bygge videre på en klasse kalt "LocationProvider". Denne funksjonaliteten implementerte jeg i mitt rammeverk ved å lage et sett med "interface". I motsetning til det innebygde Android-rammeverket så jeg på posisjonering på to ulike måter. Det en var relativ avstand, mens det andre var posisjonering. Med relativ avstand ville jeg samle metodene som kunne gi avstand slik at man slipper å ta hensyn til posisjoner. Skal man hente relativ avstand ut av posisjoner vil man trenge to posisjoner og en utregning, noe jeg mente var unødvendig i mange tilfeller der man kun ønsker avstand. Ved å lage et eget "interface" til hver av disse kan eventuelle metoder implementere begge disse "interfacene" hvis metoden har muligheter for både posisjonering og relativ avstand. GPS kan i dette tilfelle implementere begge "interfacene" ved at det gir posisjoner som vanlig gjennom et "position interface" og implementere relative avstander

ved å tilby en kombinasjon av posisjoner i et “distance interface”.

Ettersom overføringstid og relativ GPS posisjonering mellom to mobiltelefoner skulle testes, måtte det også laget en nettverks del i rammeverket. Denne ble bygget opp på samme måte ved at det ble laget et “network interface”. Forskjellige kommunikasjonsteknologier kunne på denne måten implementere dette “interfacet” og på den måten fungere med de samme metodene. I mine testapplikasjoner ble for eksempel både Blåtann og WLAN brukt med de samme metodene og det eneste form var forskjellig i testapplikasjonen var at det ble valgt en annen type kommunikasjonsteknologi. I testen der jeg skulle sende en GPS-posisjon over WLAN slik at jeg kunne beregne den relative posisjonen ble det først laget et WLAN objekt med adressen til den andre mobiltelefonen. Deretter ble dette objektet satt som en kilde i en “Distancing”-klasse som testapplikasjonen kunne avstandene i fra. I denne klassen ble det satt opp en GPS utveksling slik at den kunne beregne den relative avstanden. Den samme “Distancing”-klassen ble senere brukt til å bestemme avstander ved hjelp av det samme WLAN objektet, men denne gangen var det ingen applikasjoner kjørende i den andre enden og dermed ble signalstyrken brukt i avstandsberegningen. Rammeverket ble designet slik ettersom det ble designet med utgangspunktet i at det skulle bruke de tilgjengelige teknologiene og eventuelt den teknologien som presterte best i den spesielle situasjonen. En oversikt over rammeverkets klasse design kan finnes i Vedlegg B.

Implementasjon av rammeverket

Ettersom det meste av testapplikasjonenes funksjonalitet ble lagt i rammeverket var det også der det meste av arbeidet rundt implementasjonen ble lagt. I tillegg til de tre delene; nettverk, avstand og posisjonering, ble det laget noen hjelpeklasser. En av disse ble meget viktig for testingen. Dette var en logge klasse som gjorde at jeg enkelt kunne logge forskjellige sensorverdier osv. til filer som senere kunne analyseres. Dette var det forholdsvis fort gjort å implementere. Noe som to noe lengre tid var nettverks delen. Da jeg startet med implementasjonen ønsket jeg å teste hvordan Blåtann signalstyrken var i forhold til på WLAN. Dette viste seg å bli problematisk ettersom signalstyrken ikke kan hentes ut jevning på Android-plattformen [3]. Dermed ble måtte jeg skrinlegge denne testingen. Et annet problem som skapte litt trøbbel kom av at mobiltelefoner som var satt opp som WLAN aksesspunkt ikke kunne hente ut signalstyrken. Dette kan komme av at denne aksesspunkt funksjonaliteten kom i den samme Android versjon 2.2 [2] som jeg brukte, og dermed kunne det være at dette ikke hadde blitt prioritert av Android-utviklerne.

Oppsummering

Rammeverket ble laget for å samle funksjonalitet i en pakke slik at det skulle bli lett tilgjengelig. Dette ble gjort ved å bygge det opp ved hjelp av tre deler; nettverk, relativ avstand og posisjonering. For å kunne håndtere ulike posisjoneringsmetoder og kommunikasjonsteknologier på samme måte ble de implementert ved hjelp av et sett med “interface”.

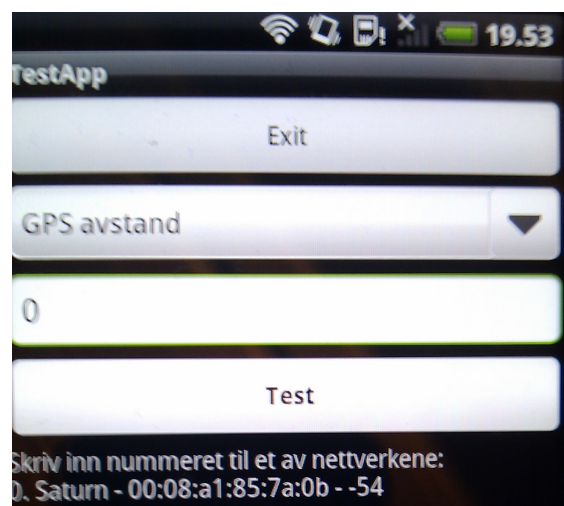
Selve implementasjonen av dett rammeverket ble gjort etterhvert som jeg trengte de ulike funksjonene, og ettersom det ble designet for flere metoder ble det aldri fullført selv om de viktige delene ble implementert. Den viktigste delen av rammeverket var delen som kunne gjøre om signalstyrke til avstand, og denne ble implementert som planlagt med WLAN teknologien.

3.3.2 Applikasjoner

I alle testene, som ble gjort i denne oppgaven, ble dataene hentet ut ved hjelp av applikasjoner. Disse applikasjonene kjørte på helt vanlige smarte mobiltelefoner uten ekstra modifikasjoner. Ettersom alle testene var forskjellige trengtes det også forskjellige applikasjoner til hver test. Til noen av testene var det nødvendig å lage helt nye applikasjoner, mens til andre tester var det nok med å tilpasse en av de andre applikasjonene. I hovedsak ble det dermed laget tre forskjellige applikasjoner.

3.3.3 Testapplikasjon 1

Den første applikasjonen, se figur 3.15, ble laget for å teste overføringstid, relativ GPS avstand og signalstyrken. Denne hadde et helt enkelt design. I bakgrunn brukte applikasjonen metoder i fra rammeverket, som ble beskrevet tidligere. Det visuelle designet var meget enkelt med noen enkle knapper. Ettersom denne applikasjonen ble laget for alle tre testene tilbød applikasjonen et valg i mellom de tre testene. Eventuelle ekstra innstillinger, som for eksempel hvilke WLAN aksesspunkt som skulle brukes, måtte spesifiseres ved hjelp av et enkelt



Figur 3.15: Ble brukt til å teste overføringstid, relativ GPS avstand og signalstyrken.

kommando grensesnitt. Ved testing av signalstyrken og relativ GPS avstand ble det også logget verdier fra akselerometeret og kompasset. Dette lagret applikasjonen på mobiltelefonens minnekort. Ettersom hvilken av testene som ble utført ble det vist enten overføringstid, signalstyrke eller relativ avstand på skjermen. Hvor ofte verdier skulle vises på skjermen og logges varierte fra test til test. Det ble ikke laget noen innstillinger for dette og dermed måtte endringer på dette gjøres i selve koden til applikasjonen.

3.3.4 Testapplikasjon 2

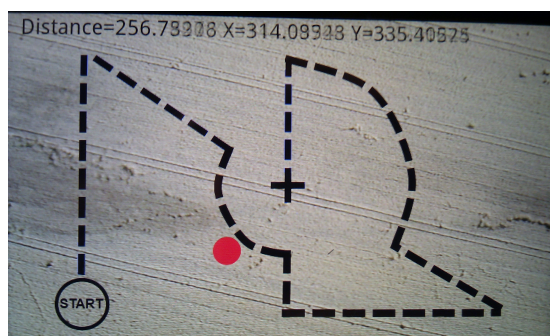
Den andre applikasjonen, se figur 3.16, ble laget for å teste ulike signalstyrke-til-avstand modeller. For å få en bedre oversikt over resultatene under testingen ble avstanden i tillegg til å bli vist med en verdi på skjermen, også vist ved hjelp av to relative punkter. Avstanden i mellom disse to punktene endret seg ettersom avstanden i fra signalstyrken endret seg. Ettersom noen av testene krevde manuell logging ble det i denne applikasjonen også inkludert en loggeknapp, det sorte feltet øverst til høyre på figur 3.16. I likhet med den første testapplikasjonen brukte denne applikasjonene også metoder fra rammeverket. Denne applikasjonen delte også det at det måtte omprogrammering til for å endre på hvor ofte verdiene skulle logges.



Figur 3.16: Ble brukt til å teste ulike signalstyrke-til-avstand modeller.

3.3.5 Testapplikasjon 3

Den tredje applikasjonen, se figur 3.17, ble laget for å teste hvordan signalstyrke-til-avstand metoden kunne fungere i praksis i et spill. Applikasjonen bygget på konseptet med at brukeren skulle navigere seg rundt etter et skattekart slik som tidligere nevnt i dette kapitlet. Denne applikasjonen var en meget forenklet



Figur 3.17: Ble brukt til å teste hvordan signalstyrke-til-avstand metoden kunne fungere i praksis i et spill.

versjon. Applikasjonen skulle demonstrere om det var mulig å bruke den beste av modellene, som ble utredet tidligere i dette kapittelet, i en praktisk implementasjon. Dette konseptet krevde at applikasjonen tok i bruk signalstyrke-til-avstand modellen til å relatere seg til et WLAN aksesspunkt. Dette aksesspunktet markerte posisjonen for den virtuelle “skatten”. Modellen som ble brukt var den beste 5-meters modellen. Etersom man gjerne trenger en raskere utjevningmetode, større vekt på nye verdier, når man er i bevegelse laget jeg i sammenheng med denne applikasjonen en spesiell utjevningmetode som ble implementert ved hjelp av et utjevnings “interface”. Dette utvidet den enkle utjevningmetoden jeg allerede har beskrevet. Denne nye utjevningmetoden satte opp vekten til nye verdier når akselerometeret registrerte større bevegelser. Det å bestemme hva som skulle representere en bevegelse og ikke var meget vanskelig. Grensen mellom bevegelser og ikke ble dermed ikke helt perfekt. Etersom modellen alene kun kan beregne avstand ble mobiltelefonens innebygde kompass brukt slik at brukeren kunne orientere seg rundt “skatten”. For å kunne se hvor godt denne implementasjonen fungerte ble det laget et enkelt skattekart der brukeren skulle navigere seg fra et startpunkt til “skatten”. Hvis brukeren avvek for mye, 50 centimeter, fra den bestemte ruten ville brukerens avatar på skjermen endre farge. På denne måten skulle det være mulig å se hvor lett/vanskelig det kan være å ha kontroll over den beregnede relative avstanden til aksesspunktet og hvor egnet modellen kan være i slike anvendelser.

3.3.6 Oppsummering av implementasjon på mobiltelefoner

Denne oppgaven krevde at det ble gjort noen praktiske tester av signalstyrken på mobiltelefoner. Det ble dermed laget en rekke testapplikasjoner. Det ble laget tre applikasjoner som ble tilpasset fra test til test. For å samle all posisjonerings funksjonalitet ble dette skilt ut av applikasjonene og implementert i et eget felles rammeverk. De to første applikasjonene ble laget for å generere et datagrunnlag og for å teste ulike metoder i praksis. Den siste applikasjonen ble i motsetning kun laget for å teste hvordan den kartlagte signalstyrke-til-avstand modellen kan brukes i en mulig anvendelser.

3.4 Oppsummering

I dette kapittelet ble det sett på flere mulige posisjoneringsmetoder for mobiltelefoner. For å se på hvilke metoder som kunne være mest relevante ble tre av metodene testet ut i praksis på et sett med mobiltelefoner. Ut i fra kartleggingen og disse testene ble det konkludert med at det var WLAN signalstyrken som virket mest relevant. Videre ble det gjort en mer detaljert gjennomgang av hvordan WLAN signalstyrken kan oppføre seg på mobiltelefoner og hvordan dette kan brukes til å bestemme relative avstander. Dette ble til slutt testet i en mulig anvendelse der denne metoden ble brukt til å presisjonsnavigere rundt et WLAN aksesspunkt. Testene ble gjort ved hjelp av tre ulike applikasjoner som delte et felles rammeverk der posisjonerings-funksjonaliteten ble lagt.

