

En förenklad kanal-och länkmodell och dess användning i ett demonstrationsscenario i stadsmiljö

KARINA FORS, GUNNAR ERIKSSON, SARA LINDER



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

Karina Fors, Gunnar Eriksson, Sara Linder

En förenklad kanal- och länkmodell och dess användning i ett demonstrationsscenario i stadsmiljö

Titel	En förenklad kanal-och länkmodell och dess användning i ett demonstrationsscenario i stadsmiljö
Title	A simplified channel and link model and its usage in a urban demonstration scenario
Rapportnr / Report No.	FOI-R--3124--SE
Rapporttyp	Metodrapport
Report Type	Methodology Report
Månad / Month	December / December
Utgivningsår / Year	2010
Antal sidor / Pages	25
ISSN	1650-1942
Kund / Customer	FM
Projektnr / Project No.	E53053
Godkänd av / Approved by	
FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut	FOI, Swedish Defence Research Agency
Avdelningen för Informationssystem	Information Systems
Box 1165	P.O. Box 1165
581 11 LINKÖPING	SE-581 11 LINKÖPING

Sammanfattning

Arbetet som beskrivs i den här rapporten har genomförts i avsikt att ta fram en förenklad kanal- och länkmodell vilken användes i ett demonstrationsscenario under hösten 2008. Scenariot utspelades i stadsmiljö, med två konkurrerande grupper, och innehöll aktiviteter som underrättelser, spaning och strider bland civilbefolkningen, [1].

Den förenklade kanalmodellen bygger på beräknade kanalparametrar från MIMO-mätningar (Multiple Input Multiple Output) genomförda i stadsmiljö, [2]. Kanalmodellen hanterar effekter från både de storskaliga samt finskaliga fädningsprocesserna. Resultatet från kanalmodellen används sedan för att beräkna den möjliga kapaciteten med SISO-teknik (Single Input Single Output) vilken används i en förenklad länkmodell. Tre olika tekniklösningar för kommunikation jämförs, direktkommunikation, flerhoppsteknik samt kombinationen av teknikerna flerhopp samt MIMO (Multiple Input Multiple Output). Resultatet presenterades genom att upplösningen på mottagen filmsekvens ändrades, eller mottagningen uteblev, beroende på tillgänglig kapacitetsnivå.

Nyckelord: Kanalmodell, länkmodell, stadsmiljö, scenario

Abstract

The work described in this report have been done in order to develop a simplified channel and link model to be used in an urban demonstration scenario during autumn 2008. The scenario included activities such as intelligence, reconnaissance and conflict among civilians, [1].

The simplified channel model is based on the estimated channel parameters from MIMO-measurements (Multiple Input Multiple Output) performed in an urban environment, [2]. The channel model handles the effects of both the large- and small-scale fading processes. The results from the model are used to calculate the available capacity for a SISO-system (Single Input Single Output) which is used in a simplified link model. Three different communication techniques were compared, direct communications, multi-hop technique and the combination of both multi-hop and MIMO-technique. The results were presented by showing the received video streams for each technique and the video quality was based on the available capacity.

Keywords: Channel model, link model, urban environment, scenario

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
2	Scenariobakgrund	9
2.1	Scenariot	9
2.2	Uppdatering av kanalinformation	10
3	Förenklad kanalmodell	11
3.1	Avståndsberoende modell	12
3.2	Storskalig fädning	12
3.3	Finskalig fädning	13
3.4	Effektöverföringsfunktion och transmissionsförlust	13
3.5	Sammanfattning av kanalmodellparametrar	14
4	Förenklad länkmodell	17
4.1	Kapacitet för SISO-fallet	17
4.2	Kapacitet för MIMO-fallet	17
4.3	Länkbudget	18
5	Kvalité på nätets länkar	19
6	Diskussion	23
	Referenser	23

FOI-R--3124--SE

1 Inledning

Huvudsyftet med den här rapporten är att ge en kort beskrivning av arbetet som genomfördes för att ta fram en förenklad kanalmodell vilken senare användes i ett gemensamt demonstrationsscenario under hösten 2008. Ett syfte med demonstrationen var att ge en samlad bild av resultat från flera forskningsprojekt samt visa att forskningen inom sensor- och ledningsområdena strävar mot att kunna ge en gemensam lägesbild. Demonstrationsscenariot utspelades i stadsmiljö där två konkurrerande grupper befann sig, och innehöll aktiviteter som underrättelser, spaning och strider bland civilbefolkningen. Mer om demonstrationsscenariot finns i [1].

