

Taktisk radio i felteksperiment og metode for rekkeviddemåling for trådløs datakommunikasjon

Bjørn Hugsted, Jostein Sander og Mariann Hauge

Forsvarets forskningsinstitutt/Norwegian Defence Research Establishment (FFI)

11. mars 2010

FFI-rapport 2009/01560

101902

P: ISBN 978-82-464-1716-5

E: ISBN 978-82-464-1717-2

Emneord

BMS

radio

kommunikasjon

internettprotokoller

Godkjent av

Einar Østevold

Prosjektleder

Johnny Bardal

Avdelingssjef

Sammendrag

Det er designet og implementert et kommunikasjonslag for utveksling av meldinger mellom enheter i "Battlefield Management Systems" (BMS). "User Datagram Protocol" (UDP) og "Transmission Control Protocol" (TCP), over "Internet Protocol" (IP), brukes som datatransportkanaler. Kommunikasjonslaget bruker taktiske dataradioer beregnet for bruk i "Mobile Ad hoc NETworks" (MANET) som lavereliggende nettverkslag. Systemet ble brukt ved prosjekt TEKNISK, TEKnologier for NettverksIntegrert StridsKjøretøy, sitt "Concept Development & Experiment" (CD&E) ved Rena leir i oktober 2008. Det er i tillegg utviklet programvare for måling av rekkevidde, for brukerdata, ved bruk av taktiske radioer som støtter IP-trafikk. Det rapporteres her om designkriterier og funksjonalitet, erfaringer fra CD&E, så vel som rekkeviddemålinger gjort med ett trådløst nettverkskort (IEEE 802.11) og tre taktiske radiotyper.

English summary

We have designed and implemented a communication layer for message transport between units of Battlefield Management Systems (BMS). User Datagram Protocol (UDP) and Transmission Control Protocol (TCP) over Internet Protocol (IP) are used for the data transport. Tactical radios operating as a Mobile AdHoc NETwork (MANET) are used as the lower network layers. This communication layer was used by project TEKNISK during Concept Development & Experiment (CD&E) at Rena Camp October 2008. Additionally we have developed software for measuring transmission range, for user data, for radio systems that support IP-traffic. This document reports on lessons learned during the experiment as well as subsequent measurement with one wireless network card (IEEE 802.11) and three tactical radio systems.

Innhold

1	Innledning	7
2	Teori	8
2.1	Litt om utbredelse av radiobølger og antenner	8
2.2	Metode for analyse av rekkeviddemålinger	9
3	Eksperiment 2008	12
3.1	Beskrivelse	12
3.2	BMS kommunikasjonsløsning	16
3.3	Resultater fra CD&E	19
4	Programsystem for rekkeviddemålinger	20
4.1	Kommunikasjonslag med loggføring	20
4.2	Gjennomføring av og resultater fra rekkeviddemålinger	21
4.2.1	Resultater fra rekkeviddemålinger på FFIs område.	22
4.2.2	Resultater fra rekkeviddemålinger langs Fetveien	26
4.2.3	Resultater fra kjøring på Fetveien inn mot Lillestrøm	27
4.2.4	Resultater fra kjøring i lillestrøm	28
5	Analyse av rekkeviddemålinger	30
6	Inntrykk, konklusjoner og videreføring	31
6.1	Inntrykk fra CD&E	31
6.2	Konklusjoner fra rekkeviddemålingene	32
6.3	Videreføring	33
	Referanser	34
	Forkortelser	36

1 Innledning

Prosjekt TEKNISKs formål er utvikling og evaluering av fremtidige løsninger for stridskjøretøy, herunder BMS, pansring, aktiv beskyttelse, våpensystemer og fremdrift. Prosjektet har blant annet støttet hærens fremskaffelsesløsning P5444, pansret stridsoppklaring. TEKNISK har samarbeidet med prosjektet Taktisk UAV – Robustifisere, Undersøke, Støtte (TAURUS) om bruk av ”Mini Unmanned Aerial Systems” (MUAS), og med prosjektet Taktiske IP nett på effektiv radio (TIPPER) når det gjelder radiokommunikasjon. Høsten 2008 arrangerte disse tre prosjektene en felles demonstrasjon ved Rena leir [1]. Formålet med denne var hovedsaklig å vise frem samvirke mellom teknologier og i tillegg demonstrere ”Augmented Reality” (AR), slik man kan tenke seg den brukt i militære kjøretøyer. Mobile enheter som deltok i demonstrasjonen, hadde behov for trådløs utveksling av informasjon mellom enheter i BMS.

For bruk i sin egen forskning har prosjekt TEKNISK utviklet et eksperimentelt BMS [2] basert på Matlab. Hovedformålet er utprøving av operativ nytte av funksjonalitet i BMS. Dette BMS blir for det meste brukt i simulerte omgivelser på FFI's BattleLab og er designet for fleksibilitet når det gjelder introduksjon og uttesting av funksjonalitet, mer enn for ytelse i et operativt miljø. Enhetene i BMSet baserer sin kommunikasjon på utveksling av meldinger over IP-baserte protokoller. Nettverk basert på denne protokollfamilien er valgt som felles plattform for kommunikasjon i forsvaret, både for strategisk, deployerbart og taktisk mobilt nettverk [3]. Beskrivelse og resultater fra CD&E er gitt i det etterfølgende, men i korthet viste det seg at overgangen fra høykapasitets feilfri datatransport, på trådbundet nett, til lavkapasitet upålitelig datatransport, på trådløst nettverk, var en større utfordring enn forventet. Et hovedproblem er at ytelsen (i bred betydning) ikke er konstant, men sterkt avhengig av avstand, terreng, antenner, osv., slik at den ikke kan utledes bare fra oppgitt ytelse for et gitt radiosystem. For kommunikasjon over flere radiohopp har også valg av ruterprotokoll en effekt på nettverkets kapasitet og oppførsel. For å få en bedre forståelse av hvordan en applikasjon (eks. BMS-enhet) bør benytte IP over radio, har vi designet et dataprogram som sender meldinger på samme måte som et BMS vil gjøre, men med omfattende logging av alle hendelser. Tanken er at dette eller liknende program kan brukes som del av planleggingen av fremtidige eksperimenter. For å illustrere dette, er det gjort flere målinger av rekkevidder i etterkant av CD&E. De samme radioløsninger som ble brukt i CD&E, har blitt prøvd ut med dette systemet. Samtidig har to andre taktiske radioer og et trådløst nettverkskort (basert på IEEE 802.11 [4,5]) blitt prøvd ut på tilsvarende måte.

I denne rapporten gis det i Kapittel 2 noe teori om utbredelse av radiobølger. Dette er nødvendig for analysen av rekkeviddemålingene. Deretter følger, som kapittel 3, beskrivelse av CD&E 2008. Gjennomføring av og resultater fra rekkeviddemålinger følger i kapittel 4. En enkel analyse av rekkeviddemålingene gjennomføres i Kapittel 5, og Kapittel 6 gir felles inntrykk, konklusjoner og forslag til videre arbeider.

2 Teori

2.1 Litt om utbredelse av radiobølger og antenner

Effekten levert fra senderen inn i senderantennen vil bli strålt ut som elektromagnetiske bølger. I fritt rom får vi da en intensitet $S = P_T G_T / 4\pi d^2$ ved avstanden d , når effekten fra senderen er P_T , og vinningen ("gain") til senderantennen er G_T . Om vi plasserer en mottagerantenne på denne avstanden, vil den effekten som er tilgjengelig for mottageren være

$$P_R = S A_R$$

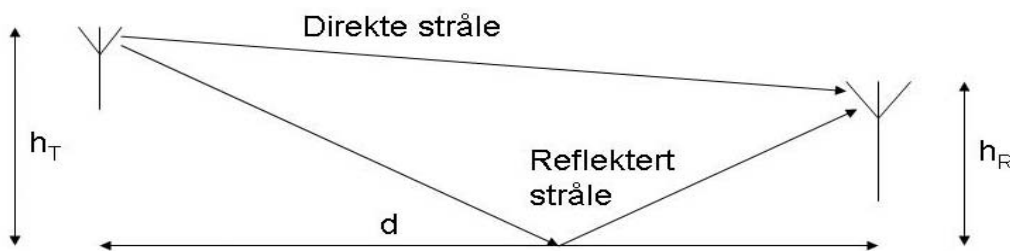
Med A_R menes mottagerantennens effektive areal. Dette avhenger av antennens orientering, og angir hvor stor del av den innkommende intensitet som blir fanget opp av antennen. Vi kan erstatte A_R med $G_R \overline{A_R}$, der G_R er vinningen til mottagerantennen. Middelverdien av det effektive areal er ikke avhengig av antennens fysiske størrelse, men er ganske enkelt lik $\lambda^2/4\pi$, der λ er bølgelengden. Dette siste kan utledes fra elektrodynamisk teori [6], eller via et termodynamisk tankeeksperiment [7,8]. Dimensjonene til antennen kommer inn i vinningen G_R . Hvis vi slår alt sammen, kommer vi frem til Friis transmisjonsligning [9], som gjelder i fritt rom:

$$P_R = P_T G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2.$$

Dette uttrykket danner grunnlag for modeller som tar hensyn til refleksjon og diffraksjon fra terreng. En slik modell, som tar hensyn til refleksjon fra flat bakke, er To-stråle-modellen [10,11], gitt ved uttrykket:

$$P_R = P_T G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 |1 + \Gamma e^{ik\Delta x}|^2.$$

Her beregnes effekten ved mottageren ut fra interferens mellom en direkte stråle og en stråle reflektert fra bakken. Geometrien er vist i Figur 2.1. Γ er refleksjonskoeffisienten for strålen reflektert mot bakken, og $e^{-ik\Delta x}$ gir faseforskjellen, ut fra forskjellen i veilengde, mellom direkte og reflektert stråle. I dette siste uttrykket er k bølgetallet, og Δx er forskjellen i gangvei.



Figur 2.1 Geometri for To-stråle-modellen. Avstanden mellom antennene (d) er mye større enn antennehøydene.

Vi kan forenkle dette uttrykket med antagelser om at avstanden mellom de to stasjonene er mye større enn antennehøydene, og også mye større enn bølgelengden. Ved lav innfallsvinkel vil også Γ gå mot -1 for både vertikal og horisontal polarisasjon. Videre analyse av det forenklete uttrykket utleder at effekten ved mottager, som funksjon av avstand fra sender, har to karakteristikk. På kort hold har vi hurtige variasjoner i en hovedtrend som går som d^{-2} , og på

større avstander er effekten ved mottageren proporsjonal med d^{-4} . Skiftet mellom de to domener skjer ved avstanden d_b ,

$$d_b \approx \frac{4h_R h_T}{\lambda},$$

der h_R og h_T er høydene for mottager- og senderantennen respektivt. Radioene vi brukte i våre rekkeviddemålinger (Kapittel 4), sendte på 300 MHz, og antennehøyden var 1.6 m. Dette gir en avstand for omslagspunktet på noe i overkant av 10 m. Vi har også gjort rekkeviddemålinger med WLAN, som sender på 2.462 GHz, og slik vi brukte dem er denne avstanden 64 m.

To-stråle-modellen, slik den er beskrevet over, gjelder for fullstendig flat bakke. Det er gjort mange arbeider der modeller for realistisk terreng utvikles, ved å ta utgangspunkt i To-stråle-modellen og tilføre korreksjoner som tilpasses måledata. Eglis modell [12] baserer seg på To-stråle-modellen med tillegg som avhenger av terreng og frekvens. Medianen for den målte effekten ved mottageren gir god tilpasning til en invers fjerde potens avhengighet av avstand. Youngs modell [13] baserer seg på målinger gjort i frekvensområdet 150 MHz til 3700 MHz. Her gjøres tilpasning til måledata fra "New York City", og gir en god tilpasning til en invers fjerde potens avhengighet. Begge disse arbeidene tar utgangspunkt i tilpasning av måleresultater til en modell avledet av To-stråle-modellen:

$$P_{50} = P_T G_T G_R \left(\frac{h_T h_R}{d^2} \right)^2 \beta.$$

Med P_{50} menes effekten som overskrides ved 50 % av posisjonene i 50 % av tiden. Her er β den frekvensavhengige terrengfaktoren som tilpasses til måledata. Både Young og Egli beskriver en avstandsuaavhengig variasjon i mottatt effekt. Denne gjør det nødvendig å gjøre flere målinger ved forskjellige posisjoner med samme innbyrdes avstand. Egli oppgir et standardavvik er nær 10 dB, mens Young rapporterer at individuelle målinger jevnlig avviker med 10 dB, og at avviket ofte er så stort som 30 til 40 dB.