Kapittel 4

Resultater

I dette kapitlet presenterer jeg resultatene jeg fikk etter å ha testet signalstyrken på ulike måter. Først ut er resultatene jeg fikk ved testingen av signalstyrkens egenskaper. Deretter blir det sett på resultatene jeg fikk da jeg prøvde å bestemme relative posisjoner ved hjelp av signalstyrken.

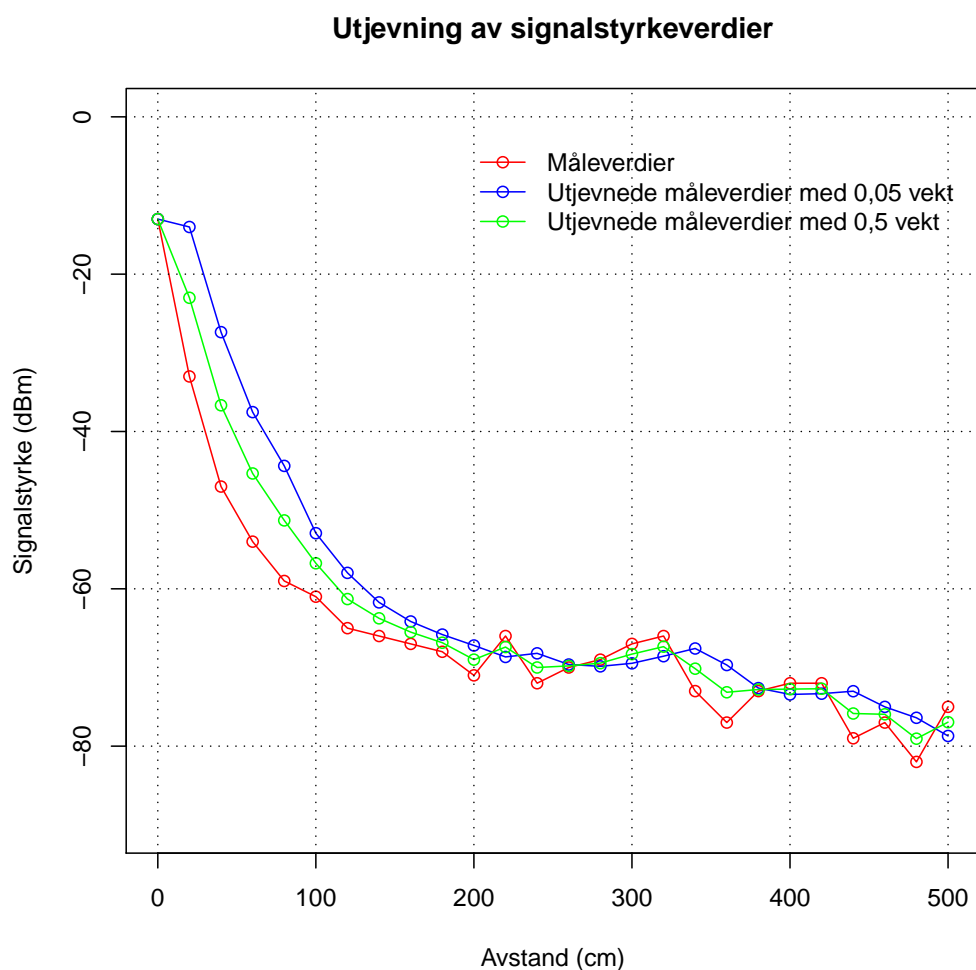
4.1 Posisjonering ved hjelp av WLAN signalstyrke

I forrige kapittel beskrev jeg hvordan man kan optimalisere signalstyrkeverdier. Jeg beskrev hvordan man kan begrense uønskede variasjoner og hvordan man kan konvertere signalstyrkeverdiene til lineære avstandsverdier. For å se hvordan disse prosessene kan fungere i praksis ble det gjort en rekke tester av dette og det er resultatene av disse testene jeg presenterer i denne seksjonen.

4.1.1 Utjevning av signalstyrken

I resultatene mine i fra testingen av signalstyrken på kort avstand var det tydelige variasjoner, se figur 3.8. For å se om disse variasjonene kan begrenses ved hjelp av utjevning satte jeg opp en test med resultatene fra signalstyrken på kort avstand. Utjevningsmetoden jeg implementerte i denne testen var den enkle utjevningsmetoden med historikk og vekting, se vedlegg C.1. Jeg foretok to tester slik at man kan se hvordan ulike vekter påvirker utjevningen

På figur 4.1 kan man se hvordan testene gikk. Ved å gi de nye verdiene en veldig lav vekt vil man fjerne de aller fleste variasjonene, slik man kan se av den blå kurven. Problemet med dette er at også de ønskede endringene også blir begrenset. Dette kan føre til at systemet kan virke tregt. Dette er meget synlig i starten og ved 340 cm, der treffer den blå kurven har sitt lokale maksimum en



Figur 4.1: Utjevning av signalstyrkeverdier fra den første testen av signalstyrken på kort avstand.

måling etter det virkelige lokale maksimumet til målingene. Vektlegger man de nye verdiene høyere vil man få en mer begrenset utjevningseffekt, men man slipper mye av tregheten.

Mye av grunnen til at utjevningene henger såpass etter på de korte avstandene er at denne testen ble gjort på statiske data og dermed var det ingen verdier i historien ved starten. Utjevningen med kun 0,05 i vekt kunne dermed ikke gi nye verdier som var høyere en 0,05 av den målte verdien.

Med en vekt på 0,5 ble gjennomsnittsavviket på 2,3 dBm som betyr at målingene ble vist som sterkere en de egentlig var. Dette gav et standardavvik på 3,5 dBm der 90 % av verdiene hadde avvik på mindre enn 6,8 dBm. Ved å bruke en vekt på 0,05 ble gjennomsnittsavviket en del høyere,

4,4 dBm, som betyr at man får dårligere målinger når man prøver å jevne ut variasjoner. Denne vektleggingen gav et standardavvik på 6,6 dBm og hele 90 % av verdiene hadde avvik opp til 12,9 dBm.

4.1.2 Avstander opp til 5 meter

I forrige kapittel begynte jeg med å se på en modell som skulle kunne bestemme avstander av signalstyrken opp til 5 meter. Det ble først laget en grov modell ved hjelp av en genetisk algoritme. Deretter ble det laget en forbedret modell ved hjelp av en annen regresjonsanalyse. For å se om denne forbedrede modellen er bedre implementerte jeg disse to modellene og kjørte disse opp i mot hverandre.

På figur 4.2 kam man se hvordan modellene presterte på datasettene i fra resultatene av signalstyrketesten på kort avstand. Den grønne grafen viser modellen som kom fra den genetiske algoritmen, mens den oransje grafen viser den nye forbedrede modellen. Begge disse modellene var generert ut i fra testdatasett 1, dermed er det naturlig at modellene legger seg i mellom disse dataene. For å se hvordan modellene kan fungere i andre situasjoner kan man se på modellene i forhold til testdatasett 2. Ut i fra disse dataene ser det ut til at begge modellene også kan fungere på slike ukjente data.

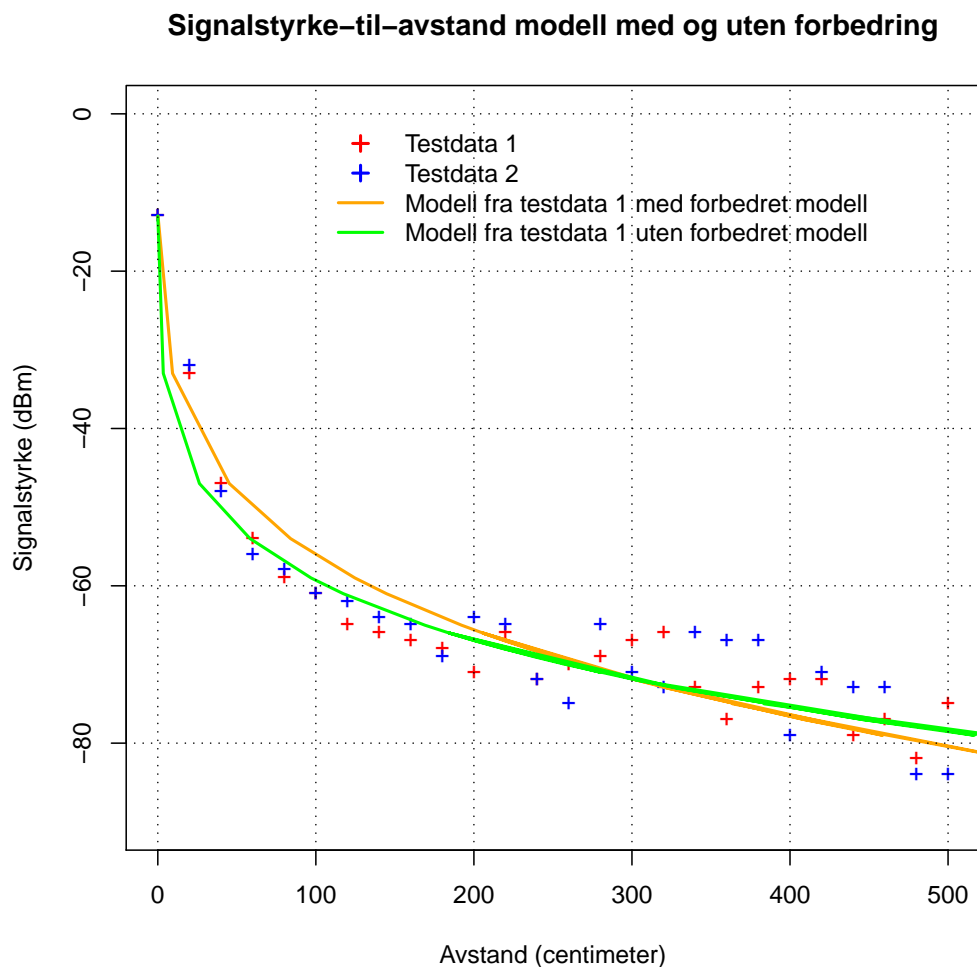
I utgangspunktet er det en forskyvning av dataene i mellom datasettene, se figur 3.8. Dette synes ikke like godt på figur 4.2 ettersom det i dette tilfellet er lagt inn en kalibrering som forskyver det nye datasettet slik at de begge starter med den samme signalstyrken.

Den grove modellen hadde et gjennomsnittsavvik på -3 centimeter og et standardavvik på 72 centimeter. I 90 % av tilfellene lå avviket på mellom -95 og 89 centimeter.

Med den nye forbedrede modellen havnet gjennomsnittsavviket på -3 centimeter og standardavviket på 65 centimeter. I 90 % av tilfellene lå avviket på mellom -86 og 81 centimeter. Ut i fra disse tallene ser det ut til at den forbedrede modellen var en forbedring i forhold til den originale modellen.

Disse avvikene er beregnet i forhold til testdatasett 1, som også fungerte som utgangspunkt for disse modellen. Ser man på modellene i forhold til testdatasett 2 får man se hvordan modellene kan fungere i forhold til nye data.

Den grove modellen hadde i forhold til dette datasettet et gjennomsnittsavvik på -8 centimeter og et standardavvik på 110 centimeter. I 90 % av tilfellene lå avviket nå på mellom -149 og 133 centimeter.



Figur 4.2: Signalstyrke modellene i forhold til signalstyrkeverdiene i i fra testen på kort avstand.