I inledningsskedet av arbetet var tanken att vi skulle använda programpaketet Radiowave Propagation Simulator, RPS, för att beräkna kanalinformation [3]. Tyvärr saknades uppdaterat kart- samt byggnadsdata för det aktuella området och därför inriktades arbetet mot att använda mätresultat istället. I ett tidigare arbete har MIMO-mätningar (Multiple Input Multiple Output) utförts i stadsmiljö och kanalparametrar från dessa har beräknats, se [2]. Kanalparametrarna har i det här arbetet används för att utveckla en enkel kanalmodell vilken ska hantera den storskaliga samt finskaliga påverkan på den utsända signalen när sändare samt mottagare rör sig över en yta. Förenklat beskrivet ger resultatet från modellen slutligen transmissionsförlusten mellan två terminaler på ett visst geografiskt avstånd och möjlig kapacitet på länken mellan terminalerna kan beräknas. Kapacitetsnivåerna används sedan i demonstrationsscenariot för att avgöra ifall direktkommunikation är tillräckligt eller om alternativa tekniklösningar måste införas i scenariot för att öka den tillgängliga kapaciteten.

FOI-R--3124--SE

2 Scenariobakgrund

I det här avsnittet ges övergripande information om demonstrationsscenariot där fokus ligger på de delar vilka påverkar kommunikationen (sambandet) mellan ingående enheter. I kommunikationsscenariot visas exempel på möjlig kapacitet som kan erhållas med tekniklösningar som direktkommunikation, flerhoppsteknik samt kombinationen där flerhoppsteknik samverkar med MIMO-teknik. Den möjliga kapacitetsnivån avgör sedan kvalitén på videoöverföringen och resultatet visas på ett intuitivt sätt genom att mottagen video får olika bildupplösning beroende på tillgänglig överföringskapacitet.

2.1 Scenariot

Scenariot utspelades i stadsmiljö med fem deltagande radionoder där fyra hade fasta positioner och en var mobil. Radion kommunicerade antingen via direktkommunikation eller genom att upprätta mobilt ad hoc-nät med flerhoppsfunktionalitet. Fördelen med ad hoc-nät är bland annat att den sortens nät inte behöver en centralt styrande basstation. I scenariot ingick flera uppdrag där ett var att patrullfordonet, vilket i det här fallet är den mobila noden, skickade en videoström till en centralt placerad nod, en basnod. Kvalitén på videoöverföringen påverkades i det här fallet endast av kapaciteten som radiokanalen kunde leverera. När radiokanalen medgav kunde direktkommunikation användas. I annat fall valdes flerhoppsteknik vilket innebar att de fast positionerade noderna fick reläfunktionalitet. Vid vissa tidpunkter kunde inte flerhoppstekniken kompensera för kanalen och en alltför låg överföringskapacitet erhöles. För att kunna öka den möjliga kapaciteten vid dessa tidpunkter kombinerades tekniklösningarna flerhopp och MIMO-teknik. Definitionsmässigt används flera antennelement på sändare och mottagare i MIMO-teknik vilken kan öka kapaciteten på en länk speciellt vid flervägsutbredning, [4] och [5]. Resultatet då de olika tekniklösningarna används visas i demonstrationsscenariot genom att upplösningen på den mottagna videon ändras.

Videon som skickades mellan patrullfordonet och basen var MPEG2-kodad och uppdaterades med 25 bilder/s. Den inspelade videosekvensen var 12 min och 20 sek lång och samtidigt med videoinspelningen samlades även GPS-positioner 1 ggr/s in för patrullfordonet. Genom att anta att den mobila noden förflyttar sig med konstant hastighet mellan varje positionsuppdatering underlättas beräkningen av kanalinformation. I verkligheten stannar en bilförare exempelvis vid vägkorsningar och gör inbromsningar. Därutöver användes linjär interpolering av avstånden till de stillastående noderna då positionerna för den

rörliga enheten uppdaterades.

2.2 Uppdatering av kanalinformation

Hur ofta kanalinformation måste uppdateras är en avvägningsfråga och relateras här till känd information om övriga delar i demonstrationsscenariot. Eftersom videon uppdateras med 25 bilder/s antogs det lämpligt att använda samma uppdateringstakt för kanalen. En viktig faktor att beakta är korrelationsavståndet för kanalparametrarna. Korrelationsavståndet ger information om hur lång sträcka en terminal kan förflytta sig utan att informationen, som den specifika kanalparametern ger, måste uppdateras. Speciellt viktigt är att kanalparametrarna med kort korrelationsavstånd uppdateras tillräckligt snabbt. Om kanalen uppdateras lika ofta som GPS-mottagaren, 1 ggr/s, medför det att den mobila noden kan röra betydligt längre än beräknat korrelationsavstånd. Det kan i vårt fall orsaka att en del av effekterna från den finskaliga fädningen förloras i framtagna kanalinformation. I det här arbetet uppdateras kanalinformationen 25 ggr/s och medelvärdesbildas över 1 s.