2.2 Metode for analyse av rekkeviddemålinger

I våre rekkeviddemålinger, som vil bli beskrevet i Kapittel 4, er det er ikke gjort noen konvensjonelle målinger av effekter eller feltstyrker. I et forsøk med to radioer blir disse båret (eller kjørt) rundt, mens vi med jevne mellomrom sender, eller prøver å sende, en melding over TCP. Vi bruker uttrykket "en melding" om en gruppe tegn som blir sendt fra applikasjonen som én enhet. Innholdet er informasjon om avsenders, navn, klokke og posisjon, og lengden blir omkring 200 bytes. Man kan se på hvert forsøk på å sende en melding som en måling med to mulige utfall. Enten kommer meldingen frem, eller den gjør det ikke. Meldingen kommer frem dersom effekten ved mottageren er større enn en kritisk effekt. Denne kritiske effekt vil, i dette forsøket, være den effekt som gir et tilstrekkelig signal-til-støyforhold til å betjene en TCP-forbindelse med lav datarate. Dersom effekten ved mottager bare var avhengig av avstanden mellom sender og mottager, $d = \|\mathbf{r}_R(t) - \mathbf{r}_T(t)\|$, der \mathbf{r}_R og \mathbf{r}_T er posisjonene til henholdsvis mottager og sender, ville effekten på en bestemt avstand enten være større enn den kritiske effekten eller mindre. Da ville vi enten fått frem alle meldinger eller ingen. Som vi senere vil se av de eksperimentelle resultatene, så er det ikke slik. Dersom man med to stasjoner prøver flere

par av posisjoner som gir samme innbyrdes avstand, vil effekttettheten ved mottageren være forskjellig. Hvis vi antar at vi kjenner effekten ved mottager for alle par av sender- og mottagerposisjoner, som $P(r_R, r_T)$, kan vi definere funksjonen

$$M(r_R, r_T) = \begin{cases} 1, & P(r_R, r_T) \geq P_{\text{crit}} \\ 0, & \text{ellers} \end{cases}.$$

Denne har verdien 1 for posisjonspar som gir effekt større enn kritisk effekt og null ellers. På samme måte kan vi definere funksjonen

$$I(r_R, r_T, d, \Delta d) = \begin{cases} 1, & d < \|r_R - r_T\| \leq d + \Delta d \\ 0, & \text{ellers} \end{cases}$$

som har verdien 1 når avstanden mellom posisjonene er i det gitte intervall. Hvis vi lar posisjonene brukt i disse uttrykkene følge veiene i et forsøk, som skissert overfor, vil vi kunne beregne andelen av eksperimentets totale tid der vi har en effekt stor nok til å motta meldinger, med et uttrykk som:

$$Q(d, \Delta d) = \frac{\int_{t_0}^{t_1} M I dt}{\int_{t_0}^{t_1} I dt}.$$

Integralet over brøkstreken gir den del av tiden, i avstandsintervall $[d, d + \Delta d]$, der man har effekt større enn kritisk effekt, og integralet i nevneren gir total tid innenfor samme avstandsintervall. Grensene for integralene er starttiden og stopptiden for eksperimentet.

En annen og kanskje mer fruktbar måte å beregne tiden på innenfor et avstandsintervall der vi har en effekt tilstrekkelig til å sende meldinger, kan være å beregne tid som funksjon av effekt og ta utgangspunkt i et uttrykk som

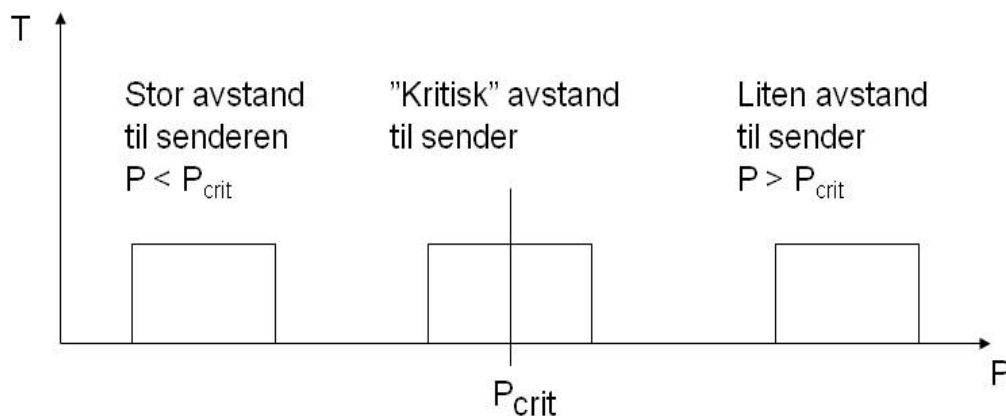
$$T(P, d, \Delta d) = \int_{t_0}^{t_1} \delta(P(r_R(t), r_T(t)) - P) I(r_R(t), r_T(t), d, \Delta d) dt.$$

I dette uttrykket plukker siste ledd ut intervallet, mens deltafunksjonen plukker ut den tidsandelen der effekten ved mottageren er lik P . Uttrykket gir den differensielle tiden $\frac{dt}{dP}(P)$, der effekten ved mottageren er P , og avstanden mellom stasjonene er innenfor det gitte avstandsintervall. Ved å bruke dette uttrykket kan vi skrive:

$$Q(d, \Delta d) = \frac{\int_{P_{\text{crit}}}^{\infty} T(P, d, \Delta d) dP}{\int_{t_0}^{t_1} I dt}.$$

Integralet i telleren gir tiden innenfor det gitte avstandsintervall der effekten ved mottager er over den kritiske effekt. Legg merke til at nedre grense for integralet i telleren er den kritiske effekt. Nevneren gir som før total tid i samme avstandsintervall og normaliserer uttrykket. Figur 2.2 viser et tenkt eksempel på hvordan funksjonen T opptrer ved tre forskjellige avstander. Valget av et rektangel er for fremstillingens skyld, vi kjenner ikke formen til T . Ved analyse av virkelige

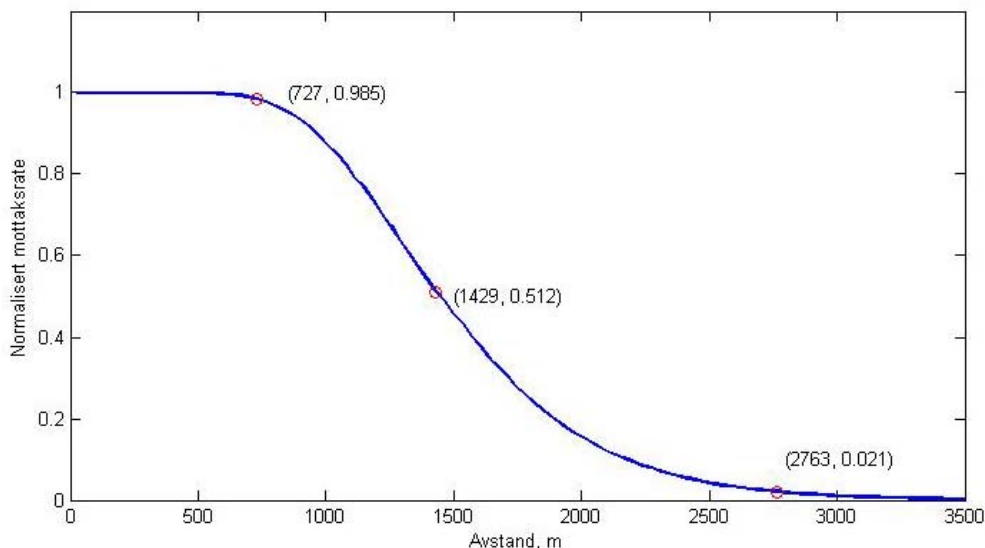
målte data må vi velge et avstandsintervall som inneholder et "tilstrekkelig" antall enkeltmålinger. Hva som er "tilstrekkelig" er ikke klarlagt. Det vil være bestemt av det enkelte eksperiment og hva man ønsker å måle. Hvis intervallet er for stort, vil variasjoner i effekt grunnet avstandsavhengigheten komme i tillegg til den variasjon vi har på grunn av lokale forhold. Vi antar foreløpig at avstandsintervallet er så lite at det ikke innvirker merkbart.



Figur 2.2 Tre forslag til tid som funksjon av effekt: Med stor avstand, "kritisk" avstand og liten avstand til senderen.

Med denne antagelsen vil variasjonene i effekt ved mottager (innenfor et avstandsintervall) ikke komme av varierende avstand, men er resultatet av varierende forhold for posisjonspar med samme innbyrdes avstand. Slike variasjoner kan skyldes skjerming og refleksjoner av radiosignalet, men helt lokale forhold, som hvordan antennen vekselvirker med bærer eller kjøretøy, vil også innvirke. Variasjoner i bakgrunnsstøy er ikke tatt hensyn til. Slik vi har gått frem, vil dette komme inn som forskyvning av den kritiske effekt. Når det gjelder effektvariasjoner innenfor samme avstand mellom sender og mottager, er disse beskrevet i både Eglis [12] og Youngs [13] arbeider, og behandlet grundig av Blaunstein i 2006 [14]. I disse arbeidene er effekten målt fortløpende og brukt statistisk. Når vi gjør målinger ved å sende meldinger fra en applikasjon, kan vi ikke avdekke raske variasjoner. Tvert imot vil tap av signal over korte tidsrom maskeres av feildeteksjon og retransmisjoner i IP. Så lenge stasjonene er i bevegelse, vil dette trolig gjelde effektvariasjoner som skyldes interferens mellom bølger med forskjellig gangvei.

Som et eksempel på hvordan eksperimentelle resultater kan forventes å bli, har vi for et tenkt tilfelle regnet ut normalisert rate av mottatte meldinger. For funksjonen T har vi valgt en log-normal fordeling med et standardavvik på 5.5 dB. Videre har vi antatt at vi sender med 1 W og at mottageren har en kritisk effekt på 630 fW. Verdiene er valgt med et blikk fremover til Kapittel 5. Vi regner med at intensiteten går som d^{-2} frem til ca. 10 m og som d^{-4} videre. Resultatet er vist i Figur 2.3. Dette er en svært forenklet beregning, og det er ikke tatt hensyn til noen terrengavhengighet. Likevel antyder grafen hvordan resultater fra virkelige eksperimenter vil se ut.



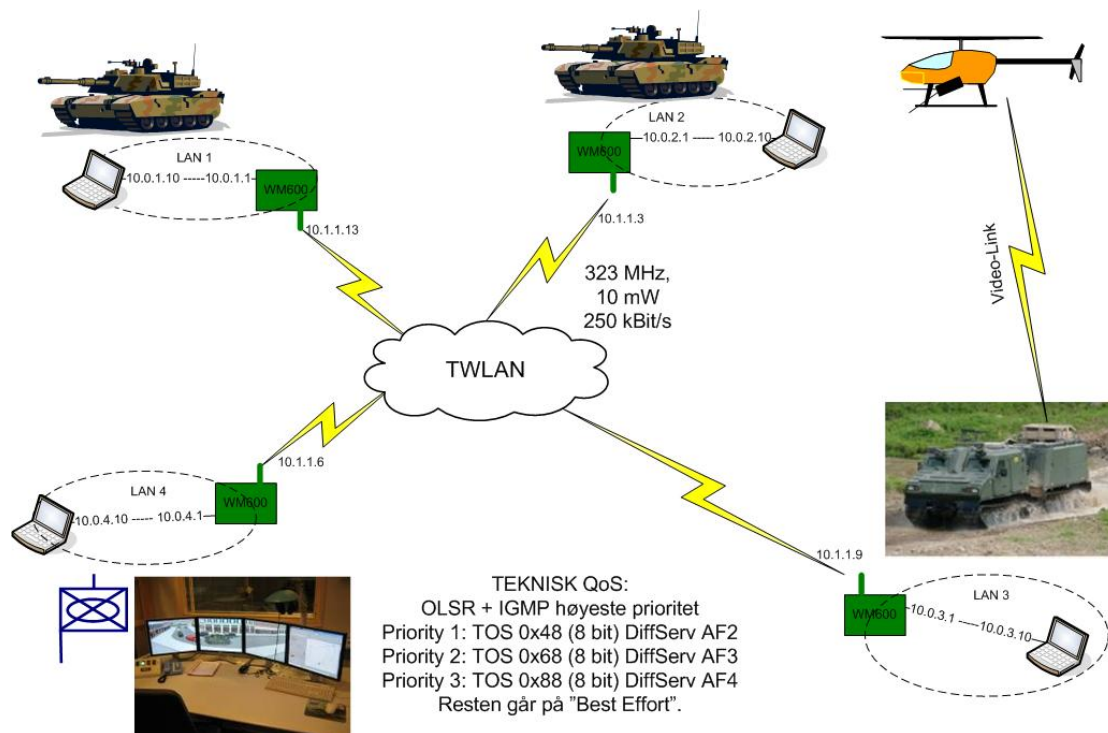
Figur 2.3 Eksempelberegning av normalisert rate av mottatte meldinger som funksjon av avstand mellom sender og mottaker. De tre markerte punkter blir kommentert i teksten.

Vi kan forstå grafen slik: Ved kort avstand har vi god forbindelse ved alle posisjonspår. Dette er platået med full datarate. I en overgangssone vil raten falle av når flere par av sender- og mottagerposisjoner har lokale forhold som er slik at effekten ved mottager er lavere enn den kritiske effekt. Dataraten faller her av med økende avstand. Til slutt har vi avstander der vi ikke kan oppnå radioforbindelse, fra noen posisjoner. "Midt i bakken" i grafen tilsvarer den avstand der halvparten av posisjonene får en effekt større enn den kritiske effekt og den andre halvparten får mindre effekt. Siden dette i praksis vil bli gjort i målte data, er alle terrengavhengigheter automatisk tatt med. Vi kjenner også posisjonen til senderen, og da kan vi forutsi medianen til den mottatte effekt for andre avstander ved å bruke d^{-4} -avhengigheten. Hvis vi ikke har kalibrerte mottagere, så vil den kritiske effekt for "denne" mottageren være enheten for mottatt effekt. I grafen har vi markert tre punkter. Disse ligger på overgangen fra platå til bakke, midt i bakken, og ved overgangen til null rate. Koordinatene for punktene blir videre behandlet i Kapittel 5, Analyse av rekkeviddemålinger.

3 Eksperiment 2008

3.1 Beskrivelse

Forsøket omfatter kommunikasjon mellom tre mobile enheter (2 CV90 og en beltevogn) og en fjerde enhet i hovedkvarter, som var huset ved BT-banen. En mindre del av forsøket ble lagt til treningsområdet for Strid I Bebygde Områder (SIBO).