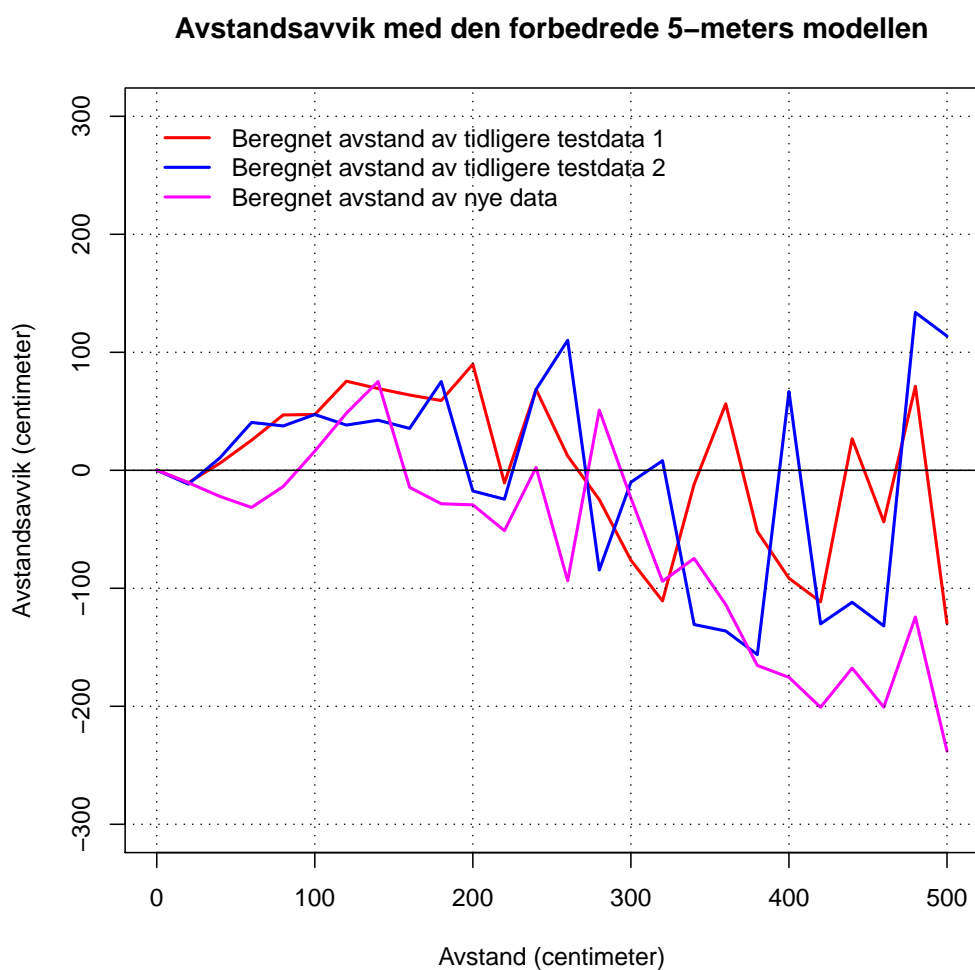
Med den nye forbedrede modellen havnet gjennomsnittsavviket på -9 centimeter og standardavviket på 85 centimeter. I 90 % av tilfellene lå avviket på mellom -117 og 100 centimeter.

<i>Modell</i>	<i>Gjennomsnittsavvik</i>	<i>Standardavvik</i>	<i>Nøyaktigheten i 90 % av tilfellene</i>
Grov 5-meters modell	-8	110	±149
Forbedret 5-meters modell	-9	85	±117

Alle verdier er i centimeter

Tabell 4.1: Tabell med resultatene resultatene fra testene av modellene opp til 5 meter.

For å teste hvordan den forbedrede modellen kan fungere i praksis, implementerte jeg den på en mobiltelefon og foretok en test. Dette gikk ut på å først kalibrere signalstyrken i forhold til 0 meter, deretter gjøre utjevninger, og til slutt konvertere til avstand som centimeter. Denne testen ble gjort på samme måten som testene av signalstyrken på kort avstand bortsett fra at jeg holdt mobiltelefonene slik som b-bildet på figur 3.13. For å ha noe å sammenlikne med ble det også beregnet avstander av testdatasett 1 og 2 fra signalstyrketesten på kort avstand.



Figur 4.3: Signalstyrke modellenes avvik i forhold til de virkelige avstandene.

På figur 4.3 kan man se hvordan den nye praktiske testen presterte i forhold til de to tidligere datasettene. Selv om denne nye testen ble gjort med mobiltelefonene i hånden ser det ikke ut til at

dette påvirket resultatene veldig mye. Dette kan komme av at jeg kalibrerte signalstyrken bra og at jeg holdt forholdene stabile ved å ikke endre på grepet underveis.

Gjennomsnittsavviket ble i denne testen på -64 centimeter, mens standardavviket endte på 85 centimeter. I 90 % av målingene lå avvikene mellom -175 og 45 centimeter.

<i>Modell</i>	<i>Gjennomsnittsavvik</i>	<i>Standardavvik</i>	<i>Nøyaktigheten i 90 % av tilfellene</i>
Forbedret 5-meters modell	-83	86	±175

Alle verdier er i centimeter

Tabell 4.2: Tabell med resultatene resultatene fra den praktiske testen av den forbedrede modellen opp til 5 meter.

4.1.3 Avstander opp til 10 meter

Etter å ha kommet frem til modellen for å konverter signalstyrkeverdier til avstand opp til 5 meter laget jeg en ny modell der jeg øket grensen til 10 meter. Denne modellen ble laget ved hjelp av regresjonsanalyse av testdatasett 1 fra testen av signalstyrken på middels avstand. For å se hvordan denne utvidede modellen kan prestere på avstander opp til 10 meter testet jeg den opp mot den beste 5-meters modellen.

På figur 4.4 kam man se at den 5-meters modellen er bedre på kortere avstander opp til rundt 5 meter, deretter er det den nye utvidede modellen som ser best ut.

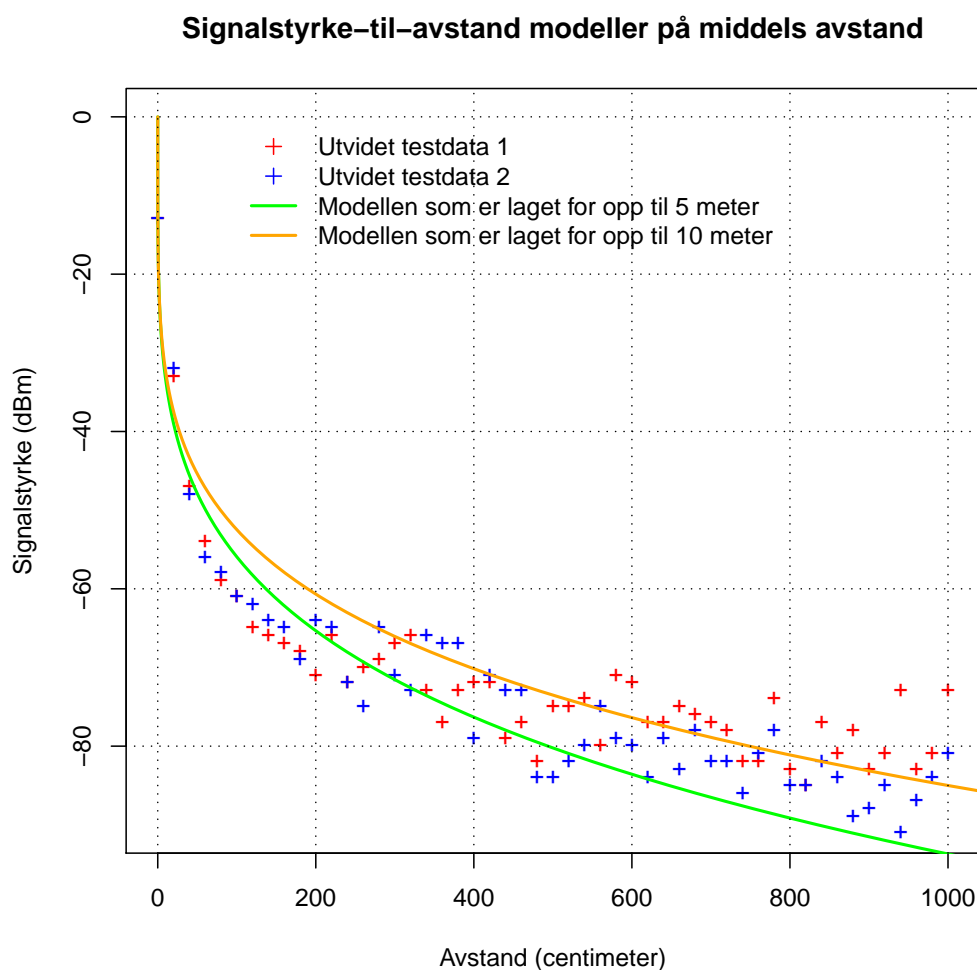
Den utvidede modellen hadde et gjennomsnittsavvik på 19 centimeter og et standardavvik på 169 centimeter. I 90 % av tilfellene lå avviket på mellom -199 og 236 centimeter.

Med den forbedrede 5-meters modellen havnet gjennomsnittsavviket på -152 centimeter og standardavviket på 191 centimeter. I 90 % av tilfellene lå avviket på mellom -398 og 94 centimeter. Ut i fra disse tallene ser det ut til at den utvidede modellen var en forbedring i forhold til 5-meters modellen.

Disse avvikene er beregnet i forhold til testdatasett 1, som også fungerte som utgangspunkt for den utvidede modellen. Ser man på modellene i forhold til testdatasett 2 kan man se hvordan den nye modellen kan fungere i forhold til nye data.

Den utvidede modellen hadde i forhold til dette datasettet et gjennomsnittsavvik på 124 centimeter og et standardavvik på 146 centimeter. I 90 % av tilfellene lå avviket nå på mellom -64 og 312 centimeter.

Med den nye forbedrede modellen havnet gjennomsnittsavviket på -88 centimeter og standardavviket på 134 centimeter. I 90 % av tilfellene lå avviket på mellom -260 og 83 centimeter.



Figur 4.4: Signalstyrke modellen for 5 meter og 10 meter i forhold til hverandre på middels avstand.

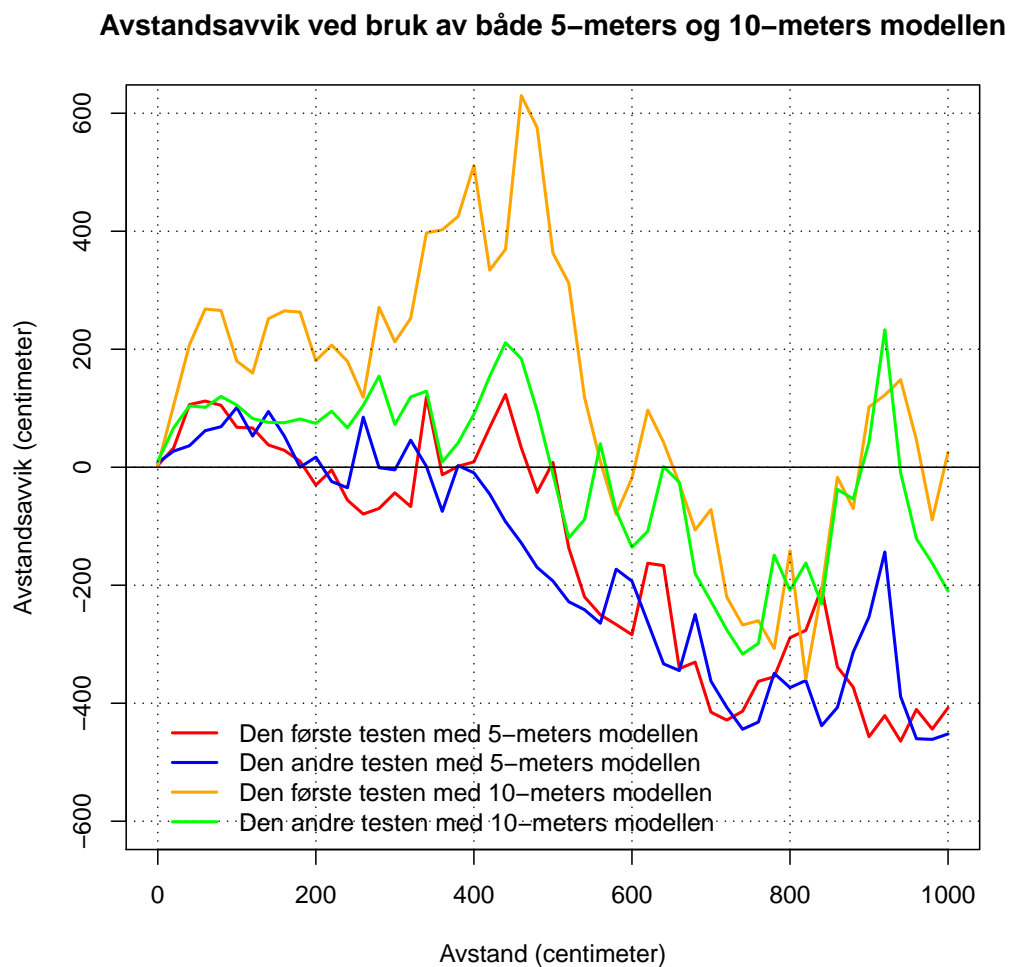
<i>Modell</i>	<i>Gjennomsnittsavvik</i>	<i>Standardavvik</i>	<i>Nøyaktigheten i 90 % av tilfellene</i>
Forbedret 5-meters modell	88	134	± 260
Utvidet 10-meters modell	124	146	± 312

Alle verdier er i centimeter

Tabell 4.3: Tabell med resultatene resultatene fra testene av modellene opp til 10 meter.