3 Förenklad kanalmodell

I inledningsskedet av det här arbetet var tanken att vi skulle använda programpaketet Radiowave Propagation Simulator, RPS, för att beräkna kanalinformation [3]. RPS var speciellt intressant eftersom programmet är framtaget för att beräkna radiovågors utbredning i stadsmiljö. Om RPS skulle kunna användas krävdes att byggnadsdata fanns tillgängligt, och i rätt format, för det aktuella området. Det visade sig att data fanns, men i fel format, och även att det skulle kräva en alltför omfattande bearbetning för att vara ett alternativ. Detta medförde att annat program eller kanalmodell måste användas. Annan programvara var inte aktuell för arbetet men däremot skulle en enkel kanalmodell vara intressant. Ett nödvändigt krav för modellen var att den gällde för samma typ av miljö som i demonstrationsscenariot, d.v.s. för stadsmiljö.

I tidigare arbete har kanalparametrar beräknats utifrån MIMO-mätningar, [2]. Miljön där mätningarna är utförda liknar den miljö i vilken vårt scenario utspelar sig. Med hjälp av kanalparametrarna var målet för det här arbetet att ta fram en enkel kanalmodell vars syfte främst var att uppfylla behoven för demonstrationsscenariot. MIMO-mätningarna är utförda för tre olika sändarpositioner där mottagare rör sig längs ett antal mätsträckor. Kanalparametrarna är beräknade för respektive sändarplats men också för alla platser sammantaget. I det här arbetet används beräknade parametervärden för alla tre sändarpositionernas mätresultat sammantaget. På så sätt kommer den förenklade kanalmodellen att innehålla kanalkaraktäristik med ursprung från hela mätserien. Slutligen görs även antagandet att kommunikationen i scenariot använder samma frekvensband som MIMO-mätningarna är utförda på, d.v.s. i närheten av 300 MHz.

För att den förenklade modellen även ska kunna användas i andra tillämpningar måste den förmodligen utvidgas, speciellt eftersom den i sitt nuvarande skick inte hanterar information som t.ex. tidspridning. Modellen hanterar inte heller ett eventuellt beroende mellan kanalparametrarna. Förmodligen finns en korrelation, både rumsligt och i tid, mellan kanalparametrarna. Det bör även observeras att vissa parametervärden som används i det här arbetet avviker något från de som redovisas i [2]. Detta beror på att det arbetet fortfarande var pågående när det här arbetet gjordes. I kapitlet som följer beskrivs den framtagna kanalmodellens delar.

3.1 Avståndsberoende modell

Effektöverföringsfunktionen beskriver sambandet mellan utsänd och mottagen effekt där en del i överföringsfunktionen beror på avståndet mellan sändare och mottagare. Den avståndsberoende delen är deterministisk och kan skrivas som

$$G(d) = G_0 - 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_{\text{ref}}}\right), \quad [dB] \quad (3.1)$$

där d är det geometriska avståndet mellan ett nodpar. Ett nodpar i det här arbetet betyder detsamma som en länk mellan en viss sändare och mottagare. G_0 är mottagen effektnivå vid ett referensavstånd d_{ref} och n ger exponenten för avtagandet. Vi använder här $G_0 = 4.84$ dB och $n = 4.14$. Det geometriska avståndet mellan ett nodpar ger d i varje tidpunkt för uppdatering. Den avståndsberoende modellen ger ett deterministiskt bidrag till effektöverföringsfunktionen.