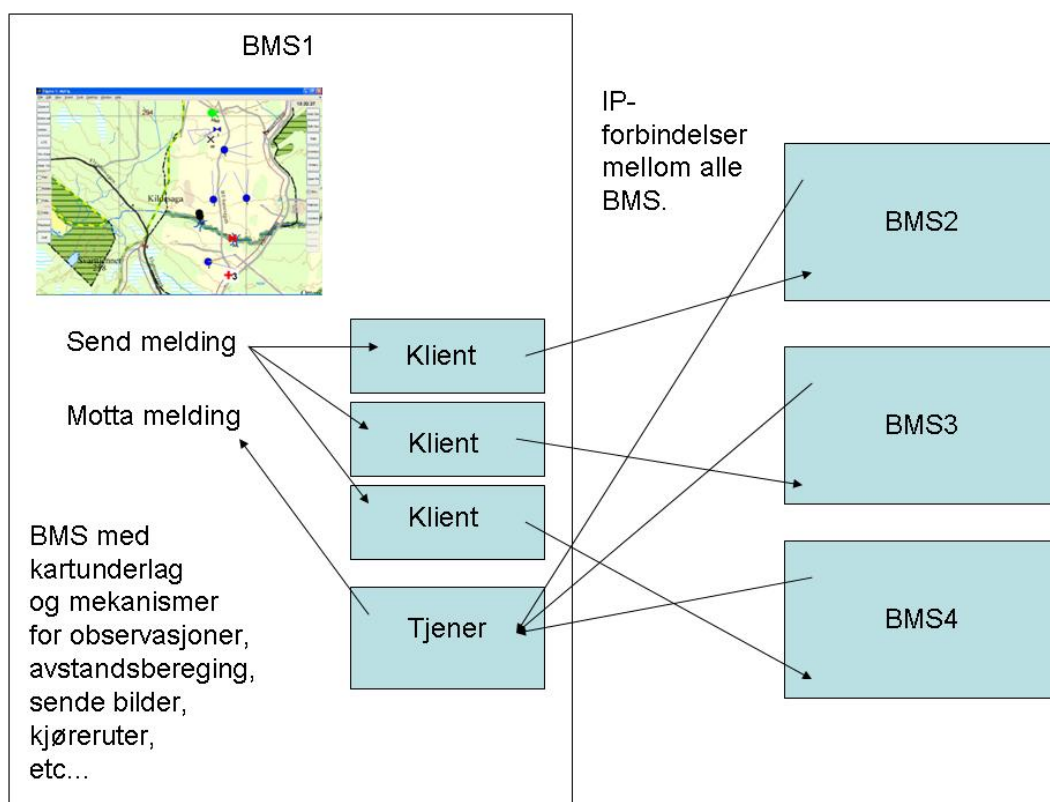


Figur 3.1 Oversikt over de fire enhetene i det trådløse nettverket som ble brukt under CD&E.

I alle tilfeller var det nødvendig å etablere et trådløst nettverk mellom de fire enhetene. Kommunikasjonen skal være basert på IP og bruk av TCP og UDP. Det finnes eksperimentelle TCP-løsninger som er optimalisert for bruk over trådløse nettverk, men i eksperimentet brukte vi standard TCP, siden dette var lettest tilgjengelig. Oversikt over deltagende enheter i eksperimentet er vist i Figur 3.1. IP-oppkoplinger inn mot en BMS-enhet er vist skjematisk i Figur 3.2.

I Hæren i dag finnes det ikke bredbåndsradio til mobilt taktisk bruk. Prosjekt TIPPER arbeider med framtidige løsninger for taktisk kommunikasjon og har litt utstyr for eksperimentering med trådløs "ad hoc" kommunikasjon (ref. "Intelligent Tactical IP Router"[15] for mer informasjon fra TIPPER). TIPPER kom sent inn i eksperimentet og valgte derfor å tilby en enkel kommunikasjonsløsning som bestod av 5 stk. Kongsberg Defence & Aerospace WM600 [16], beregnet for montering i kjøretøy. Våre modeller er gamle prototyper av WM600 og er ikke representative for dagens utgaver. Et problem med disse prototypene er overstyring av mottakeren. Dersom man trenger kommunikasjon på kort hold, kan man ikke bruke senderens fulle effekt. To typer av WM600 er vist i Figur 3.3. Vi ser modellen beregnet for kjøretøymontering, som vi brukte, og den mindre soldatmodellen. Figur 3.4 viser de samme radioene sammen med en "COMROD UHF 225450 VM/HG", som er den type antenne som ble brukt i eksperimentet [17]. WM600 kalles "Tactical Broadband Wireless Module", og tilbyr et trådløst mobilt "ad hoc" nettverk (MANET) [18] for IP-trafikk. Hver radio kjører en ruterprotokoll som ruter trafikken fra brukeren inn i det trådløse nettet, og ruter trafikk fra radio til radio i mange hopp, dersom sender og mottager ikke er innenfor transmisjonsrekkevidde (reléfunksjon). Denne rutingmekanismen er implementert med "Optimized Link State Routing" (OLSR)-protokollen [19]. WM600 tilbyr også mekanismer for å støtte tjenestekvalitet i

nettverket, tilsvarende DiffServ-arkitekturen [20]. I et mobilt taktisk nettverk, som har begrenset datakapasitet, er det viktig å prioritere trafikken, slik at den viktigste trafikken får førsteprioritet i nettet. For dette eksperimentet ble det definert 4 tjenestekvalitetsklasser (prioritetsklasser). Ruting og protokoller for resursforvaltning får høyeste prioritet i nettet, siden det viktigste av alt er at nettverket fungerer, slik at det kan levere ressurser til transport av brukerdata. Tre klasser blir da tilgjengelig for forskjellig trafikk mellom BMS-applikasjonene. WM600 ble brukt på 323 MHz, stort sett med 10 mW sendereffekt og med 250 kbits/s rå datarate. Den lave sendereffekten skyldes tidligere nevnte problem med overstyring av mottageren. Dette blir beskrevet nærmere i Kapittel 3.3 Resultater fra CD&E.



Figur 3.2 IP-opkoblinger mellom enheter i BMS, her spesielt oppkoblinger mellom BMS 1 og andre enheter. For enkelhets skyld er oppkoblingene mellom BMS 2..4 ikke vist.



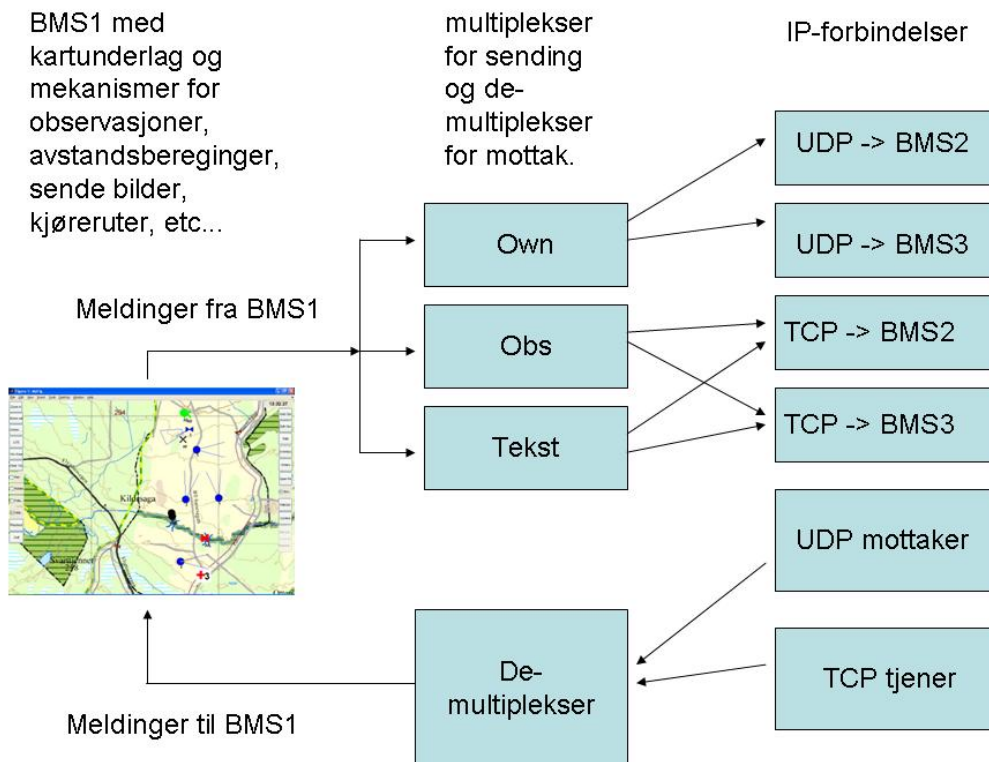
Figur 3.3 WM600, for montering i kjøretøy, til høyre, og den mindre soldatmodellen til venstre.



Figur 3.4 To modeller av WM600 med antenne av den typen som ble brukt i eksperimentet. Antennen med fot er 87.5 cm lang.

3.2 BMS kommunikasjonsløsning

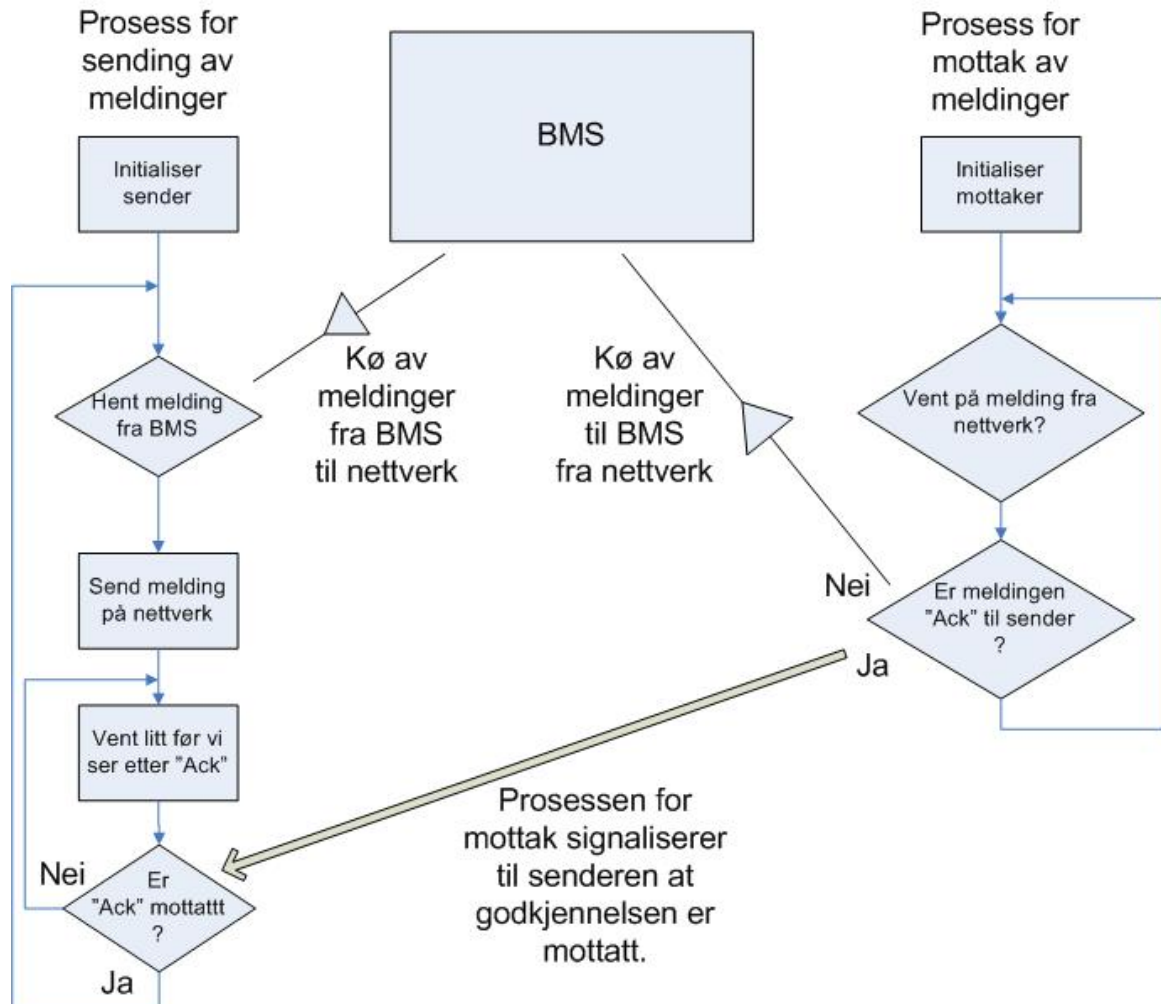
Programvaren for kommunikasjon er lagd med tanke på enkel bruk fra BMSets Matlab-kode. Kommunikasjonslaget er skrevet i Java, og den kompilerte bytekoden utføres i Matlabs tilhørende Java-tolker. All informasjon som sendes mellom BMS-enheter er i form av meldinger. Disse er Java-klasser sett fra kommunikasjonslaget, og Matlab-strukturer i BMS-koden. Det finnes egne meldingstyper for hver type av informasjon man ønsker å overføre mellom BMS-enhetene og/eller andre kommuniserende deltagere. Eksempelvis finnes meldingstypen "own" for kringkasting av egen posisjon, typen "obs" for å sende observasjoner og typen "text" for å sende en tekstmelding til alle andre BMS-enheter. Kommunikasjonslaget brukes også av "Augmented Reality"-programvaren "arcv90", lagd av firmaet ar-lab [21], og er en del av programvaren brukt av TAURUS, for kommunikasjon med BMS-enheter. For begge disse er det lagd spesielle meldingstyper. Etter konfigurering og start av kommunikasjonslaget, vil BMS-programmet sende meldinger med en enkel "send"-funksjon, som ikke har noen mulighet for å spesifisere mottager eller transportparametre. Omvendt vil BMS-enhetene motta hver enkelt innkommende melding med en enkel "recv"-funksjon. Om BMS-enheten trenger informasjon om hvem som er avsender og/eller mottager, skal dette være kodet inn i meldingen. Det gis ingen informasjon om kommunikasjonsbrudd eller ytelse på de forskjellige TCP-oppkoplingene som er i gang. Det er imidlertid lagd en "ping request"- og en "ping reply"-melding som hver BMS-enhet bruker for å kontrollere kontakten med andre enheter. Mekanismene rundt sending og mottak, sett ut fra BMS1, er vist i Figur 3.5 (vi bruker BMS1 som egennavn for BMS-enhet nummer 1).