Ettersom dette er resultater av statistiske testdata gjorde jeg også en praktisk test der jeg implementerte begge modellene i en mobiltelefon. Dette ble implementert slik at begge modellene brukt ved hver måling og registrert hver for seg. Testingen ble utført på samme måte som testen av de

to 5-meters modellene bortsett fra at avstandene ble målt helt opp til 10 meter.



Figur 4.5: Signalstyrke modellen for 5 meter og 10 meter i forhold til hverandre på middels avstand i praksis.

Resultatene fra denne testingen er nokså tydelige på figur 4.5. Den utvidede modellen har de største variasjonene, mens 5 meters-modellen for det meste gir avstander korter en de virkelige avstandene. Man kan også se at 5-meters modellen er den beste på de først 5 meterne. Grunnen til at det ble så store variasjoner i den ene testen av den utvidede modellen kan være at jeg ikke holdt mobiltelefonen likt under hele testen.

Gjennomsnittsavvikene for 5-meters modellen ble på -151 og -166 centimeter, mens standardavvikene endte på 194 og 187 centimeter. I 90 % av tilfellene lå avvikene mellom -399 og 98

centimeter i den ene testen mens de lå mellom -405 og 74 centimeter i den andre testen. Dette viser at 5-meters modellen i praksis får en nøyaktighet på rundt 4 meter når den brukes opp til 10 meter. Dette betyr at man vil få en dobling i unøyaktigheten når man dobler avstanden med denne modellen.

For den utvidede 10-meters modellen ble gjennomsnittsavvikene på 121 og -9 centimeter, mens standardavvikene endte på 227 og 140 centimeter. I 90 % av tilfellen lå avstandene i den første testen mellom -169 og 411, men de i den andre testen lå mellom -189 og 171. Denne modellen ender dermed på en nøyaktighet på rundt 4 meter den også, men ettersom jeg mistenker at den første testen av denne modellen ikke ble gjort helt riktig kan det være at den virkelige nøyaktigheten kan ligge nærmere 2 meter hvis forholdene holder seg stabile.

<i>Modell</i>	<i>Gjennomsnittsavvik</i>	<i>Standardavvik</i>	<i>Nøyaktigheten i 90 % av tilfellene</i>
Forbedret 5-meters modell	-166	194	±405
Utvidet 10-meters modell	121	227	±411

Alle verdier er i centimeter

Tabell 4.4: Tabell med resultatene resultatene fra den praktiske testen av modellene opp til 10 meter.

4.2 Implementasjonen

I forrige kapittel ble det beskrevet tre testapplikasjoner. Den ene av disse var en applikasjon som skulle teste hvordan signalstyrke-til-avstand metoden kunne fungere i praksis i et spill. Dette var en forholdsvis subjektiv testing ettersom det ikke ble laget noe system for å registrere om dette fungerte bra eller dårlig. Etter selv å ha prøvd denne applikasjonen oppdaget jeg at dette ikke fungerte spesielt godt. Selv etter en del fininnstilling av utjevningemetoden, ved å stille på vektene og antall verdier som skulle brukes i beregningene, var det en del svingninger i den beregnede avstanden. Svingninger var det også på kompass verdiene, dette kom av at mobiltelefonen ikke kunne holdes helt stabilt. Disse svingningene ble mer og mer merkbare desto lengre avstanden til aksesspunktet ble, etter bare 3 meter var det ikke lenger mulig å kontrollere posisjonen. Den forholdt seg forholdsvis stabil så lenge mobiltelefonen ikke var i bevegelse, men med en gang det ble bevegelser begynte variasjonene fra både kompasset og signalstyrken.

4.3 Oppsummering

I dette kapitlet er det blitt presentert en rekke resultater fra testingen av hvordan signalstyrken kan brukes til å bestemme relativ avstand. Ut i fra de praktiske testene på mobiltelefoner viste dette at avstanden kan beregnes ut av signalstyrken med en nøyaktighet på ± 175 opp til 5 meter og ± 405 opp til 10 meter. Ved å bruke den samme metoden som gav disse resultatene i en mulig anvendelse kom det frem at dette ble forholdsvis store variasjoner i forhold til det som var ønsket for en slik anvendelse.

Kapittel 5

Diskusjon

I de forrige kapitlene har jeg beskrevet noen posisjoneringsmetoder og sett mer detaljer på hvordan WLAN signalstyrken kan brukes til å bestemme avstander. For å se hvordan dette kunne fungere på mobiltelefoner i praksis ble det gjort en rekke tester. I dette kapitlet blir disse resultatene fra disse testene diskutert og sammenliknet med hverandre og resultater i fra andre kilder.

5.1 Signalstyrken

Skal man bruke signalstyrken til noe mer avansert som for eksempel posisjonering er det nødvendig å ha oversikt over hvordan signalstyrken oppfører seg i ulike situasjoner. Etter å ha gjort en litteratur studie på dette kunne jeg ikke finne en god oversikt over dette. Dermed så jeg på det som nødvendig å gjøre en rekke tester av signalstyrken før jeg kunne begynne å se på hvordan signalstyrken kunne brukes.

5.1.1 Signalstyrken på avstand

Ut i fra testen jeg foretok av signalstyrken på lang avstand viste det seg at signalstyrke-til-avstand forholdet til mine testenheter dannet fulgte en slags logaritmisk funksjon. Det viste seg at det var store endringer i signalstyrken de første 5 meterne i fra signalkilden, men etterhvert som avstanden økte ble endringene i signalstyrken mindre og mindre. Den samme tendensen så jeg også i testen jeg foretok av signalstyrken på middels og kort avstand. Selv om signalstyrken fortsatte å endre seg etter 5 meter ble endringene etterhvert så små at man måtte opp gå flere meter før man fikk en tydelig endring i signalstyrken. Dette kan gjøre det vanskelig å bruke signalstyrken på de lengre avstandene hvis man trenger å måle avstandene nøyaktig.

Det at signalstyrken etterhvert får mindre og mindre endringer gjør også at støyen blir mer og mer synlig. I mine tester var det forholdsvis mye støy ettersom det var forholdsvis store variasjoner mellom de ulike testene på de samme punktene. Støyen var også synlig på signalstyrke-til-avstand forholdet ved at signalstyrken i flere tilfeller gikk opp selv om avstanden bare økte. Selv om det var variasjoner på alle avstander i alle testene var det på avstandene over 5 meter at de virkelig ble problematiske. Frem til 5 meter virket det som om variasjonene noenlunde ble holdt i sjakk av at forholdet mellom signalstyrken og avstanden var stort. På de lengre avstanden kunne disse variasjonene føre til at en signalstyrke måling på 25 meter var sterkere enn en måling på 5 meter. Skulle dette brukes i en posisjoneringsmetode ville dette kunne gjort at det ble 20 meter feil på posisjonen.

Grunnen til at denne grensen for brukbarhet er på rundt 5 meter er at jeg i mine tester brukte en WLAN-teknologien på en mobiltelefon som signalkilde. Hadde jeg brukt et skikkelig WLAN-aksesspunkt slik man vanligvis bruker på trådløse nettverk kunne dette blitt noe annet. Dette kommer av at signalstyrken bestemmes av hvor kraftig antenne signalkilden har, og i mobiltelefoner er denne gjerne svakere enn i skikkelige aksesspunkter. Støyen som forårsaker dette kan være vanskelig å kartlegge. I et forsøk på dette så jeg på de magnetiske forholdene ved hver måling. Ut i fra de magnetiske forholdene viste det seg at det også var variasjoner i de magnetiske forholdene, men at disse variasjonene ikke hadde noen sammenheng med variasjonene til signalstyrken. Ved 15-meters målingen av signalstyrken på lang avstand hadde det tydeligvis vært en magnetisk kilde. De magnetiske målingene hadde dermed fått en stor endring der, men de jeg så på signalstyrkemålingene på den samme avstanden var det tilnærmet ingen endring i variasjonene. Det er dermed spesielt dette som gjør at jeg mener at de magnetiske forholdene ikke påvirker signalstyrken.

5.1.2 Stabiliteten til signalstyrken

For å se om signalstyrken også endret seg i et mer stabilt miljø gjorde jeg en test der målingene ble gjort i et tomt rom og med tilnærmet 0 meters avstand fra signalkilden. Hvis signalstyrken også varierte der ville dette tilsi at signalstyrken i seg selv var ustabil eller at det finnes støy man vil ha problemer med å kartlegge. Etter å ha foretatt målinger i et kvarter, ble resultatene hentet ut. Disse viste at signalstyrken så og si kun varierte i mellom to verdier. Dette betyr at signalstyrken påvirkes av andre støykilder og at signalstyrken i seg selv skal være forholdsvis stabil. Denne testen ble gjort mens både signalkilden og måleenheten ble drevet av en ekstern strømkilde, men dette hadde de ikke blitt under de andre testene. For å se om batterinivået kunne ha noe å si koblet jeg fra den eksterne strømkilden og lot batteriet lade seg ut. Dette resulterte i nesten de samme resultatene. For det meste

varierte signalstyrken i mellom to verdier, men det var også noen større variasjoner. Disse større variasjonen kan ha kommet fra støy fra rommet ved siden av der testen ble gjort. Ettersom denne testen tok flere timer var det vanskelig å kontrollere at for eksempel ingen gikk forbi rommet eller brukte noe støyende utstyr. Jeg mistenker at en av de store variasjonene kan ha kommet av at noen brukte en mikrobølgeovn i det samme huset, et slikt utstyr ble i hvert fall brukt rundt tidspunktet til en av variasjonene.

5.1.3 Signalstyrken i ulike retninger

Noe som kan påvirke signalstyrken er hvilken retning antennene peker i forhold til hverandre. Hvor mye dette påvirker varierer ut i fra hvilken type antenne som brukes. For å se hvordan dette kan påvirke signalstyrken med mine testenheter foretok jeg to tester der jeg lot måleenheten være stabil i en retning mens jeg snurret signalkilden 360 grader. Dette dannet et variasjonsmønster som hadde flere svingninger, men i forhold til hverandre gav disse to testene forholdsvis like resultater. Dermed vil jeg si at svingningene kommer av at retningen ble endret. På grunn av noe ujevn snurring under testene ble ikke svingningene helt perfekte, men ut i fra tendensene kunne det se ut til at det skal være fire toppmålinger og fire bunnmålinger. Disse gjentok seg ved hver 90-ende grad og kunne bety variasjoner opp til 20 dBm når enhetene var inntil hverandre. Ut i fra disse resultatene vil jeg si at retningen kan ha mye å si på signalstyrken. Ettersom jeg også hadde antatt dette under de andre testene ble alle tester gjort slik at testene alltid peket i samme retning i alle testene. Dette er dermed ikke grunnen til variasjonene jeg fikk i testene av signalstyrken på ulike avstander.

5.1.4 Signalstyrken ved ulike grep

Skal man bruke signalstyrken på mobiltelefoner vil det være mest naturlig at brukeren holder mobiltelefonen i hånden under bruk. Ettersom hånden da vil dekke til mye av mobiltelefonene er det mulig at signalstyrken vil kunne bli påvirket. For å teste hvordan dette gjorde jeg en test med flere ulike grep. Jeg testet å holde med høyre hånd, venstre hånd, begge hender og andre typer av disse. Deretter sammenliknet jeg signalstyrken til disse med en referansemåling der mobiltelefonen fikk ligge for seg selv. Dette viste at signalstyrken ikke bare kunne blokkeres og dermed bli svakere, men den kunne også bli forsterkes. Ved å prosessere disse signalstyrkemålingene slik at jeg fikk ut beregnede avstander kunne jeg se hvordan dette kunne se ut hvis man ikke tar hensyn til dette. For det meste gav dette i mitt tilfelle avstander som enten var dobbelt eller halvparten så store som den virkelige avstanden. De eneste grepene som gav tilnærmet riktige avstander var de grepene der jeg

kun brukte en hånd tett rundt mobiltelefonen. Dette viser at man bør ta dette alvorlig hvis man skal bruke signalstyrken i slike situasjoner. I det minste virket det som om signalstyrken forholdt seg stabil så lenge man ikke endret grep.