3.2 Storskalig fädning

Den storskaliga fädningen består främst av två delar. Ett lokalt medelvärde för mottagen effekt $\bar{G}_{LS}(r)$ samt en normalfördelad process $\tilde{G}_{LS}(r)$. Båda bidragen adderas till det avståndsberoende bidraget $G(d)$ i (3.1). Medelvärdet $\bar{G}_{LS}(r)$ har från MIMO-mätningarna visat sig kunna modelleras som likformigt fördelad över intervallet ± 12 dB. Medelvärde samt varians för $\bar{G}_{LS}(r)$ sattes i det här arbetet till 0 respektive 48 dB. Vid analys av mätresultaten har medelvärdet $\bar{G}_{LS}(r)$ antagits vara konstant under en hel mätsträcka, vilket ofta var längs en rak gata med en längd d motsvarande ett kvarter. Utifrån denna information ansågs det fullt rimligt att medelvärdet i vårt scenario uppdaterades lika ofta som den mobila noden förflyttat sig en hel gatulängd (i demonstrationsscenariot rör sig enbart sändaren och övriga noder är stationära mottagare). En typisk gatulängd sattes här till 50 meter. Genom att utföra en linjär interpolering av $\bar{G}_{LS}(r)$ mellan två uppdateringar blev övergången mer jämn. Förmodligen vore det bättre att inte interpolera eftersom senare analyser av MIMO-mätresultaten har visat att det ofta förekommer snabba förändringar av $\bar{G}_{LS}(r)$ vid passage av gatukorsningar. Slutligen adderas det normalfördelade bidraget $\tilde{G}_{LS}(r)$ med medelvärde samt varians på 0 respektive 3.09 dB till den storskaliga fädningen. Detta bidrag har stark koppling till den mobila nodens förflyttning r . Hur tätt $\tilde{G}_{LS}(r)$ måste uppdateras är kopplat till dess beräknade korrelationsavstånd, vilket i [2] beräknats till 21 m.

3.3 Finskalig fädning

Inverkan från den finskaliga fädningen kan i vissa fall leda till att den mottagna signalamplituden dramatiskt fluktuerar i nivå. Detta beror på att signalen utsätts för flervägsutbredning. Flervägsutbredningen innebär att den utsända signalen studsar mot olika objekt, delas upp i delkomponenter och att dessa når mottagaren med olika ankomsttid, amplitud och fas. Flervägsutbredningen leder till att signalens envelopp kraftigt kan ändras även när sändaren eller mottagaren förflyttat sig en kort sträcka på någon våglängd.

Den finskaliga fädningens inverkan på den utsända signalen medför att den mottagna signalens envelopp blir rice- eller rayleighfördelad. I det förstnämnda fallet tar mottagaren emot en tydlig direktvägskomponent och denna innehåller en stor andel av den mottagna signalens totala effekt. I det andra fallet detekteras många olika signalkomponenter med olika amplitud och fas och en tydlig direktväg uteblir. Ett mått på vilken fördelning fädningsprocessen tillhör är K -faktorn. K -faktorn definieras som kvoten mellan effektinnehållet i direktvägskomponenten (icke-fädande del) och effektinnehållet i den fädande delen. Exempelvis är fädningen rayleigh-fördelad då K -faktorn är 0 i linjär skala.

Från MIMO-mätningarna har fördelningen av K -faktorn beräknats. Den är beroende av den mobila nodens förflyttning r längs gatan och visade sig approximativt tillhöra en logaritmisk normalfördelning med medelvärdet -2.8 dB samt variansen 4.5 dB, se [2]. $K(r)$ -faktorn uppdateras i scenariot lika tätt som korrelationsavståndet, vilket har beräknats till 4 m. Detta betyder att vi drar ett nytt värde på $K(r)$ var 4 meter som den mobila enheten förflyttat sig. Den aktuella $K(r)$ -faktorn används för att generera oberoende realiseringar av den finskaliga fädningsprocessen vid varje kanaluppdatering 25 ggr/s. Mer information om hur $K(r)$ -faktorn kan relateras till signalens I/Q-komponenter finns beskrivet i [6]. Rice-fördelningen finns beskriven i [7]. Den finskaliga fädningen, $G_{SS}(r)$, adderas slutligen till den totala överföringsfunktionen för mottagen effekt.

3.4 Effektöverföringsfunktion och transmissionsförlust

Effektöverföringsfunktionen beskriver hur mottagen effekt varierar som funktion av körsträckan r för den rörliga radionoden. Överföringsfunktionen erhålls genom att summera bidragen (i dB) från den avståndsberoende modellen och de storskaliga och finskaliga fädningsprocesserna enligt

$$\begin{aligned}
G(r) &= G_d(d(r)) + \overline{G}_{LS}(r) + \tilde{G}_{LS}(r) + G_{SS}(r) \\
&= G_0 - 10n \log_{10}\left(\frac{d}{d_{\text{ref}}}\right) + \overline{G}_{LS}(r) + \tilde{G}_{LS}(r) + G_{SS}(r) \quad (3.2)
\end{aligned}$$

där $G_d(d(r))$ är bidraget från den avståndsberoende modellen, $\overline{G}_{LS}(r)$ och $\tilde{G}_{LS}(r)$ bidraget från den storskaliga fädningen, och $G_{SS}(r)$ den finskaliga fädningen. Det bör observeras att funktionen är styckvis konstant och ej en kontinuerlig funktion, se avsnitt 3.1 - 3.3 för beskrivning av bidragen. Slutligen beräknas transmissionsförlusten från effektöverföringsfunktionen för att beräkna radiosystemets signalbrusförhållande SNR.