Figur 3.5 Kommunikasjon inn til og ut fra kommunikasjonslaget for BMS1.

Ved sending av en melding fra en enhet i BMSet vil meldingstypen bli brukt i en multiplekser. I denne prøves meldingstypen mot typen av et antall kanaler. Hvis typene er like, blir meldingen

sendt ut på en eller flere påhengte IP-forbindelser. Vi ser hvordan meldinger av type "own" vil bli sendt på UDP til både BMS2 og BMS3. En enkelt IP-forbindelse kan brukes fra flere kanaler i multiplekseren. Typeutvelgerne i multiplekseren kontrollerer også hvilken prioritet (tjenestekvalitetsklasse) som skal settes på meldingen, og har muligheten til å aktivere en enkel "acknowledge"-mekanisme. Sterkt forenklet flytskjema for dette er vist i Figur 3.6.



Figur 3.6 Flytskjema for ende-til-ende godkjenning av meldinger. BMS-enheten, senderprosessen og mottaksprosessen arbeider asynkront. Mottaksprosessen signaliserer til senderen at "Acknowledge" for sist sendte melding er mottatt.

Ved å lage flere kanaler i multiplekseren for én meldingstype, kan man velge å sende denne på forskjellig måter til forskjellige (eller samme) mottaker. Ved samarbeid mellom BMS-enheter og MUAS vil det være nyttig å ha mulighet for å videresende video eller enkeltbilder fra kameraene, montert på en UAV. Vårt kommunikasjonslag og valg av datarate tillater ikke overføring av video, men videresending av enkeltbilder ble prøvd. Bildene lagres fortløpende som filer, kodet i JPEG, på MUAS-operatørstasjonen. Overføring av et bilde består derfor i å overføre en fil fra en maskin til en annen. En slik filoverføring settes alltid i gang fra MUAS-operatørstasjonen med en "taurim"-melding til kommunikasjonslaget. Denne inneholder filnavnet for JPEG-filen. Kommunikasjonslaget sender ikke meldingen slik den er, men gjør en filoverføring til mottakermaskinen, lagrer filen i en forhåndsbestemt mappe, og leverer deretter "taurim"-

meldingen til BMS-enheten. Vår mekanisme for å sende en fil er å bruke TCP, lese alt til en buffer, og sende alt på en gang. Bildene er fargebilder, tatt ut enkeltvis fra videostreamen fra MUAS til operatørstasjonen. Hvert bilde er på 768x576 piksler, og ett enkelt piksel inneholder 3 byte. Komprimert til JPEG blir de lagret som filer på oppunder 50 000 bytes størrelse. Hvis 250 kbit/s datarate var umiddelbart og kontinuerlig tilgjengelig til brukerdata, ville tid for overføring være på 1.6 sekunder. Nettverkskoden i operativsystemet vil splitte opp, feilsjekke, sende om igjen og sekvensere overføringen slik at den kommer feilfritt frem, men med lengre tidsforbruk. Om det inntreffer et brudd under sending, vet vi ikke hvor mye som er sendt, og ved senere oppkopling sendes hele bufferen om igjen. Når en slik stor buffer sendes fra en applikasjon, vil standard TCP splitte opp bufferen i maksimum pakkestørrelse, som vanligvis er 1500 bytes. I et mobilt "ad hoc"-nettverk, der bitfeilraten er stor, er det gunstig å sende pakker som er mindre enn maksimal størrelse, for å øke sannsynligheten for feilfri overføring. Pakkene bør heller ikke være for små, siden dette fører til større ressursbruk, på grunn av nødvendig pakkehode og kontrolltrafikk for hver pakke. Mindre pakkestørrelse vil også føre til kortere ventetid i pakkekø i radiatorerne for andre pakker, som kan ha strenge krav til tidsforsinkelse.

Som nevnt tidligere ble det tilbudt kvalitetsklasser (prioriteringsklasser), fra nettverket til BMS-trafikken. Pakkene som sendes, merkes med den klasse de tilhører. Klassetypen kodes inn i "Type of Service" (ToS)-feltet i IP-pakkehodet, og i vårt forsøk er tre klasser definert for brukerdata. Tabell over klassene er gjengitt som del av Figur 3.1. Slike mekanismer refereres til som "Quality of Service" (QoS). Fra en applikasjon, skrevet i Java, veksler man mellom prioriteringer ved å sette "TrafficClass" på en åpen "Socket". Etter å ha satt "Traffic Class", vil ToS-feltet i IP-pakker sendt fra denne forbindelsen få den valgte verdien. På Windows XP må en innstilling i "registry" settes for at dette skal virke [22]. I systemet satt opp for CD&E brukes egne TCP-forbindelser til lange overføringer, som bildeoverføringer, og disse blir satt til en lavere prioriteringsklasse enn forbindelser brukt til korte meldinger, som for eksempel melding om observasjoner.

Det går frem av Figur 3.5 at kommunikasjonslaget for BMS (og andre) kan opptre både som klient og tjener under oppkopling av TCP-forbindelser. I IP-terminologien er tjeneren ("server") den som aksepterer innkommende forbindelser, mens klienten er den som setter opp forbindelse med "connect". UDP er uten oppkopling, og hvert enkelt UDP-datagram sendes gjennom nettet og må greie seg som best det kan. Typisk kandidat for sending på UDP er posisjonsmeldinger, som sendes regelmessig fra hver BMS-enhet. Tap av en og annen posisjon er ikke kritisk. Manglende posisjonsmelding over tid kan tyde på navigasjonsproblemer hos enheter som ikke sender posisjoner, men samtidig svarer på "ping request" meldingen. Vi har valgt å la hver enhet sette opp TCP-forbindelser til tjenere hos alle andre BMS-enheter. For et antall N deltagere gir dette $N(N-1)$ oppkoplinger. Antallet oppkoplinger kan halveres ved å sette opp én og bare én forbindelse mellom to BMS-enheter. "Vår" metode forenkler oppkoplingen ved start så vel som oppkopling etter brudd. Informasjon sendes fra klient til tjener, og klienten er ansvarlig for å sette opp forbindelsen etter et brudd. Klientene er lagd slik at BMS-applikasjonen kan stole på at meldinger sendt over til kommunikasjonslaget vil havne hos mottagerne. Meldinger i klientene blir lagret i strukturer i hukommelsen, så ved (svært) langvarige brudd vil denne metoden til slutt feile, ved at applikasjonen bruker opp all tilgjengelig hukommelse.

Ved tester over kablet "Local Area Network" (LAN) ble brudd (napper ut Ethernetkabelen) rapportert tidlig ved at "read"- eller "write"-metoden [23] feilet. Vi tok da vare på meldingen og prøvde å etablere en ny oppkopling til samme adresse. Når oppkoplingen var etablert, ble samme melding sendt igjen. Dette fungerte, og hverken brudd eller omstart av BMS-enheter førte til tap av meldinger. På trådløst nettverk i felt er alle BMS-enhetene på hvert sitt LAN og kommuniserer via et nettverk der rutene går via flere rutere. Når pakker blir tapt på andre linker enn eget LAN, fungerer ikke metoden som beskrevet over. Dette gjorde det nødvendig med en ende-til-ende bekreftelse på mottatt melding. Vi implementerte en enkel mekanisme der mottager sender en "Acknowledge" tilbake for hver mottatt melding. Dersom senderen ikke får denne bekreftelsen innen rimelig tid, sendes samme melding på nytt. Etter flere forsøk på sending blir forbindelsen tatt ned, i håp om at den kan settes opp igjen på et senere tidspunkt, og da vil fungere bedre. Dette blir da som om nedkoplingen var gjort fra det andre endepunktet eller ved brudd.

Kommunikasjonslaget som brukes i enhetene i BMSet, tillater også andre typer tilkoplinger enn IP, og andre meldingstyper enn de som er beskrevet ovenfor. Ved CD&E ble det brukt tilkopling til "Global Positioning System" (GPS)-mottaker og en tilkopling som dekode datagrammer sendt fra Vinghøg sin VingTOPS-applikasjon [24]. Denne siste er et kontrollprogram for et "TALIN 3000" treghetsnavigasjonssystem [25]. Ved siden av kontrollen med TALIN, sender VingTOPS datagrammer med posisjoner og retninger i et format som lett dekodes og sendes til BMS-kommunikasjonslaget. Disse meldingene genereres lokalt, men flettes inn i køen av meldinger til den lokale BMS-applikasjonen.

3.3 Resultater fra CD&E

Allerede ved generalprøven viste det seg at brudd på TCP-oppkoplinger ikke ble rapportert til applikasjonen så tidlig som vi hadde forventet. Det viste seg at selv om et "send" på LAN til nærmeste ruter returnerte uten feilmeldinger så var det ikke garantert at meldingen ville nå den endelige mottager. Som nevnt i det foregående bruker vi nå en enkel ende-til-ende bekreftelse på mottatt melding.

Ved ett av våre innledende forsøk ble WM600 satt til en sendereffekt på 2 W. Dette er den største effekt som kan velges, og vi ønsket å få maksimal rekkevidde og datarate. Utgaven av WM600 som ble brukt ved CD&E er prototyper, og det er kjent at de har problemer med overstyring av mottageren. Dette problemet er løst i nyere modeller. Det viste seg straks at med 2 W effekt var det umulig å kommunisere på korte avstander. Selv i de tilfeller der to enheter opererte nær hverandre, men i god avstand fra hovedkvarteret, var det ikke mulig å få forbindelse noen veier. Ved videre forsøk som var del av CD&E, ble 10 mW sendereffekt alltid brukt. Ved 10 mW sendereffekt oppnådde vi noe over 1 km rekkevidde over åpent terreng. Senere forsøk som ble gjort i løpet av CD&E, indikerer en minsteavstand på omkring en halv kilometer når effekten er satt til 2 W og to enheter er aktive.

Når det gjelder "vanlige" små meldinger, som posisjoner og observasjoner, fungerer kommunikasjonen bra mellom enhetene i BMSet. Vi hadde imidlertid store problemer når det gjelder bilder. Mens den aller mest optimistiske beregning gir 1.6 s for overføring av en

representativ bildefil, så vi i praksis minutter eller totalt uteblivelse. En oppdeling av bildet i mindre pakkestørrelser (som beskrevet i Kapittel 2.2) ville trolig forbedre dette resultatet. Vi så allikevel at mens et bilde slet med å (ikke) komme frem, var det samtidig mulig å sende observasjoner (TCP) og posisjonsmeldinger (UDP). Disse ble da sendt med en høyere prioritet, og når det gjelder observasjoner, også på en annen TCP-forbindelse. Dette er et godt eksempel på at det er nødvendig og nyttig å utnytte tjenesteklasser og prioritering i et taktisk nettverk. Når ressursene i nettverket ikke strekker til for å transportere alle brukerdata, blir den viktigste trafikken prioritert på bekostning av mindre viktig trafikk. Uten prioritering ville alle trafikktypene kjempet om de samme nettverksressursene, med dårlig tjenestekvalitet for all trafikk som resultat.

4 Programsystem for rekkeviddemålinger

Under demonstrasjon og eksperiment med AR og BMS opplevde vi en god del pakketap og variabel rekkevidde (konnektivitet) på det trådløse nettverket. Sett fra BMS-enhetenes kommunikasjonslag merkes dette ved brudd (på TCP-forbindelser), eller ved at meldinger ikke kommer fram. Vi må også anta at det var situasjoner der BMSets kommunikasjonslag ikke sendte alle meldinger som forventet. På det tidspunktet var det ingen rapportering eller logging av hendelser i kommunikasjonslaget. Det er derfor vanskelig å avgjøre om det var feil i BMSet eller problemer i det trådløse nettverket som var grunnen til at en melding ikke kom fram. Kompleksiteten av eksperimentet og antallet involverte gjorde at det var nærmest umulig å stoppe opp og analysere problemer med mistede meldinger. I lys av dette bestemte vi oss for å lage et enkelt og greit programsystem for måling av konnektivitet for TCP-trafikk. Vi ser for oss at ved fremtidige eksperimenter kan dette systemet brukes under planleggingsfasen, ved å gjøre *in situ*-målinger med aktuelle taktiske dataradioer. For å prøve ut programsystemet har vi gjort målinger over et lite utvalg taktiske bredbåndsradioser som vi har tilgjengelig på FFI.