5.1.5 Oppsummering av signalstyrken

Ut i fra testene jeg har gjort av signalstyrken er det tydelig variasjoner på signalstyrken. Selv etter flere tester klarte jeg ikke å kartlegge alle mulige støykilder som kan forårsake slike variasjoner. Jeg kom frem til at retningen mellom måleenheten og signalkilden kan gi store utslag, så brukeren bør alltid passe på å holde enheten i samme retning. Etter å ha testet ulike måter en bruker kan holde enheten viste det seg også at dette kan få store utslag. Det er dermed også viktig at brukeren holder enheten på samme måte under bruk. Selv om disse to påvirkningene kan stabiliseres ved at brukeren ikke endrer disse forholdene, vil dette allikevel kunne påvirke hvordan nye målinger ser ut i forhold til eventuelle referansemålinger. Det vil derfor være anbefalt å kalibrere signalstyrken når man bestemmer seg for retningen og grepet.

5.2 Posisjonering ved hjelp av signalstyrken

I denne oppgaven har fokuset ligget på posisjonering ved hjelp av signalstyrken. Dette er en metode som kan brukes til å posisjonere i større sammenhenger over store arealer som et rent alternativ til GPS-posisjonering. Det jeg mener et en stor styrke med denne metoden er at den også kan fungere i mindre sammenhenger. For eksempel kan denne metoden brukes til å bestemme relative posisjoner i små arealer som for eksempel i et enkelt rom. Dette er anvendelsesområder der man ikke kan bruke GPS-posisjonering ettersom GPS ikke er nøyaktig nok og ikke fungerer bra innendørs. De løsningene jeg har klart å finne rundt signalstyrkeposisjonering er enten låst til spesielle tjenester eller spesielt utstyr [15, 25, 20]. Får å se nærmere på hvordan dette kan implementeres på mobiltelefoner har jeg derfor sett på hvordan denne posisjoneringsmetoden fungerer og hvordan man kan gå frem for å ta dette i bruk.

Etter å ha sett på selve signalstyrken i seg selv og funnet ut hvordan den oppfører seg i ulike sammenhenger satt jeg igjen med en rekke data. Ved hjelp av disse dataene har jeg sett på de to viktigste stegene i prosessen med å hente ut relative avstander ved hjelp av signalstyrken. Det første steget er utjevning av uønskede variasjoner på signalstyrken, mens det andre er konvertering fra signalstyrkeverdier til avstander.

5.2.1 Utjevning av signalstyrken

Ut i fra mine tester av signalstyrken var det tydelig at signalstyrken kan bli påvirket av uønsket støy. Selv om jeg prøvde å kartlegge disse støykildene klarte jeg ikke å finne alle de mulige støykildene. Ettersom denne støyen kan få store konsekvenser, slik som man kan se ut i fra mine tester, er det viktig å se på hvordan man kan filtrere bort denne støyen. I min oppgave har jeg dermed sett på hvordan man kan bruke utjevning for å begrense variasjonene.

Utjevning kan gjøres på flere måter, men i min oppgave har jeg fokusert på en forholdsvis enkel metode. Ved å beregne nye verdier ved hjelp av et antall gamle verdier kan man begrense selv de største variasjonene. Problemet med denne metoden er at den også begrenser de ønskede variasjonene. Dette krever dermed at man tilpasser utjevningen slik at man ikke begrenser de ønskede variasjonene for mye, men fortsatt nok til å begrense variasjonene som kommer av uønsket støy.

I sammenheng med signalstyrketestene mine så jeg også at noen støykilder kan holde seg stabile under bruk. Problemet med slike støykilder er derimot at de kan variere fra gang til gang. Dette kan komme av at forholdene der man bruker signalstyrken endrer seg, dette kan for eksempel være at signalstyrken måles med forskjellig utstyr, eller at brukere holder utstyret forskjellig fra gang til gang. I motsetning til varierende støy er stabil støy forholdsvis enkelt å fjerne. Ved å foreta en kalibrering ved et fast punkt kan man sørge for at alle nye signalstyrkeverdier blir tilpasset slik at de stemmer overens med eventuelle referanser som brukes i anvendelsen.

5.2.2 Signalstyrke til avstand

Etter å ha stabilisert signalstyrken slik at den har minimalt med variasjoner, kan man gå over til neste steg som er å konvertere signalstyrken til avstand. I testene av signalstyrken viste det seg at forholdet mellom signalstyrke og avstand var meget ulineært. De første meterne hadde små endringer i avstanden store endringer i signalstyrken, men etterhvert som avstanden øket begynte endringene i signalstyrken å krympe. Ved 5 meters avstand til signalkilden begynte endringene i signalstyrken å bli så små at variasjonen i fra den gjenstående støyen begynte å skape problemer. Det virket allikevel ikke som om disse problemene var alt for store før avstanden nærmet seg 10 meter. På grunn av dette så jeg først på hvordan dette forholdet kunne fungere opp til 5 meter.

Ved å bruke en regresjonsanalyse på noen av dataene jeg hadde fått under testingen av signalstyrken fikk jeg en modell som kunne beregne avstanden ut i fra nye signalstyrkeverdier. Denne modellen kunne i teorien bestemme disse avstandene med en nøyaktighet på ± 117 centimeter. Dette var rent teoretiske avvik ettersom de kun var beregnet av et av de andre datasettene fra testingen av

signalstyrken. Disse verdiene var hentet i fra en test situasjon og ikke en praktisk situasjon der brukeren holder enheten i hånden. For å se hvordan modellen kunne prestere i en mer virkelig situasjon ble dette implementert på et sett med mobiltelefoner og testet i praksis slik det kunne blitt brukt i andre anvendelser. I denne situasjonen ble nøyaktighet noe dårligere. Nøyaktigheten ble målt til ± 175 centimeter. Dette betyr at denne modellen kan brukes til å bestemme avstander innenfor 5 meter fra signalkilden med en nøyaktighet på like under 2 meter.

Ettersom 5 meter er litt i korteste laget i de fleste sammenhenger forsøkte jeg å lage en ny modell. Denne modellen ble laget ut i fra et annet sett med data fra signalstyrketesting, der maks avstanden var 10 meter. En ny regresjonsanalyse ble så gjort med utgangspunktet i disse dataene. Ettersom denne nye modellen ble laget ut fra datapunkter over 5 meter burde denne modellen i det minste fungere bedre på disse avstandene enn den forrige modellen. Da jeg testet modellene opp i mot hverandre, ved hjelp av et annet sett med signalstyrkemålinger, fant jeg ut at denne nye modellen fungerte opp til 10 meter med en nøyaktighet på ± 260 centimeter. I motsetning øket unøyaktigheten til ± 312 centimeter når 5 meters modellen ble brukt videre opp mot 10 meter. For å se hvordan dette ville fungere i praksis måtte jeg igjen foreta et nytt sett med praktiske tester. I disse nye testene øket unøyaktigheten ved begge modellene. Modellen som var laget spesielt til avstander opp mot 10 meter fikk en nøyaktighet på opp til ± 411 centimeter, mens det på 5-meters modellen "bare" ble ± 405 centimeter. Dette betyr at modellen som ble laget for avstander opp til 5 meter også er marginalt best på avstander helt opp til 10 meter. Dette kan virke litt rart ettersom denne modellen ikke ble laget for å slike avstander. Begge modellene ble testet samtidig så det skal ikke komme av at forskjellige forhold.

Ut i fra arbeidet jeg gjorde med å lage en modell som kunne bestemme avstander ut i fra signalstyrken, fikk jeg en modell som kan bestemme avstander opp til 10 meter med en nøyaktighet på ± 405 centimeter. Ser man på dette i forhold til andre posisjoneringsmetoder er dette ikke spesielt bra, men ettersom det ikke er noen andre implementerte alternativer på mobiltelefoner, enn GPS, er det allikevel ikke helt håpløse resultater. Ser man på dette i forhold til andre metoder som er tilgjengelig, men ikke er implementert, ser man at mine resultater ligger innenfor de samme resultatene som disse [25, 35, 29]. Dette forutsetter da at man kun ser på avstander opp til 10 meter. Hvis min beste modell hadde blitt brukt på avstander over 10 meter ville den sannsynligvis blitt dårligere og dårligere.

5.2.3 Oppsummering av posisjonering ved hjelp av signalstyrken

Signalstyrken har som mye annet en rekke begrensninger. Den største er rekkevidden. Ettersom ulikt utstyr har forskjellig rekkevidde er det på forhånd vanskelig å vite den praktiske rekkevidden. Dette blir ikke bedre av at hindringer kan begrense rekkevidden drastisk ettersom hvor mye signalene blir hindret. Skal man bruke signalstyrken til noe nyttig er det dermed viktig å holde oversikt over disse påvirkningene. Rekkevidden kan kalibreres opp ved at utstyret selv vet sin rekkevidden og at det ikke blir noe endring i hindringene mellom måleenheten og signalkilden. I sammenheng med dette kommer hvordan eventuelle brukere holder enheten. Endringer i hvordan enheten blir holdt kan ha stor betydning på signalstyrken. Det er ikke bare i selve grepet av enheten som brukeren kan påvirke signalstyrken, også retningen i forhold til signalkilden kan påvirke resultatene. Ettersom dette skal være kjente begrensninger med kjente kilder skal det være mulig å begrense påvirkningene ved hjelp av kalibrering og at man holder forholdene stabile.

5.3 Implementasjonen

For å kunne utføre testene på mobiltelefoner måtte det lages en rekke applikasjoner. Disse ble spesialtilpasset hver test. Dette fungerte forholdsvis bra ettersom funksjonaliteten ble lagt for seg selv i et eget rammeverk. Det ble gjort en rekke endringer i rammeverket underveis noe som gjorde at noen av de mindre viktige funksjonene sluttet å fungere. Andre deler av rammeverket ble derimot utvidet med ny funksjonalitet, noe som var forholdsvis enkelt ettersom det var bygget opp rundt ulike "interface". Dette gjorde at nye utjevningmetoder for eksempel kunne implementeres og brukes uten å gjøre endringer i resten av rammeverket.

For å teste hvordan den beste signalstyrke-til-avstand metoden fungerte i en mulig anvendelse ble det laget en enkel applikasjon basert på skattejakt konseptet som ble beskrevet tidligere. Denne viste seg å være meget vanskelig å bruke ettersom kompass og avstands verdiene varierte for mye til at det var mulig å kontrollere applikasjonen. Spesielt på lengre avstander der små retningsendringer kunne få store utslag var dette meget vanskelig. Mye av dette kunne kanskje blitt forbedret ved å legge på utjevning på kompass verdiene og ved å forbedre utjevningen av signalstyrken.

5.4 Andre posisjoneringsmetoder

I denne oppgaven ble det kartlagt en rekke posisjoneringsmetoder. De fleste av disse ble bare beskrevet kort, men tre av disse ble også implementert og testet på et sett med mobiltelefoner. En

av disse metodene var WLAN signalstyrke-posisjonering som også har blitt beskrevet i mer detalj. De to andre var posisjonering ved hjelp av overføringstid og relativ GPS-avstands metoden.

5.4.1 Posisjonering ved hjelp av overføringstid

I undersøkelsene av overføringstidsposisjonering var resultatene forholdsvis enkle å tyde. Etter å ha foretatt et enkelt eksperiment fikk jeg verdier som var meget dynamiske. I det ene øyeblikket brukte min implementasjon av posisjoneringsmetoden $10 \mu s$ på å overføre signalet mitt, mens i det neste brukte det opptil $85 \mu s$. Ettersom dette også var tilfellet enten om jeg lot testenheten ligge helt i fred inntil hverandre eller 15 meter unna hverandre mener jeg at det ikke vil være mulig å bruke denne posisjoneringsmetoden på mobiltelefoner. Dette kan virke litt enkelt å mene noe slik, i hvert fall når jeg kun gjorde et så enkelt eksperiment, men ut i fra disse resultatene er dette også den mest sannsynlige konklusjonen. Min implementasjon av posisjoneringsmetoden ble gjort på det jeg kom frem til at var den beste måten, så lenge man bruker den samme mobiltelefonplattformen. Selvfølgelig kan dette gjøres anderledes og dermed også får andre resultater slik som de gjorde i kilden jeg brukte for å utrede denne posisjoneringsmetoden. Problemet med å gjøre det anderledes er at man enten gjør det mer komplisert, og dermed kan skape mer problematikk, eller gjør det på et implementasjonsnivå som vil gjøre posisjoneringsmetoden vanskelig å bruke.