3.5 Sammanfattning av kanalmodellparametrar

I tabell 3.1 visas en sammanställning av samtliga parametrar som används för att generera överföringsfunktionen enligt (3.2).

I tabellen anges även varifrån parametervärdet är hämtat, (M) betyder från MIMO-mätningar, [2], eller (S) om de är baserade på information från demonstrationsscenariot.

AVSTÅNDSBEROENDE MODELL $G_d(d(r))$		FRÅN
G_0	4.84 dB	M
n	4.14	M
Uppdateras i scenariot (videons bildhastighet)	25 ggr/s	S
STORSKALIG FÄDNING $G_{LS}(r)$		
Medelvärde	$\overline{G}_{LS}(r)$	
Fördelning	likformig	M
Intervall	± 12 dB	M
Medelvärde	0 dB	S
Varians	48 dB	S
Uppdateras i scenariot	per gatulängd, mätsträcka 1 ggr/50 m	S
Stationär process	$\tilde{G}_{LS}(r)$	
Fördelning	normal	M
Medelvärde	0 dB	M
Varians	3.09 dB	M
Uppdateras i scenariot	1 ggr/21 m	M
FINSKALIG FÄDNING $G_{SS}(r)$		
Fördelning	Ricean (signalens envelopp)	M
	$K(r)$ -faktor	
Fördelning	logaritmisk normal	M
Medelvärde	-2.8 dB	M
Varians	4.5 dB	M
Uppdateras i scenariot	1 ggr/4 m	M

Tabell 3.1: Sammanfattning av scenariots kanalparametrar där (M) ger att parametervärdet kommer från MIMO-mätresultat och (S) från aktuellt demonstrationsscenario.

FOI-R--3124--SE

4 Förenklad länkmodell

För demonstrationsscenariot har den möjliga kapaciteten beräknats för respektive länk mellan nätets nodpar och resultatet har använts som utgångspunkt för att avgöra kvalitén på den mottagna videon. Videoöverföringen sker mellan den mobila noden och basnoden. Den beräknade kapaciteten uppdateras lika ofta som kanalen d.v.s. 25 ggr/s. I demonstrationsscenariot var det tillräckligt ofta att visa ny information 1 ggr/s och därför behövde även uppdateringstakten av kanalinformationen minskas något. Reduceringen av uppdateringstakten genomfördes genom att använda den medelvärdesbildade kapaciteten för 1 sekund långt segment. Den medelvärdesbildade kapaciteten delades sedan i 4 nivåer där lägsta nivån gav att överföringen inte var möjlig. Dessa nivåer syftade endast till att användas för att demonstrera de olika tekniklösningarna relativt varandra.

I det här arbetet antogs även att kanalen vara flat fädande vilket innebar att den utsända signalens frekvensspektra kommer att påverkas (dämpas) lika över hela frekvensbandet. I annat fall skulle det förmodligen vara nödvändigt att beräkna effektöverföringsfunktionen för flera delband i det frekvensband radiosystemet arbetade inom.

4.1 Kapacitet för SISO-fallet

I det här arbetet används beräknad kapacitet för SISO-fallet (Single Input Single Output). Uttrycket gäller för möjlig kapacitet på en ideal kanal (AWGN, additivt vitt gaussiskt brus) och ges av ekvationen

$$C = B \cdot \log_2(1 + SNR), \quad [bit/s] \quad (4.1)$$

där B är radiosystemets bandbredd i Hz och SNR signalbrusförhållandet.

4.2 Kapacitet för MIMO-fallet

MIMO-tekniken har potential att ge högre kapacitet än SISO-teknik, och i det här arbetet är vi intresserade av att även kunna använda kapacitetsvinsten med MIMO-teknik för de fortsatta analyserna. I det här arbetet används en förenkling genom att kapaciteten för en SISO-kanal korrigeras till att ge den ungefärliga kapaciteten för en MIMO-kanal. Korrigeringen bygger på analyser av mätresultaten från MIMO-mätningarna i [2], vilka visat att den uppmätta ergodiska kapaciteten (betyder att väntevärde samt autokorrelationsfunktionen

Parameter	Värde
Sändareffekt P_t	1 W
Antennförstärkning, G_t, G_r	0 dB
Bandbredd, B	0.5 MHz
Brusfaktor, F	10 dB
Internt brus, kT_0	-204 dBW/Hz

Tabell 4.1: Parametervärden som används i länkbudgeten.

kan skattas) var ungefär 70 % av kapaciteten för en oberoende och likafördelad rayleighfäddande MIMO-kanal, [8].