4.1 Kommunikasjonslag med loggføring

Som utgangspunkt for et programsystem for logging av hendelser mot operativsystemets nettverkslag, brukte vi deler av BMSets kommunikasjonslag. Det er naturlig i første omgang å implementere et system som etterlikner BMSets bruk av kommunikasjonsressurser. Det er imidlertid en vesentlig forskjell: Mens BMSets kommunikasjonslag prøver å rette opp og skjule alle problemer på lavere lag, er programvaren for loggføring nettopp lagd for å avdekke slike problemer. Loggingen blir gjort med tid avledet fra en GPS-mottager, og samtidig blir egen posisjon registrert fortløpende. GPS-mottagere gir vanligvis meldinger om tid og posisjon med 1 s intervaller. Når meldingen inneholder klokke, regner vi med at denne er gyldig ved meldingens starttegn. Etter hver registrert GPS-tid bruker vi maskinklokka til ekstrapolering. Vi har ikke gjort noe for å filtrere posisjonen fra GPS-mottageren og har ikke noe alternativ navigasjonssystem. Dette siste vil gjøre det umulig å gjøre målinger som er avhengige av posisjonering i områder uten GPS-dekning. Programvaren kjøres samtidig på flere PCer som har nettverksforbindelse. På hvilken måte nettverket er realisert er uten betydning for selve programmet, men i denne omgang er intensjonen å måle rekkevidde og konnektivitet på trådløse

nettverk. Hver instans av programmet har sin konfigurasjon som starter et vilkårlig antall klienter og servere. Hver av dem setter opp eller aksepterer TCP-forbindelser til eller fra andre instanser av programmet, og sender og mottar meldinger. Meldingene er serialiserte Java-klasser som inneholder informasjon om avsenders navn, klokke og posisjon. Hver melding inneholder også et serienummer som er unikt innenfor den programinstans som sendte den. Vi kan derfor identifisere hver enkelt melding både ved sender og mottager. Hver melding inneholder senderens posisjon, og programmet inneholder også en meget enkel grafisk fremstilling av egen posisjon og posisjonene til de andre senderne. For hver sender vises også tiden siden siste mottatte melding. Meldingene blir som nevnt sendt over en TCP-forbindelse. TCP er en ”pålitelig”¹ transportprotokoll med flytkontroll og retransmisjon av pakker ved pakketap. Dette betyr at når testsystemet er i en posisjon med dårlig radiokanal, så vil TCP forsøke å opprettholde forbindelsen ved å retransmittere pakker. En pakke kan dermed være sendt flere ganger før mottageren får den, eller den blir registrert som tapt.

4.2 Gjennomføring av og resultater fra rekkeviddemålinger

Vi har gjort rekkeviddemålinger med fire forskjellige dataradioer, som alle tilbyr IP-funksjonalitet til applikasjonsprogrammer. Alle målinger er gjort over en punkt-til-punkt-link mellom to radioer. Det er m.a.o. ikke gjort noen måling som involverer ruter over flere trådløse hopp. Som en basis å sammenligne med, har vi først brukt ”Wireless Local Area Network” (WLAN). I praksis betød dette to portable maskiner (Panasonic Toughbook) med innebygde WLAN nettverkskort (Intel® Wireless WiFi link 4965AG), basert på IEEE 802.11g [4,5], og som sender på 2.462 GHz. Disse gir ingen løsning for feltbruk, men er tatt med mer for å prøve ut testmetodikken og programmene brukt for testing. Deretter ble det gjennomført målinger med Harris RF-7800S-TR, Kongsberg SR600, og de samme prototypversjonene av Kongsberg WM600 som ble brukt i CD&E på Rena. Harris RF-7800S-TR og Kongsberg SR600 er soldatradioer, mens Kongsberg WM600 er beregnet for bruk i kjøretøy. Figur 4.1 viser to radioer brukt i forsøket, med den eldre prototypversjonen av SR600 i bakgrunnen. Kjøretøyradioen, WM600, ble vist tidligere i Figur 3.3 og Figur 3.4. SR600 ble brukt på 300 MHz, RF-7800S-TR på 352 MHz og MW600 prototypene på 323 MHz.

Når det gjelder WLAN og de to soldatradioene, ble de under forsøket båret av to personer som gikk mer eller mindre tilfeldig rundt. Dette for å gjøre målinger under et stort antall betingelser. For disse målingene ble to områder brukt: Inne på FFI og langs Fetveien. Området inne på FFI kan nærmest beskrives som industriell bebyggelse med store massive bygninger, men også med flere åpne områder. Den største avstand man kan oppnå mellom to posisjoner innenfor dette området er nær 200 m. Testing i åpent lende ble gjennomført langs Fetveien ved FFI. Dette er en ganske rett veistrekning, uten skjerming i form av trær eller bebyggelse. Alle radioer viste større rekkevidde her. Radioen for montering i kjøretøy (Kongsberg WM600 prototype) ble brukt i to biler, og vi kjørte først en tur langs Fetveien og deretter inne i Lillestrøm. Denne er en småby, der bykjernen stort sett består av betongbygninger, mens de omliggende områder er bebygd med

¹ TCP er pålitelig på et trådbundet nett, men det er umulig å tilby en pålitelig transportprotokoll for trådløse nett.

trehus. Vi kjørte i alle områder. Både FFIs område, Fetveien og Lillestrøm med omegn er svært flate områder.



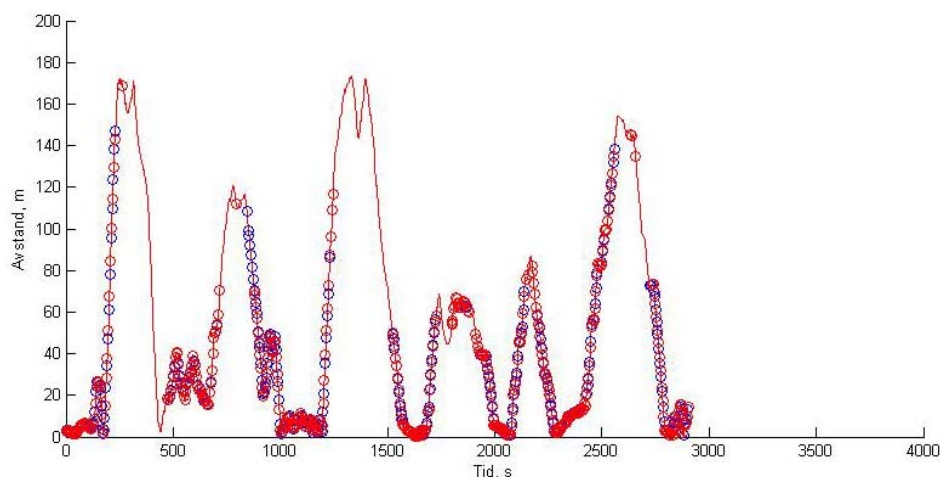
Figur 4.1 Kongsberg SR600 til venstre, Harris RF-7800S-TR til høyre og prototypen av SR600 bak i midten.

For radioer med stillbar sendereffekt ble et par forskjellige verdier prøvd. Kongsberg SR600 ble brukt på 10 mW og 1 W, Kongsberg WM600 prototyper ble brukt på 10 mW og 2 W. Ingen effekter er målt av oss; vi gjengir produsentenes tall. Alle loggedata som ble samlet på hver enhet, og for hver oppstart, ble skrevet til en lokal fil. Det er lagd Matlab-kode for å trekke interessante data ut fra loggene, behandle disse og produsere grafiske presentasjoner. Alle målingene ble gjort ved å sende meldinger med størrelse 200 bytes, og hvis forbindelsen var i orden, ble det sendt en melding hvert 5. sekund. Etter brudd på en TCP-oppkopling ble det gjort forsøk på å kople opp hvert 10. sekund inntil forbindelsen ble satt opp. Med disse små datamengdene gir våre forsøk et mål for systemenes villighet til å opprette og beholde TCP-forbindelser under varierende forhold.

4.2.1 Resultater fra rekkeviddemålinger på FFIs område.

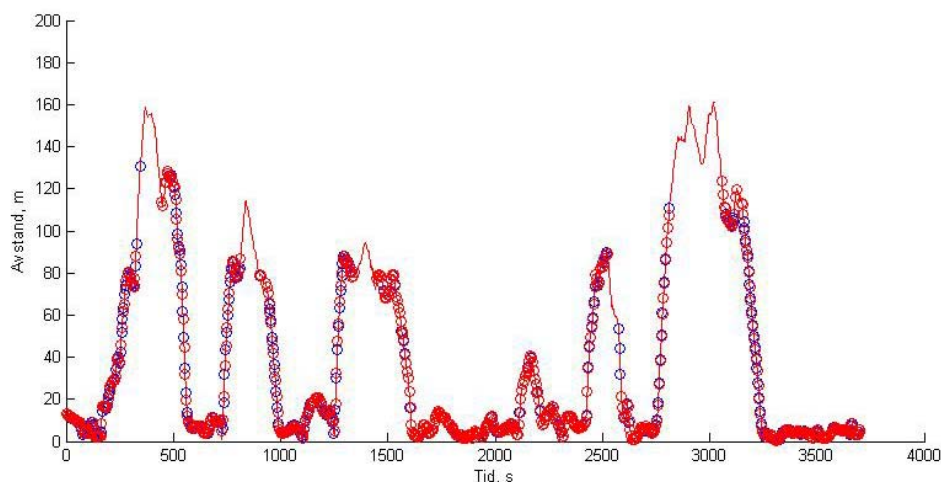
Vi gjorde forsøkene på FFIs område med 4965AG og med SR600. WLAN-kortene ble brukt i sin standardkonfigurasjon på frekvensen 2.462 GHz med en sendereffekt på 32 mW. For Kongsberg SR600 brukte vi frekvensen 300 MHz med 5 MHz båndbredde, og datarate ble valgt til 920 kBit/s. Vi brukte sendereffektene 10 mW og 1 W. OLSR-protokollen var aktivert, men har ingen effekt siden bare to stasjoner var i bruk. Ved målinger med WLAN ble datamaskinene båret slik at antennene var omtrent 1.4 m over bakken. Soldatradioene ble båret slik at antennen havnet omtrent over skulderen, i overkant av 1,6 m høyde. Under måling med SR600, stilt til

sendereffekt på 1 W, benyttet vi muligheten til å etterprøve en muntlig påstand om at disse radioene skal tåle at antennene blir lagt i kryss oppå hverandre. Påstanden stemte, og vi kunne med våre målinger ikke merke noen effekt av dette. SR600 og dagens WM600 er bygd over samme lest. Det er derfor all grunn til å tro at problemene vi hadde med kommunikasjon på korte avstander med den gamle prototypmodellen av WM600, er løst i dagens modeller. Figur 4.2 viser avstand som funksjon av tid for forsøk med SR600 på 10 mW. Mottatte meldinger er tegnet inn på det tidspunktet og den avstanden de ble mottatt.

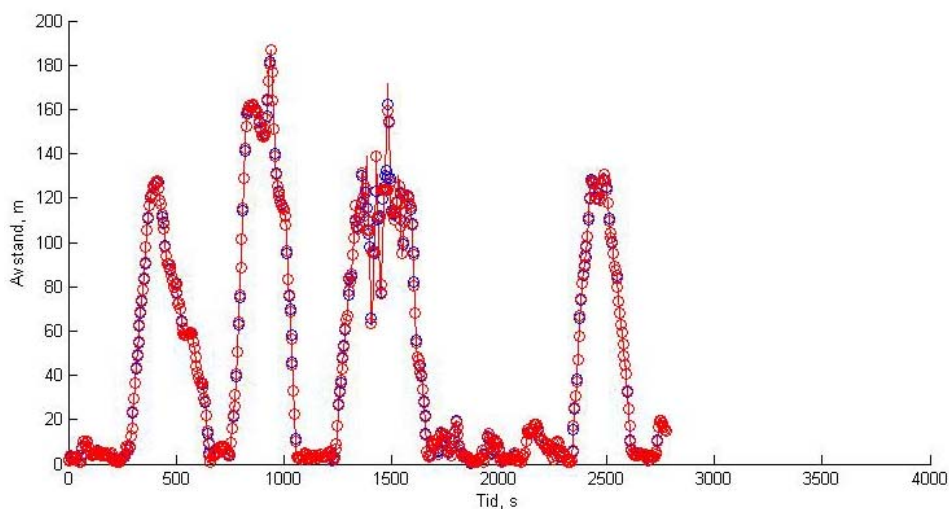


Figur 4.2 Avstand og mottatte meldinger som funksjon av tid for SR600, 300 MHz, 10 mW på FFIs område. Avstand er rød linje, meldinger mottatt av hver av de to enhetene er røde og blå sirkler.

Stort sett er ingen meldinger mottatt ved avstander over 150 m, men det er en enkelt slenger på 170 m. Figur 4.3 viser tilsvarende for Intel® 4965AG nettverkskort. Her er den største avstanden noen melding er mottatt på nær 130 m. Tross større sendereffekt har vi noe kortere rekkevidde. Dette er som forventet siden SR600 sender på 300 MHz, og Intel® 4965AG sender på 2.462 GHz. Høye frekvenser blir lettere absorbert og spredd av hindringer i terrenget enn lavere frekvenser. Figur 4.4 viser samme data for SR600 på 1 W. I dette siste tilfellet har vi mottak av meldinger på alle avstander. Faktisk var det slik at ved 1 W sendereffekt forekom det aldri brudd i kommunikasjonen (sett fra en applikasjon som sender korte pakker på TCP over IP), og ved nærmere kontroll i loggene viste det seg at alle sendte meldinger ble mottatt. Dette betyr ikke at det ikke har vært pakketap. TCP forsøker å tilby en pålitelig overføring, og sender tapte pakker på nytt et visst antall ganger innenfor et bestemt tidsrom. Ved lange brudd på kommunikasjonen eller svært høye pakketap klarer ikke TCP å overføre brukerdata. Etter omtrent 1500 s virker grafen rotete. Dette skyldes at en av deltagerne beveget seg innendørs, slik at GPS mottageren fikk problemer. For alle disse eksperimentene fremstår det som om vi enten har TCP-forbindelse og alle sendte meldinger etter hvert blir mottatt, eller vi har det ikke, og ingen meldinger blir sendt eller mottatt.