Dette var ganske alvorlige variasjoner ettersom delen av overføringstiden som representerer avstander ligger rundt $1 \mu s$, i følge den ene referansen [23]. Rent teoretisk ville 1 meters avstandsendring ved hjelp av denne metoden ført til en en tidsforskjell på 3.335641 nanosekunder ut i fra:

$$\frac{\text{avstandsendringen}}{\text{signalenes/lysetshastighet}} = \frac{1m}{299792458m/s} = 3.335641^{-09}s$$

Grunnen til at dette er 300 ganger mindre en det kilden opplyser er at de i tillegg bruker en rekke knep som for eksempel filtreringsmetoder for å bagatellisere noe av variasjonene. Variasjoner er ikke til å komme bort i fra ettersom det ikke finnes noen måte for å bestemme tidene helt nøyaktig, ettersom tiden utstyrets operasjoner vil variere fra gang til gang, selv om dette blir mer nøyaktig når tidene blir registrert nærmere den fysiske koblingen mellom enhetene. I dette eksperimentet ligger målingene forholdsvis langt i fra den fysiske koblingen og kan lettere bli påvirket av andre parallelle prosesser som kjører på enhetene.

Ut i fra disse resultatene kan det virke som om overføringstidsposisjoneringsmetoden er uaktuell på mobiltelefoner. I hvert fall så lenge man ikke klarer å finne noen bedre metoder for å bestemme disse tidene mer nøyaktig.

5.4.2 Relativ GPS-posisjonering

I undersøkelsene av relativ GPS-posisjonering ble resultatene generert på den samme måten som om metoden skulle blitt implementert i hvilken som helst annen applikasjon. Dette burde dermed gi et forholdsvis godt bilde av hvordan denne metoden vil kunne prestere i praksis. Resultatene av disse undersøkelsene viste at denne metoden ikke trenger å være så problematisk som den kan se ut på papiret. I mine undersøkelser viste det seg at den praktiske nøyaktigheten ble målt til maks 5 meter. Denne nøyaktigheten kommer av hvordan de praktiske målingene avviker fra de virkelige målingen. Selve GPS-systemet mente i de samme undersøkelsene at nøyaktigheten kunne bli så dårlig som 32 meter. Mens i teorien skal nøyaktigheten ligge ned mot 10 meter.

Ut i fra vanlig tankegang er det i slike tilfeller den dårligste nøyaktigheten som gjelder, altså 32 meter. Problemet med dette er at dette er en ren teoretisk beregnet verdi, teoretiske konklusjoner er ikke alltid de mest riktige. Ettersom det er gjort en praktisk undersøkelse av akkurat dette mener jeg at det er nøyaktigheten som kommer av de målte resultatene som vil være de mest riktige. Dette gjør at jeg mener at den relative GPS-posisjoneringsmetoden kan gi relative posisjoner mellom to mobiltelefoner med en nøyaktighet på opp til 5 meter. Dette går ut i fra at man bruker det samme utstyret på den samme måten som meg, dermed er dette sannsynligvis ikke er riktig svar i alle situasjoner. Dette viser derimot at man kan oppnå slike resultater med denne posisjoneringsmetoden.

5.4.3 Oppsummering av andre posisjoneringsmetoder

I denne oppgaven ble det bare testet tre ulike posisjoneringsmetoder. Den ene av disse var WLAN signalstyrke-posisjonering. De to andre var relativ GPS-posisjonering og posisjonering ved hjelp av overføringstid. GPS-posisjonering gav i denne oppgaven bedre resultater enn det jeg hadde oppnådd i tidligere tester og det som kunne være tilfelle ut i fra teorien. Dette kan komme av at mobiltelefonene som ble brukt til å teste og beregne disse resultatene hadde god maskinvare, i det minste bedre enn det jeg hadde brukt tidligere. Grunnen til at dette fungerte bedre enn de teoretiske beregningene kan komme av at disse teoretiske verdiene ser på de verste tilfellene, mens mine resultater holdt seg godt innenfor dette. Etter å ha undersøkt overføringstid metoden kom jeg frem til at dette ville være umulig å lage en brukbar implementasjon av det på mobiltelefoner uten noen kraftige modifikasjoner som kan åpne opp for at signaler kan registrere med en gang de registreres i maskinvaren. Ettersom signalene hadde for lang prosesseringstid i mobiltelefonene før de kunne bli registrert av applikasjoner, ble det umulig å få den nødvendige nøyaktigheten på overføringstidene.

Det er mulig at for eksempel en av bevegelsesregistreringsmetodene som ble beskrevet kan

implementeres på mobiltelefoner, men dette ble ikke testet i denne oppgaven. Et problem som kan komme med dette er å kunne registrere bevegelsene riktig. Det ble implementert en liten del av dette i en av testapplikasjonene for å kunne endre på utjevningen ved bevegelse. Dette viste at det var meget vanskelig å finne grensen for bevegelse og ikke. Skal man i tillegg registrere individuelle bevegelser kan dette bli meget vanskelig spesielt hvis det ikke legges noen begrensinger på hvordan mobiltelefonen blir bært.

Kapittel 6

Konklusjon

I denne oppgaven har jeg sett på flere posisjoneringsmetoder, men det meste av arbeidet ble gjort rundt WLAN signalstyrke-posisjonering. Denne metoden ble valgt ettersom det var denne metoden som så mest lovende ut med tanke på implementasjonen.

6.1 Alternative posisjoneringsmetoder på mobiltelefoner

Et av målene med denne oppgaven var å finne alternative posisjoneringsmetoder til GPS som kunne implementeres på mobiltelefoner. Det ble funnet flere typer av posisjoneringsmetoder, noen brukte ulike sensorteknologier mens andre brukte kommunikasjonsteknologier. En av disse metodene var WLAN signalstyrke-posisjonering. Etter å ha utført en rekke tester på denne metoden kom det frem at det var mulig å implementere denne metoden på mobiltelefoner slik at man kunne få bedre nøyaktighet enn GPS. Problemet med metoden var nøyaktigheten ble dårligere og dårligere desto lengre avstanden i fra referansepunktet ble. Dette kom av at signalstyrken i seg selv var meget unøyaktig. Den var i utgangspunktet forholdsvis stabil og nøyaktig, men med en gang den ble brukt i praktiske sammenhenger ble påvirkningene for store. Noen av disse påvirkningskildene ble kartlagt, mens andre forble ukjente. Det viste seg at ulike hindringer som for eksempel fra mobiltelefonen selv eller en hånd var betydelige påvirkningskilder. Klarer man å holde disse kjente påvirkningene i sjakk er det mulig å få forholdsvis brukbare resultater, men etter å ha testet dette i en praktisk anvendelse viste det seg at det ville være problematisk i noen situasjoner.

En av de andre posisjoneringsmetoden som ble kartlagt og testet var relativ GPS avstandsberging. Dette gav overraskende gode resultater, det viste seg at den praktiske nøyaktigheten var bedre

enn det som ble beskrevet i teorien. Det kan dermed se ut til at GPS i det minste vil være mer nøyaktig enn WLAN signalstyrken på avstander over 10 meter, ut i fra mine tester. Den siste metoden som ble testet brukte overføringstid. Denne metoden viste seg å være ubrukelig på mobiltelefoner slik situasjoner er i dag. Det viste seg at det ikke var mulig å ta tiden på signalene med en god nok nøyaktighet.

6.2 Videre arbeid

I denne oppgaven laget jeg signalstyrke-til-avstand modeller som fikk forholdsvis store avvik på modellene er det mest sannsynligvis mulig å lage bedre modeller. Det første stedet slike forbedringer kan gjøres er i datasettene modellene lages av. Ved å skaffe signalstyrken ved flere avstander vil modellen kunne beregnes mer detaljert, noe som vil gi bedre resultater. I tillegg er det mulig å lage disse datasettene i mer stabile miljøer ettersom eksterne påvirkninger allerede i dette steget kan ha påvirket resultatene.

Et annet ledd som kan forbedres er utjevningen. Ved for eksempel å implementere et mer avansert Kalman filter vil utjevningen kunne bli forbedret.

Selv om modellen først ble generert med en genetisk algoritme og deretter en ikke-lineære regresjonsfunksjon er ikke resultat modellen helt perfekt i forhold til dataene den ble generert av. Dette er det mulig å forbedre ved å kjøre andre typer av regresjonsmetoder eller bare kjøre den genetisk algoritmen lengre. Ettersom grunnfunksjonen, som ble resultatet av den genetisk algoritmen, ble brukt i både den første og den utvidede modellen er det sannsynlig at den ikke var like god i den utvidede modellen som den var i den første modellen. Dermed er det mulig at man enkelt kan generere en bedre utvidet modell.

Den siste delen som kan forbedres er det som ligger ovenpå modellen. Dette er ulike former for kalibrering og annen kompensering. Problemet med å få til denne forbedringen er å skaffe forholdsvis faste verdier å kompensere med. Alle enheter har forskjellige maks-og min-verdier på signalstyrken. Disse varierer også fra situasjon til situasjon, for eksempel ved ulike grep. Ved å hente ut disse verdiene vil metodene kunne fungere bedre på andre enheter og i andre situasjoner.

6.3 Hva jeg har fått ut av denne oppgaven

Gjennom disse månedene jeg har jobbet med denne oppgaven har jeg i tillegg til å videreutvikle mine evner også tilegnet meg mye ny kunnskap. Det viktigste formålet med denne oppgaven vært

å videreutvikle mine analytiske evner. Dette mener jeg at også har vært tilfelle ved at jeg har sett på et begrenset emne over lengre tid og dermed også sett på det fra mange ulike vinkler. Ettersom mye av det jeg har gjort for å komme frem til mine resultater har krevd at jeg har satt meg inn i nye teknologier og arbeidsmetoder har jeg også fått mye ny kunnskap.

Referanser

- [1] H. Akcan, V. Kriakov, H. Brönnimann, and A. Delis. GPS-Free node localization in mobile wireless sensor networks. In *Proceedings of the 5th ACM international workshop on Data engineering for wireless and mobile access*, page 42. ACM, 2006.
- [2] Open Handset Alliance. Android 2.2 highlights, September 2010. URL: <http://developer.android.com/sdk/android-2.2-highlights.html#UserFeatures>.
- [3] Open Handset Alliance. Android bluetooth api, September 2010. URL: <http://developer.android.com/reference/android/bluetooth/BluetoothAdapter.html>.
- [4] Open Handset Alliance. Android location api, Oktober 2010. URL: <http://developer.android.com/reference/android/location/package-summary.html>.
- [5] Open Handset Alliance. Bluetooth rssi i android, September 2010. URL: http://developer.android.com/reference/android/bluetooth/BluetoothDevice.html#EXTRA_RSSI.
- [6] Open Handset Alliance. Wlan rssi i android, September 2010. URL: <http://developer.android.com/reference/android/net/wifi/WifiInfo.html#getRssi%28%29>.
- [7] Open Handset Alliance. Android versjons distribusjon, April 2011. URL: <http://developer.android.com/resources/dashboard/platform-versions.html>.
- [8] Open Handset Alliance. Open handset alliance, Mai 2011. URL: <http://www.openhandsetalliance.com/>.

- [9] U. Bandara, M. Hasegawa, M. Inoue, H. Morikawa, and T. Aoyama. Design and implementation of a bluetooth signal strength based location sensing system. In *Radio and Wireless Conference, 2004 IEEE*, pages 319–322. IEEE, 2004.
- [10] M.H. Bao. *Micro mechanical transducers: pressure sensors, accelerometers, and gyroscopes*. Elsevier Science, 2000.
- [11] M.F. Barnsley. *Fractals everywhere*. Morgan Kaufmann Pub, 2000.
- [12] S. Beauregard and H. Haas. Pedestrian dead reckoning: A basis for personal positioning. In *Proceedings of the 3rd Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC06)*, pages 27–35, 2006.
- [13] Apotheker seeks to save hps lost soul with software growth, March 2011. URL: <http://www.businessweek.com/news/2011-03-09/apotheker-seeks-to-save-hp-s-lost-soul-with-software-growth.html>.
- [14] SIG Bluetooth. Simple Pairing Whitepaper, 2006.
- [15] P. Bolliger. Redpin-adaptive, zero-configuration indoor localization through user collaboration. In *Proceedings of the first ACM international workshop on Mobile entity localization and tracking in GPS-less environments*, pages 55–60. ACM, 2008.
- [16] Subversion), Mai 2011. URL: <http://subversion.tigris.org>.
- [17] Trac), Mai 2011. URL: <http://trac.edgewall.org>.
- [18] A. El-Rabbany. *Introduction to GPS: the global positioning system*. Artech House Publishers, 2002.
- [19] K. Finkenzerler and D. Muller. *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication*. Wiley, 2010.
- [20] G.M. Giaglis, A. Pateli, K. Fouskas, P. Kourouthanassis, and A. Tsamakos. On the potential use of mobile positioning technologies in indoor environments. In *15th Bled Electronic Commerce Conference eReality: Constructing the eEconomy*. Citeseer, 2002.