Under förutsättningen att även demonstrationsscenario utspelas i liknande miljö som MIMO-mätningarna kan den ungefärliga kapaciteten för en MIMO-kanal estimeras genom att en korrektionsfaktor appliceras på kapaciteten för en smalbandig ergodisk MIMO-kanal. Analyserna från mätresultaten visade även att korrigeringenstermen bör ta hänsyn till antalet antennelement, vilka i analysen var 7. I demonstrationsscenario var det rimligt att använda 4 antennelement beroende på till exempel möjlig antennplacering på den mobila noden. I det här arbetet korrigerades den beräknade kapaciteten för SISO-fallet med korrektionsfaktorn $0.7 \cdot N$, där N är antal antennelement hos sändare och mottagare. Antalet antennelement är lika på sändar- respektive mottagarsidan. Intressant är att genomföra ytterligare arbete om hur många antennelement som kan användas vid korregeringsförfarandet av kapaciteten för SISO-fallet.

4.3 Länkbudget

I uttrycket (4.1) för att beräkna möjlig kapacitet krävs att signalbrusförhållandet (SNR) är känt. SNR beräknas med länkbudget som

$$SNR = \frac{P_t G_t G_r}{L_b F k T_0 B}, \quad (4.2)$$

där P_t är utsänd effekt, G_t och G_r antennvinster för sändar- respektive mottagarantenn, L_b transmissionsförlust, F radiosystemets brusfaktor, kT_0 det termiska bruset vid referenstemperaturen T_0 ($T_0 = 290$ K) och B systemets momentana bandbredd. I scenariot användes parametervärden enligt tabell 4.1.

5 Kvalité på nätets länkar

Genom att översätta den beräknade kapaciteten till olika kvalitetsnivåer gavs information om länkens kvalité mellan ett nodpar. Totalt delades den beräknade kapaciteten in i 4 nivåer, se tabell 5.1. Kvalitetsnivå 0 gav att samband saknades. Dessa nivåer ska enbart ses som relativa och dess syfte är att användas för att demonstrera relativa skillnaderna mellan de olika tekniklösningarna. I figur 5.1(a) visas ett exempel med (3.2) genererad effektöverföringsfunktion med avseende på körsträckan r . I figur 5.1(b) visas möjlig kapacitet för samma körsträcka med SISO- respektive MIMO-teknik ($N = 4$). I denna figur finns även gränserna för kapacitetsnivåerna markerade.

Tillgängliga kvalitetsnivåer mellan nodpar sparades i form av matriser för respektive tidpunkt. Matriserna användes sedan för att ta fram topologitabeller för respektive tekniklösning, SISO- och MIMO-teknik. Enkelt beskrivet innehåller en topologitabell information om vilka nodpar i nätet som kan kommunicera vid ett visst tidsögonblick. I demonstrationsscenariot användes dessa för att enkelt kunna visa tekniklösningarna direktkommunikation, flerhopp samt flerhoppsteknik tillsammans med MIMO-teknik. En idealiserad routingalgoritm användes där algoritmen försökte hitta den rutt i nätet vilken erbjöd högst tillgänglig kapacitet.

I figur 5.2- 5.4 visas samma ögonblicksbild över topologin för de olika tekniklösningarna. Möjlig kapacitet mellan patrullbil (grön fyrkant) och basnod (grön trekant) visas genom att länkens tjocklek ökar med ökande kapacitet. De stationära noderna är utritade som gröna cirklar. I fallet med enbart direktkommunikation har patrullbilen inte kontakt med basnoden och videoöverföringen fungerar ej, se figur 5.2. Om vi även utnyttjar de stationära noderna och låter dessa reläa trafiken med hjälp av flerhoppsteknik skulle det bli möjligt att föra över videofilmen till basnoden med fyra hopp, se figur 5.3. Vilka hopp som är aktuella ses i figuren genom att hopplänkarna är markerade ljusgrönt. Antalet hopp väljs av routingalgoritmen vilken strävar efter att maximera tillgänglig kapacitet för att ge bästa möjliga kvalité på den överförda videofilmen. I fallet då även MIMO-teknik används ökar överföringskapaciteten väsentligt (vilket illustreras genom stapeldiagrammets höjd till höger i figuren) och basnoden kan nås via tre hopp, se figur 5.4. I demonstrationsscenariot jämförs bara de olika tekniklösningarna ur perspektivet högsta möjliga kapacitet på länkarna samt att minsta antalet hopp mellan sändare och basnod eftersträvas. I ett annat scenario, inte ämnat enbart för att demonstrera skillnader, bör även andra fördjupade analyser ingå. Det kan gälla frågeställningar som antal hopp relativt fördröjning eller låg kapacitet relativt kötider