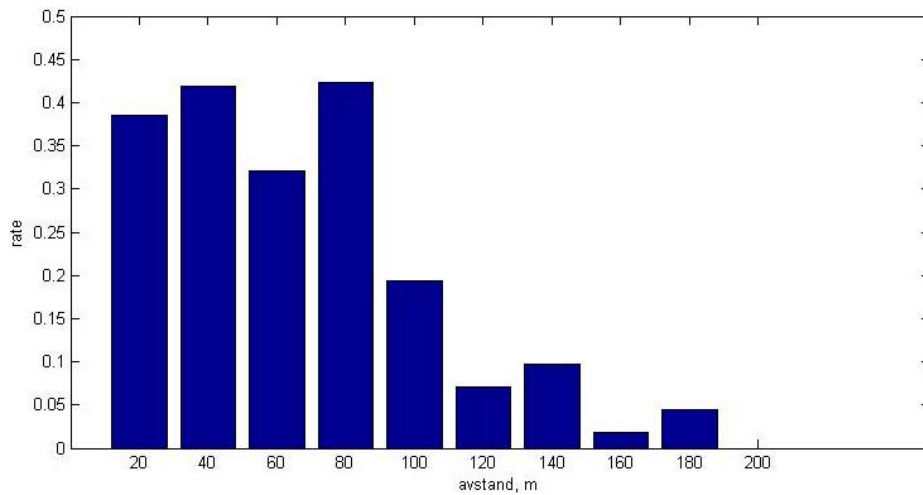


Figur 4.3 Avstand og mottatte meldinger som funksjon av tid for WLAN-kort, 2.462 GHz, 32 mW på FFIs område. Avstand er rød linje, meldinger mottatt av hver av de to enhetene er røde og blå sirkler.

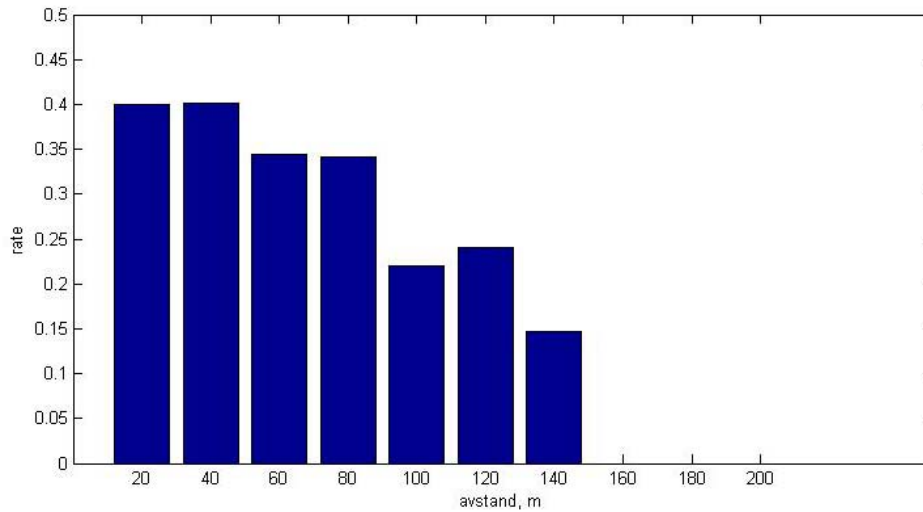


Figur 4.4 Avstand og mottatte meldinger som funksjon av tid for SR600, 300 MHz, 1 W på FFIs område. Avstand er rød linje, meldinger mottatt av hver av de to enhetene er røde og blå sirkler.

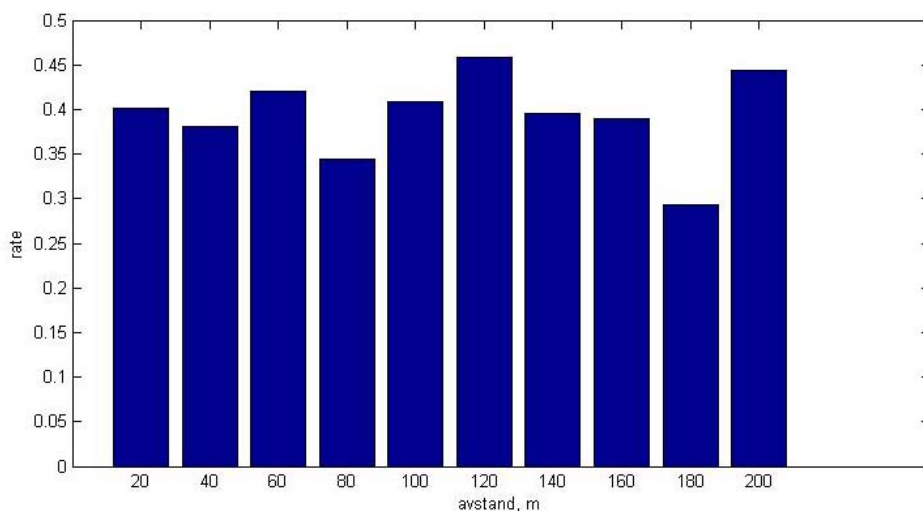
For å få et klarere bilde har vi beregnet raten av meldinger ved de forskjellige avstander vi har hatt mellom stasjonene. Hver stasjon sender en melding hvert 5. sekund, slik at uten pakketap og retransmisjoner, skal den samlede raten være 0.4 meldinger/s. Teori som forklarer fremgangsmåten er gjennomgått i Kapittel 2.2. Resultatet presenteres grafisk, som ratehistogrammer, i figurene 4.5, 4.6 og 4.7. For SR600 på 1 W har vi full rate (0.4 meldinger/s) på alle avstander; for de to andre tilfellene ser vi avtagende rate med økende avstand. Vi må huske at hver avstand er realisert med et antall forskjellige posisjoner for sender og mottager. Vi kan se på hver melding som en test på om signal-til-støyforholdet ved mottager er godt nok til å opprettholde en TCP-forbindelse og få korte meldinger frem innenfor TCP pakkevinduet (inkludert retransmisjoner av tapte pakker). Ser vi tilbake på Figur 4.2, ser vi at mens vi har mottatt meldinger på avstander opp mot 150 m, er det lange tidsrom ved kortere avstander der vi ikke mottar noe, slik at avstand alene ikke kan forklare tap av forbindelsen. Det er nærliggende å anta at denne opptredenen skyldes skjerming på grunn av bygninger.



Figur 4.5 Rate av mottatte meldinger for begge stasjoner ved forskjellige avstander for SR600, 300 MHz, 10 mW. Målt på FFIs område.



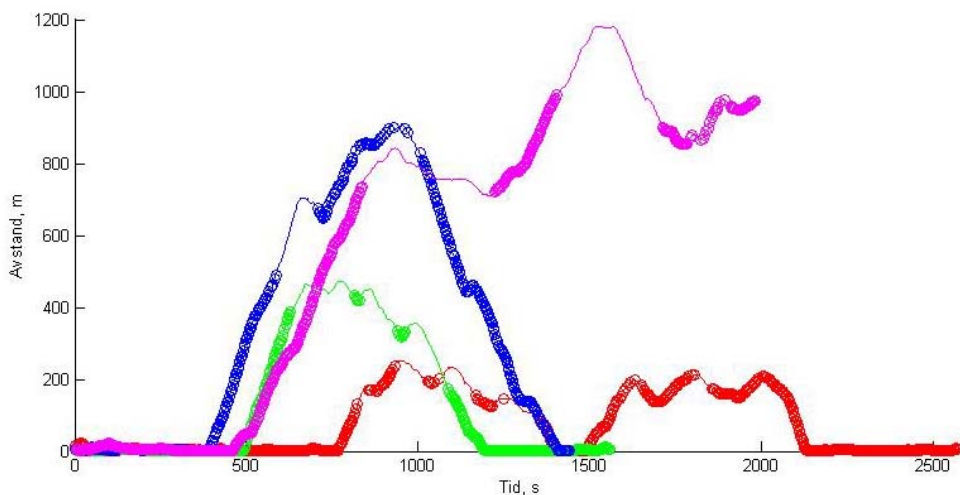
Figur 4.6 Rate av mottatte meldinger for begge stasjoner med WLAN kort, 2.462 GHz og 32 mW. Målt på FFIs område.



Figur 4.7 Rate av mottatte meldinger for begge stasjoner ved bruk av SR600, 300 MHz, 1 W. Målt på FFIs område.

4.2.2 Resultater fra rekkeviddemålinger langs Fetveien

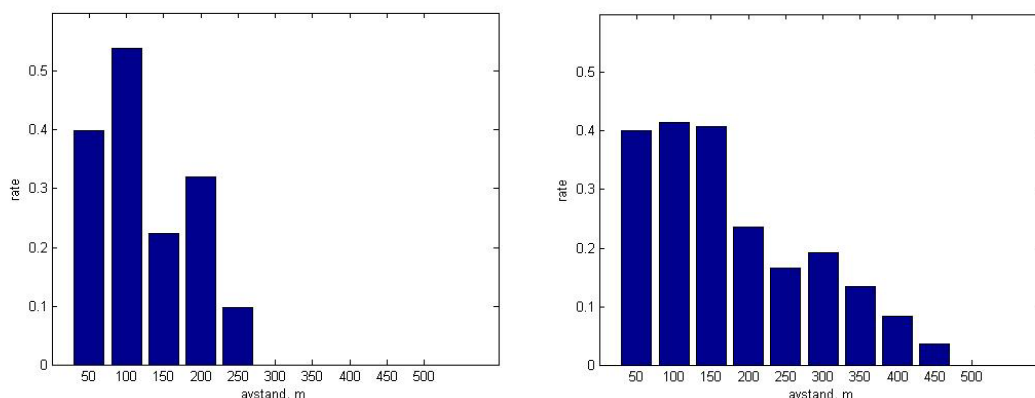
Langs Fetveien kan man oppnå større strekninger uten skjermende bebyggelse. Det er likevel skjerming på grunn av vegetasjon og gjerder. På lengre avstand greier vi ikke å realisere fri sikt mellom stasjonene, blant annet fordi vi ikke vil bevege oss på den trafikkerte veien. Figur 4.8 viser historisk avstand og alle mottak av meldinger for de fire forskjellige forsøkene med soldatradioer langs Fetveien.



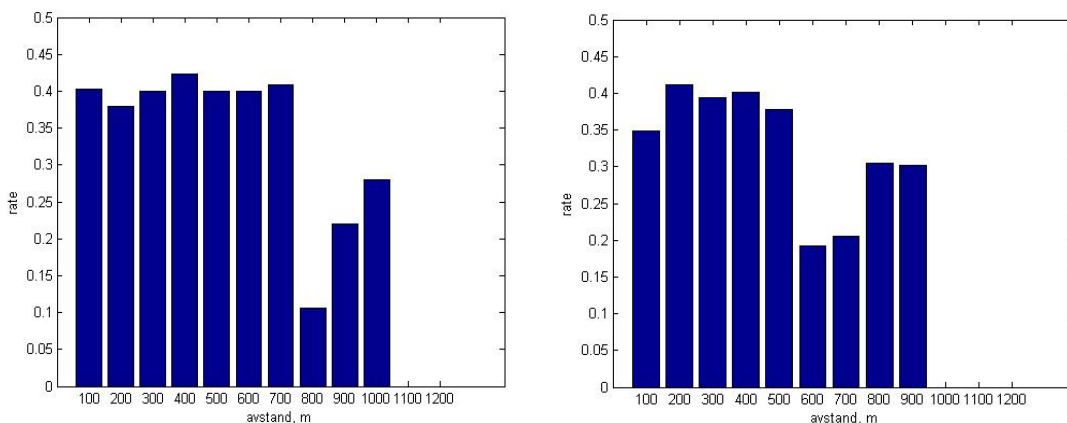
Figur 4.8 Historisk avstand og mottatte meldinger for fire rekkeviddemålinger langs Fetveien.. Rød: SR600 ved 10 mW, Grønn: WLAN, Blå: RF-7800S-TR, Lilla: SR600 ved 1 W. Avstand er heltrukket linje, mottatt melding for begge stasjoner er sirkel.

Selv om kurvene er tegnet på en felles tidsakse, viser denne bare tidsforløpet fra starten av hvert enkelt forsøk. Største avstand for mottak av meldinger øker med sendereffekten, men det kan se ut som om vi kunne gått lenger når det gjelder Harris RF-7800S-TR, som sender på 352 MHz med en effekt på 2 W. Det virker også som om vi med SR600 på 10 mW kunne nådd lenger. Ved målingen med SR600 på 1 W oppstod det en feil i strømforsyningen. Vi viser likevel

måleresultatene, men de kan ikke brukes som grunnlag for videre analyse. Vi ser flere tilfeller der vi først har mistet radioforbindelsen og så fått den tilbake på større avstand. Det var i mange tilfeller nok å gå over veien for å få bedre forhold. Fremstilling av samme måldata er vist som avstandshistogrammer i Figur 4.9 for SR600 på 10 mW og WLAN. SR600 på 1 W og RF-7800S-TR er vist i Figur 4.10. I Figur 4.9 er raten av mottatte meldinger for SR600, i avstandsintervallet 100 m, beregnet til over 0.5 meldinger pr. sekund. Slik strategien for sending er utformet, vil vi aldri prøve å sende meldinger med kortere intervaller enn 5 s. Mekanismer som vil gjøre det mulig å beregne en rate for mottak som er høyere enn senderaten, blir foreslått i Kapittel 5, Analyse av rekkeviddemålinger.