- [21] Google scholar, Mai 2011. URL: <http://scholar.google.com>.
- [22] Android development tools (adt), Mai 2011. URL: <http://developer.android.com/sdk/eclipse-adt.html>.
- [23] A. Gunther and C. Hoene. Measuring round trip times to determine the distance between WLAN nodes. *NETWORKING 2005*, pages 768–779, 2005.
- [24] K. Hinckley and E. Horvitz. Toward more sensitive mobile phones. In *Proceedings of the 14th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 191–192. ACM, 2001.
- [25] A. Howard, S. Siddiqi, and and Sukhatme. An experimental study of localization using wireless ethernet. In *Field and Service Robotics*, pages 145–153. Springer, 2006.
- [26] L. Hu and D. Evans. Localization for mobile sensor networks. In *Proceedings of the 10th annual international conference on Mobile computing and networking*, pages 45–57. ACM, 2004.
- [27] About java, April 2011. URL: <http://www.java.com/en/about/>.
- [28] Espen Kalnes. Mr-ball. URL: http://www.it-stud.hiof.no/~espenkal/mr-ball/MR-ball_Espen_Kalnes.pdf, Mai 2010.
- [29] A. Kotanen, M. Hannikainen, H. Leppakoski, and TD Hamalainen. Experiments on local positioning with Bluetooth. In *International Conference on Information Technology: Coding and Computing [Computers and Communications], 2003. Proceedings. ITCC 2003*, pages 297–303, 2003.
- [30] Q. Ladetto, V. Gabaglio, and B. Merminod. Combining gyroscopes, magnetic compass and gps for pedestrian navigation. In *International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation (KIS)*, pages 5–8, 2001.
- [31] Q. Ladetto, V. Gabaglio, and B. Merminod. Two different approaches for augmented GPS pedestrian navigation. In *International Symposium on Location Based Services for Cellular Users, Locellus*, 2001.
- [32] Q. Ladetto, V. Gabaglio, B. Merminod, P. Terrier, and Y. Schutz. Human walking analysis assisted by DGPS. *GNSS, Edinburgh*, pages 1–4, 2000.

- [33] K. Langendoen and N. Reijers. Distributed localization in wireless sensor networks: a quantitative comparison. *Computer Networks*, 43(4):499–518, 2003.
- [34] K. Langendoen and N. Reijers. Distributed localization algorithm. *Embedded Systems Handbook*, R. Zurawski (Editor), CRC Press, Boca Raton, FL, 2004.
- [35] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee, and J. Liu. Survey of wireless indoor positioning techniques and systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, 37(6):1067–1080, 2007.
- [36] D. Madigan, E. Einahrawy, R.P. Martin, W.H. Ju, P. Krishnan, and AS Krishnakumar. Bayesian indoor positioning systems. In *INFOCOM 2005. 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings IEEE*, volume 2, pages 1217–1227. IEEE, 2005.
- [37] O. Mezentsev. Sensor aiding of HSGPS pedestrian navigation. *UCGE Reports*, March, 2005.
- [38] Nokia and microsoft announce plans for a broad strategic partnership to build a new global ecosystem, February 2011. URL: <http://press.nokia.com/2011/02/11/nokia-and-microsoft-announce-plans-for-a-broad-strategic-partnership-t>
- [39] Gabor Paller. Location providers - climb the triglav with android, Februar 2008. URL: <http://mylifewithandroid.blogspot.com/2008/02/location-providers-climb-triglav-with.html>.
- [40] L. Perusco and K. Michael. Humancentric applications of precise location based services. In *IEEE International Conference on e-Business Engineering, 2005. ICEBE 2005*, pages 409–418, 2005.
- [41] R, Mai 2011. URL: <http://www.r-project.org>.
- [42] Michael Schmidt. Eureqa, Januar 2011. URL: <http://ccsl.mae.cornell.edu/eureqa>.
- [43] J. Stephen and G. Lachapelle. Development and testing of a gps-augmented multi-sensor vehicle navigation system. *The Journal of Navigation*, 54(02):297–319, 2001.
- [44] A.W. Stroupe and T. Balch. Collaborative probabilistic constraint-based landmark localization. In *Intelligent Robots and Systems, 2002. IEEE/RSJ International Conference on*, volume 1, pages 447–453. IEEE, 2002.

- [45] Eclipse, Mai 2011. URL: <http://www.eclipse.org>.
- [46] Fritz Trenkle. History of radio flight navigation systems, 2001. URL: <http://www.radarworld.org/flightnav.pdf>.
- [47] M.G. Wing, A. Eklund, and L.D. Kellogg. Consumer-grade global positioning system (GPS) accuracy and reliability. *Journal of Forestry*, 103(4):169–173, 2005.
- [48] Android step counter, April 2011. URL: <https://market.android.com/details?id=step.counter>.

Figurer

3.1	Figur som viser to punkter med samme relative posisjon	27
3.2	Resultatene fra testen av signalstyrken.	29
3.3	Problemstillingen ved bruk av to relative GPS posisjoner.	35
3.4	Graf over GPS-avstanden ved målepunktene i seks eksperimenter.	37
3.5	Graf over GPS-ens egen nøyaktighet ved målepunktene i seks eksperimenter. . . .	38
3.6	Graf over signalstyrkene fra testen på lang avstand, ved seks ulike stillinger.	43
3.7	Grafer over de magnetiske målingene under testingen av signalstyrken på lang avstand.	44
3.8	Graf over signalstyrken på kort avstand.	45
3.9	Graf over signalstyrken på middels avstand.	46
3.10	Resultatet av stabilitetstesten av signalstyrken ved utladning.	48
3.11	Resultatet av stabilitetstesten av signalstyrken.	49
3.12	Resultatet av signalstyrken i ulike retninger.	50
3.13	De ulike grepene som ble testet i sammenheng med signalstyrken.	51
3.14	Målinger av signalstyrken i ved ulike grep.	52
3.15	Den første testapplikasjonen.	63
3.16	Den andre testapplikasjonen.	64
3.17	Den tredje testapplikasjonen.	64
4.1	Utjevning av signalstyrkeverdier fra den første testen av signalstyrken på kort avstand.	68
4.2	Signalstyrke modellene i forhold til signalstyrkeverdiene i i fra testen på kort avstand.	70
4.3	Signalstyrke modellenes avvik i forhold til de virkelige avstandene.	71
4.4	Signalstyrke modellen for 5 meter og 10 meter i forhold til hverandre på middels avstand.	73
4.5	Signalstyrke modellen for 5 meter og 10 meter i forhold til hverandre på middels avstand i praksis.	74

A.1	Illustrasjon av stillingene mobiltelefonene var plassert i under noen av eksperimentene.	100
B.1	Rammeverkets teknologiklasser.	102
B.2	Rammeverkets nettverksklasser.	103
B.3	Rammeverkets posisjoneringsklasser.	104
B.4	Rammeverkets avstandsberegningsklasser.	104
B.5	Rammeverkets hjelpeklasser.	105

Tabeller

3.1	Tabell med signalstyrkeverdiene fra de seks testene på lang avstand.	42
3.2	Målinger av signalstyrken i ved ulike grep.	51
4.1	Tabell med resultatene resultatene fra testene av modellene opp til 5 meter.	70
4.2	Tabell med resultatene resultatene fra den praktiske testen av den forbedrede modellen opp til 5 meter.	72
4.3	Tabell med resultatene resultatene fra testene av modellene opp til 10 meter.	73
4.4	Tabell med resultatene resultatene fra den praktiske testen av modellene opp til 10 meter.	75

Tillegg A

Protokoll for tester

A.1 Forberedelse

1. Finn et passende testområde.
 - Ut i fra nødvendig areal.
 - Ut i fra mulige støykilder.
2. Forbered testenheten(e).
 - Sørg for at testenheten(e) er fullt oppladet.
 - Sørg for at testenheten(e) er restartet og ikke kjører noen prosesser som kan påvirke resultatene.
 - Lage eventuelle testapplikasjoner og legge dette inn på testenhetene.
 - Starte nødvendige applikasjoner eller tjenester.

A.2 Utførelse

- Hvordan skal testenheten(e) være plassert under testen?
 - Plasseres for seg selv?
 - * I hvilken stilling? se figur A.1.
 - Holdes i hånden?
 - * Hvordan skal enheten(e) holdes?

- Hva må gjøres for å registrere resultatene?
 - Automatisk logging?
 - Manuell logging?
 - Skjermavlesning?
 - annen notering?
- Når og hvor skal det registreres resultater?
 - Ved hver meter?
 - Hvert sekund?

A.3 Resultater

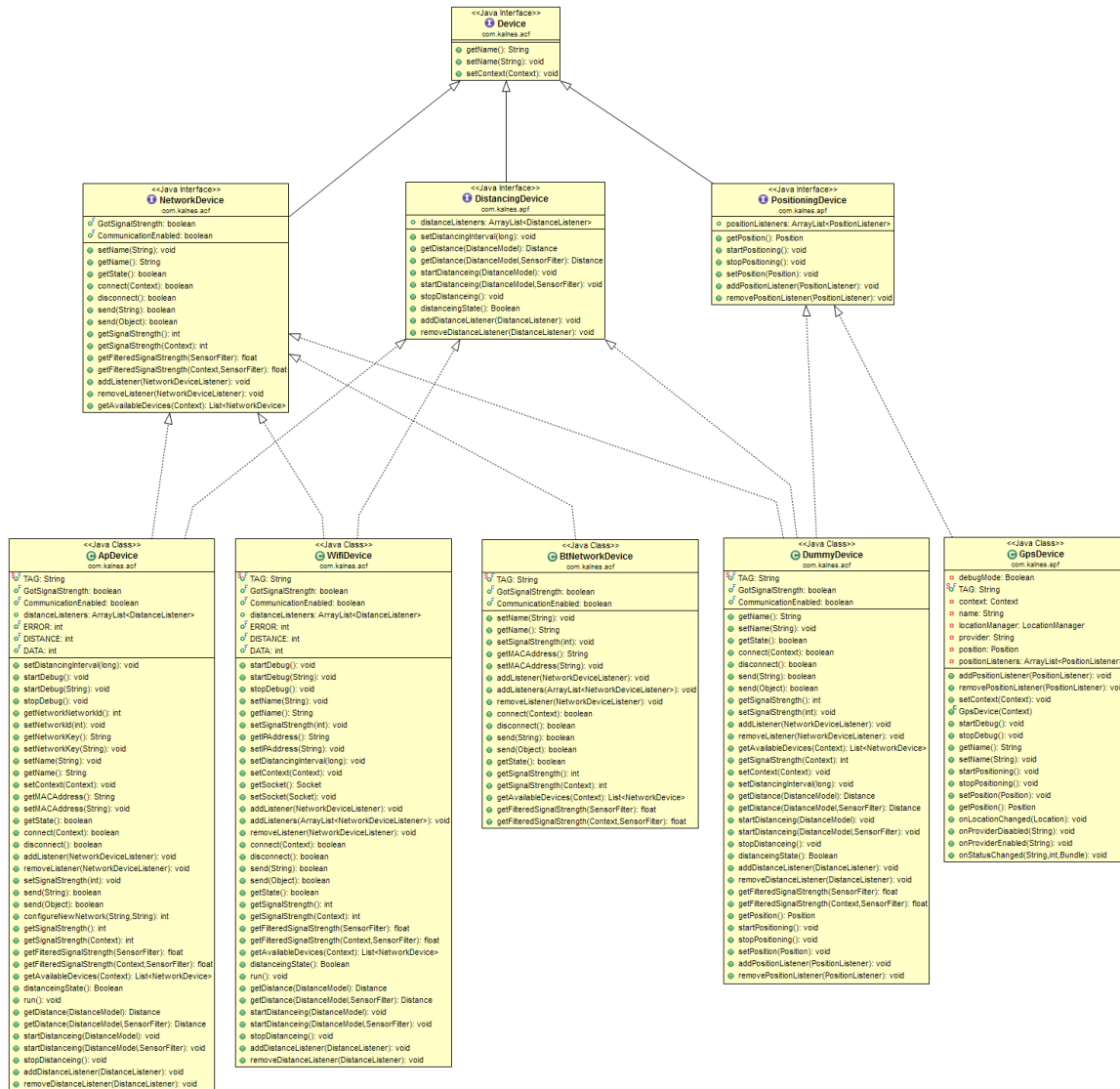
- Hvordan skal resultatene lagres?
- Hva må registreres?
 - Bare en enkelt verdi?
 - Alle tenkelige verdier?