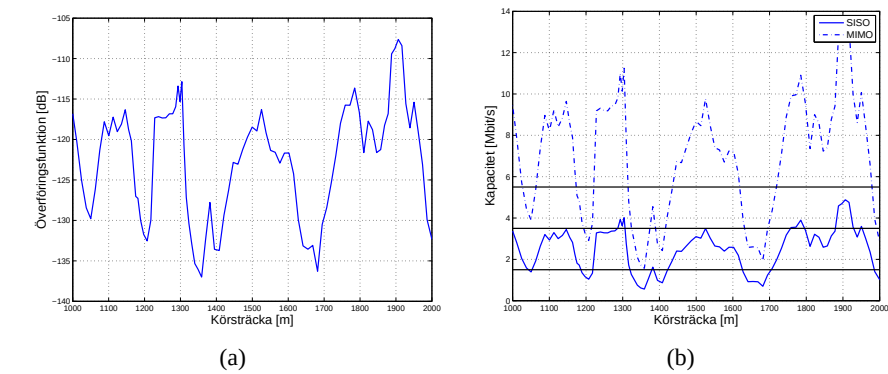


Bild 5.1: (a) Med (3.2) visas ett exempel på genererad effektöverföringsfunktion med avseende på patrullbilens körsträcka r . (b) Möjlig kapacitet med SISO- samt MIMO-teknik utefter samma körsträcka r som används i exemplet till vänster. Gränser för kvalitetsnivåerna 0 - 3 visas med vertikala linjer.

Kvalitetsnivå	Intervall i Mbit/s
0	0 - 1.5
1	1.5 - 3.5
2	3.5 - 5.5
3	> 5.5

Tabell 5.1: Nivåer för indelningen av kapacitet i scenariot.

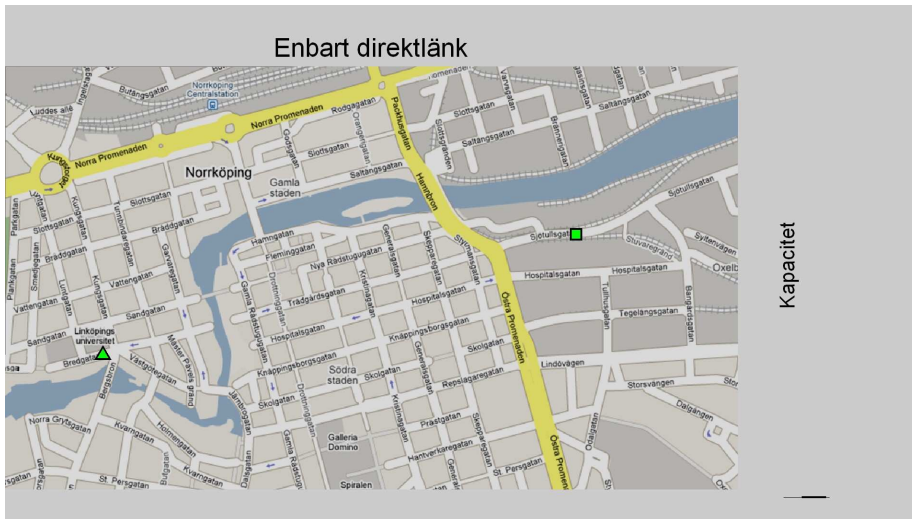


Bild 5.2: En ögonblicksbild vilken visar att samband saknas mellan basnod (trekant) och sändare (fyrkant) i fallet med direktkommunikation.



Bild 5.3: Samma ögonblicksbild som i figur 5.2 för fallet med flerhoppsteknik. Genom att reläa trafiken med 4 hopp för att erhålla maximal kapacitet når videofilmen basnoden.