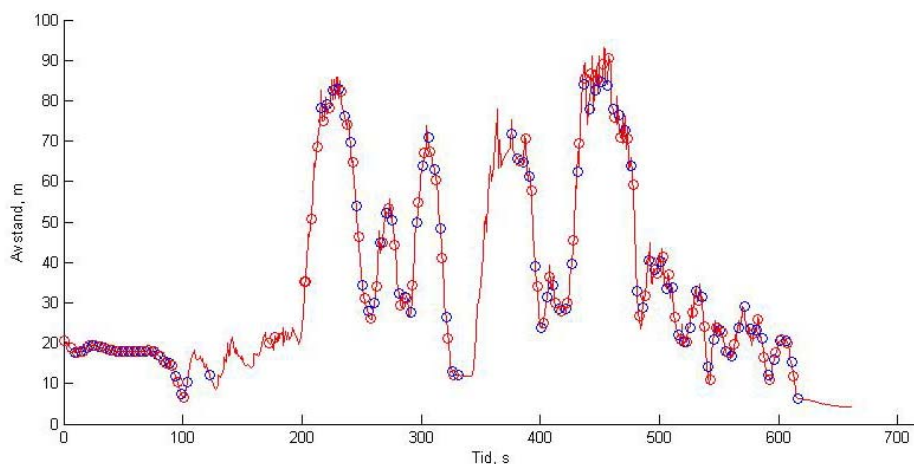
Figur 4.9 Rate av mottatte meldinger for begge stasjoner, ved vandring langs Fetveien med SR600 (300 MHz, 10 mW) til venstre, og WLAN (2.462 GHz, 32 mW) til høyre.



Figur 4.10 Rate av mottatte meldinger for begge stasjoner, ved vandring langs Fetveien. SR600 (300 MHz, 1 W) til venstre (strømforsyningen kortsluttet), og RF-7800S-TR (352 MHz, 2 W) til høyre.

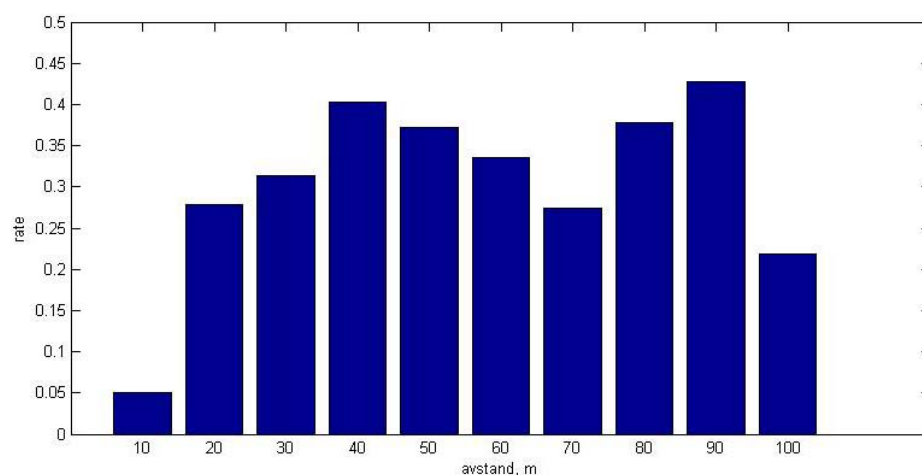
4.2.3 Resultater fra kjøring på Fetveien inn mot Lillestrøm

På den korte turen fra FFI inn til Lillestrøm benyttet vi muligheten til å gjøre målinger med WM600 prototypene stilt på 10 mW sendereffekt. Dette er samme effekt som ble brukt ved CD&E-eksperimentet. Figur 4.11 viser den historiske avstand mellom stasjonene, og mottatte meldinger er tegnet inn.



Figur 4.11 Avstand mellom stasjoner (WM600 prototyp, 323 MHz, 10 mW) som funksjon av tid, med mottak av meldinger tegnet inn som sirkler.

Vi oppnådde aldri så stor avstand at TCP-forbindelsen ble brutt. Det er imidlertid tegn på at tidligere nevnte svakhet ved mottageren i disse prototypene synes ved at vi mister meldinger på kort hold. Figur 4.12 viser raten av meldinger mottatt av begge stasjoner på forskjellige avstander.



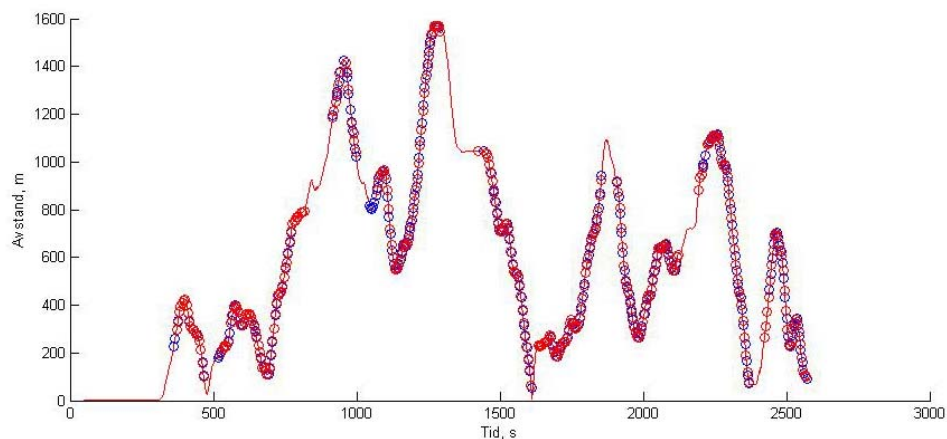
Figur 4.12 Histogram over rate av mottatte meldinger for de to stasjonene (WM600 prototyp, 323 MHz, 10 mW).

Vi ser at meldingsraten faller av ved avtagende avstand mellom de to radioene. Dette skyldes overstyring av mottageren i disse prototypene, og vi må igjen bemerke at noe slikt problem ikke finnes på dagens modeller. Fra figuren kan det se ut som om raten faller av ved største avstand (100 m), men vi tror dette skyldes at det er brukt liten tid på denne avstanden, og at vi derfor har dårlig statistikk.

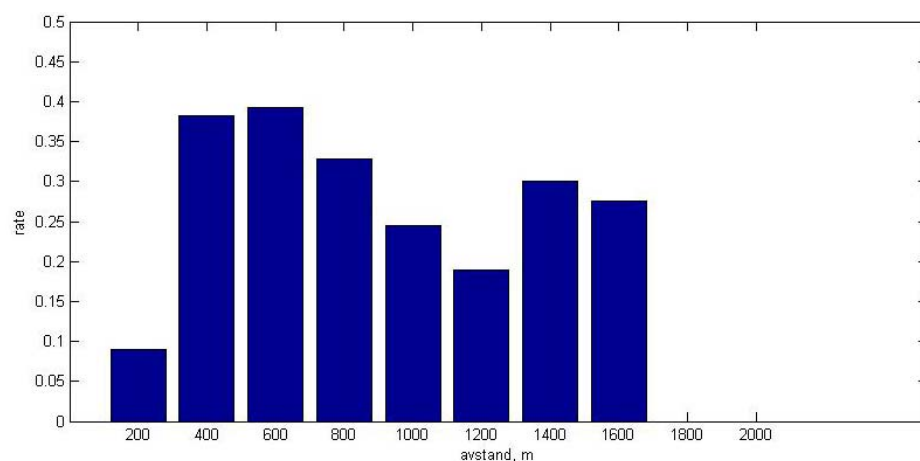
4.2.4 Resultater fra kjøring i lillestrøm

Figur 4.13 viser historisk avstand mellom de to stasjonene og mottatte meldinger for hver av de to stasjonene. Ved oppstart, etter å ha stilt radioene (WM600 prototyp, 323 MHz) opp til 2 W, stod de to bilene tett ved hverandre, og vi kom opp på en avstand på 200 m før en TCP-forbindelse ble satt opp. Vi har imidlertid flere eksempler på meldingsmottak på kortere avstander, så dette er ingen regel. Vi ser også at vi mottar meldinger på den historisk største avstanden, nemlig 1.6 km.

Det er to tilfeller der vi mister meldinger mens avstanden øker, og kommunikasjonen kommer tilbake på fortsatt økende avstand. Dette gjenspeiler at signalstyrken ved mottager ikke er noen enkel funksjon av avstand, men bestemt på en komplisert måte av skjerming, diffraksjon og refleksjoner mellom bygningene i Lillestrøm.



Figur 4.13 Avstand mellom stasjonene (WM600 prototyp, 323 MHz, 2 W) som rød linje. Mottatte meldinger for de to stasjoner er røde og blå sirkler.



Figur 4.14 Rate for mottak av meldinger for de to stasjonene (WM600 prototyp, 323 MHz, 2 W) ved kjøring i Lillestrøm

Figur 4.14 viser raten for mottak av meldinger for de to stasjonene ved kjøring rundt i Lillestrøm. Vi ser også her at vi sliter ved korte avstander, mens raten etter det er nær maksimal opp til ca. 800 meter. Vi viser her meldinger mottatt ved begge stasjoner, og siden begge sider prøvde å opprettholde en senderate på 0.2 meldinger/s, skulle total rate vært 0.4 meldinger/s.

Vi ser også at raten for mottak av meldinger avtar med økende avstands fra 800 m, for så å øke igjen på større avstand. Vi har ikke all verdens statistikk, så dette kan være tilfeldig, men det kan også skyldes at bykjernen (med massive betongkonstruksjoner) er så liten i utstrekning at de største avstandene vi oppnådde bare har blitt realisert hvis en eller begge stasjoner var i utkantene av Lillestrøm, som er bebyggt med mindre trehus.

5 Analyse av rekkeviddemålinger

I prinsippet vil histogrammene for rate av mottatte meldinger kunne brukes til å beregne sannsynlighetstetthetsfunksjonen for forskjellige effekter ved en bestemt avstand mellom sender og mottager. De målinger vi har gjort er for spredde til å kunne gjøre en slik beregning, men som et første forsøk kan vi anslå bredden og skjevheten av fordelingen. Meget enkelt anslår vi hvor de to platåene i ratehistogrammene begynner: Vi kan bare gjøre dette for eksperimenter der avstanden har variert nok til å gå fra full rate til brudd, og resultater fra fire slike målinger er gjengitt i Tabell 5.1.

Radio-modell	Effekt	Område	Full rate, m	Halv rate, m	Null rate, m	Lavmål, dB	Høymål, dB
SR600	10 mW	FFI	80	100	180	-3.9	10.2
4965AG	32 mW	FFI	40	110	160	-17.6	6.5
SR600	10 mW	Fetveien	100	200	300	-12.0	7.0
4965AG	32 mW	Fetveien	150	300	450	-12.0	7.0
Teori	1 W		727	1429	2763	-11.7	11.5

Tabell 5.1 Viser verdiene for omslagspunkter mellom de tre forskjellige domener i meldingsraten, for de fire målinger der dette var mulig å anslå. På samme måte er verdier fra eksempelberegningen, vist i Figur 2.3, også tatt med. Høymål og lavmål er beregnede verdier som blir forklart i teksten.

De tre første kolonnene (fra venstre) gir radiomodell, effekt og område. Så følger den avstand (avlest i histogrammene) der vi har overgangen fra platået med "full rate" til området der raten avtar med avstand. "Halv rate" er avstanden der vi har 0.2 mottatte meldinger i sekundet og "null rate" er overgangen fra avtagende rate til ingen mottak. Alt er anslått rett fra histogrammene. Husk at uttrykket "halv rate" egentlig betyr at av de posisjoner vi har undersøkt, har halvparten gitt "full rate" og den andre halvparten gitt "null rate".

Det ble i det foregående bemerket at vi i flere tilfeller beregner en rate for mottak av meldinger som er større enn den høyeste raten vi sender med (ved brudd vil vi alltid senke raten). Vi kan nevne tre mekanismer som vil kunne gi dette resultatet. Den første er oppførselen til TCP, som vårt program ikke har detaljert kontroll over. I et tilfelle der pakketap forsinker transport av meldinger, vil pakkene ligge i kø og blir sendt fortløpende når overføringsforholdene bedrer seg. Det er da mulig å ta imot meldinger med høyere rate enn den raten de er sendt med fra applikasjonsnivå. En annen mulig mekanisme er måten mottaksraten beregnes på. Når avstanden (mellom de to stasjonene) varierer vil det kunne skje at man oppholder seg kort tid i ett bestemt avstandsintervall. Hvis man i løpet av denne perioden tar imot en melding, vil den beregnede raten (for dette avstandsintervallet) kunne bli større enn senderaten. En tredje feilkilde er usikkerhet i posisjonering, og dermed avstanden mellom stasjonene. Spesielt i bebygde områder kan posisjonering ved hjelp av GPS-mottaker være problematisk. Den totale usikkerhet i målingene, og de beregnede resultater, vil være en veid sum av effekten av flere mulige feilkilder.

Av andre ting vi kan merke oss er at inne blant FFIs bygninger er rekkevidde til SR600 på 10 mW sammenlignbar med rekkevidden til 4965AG på 32 mW. Dette er fordi SR600 sender på en mye lavere frekvens enn 4965AG. Lave frekvenser blir ikke så lett absorbert av bygningsmasser og terreng. Langs Fetveien rekker 4965AG 50 % lenger, men vi må huske på at vi ikke er sikre på at vi fikk målt maksimal rekkevidde for SR600 på 10 mW her. På Fetveien er det tilnærmet "line of sight" (LOS)-kommunikasjon, så her har ikke frekvensen så stor påvirkning.