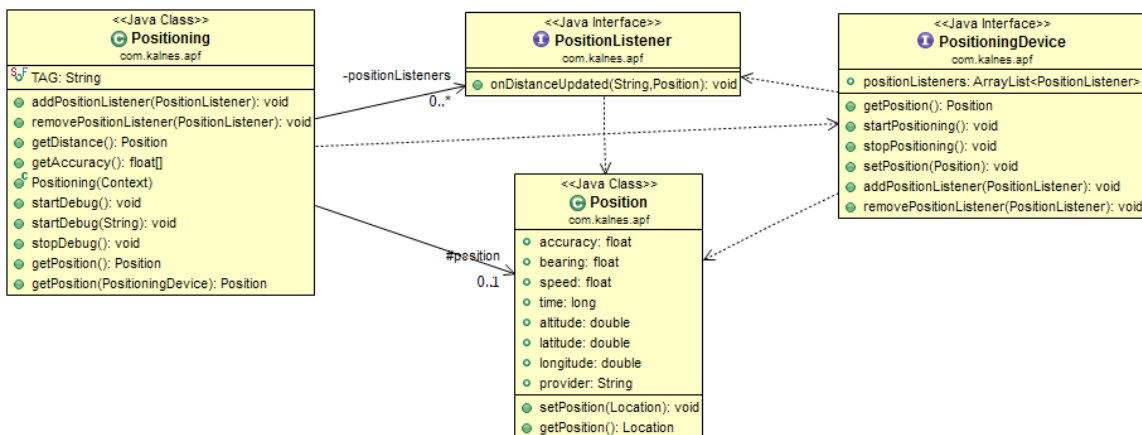
Figur A.1: Illustrasjon av hvordan mobiltelefonene ble plassert i noen eksperimentene. Stillingene til venstre ble brukt to veier. I den stillingen ble mobiltelefonen satt med skjermen mot motpartmobiltelefonen og med skjermen bort i det andre tilfellet. Så samme måte ble den andre stillingen også vridd 180 grader i forhold til motpartmobiltelefonen.

Tillegg B

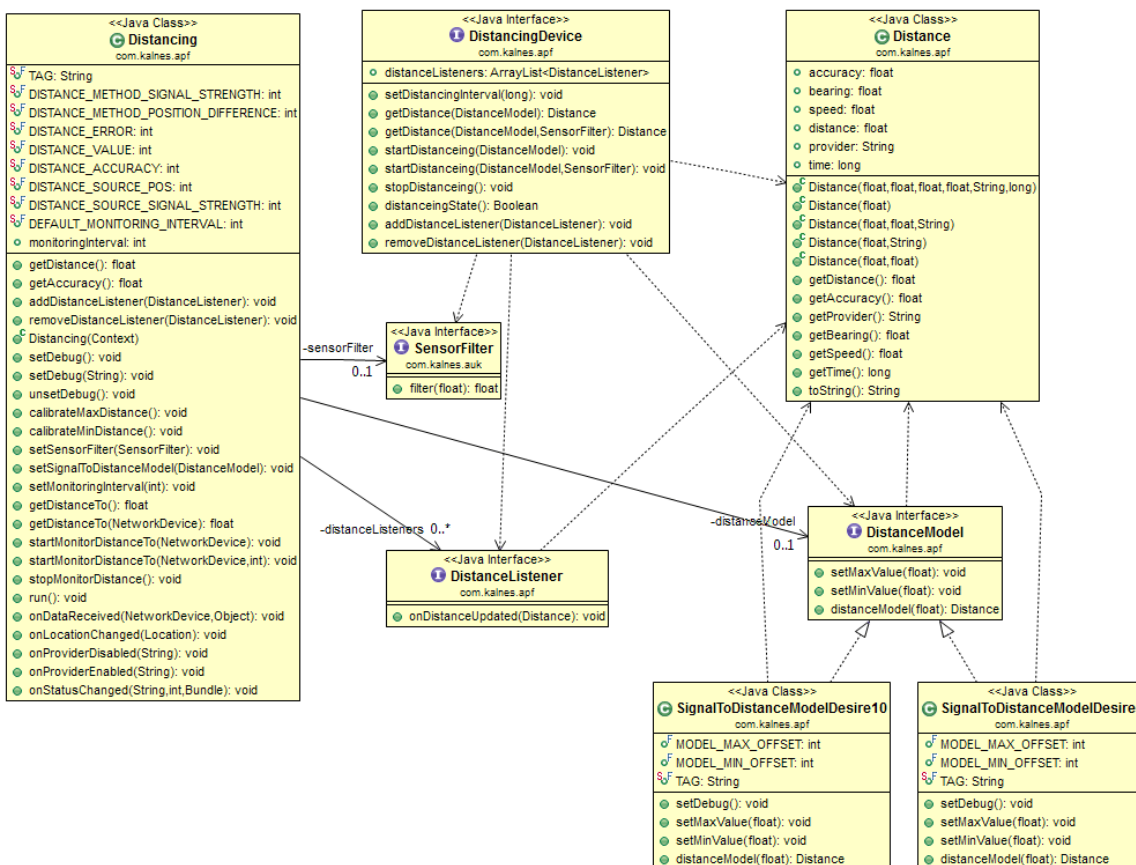
Rammeverkets klassediagrammer



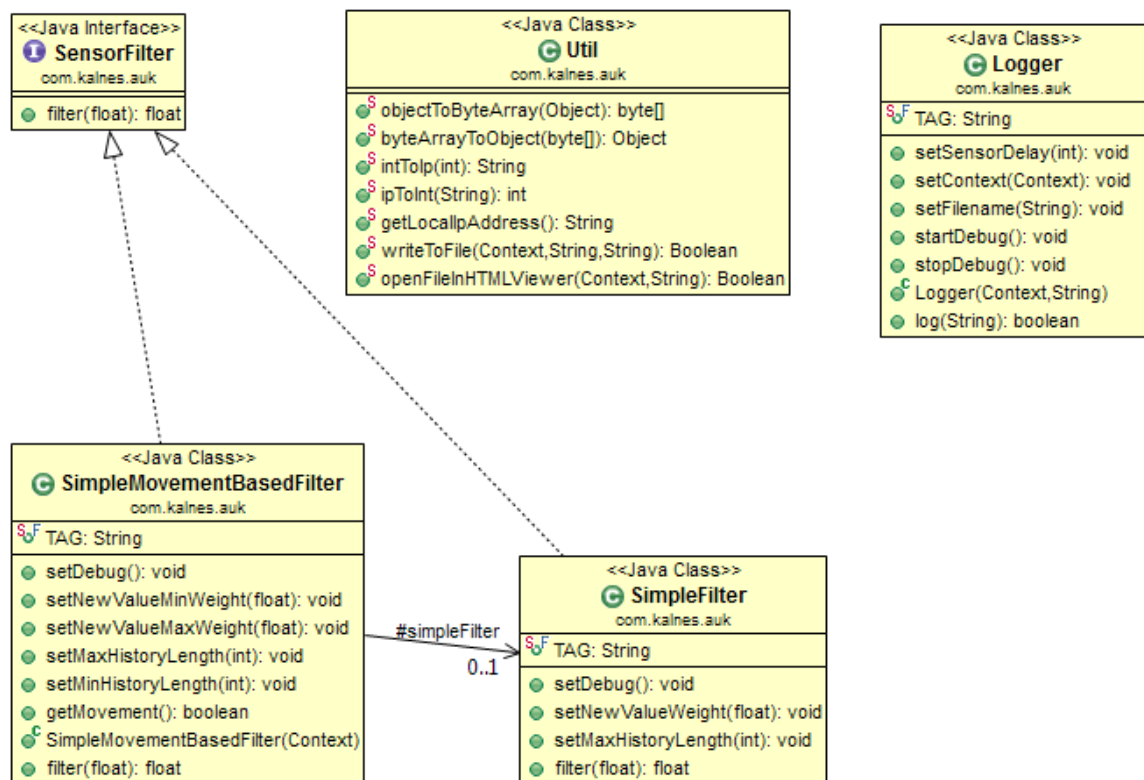
Figur B.1: Rammeverkets teknologiklasser.



Figur B.3: Rammeverkets posisjoneringsklasser.



Figur B.4: Rammeverkets avstandsbergningsklasser.



Figur B.5: Rammeverkets hjelpeklasser.

Tillegg C

R kode

C.1 Signalstyrke utjevning

```
# Vektfaktoren til nye verdier.
# Hvor mye skal filteret vektlegge nye verdier.
# 1 betyr at nye verdier går rett i gjennom, mens 0 betyr at den forrige
  verdien blir den nye ut av filteret.
weight = 0.50

# Liste med signalstyrkeverdiene.
rssil

# Liste til de nye signalstyrkeverdiene.
rssil_ut1 <- rssil

# Gå igjennom alle signalstyrkeverdiene.
for(j in 1:length(rssil))
{
  if(j == 1)
  {
    rssil_ut1[j] = rssil[1]
  }
  else if(j == 2)
  {
    lastValueWeight = 1 - weight
    rssil_ut1[j] = lastValueWeight * rssil[j-1] + weight * rssil[j]
  }
}
```

```

else if(j == 3)
{
  lastValueWeight = (1 - weight) / 3
  rssi1_utl[j] = (lastValueWeight * 2) * rssi1[j-1] + lastValueWeight *
    rssi1[j-2] + weight * rssi1[j]
}
else if(j == 4)
{
  lastValueWeight = (1 - weight) / 6
  rssi1_utl[j] = (lastValueWeight * 3) * rssi1[j-1] + (lastValueWeight *
    2) * rssi1[j-2] + lastValueWeight * rssi1[j-3] + weight * rssi1[j]
}
else
{
  lastValueWeight = (1 - weight) / 10
  rssi1_utl[j] = (lastValueWeight * 4) * rssi1[j-1] + (lastValueWeight *
    3) * rssi1[j-2] + (lastValueWeight * 2) * rssi1[j-3] +
    lastValueWeight * rssi1[j-4] + weight * rssi1[j]
}
}

```

C.2 Signalstyrke modell for avstander opp til 5 meter

```

# Det første datasettet fra signalstyrketestene på kort avstand
datafill
# Avstanden
dist1 = datafill[1]$V1
# Signalstyrken
rssi1 = datafill[3]$V3

# Den originale modellen fra den automatiske programmeringen
a0=-0.037650846
b0=5.7311201

# Utfører ikke lineær regresjon for å tilpasse verdiene i formelen (a*rssi)^b
etter datasettet.
nlsfit1 <- nls(dist1~(a*rssi1)^b, data=data.frame(datafill[1], datafill[3]),
  start=list(a=a0, b=b0), trace = T)

```

```

# Resultatet
summary(nlsfit1)
#Formula: dist1 ~ (a * rssi1)^b
#
#Parameters:
#   Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
#a -0.050193  0.008873  -5.657 7.97e-06 ***
#b  4.461301  0.601716   7.414 1.18e-07 ***
#---
#Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
#
#Residual standard error: 66.57 on 24 degrees of freedom
#
#Number of iterations to convergence: 9
#Achieved convergence tolerance: 2.726e-06

summary(nlsfit1)$coefficients
#   Estimate Std. Error  t value    Pr(>|t|)
#a -0.05019342 0.008873209  -5.656739 7.969784e-06
#b  4.46130090 0.601715957   7.414297 1.179825e-07

```

C.3 Signalstyrke modell for avstander opp til 10 meter

```

# Det første datasettet fra signalstyrketestene på middels avstand
datafil1
# Avstanden
dist1 = datafil1[1]$V1
# Signalstyrken
rssi1 = datafil1[2]$V2

# Den originale modellen fra den automatiske programmeringen
a0=-0.037650846
b0=5.7311201

# Utfører ikke lineær regresjon for å tilpasse verdiene i formelen (a*rssi)^b
etter datasettet.
nlsfit1 <- nls(dist1~(a*rssi1)^b, data=data.frame(datafil2[1], datafil2[2]),
  start=list(a=a0, b=b0), trace = T)

```

```
# Resultatet
summary(nlsfit1)
#Formula: dist1 ~ (a * rssi1)^b
#
#Parameters:
#   Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
#a -0.049706  0.009458  -5.255 3.21e-06 ***
#b  4.774084  0.669555   7.130 4.17e-09 ***
#---
#Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
#
#Residual standard error: 171.9 on 49 degrees of freedom
#
#Number of iterations to convergence: 7
#Achieved convergence tolerance: 6.005e-06

summary(nlsfit1)$coefficients
#   Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
#a -0.04970571 0.009458439 -5.255170 3.206618e-06
#b  4.77408408 0.669554606  7.130239 4.169841e-09
```