Bild 5.4: I det här fallet visas en kombination då flerhops- och MIMO-teknik används. Figuren visar att antalet hopp kan minskas med ett hopp till 3 jämfört med fallet då bara flerhoppsteknik.

6 Diskussion

I scenariot användes en förenklad kanalmodell. Exempelvis togs ingen hänsyn till om radiokanalen var frekvensselektivt fädande. Den frekvensselektiva fädningen påverkar signalen genom att signalens frekvenskomponenter kommer att fäda olika om signalens bandbredd är större än kanalens koherensbandbredd. Vi antog att radiokanalen var flat fädande inom radiosystemets bandbredd varför alla komponenter påverkades likvärdigt. För att kanalmodellen ska bli mer användbar även för andra tillämpningar bör modellen utvidgas till att även hantera kanalparametrar som t.ex. tidsspridning och koherensbandbredd.

Vid prestandaanalys för nät har det visat sig viktigt att använda modeller som kan modellera dynamiken på individuella länkar. De modeller som används idag för kanal och länklager är ofta kraftigt förenklade och har ett antal brister. Vanligtvis modelleras kanalen med en smalbandig länkdämpningsmodell med eller utan terrängberoende, och länklagret modelleras ofta med smalbandig mottagar-modell vilken baseras på bitfelskurvor. En möjlig väg mot att kunna få bättre prestandaanalys för nät är att vidareutveckla kanal- och länkmodellen beskrivna i det här arbetet. En vidareutveckling av den i det här arbetet använda kanal-modellen har tagits fram och denna finns beskriven i [9]. Den nya modellen tar bland annat hänsyn till att det finns en koppling mellan olika kanalparametrar för mobila noder. Därutöver finns även modell för att modellera länklagret i [10], och en stor fördel hos denna är att den även kan modellera bredbandiga mottagare.

I det här arbetet visas exempel på möjlig kapacitet, i ett demonstrationsscenario, som kan erhållas med tekniklösningar som direktkommunikation, flerhoppsteknik samt kombinationen flerhopp- och MIMO-teknik. Den möjliga kapacitetsnivån avgör sedan kvalitén på en videoöverföring mellan sändare och mottagare. Som en fortsättning på i den här rapporten beskrivet arbete föreslås att de vidareutvecklade kanal- och länkmodellerna, beskrivna i [9] och [10], används i demonstrationsscenarioet och även andra kapacitetshöjande tekniker än flerhopp- och MIMO-teknik analyseras.

FOI-R--3124--SE

Referenser

- [1] T. Gundmark, E. Dalberg, P. Svensson, D. Lindgren, P. Grahm, S. Linder, A. Hansson, and B. Kylesten. Ledningssystem - demonstration och värdering av teknik och metodik. Användarrapport, FOI-R--2645--SE, December 2008.
- [2] G. Eriksson, P. Holm, P. Johansson, S. Linder, and K. Wiklundh. Peer-to-Peer MIMO Channel Measurements at 300 MHz in a Urban Environment. Scientific Report, FOI-R--2547--SE, June 2008.
- [3] E. Löfsved, B. Lundborg, P. Holm, and Å. Waern. Deterministic calculation of wave propagation in urban areas. Methodology report, FOI-R--1339--SE, September 2004.
- [4] D. Gesbert, M. Shafi, Da shan Shiu, P.J. Smith, and A. Naguib. From theory to practice: an overview of mimo space-time coded wireless systems. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, 21(3):281–302, Apr 2003.
- [5] G.J. Foschini and M.J. Ganz. On limits of wireless communications in fading environments when using multiple antennas. *Wireless Personal Communications*, (6):311–335, Jan.
- [6] Cihan Tepedelenlioğlu, Ali Abdi, and Georgios B. Giannakis. The Ricean K factor: Estimation and performance analysis. *IEEE Trans. Wireless. Commun.*, 2(4):799–810, July 2003.
- [7] J. G. Proakis. *Digital Communications*. McGraw-Hill, 2000.
- [8] G. Eriksson, S. Linder, K. Wiklundh, P. Holm, P. Johansson, F. Tufvesson, and P. Almers. Results from Urban mimo channel measurements at 300 MHz. COST 2100, COST 2100 TD(09)767, February 2008.
- [9] G. Eriksson, K. Fors, and K. Wiklundh. A Stochastic Channel Model for Simulation of Mobile Ad Hoc Networks. COST 2100, COST 2100 TD(10)11084, June 2010.
- [10] G. Eriksson. Länkmodeller för nätsimuleringar med karaktäristisk kanal-information. Teknisk Rapport, FOI-R--2758--SE, Maj 2009.