I tillegg til virkelige målinger har vi sett tilbake til Kapittel 2 og grafen (Figur 2.3) som demonstrerer måledata. Her har vi markert punkter som vil tilsvare to ganger standardavviket på hver side av "midt i bakken". Vi husker at grafen ble lagd ut fra en log-normal (normalfordeling i dB-verdier) effektfordeling, med standardavvik på 5.5 dB. Vi kan bruke omslagspunktene og "halv rate"-punktet til å anslå bredden av effektfordelingsfunksjonen, eller den statistiske variasjon i effekten ved mottager, for en bestemt avstand. Overgangspunktet fra "full rate" må være avstanden der en (merkbar) del av effektfordelingen faller under den kritiske effekt. Overgangspunktet til "null rate" må være der den siste (merkbare) rest av fordelingsfunksjonen har passert den kritiske effekt. For den beregnede kurven (Teori) har vi valgt punkter som skal svare til to ganger standardavviket (Figur 2.3). For å relatere avstandene til effekt bruker vi d^{-4} -avhengigheten selv om det er tvilsomt om dette er meningsfullt ved små avstander i bebygd område. Vi har gjort dette, og resultatene er de to siste kolonnene i Tabell 4.1 merket "lavmål" og "høymål". Vår tolkning vil da være at på en gitt avstand vil effekten ved mottager variere rundt medianverdien innenfor en nedre grense gitt ved "lavmål" dB under medianen og "høymål" dB over medianen. Vi må ikke ta disse siste verdiene for bokstavelig. Selve omslagspunktene er dårlig definert, statistikken er ikke god, formen av fordelingen er ukjent, samtidig som den kan variere med avstand, og spesielt inne på FFIs område er avstandsavhengigheten tvilsom. For den teoretisk beregnede kurven ender verdiene nær to ganger standardavviket, som ventet.

6 Inntrykk, konklusjoner og videreføring

6.1 Inntrykk fra CD&E

Vårt umiddelbare inntrykk fra CD&E er at kommunikasjonsløsningen i felt vil være en begrensende faktor for introduksjon av avansert datastøtte i taktiske operasjoner. I Hæren i dag finnes det ikke radioer med nødvendig datakapasitet, og anskaffelse av en slik kapasitet ligger fremdeles langt fram i tid. Også på de bredbåndsradiene som TIPPER prosjektet på FFI stilte til rådighet for eksperimentet er stabilitet dårligere enn ønskelig. Vi skulle også gjerne fått både lengre rekkevidde og høyere båndbredde, men siden det ikke er mulig å få til begge deler innenfor tilgjengelig frekvensband og fornuftig utsendt effekt, må det gjøres en avveining her. TIPPER-prosjektet jobber med løsninger for å kunne utnytte flere transmisjonsteknologier i et nett og ser også på løsninger for tjenestekvalitet og mer stabile trådløse nett [15].

Slik forsøket var lagt opp trengte vi kommunikasjon på kort avstand, og vi var da tvunget til å bruke radioene på sin laveste sendereffekt. Vi må huske at WM600 brukt i dette forsøket er

prototyper, de er ikke identiske med produkter som markedsføres nå, og problemene med kommunikasjon på kort hold, som skyldes svakheter ved mottakerdelen, er rettet i dagens modeller. Vi må rimeligvis også ta høyde for at mange problemer skyldes uheldig fordeling av nettverksressurser fra applikasjonens side. Spesielt når det gjelder sending av meldinger som inneholder mye data (typisk et bilde fra MUAS), er vår metode for enkel. Strategien med å sende hele bildet (filen) på en gang er ikke god. Nettopp når mottager er på kanten av rekkevidden trengs lengst tid til en komplett overføring, og det er i dette tilfellet risikoen for brudd også er størst. Nettverkskoderen vil splitte opp en buffer i maksimum pakkestørrelse, og som utgangspunkt er denne satt til 1500 byte. I et mobilt "ad hoc"-nett, der bitfeilraten er stor, er det gunstig å sende mindre pakker enn maksimum pakkestørrelse for å øke sannsynligheten for feilfri overføring. Pakkene bør heller ikke være for små siden det fører til større ressursbruk på grunn av nødvendig pakkehode for hver pakke. I eksperimentet brukte vi også standard TCP. Denne er optimalisert for trådbundet kommunikasjon. Der er velkjent at standard TCP ikke fungerer optimalt over trådløse nettverk (e.g., [26]). Det største problemet er at TCP ikke kan se forskjell på pakketap som skyldes dårlig trådløs kanal og pakketap som skyldes at nettverket er for høyt belastet. TCP tror at all pakketap betyr at det går for mye trafikk på nettverket og skruer dermed ned utsendingsraten av pakker så snart TCP oppdager et pakketap. Dette er også en del av forklaringen på hvorfor det tok så lang tid å overføre bilder. Fokus ved CD&E var på bruk av BMS og "Augmented Reality", og vi hadde hverken mekanismer eller tid til analyse og utprøving av kommunikasjonsløsninger. Dette er da også grunnen til at vi fant det nødvendig å gjøre slike målinger etter CD&E.

6.2 Konklusjoner fra rekkeviddemålingene

Bare ved å bruke vanlige dataradioer er det mulig å måle terrengavhengigheten for utbredelse av radiobølger. Mekanismer som utnyttes er de samme som må være innebygd i alle systemer der deltagerne bruker radioene aktivt, for eksempel til utveksling av informasjon i BMS. Hvis man bruker én type radiosett, og holder seg til én bølgeform, er det ikke nødvendig å kjenne den kritiske effekt for mottagerne. Vi kan da bruke denne som en felles enhet gjennom alle målinger. Om man vil skifte mellom operasjonsmodi, vil man kunne forutsi rekkevidder dersom man kjenner kritisk effekt ved de forskjellige modi. Beregninger kan gjøres fortløpende og gi informasjon om muligheten for radiokontakt ved planlegging av stillinger i terrenget. Statistikken i de målinger som er gjort i dette arbeidet er for dårlig til å få noen sikkerhet i anslagene over terrengspredning av mottatt effekt. Vi må i alle fall huske at våre målinger er gjort fra en applikasjon som bruker IP, og vi kan ikke foreta en direkte sammenligning med den spredning som kan beregnes ut fra effektmålinger.

Spesielt med tanke på fremtidige eksperimenter med BMS og AR vil WM600 gi en mye bedre ytelse, på sin maksimale effekt, enn slik vi brukte den i vårt eksperiment i 2008. Men selv med en frekvens i UHF-båndet, og høy utsendt effekt, vil terrenget føre til store kanalvariasjoner for propagasjon. Gode rutingsprotokoller, transportprotokoller og tjenestekvalitetsmekanismer kan øke stabiliteten og forutsigbarheten til et trådløst taktisk nettverk, men det er ikke mulig å tilby et fullt pålitelig trådløst nettverk. Applikasjoner som skal brukes i mobile taktiske nett, må være robuste nok til å håndtere dette. Soldatradioen SR600 gir et solid inntrykk på 1 W. Når vi bruker

den på 10 mW, er det verdt å merke seg at inne på FFIs område rekker den like langt eller lenger enn WLAN, som sender på 32 mW. Disse radioene (WM og SR) fungerer sammen, og har også mekanismer for videresending av pakker, MANET-ruting.

6.3 Videreføring

Ut fra erfaringene fra CD&E er det tydelig at båndbredde og andre nettverkskapasiteter i mobile taktiske nett må behandles som en ressurs som tildeles etter prioritert og evne. Det er viktig å få til en ressursforvaltning og en distribuert adgangskontroll til nettverket som fordeler tilgjengelige ressurser til forskjellige datastrømmer i nettet. Femtidens mobile taktiske nett vil trolig tilby et sett med tjenestekvalitetsklasser. Applikasjoner kan da velge fra dette settet og må være innforstått med kvaliteten (beskrevet med parametre som sannsynlige verdier for datarate, pakketap, pakkeforsinkelse, osv.) som dette tilbyr på transport til de forskjellige enheter det kommuniseres med. For et gitt terreng kan slike verdier måles ved å bruke metoder som vist i dette arbeidet, og/eller beregnes ut fra modeller for utbredelse av radiobølger. Når det gjelder oversending av større datamengder (bilder), vil en metode som deler opp datasettet i mindre deler og fortsetter der den slapp etter ett brudd, være en betydelig forbedring. Det er nødvendig å gjøre en avveining av pakketap og ny overføringskostnad opp mot pakkehodekostnad. Ved senere forsøk kan det være aktuelt å se litt på dette. Mindre pakkestørrelse ville også ført til kortere ventetid i pakkekø i radiatorerne for andre pakker som kan ha strenge krav til tidsforsinkelse. Det kan også være aktuelt å prøve ut eksperimentelle TCP-varianter som er forbedret til å gi bedre ytelse over trådløse nettverk, e.g., TCP Westwood [27]. Når det gjelder rekkeviddemålinger, har disse et begrenset omfang i dette arbeidet. Eksempelvis er det i forsøket med SR600 på 1 W, inne på FFIs område, sendt 556 meldinger hver vei. Disse skal imidlertid dekke et spenn i avstander, mange forskjellige posisjoner, og hver ”måling” gir bare én bit informasjon. Det er rom for å gjenta noen av eksperimentene, der vi konsentrerer oss om ett radiosystem, og heller skaffer tilstrekkelig statistikk til en mer detaljert analyse av avstandsavhengigheten og effektvariasjonene ved forskjellige posisjonspar med samme avstand.

Referanser

- [1] Østevold, E., et al., *Felttest av eksperimentelt BMS støttet av MUAS – CD&E-eksperiment oktober 2008*, FFI-rapport 2009/01399, BEGRENSET
- [2] Halsør, M., Hugsted, B., *Teknisk beskrivelse av eksperiment-BMS*, FFI-rapport 2009/01402
- [3] Kure, Ø., Sorteberg, I., *Network Architecture for Network Centric Warfare Operations*, FFI-rapport 2004/01561s
- [4] IEEE, *IEEE 802, part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, 1999
- [5] IEEE, *IEEE 802, part 11 standard ammendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band*, IEEE Std 208.11gTM-2003
- [6] Stokke, Knut N., *Radiotransmisjon Kabler, Bølgeutbredelse, antenner*, Boken er ikke utgitt, men i privat eie: Walther Åsen, FFIs
- [7] Wilson, T. L., Rohlf, K., Hüttenmeister, S., *Tools of Radio Astronomy*, ISBN: 978-3-540-85121-9, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009.
- [8] Pawsey, J. L., Bracewell, R. N., *Radio Astronomy*, Oxford University Press, Oxford 1954
- [9] H. T. Friis, Proc. IRE, vol. 34, p. 254, 1946.
- [10] Milstein, L., B., et al., *On the feasibility of a CDMA overlay for personal communication networks*, IEEE Select. Areas in Commun., Vol. 10, No. 4, 1992, pp. 665-668.
- [11] Blaunstein, Nathan, *Radio Propagation in Cellular Networks*, Artech House Publishers, Boston – London, 2000
- [12] Egli, J. J., *Radio propagation above 40 MC over irregular terrain*, Proc. IRE, Vol. 45, No. 10, 1957, pp. 1383-1391.
- [13] Young, W. R., *Comparison of mobile radio transmission at 150. 450, 900 and 3700 MC*, Bell Syst. Tech. J., Vol. 31, 1952, No. 6, pp. 1068-1085

- [14] Blaunstein, N., Yarkoni, N., Katz, D., *Spatial and Temporal Distribution of the VHF/UHF Radio Waves in Built-Up Land Communication Links*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 54, No. 8, 2006, pp. 2345-2356.
- [15] Hauge, M. og Haavik, S., *Intelligent Tactical IP Router*, FFI-rapport 09/01708, 2009
- [16] <http://www.kongsberg.com/eng/kda/kdc/Products/taclan>
- [17] http://www.comrod.com/getfile.php/Utvikling/UHF225450VM_HG.pdf
- [18] Corson, S. and Macker, J., *Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluations Considerations*
- [19] <http://www.olsr.org>
- [20] Blake, S. et al., *An Architecture for Differentiated Services*, RFC2475, 1998, <http://www.ietf.org>.
- [21] <http://ar-lab.no>
- [22] <http://support.microsoft.com/kb/248611>
- [23] <http://java.sun.com/javase/6/docs/api>
java.io.InputStream, java.io.OutputStream og java.net.Socket.
- [24] Dokumentasjon for VingTOPS, Bare tilgjengelig internt på FFI:
\\ffi.no\grupper\TEKNISK\Prosjektaktiviteter\Programmer og kildekode\Eksterne programmer\Vinghog\VingTOPS_2008-09-16\SWDocumentation.doc
- [25] <http://www51.honeywell.com/aero/common/documents/myaerospacecatalog-documents/SurfaceSystems/TALIN.pdf>
- [26] Gavin, H. and Nitin, V., *Analysis of TCP performance over mobile ad hoc networks*, Wirel. Netw., vol.8, no 2/3, pp. 275-288, 2002
- [27] Wang, R. et al, *TCP with sender-side intelligence to handle dynamic, large, leaky pipes*. JSAC, vol.23, no.2, pp. 235-248, 2005

Forkortelser

AR	Augmented Reality
BMS	Battlefield Management System
BT-banen	Bevæpnings-Trener-banen
CD&E	Concept Development & Experiment
GPS	Global Positioning System
IP	Internet Protocol
JPEG	Joint Photographic Experts Group
LAN	Local Area Network
LOS	Line Of Sight
MANET	Mobile Ad hoc NETwork
MUAS	Mini Unmanned Aerial System
OLSR	Optimized Link State Routing
PC	Personal Computer
QoS	Quality of Service
SIBO	Strid I Bebygde Områder
TALIN	Tactical Advanced Land Inertial Navigator
TAURUS	Taktisk UAV – Robustifisere, Undersøke, Støtte
TCP	Transmission Control Protocol
TEKNISK	TEKnologier for NettverksIntegrert StridsKjøretøy
TIPPER	Taktiske IP-nett på effektiv radio
ToS	Type of Service
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UDP	User Datagram Protocol
UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High Frequency
WLAN	Wireless Local Area Network