

Åsa Waern, Bengt Lundborg, Gunnar Eriksson, Mikael Alexandersson

Kommunikationskanalen i urban miljö – beskrivning av MIMO-konceptet och RUSK kanalsond



TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Ledningssystem

Box 1165

581 11 Linköping

FOI-R--1200--SE

mars 2004

ISSN 1650-1942

Teknisk rapport

Åsa Waern, Bengt Lundborg, Gunnar Eriksson, Mikael Alexandersson

**Kommunikationskanalen i urban miljö –
beskrivning av MIMO-konceptet
och RUSK kanalsond**

Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Ledningssystem Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1200--SE	Klassificering Teknisk rapport
	Forskningsområde 4. Spaning och ledning	
	Månad, år mars 2004	Projektnummer E7063
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	Delområde 41. Ledning med samband och telekom och IT-system	
Författare/redaktör Åsa Waern Bengt Lundborg Gunnar Eriksson Mikael Alexandersson	Projektledare Åsa Waern	
	Godkänd av Lennart Nyström	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarsmakten, HKV	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Bengt Lundborg	
Rapportens titel Kommunikationskanalen i urban miljö - beskrivning av MIMO-konceptet och RUSK kanalsond		
Sammanfattning (högst 200 ord) <p>Militära operationer kommer i framtiden sannolikt att i allt större omfattning genomföras i urbana miljöer. Radiosystemen som används måste vara robusta och oberoende av en fast fungerande infrastruktur. Detta gäller även kommunikationssystemen för de civila myndigheter som har funktioner inom totalförsvaret.</p> <p>För att möta behovet av nya kunskaper avseende radiovågutbredning i urbana miljöer har ett samarbete med Lunds tekniska högskola, LTH, inletts avseende kanalmätningar med en MIMO-kanalsond (Multiple Input - Multiple Output).</p> <p>Med detta mätsystem kan radiokanalen karakteriseras inom tre olika frekvensband som kommer att få stor betydelse för framtida militära och civila radiosystem. Mätresultaten kan användas för att bygga och verifiera kanalmodeller för radiosystem med avancerade antensystem.</p> <p>Det aktuella mätsystemet planeras att levereras till LTH under våren 2004 och denna rapport syftar till att beskriva systemet och hur det kan användas.</p>		
Nyckelord Vågutbredning i stadsmiljö, MIMO-system, RUSK kanalsond, mätningar		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 22 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Command and Control Systems P.O. Box 1165 SE - 581 11 Linköping Sweden	Report number, ISRN FOI-R--1200--SE	Report type Technical Report
	Research area code 4. C4ISR	
	Month year March 2004	Project no. E7063
	Customers code 5. Commissioned Research	
	Sub area code 41. C4I	
Author/s (editor/s) Åsa Waern Bengt Lundborg Gunnar Eriksson Mikael Alexandersson	Project manager Åsa Waern	
	Approved by Lennart Nyström	
	Sponsoring agency Armed Forces Headquarter, Sweden	
	Scientifically and technically responsible Bengt Lundborg	
Report title The communication channel in urban environments - description of the MIMO concept and the RUSK channel sounder		
Abstract (not more than 200 words) <p>Military operations in the future will probably to an increasing extent be performed in urban environments. The radio systems used must be robust and independent of a permanent infrastructure. This also includes the communication systems for civil authorities within the total defence.</p> <p>To meet the need of new knowledge regarding radio wave propagation in urban environments, a cooperation with Lund University, LTH, has been initiated. This concerns above all radio channel measurements with a MIMO (Multiple Input - Multiple Output) Channel Sounder.</p> <p>With this measurement system the radio channel can be characterized in three different frequency bands that will be significant for future military and public radio systems. The measurement results can be used to build and verify channel models for radio systems with advanced antenna arrays.</p> <p>The Channel Sounder will be delivered to Lund University during spring 2004 and the aim with this report is to describe the system and its potential use.</p>		
Keywords Wave propagation in urban environments, MIMO systems, RUSK channel sounder		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 22 p.	
	Price acc. to pricelist	

Innehållsförteckning

1 Inledning	5
2 Radiovågutbredning i stadsmiljö.....	6
3 MIMO-konceptet.....	12
3.1 Beskrivning av MIMO-kanalen.....	12
3.1.1 Modeller baserade på överföringsmatrisen	13
3.1.2 Modeller med dubbel riktning information	13
3.2 Mätmetoder för karakterisering av MIMO-kanalen	14
3.2.1 Extrahering av kanalparametrar	14
4 Samarbete med LTH.....	15
5 RUSK kanalsond	16
5.1 Funktionsbeskrivning	16
5.2 Antenner	17
5.3 Teknisk data.....	19
5.3.1 Sändarenhet	19
5.3.2 Mottagarenhet.....	19
5.3.3 Styr- och analysdator.....	20
5.3.4 Ordlista	20
6 Intressanta problemområden för mätkampanjer	21
7 Referenser	22

1 Inledning

Militära operationer kommer i framtiden sannolikt att i allt större omfattning genomföras i urbana miljöer. Dessa miljöer ställer delvis andra krav på kommunikationsutrustningen än den, för traditionell militär verksamhet, öppna och småbrutna terrängen. För att säkerställa ledningsfunktioner och skapa en gemensam bild av läget ställs samtidigt allt högre krav på informationskapaciteten hos de trådlösa kommunikationssystemen. Radiosystemen måste vara robusta och oberoende av en fast fungerande infrastruktur. Detta gäller även kommunikationssystem för de civila myndigheter som har funktioner inom totalförsvaret.

För att möta behovet av nya kunskaper avseende radioåtgutbredning i urbana miljöer har Institutionen för informationsöverföring på FOI för avsikt att öka den experimentella verksamheten inom området. Projektet *Kommunikationskanalens egenskaper i tätort, KOMET*, har inlett ett samarbete med Lunds tekniska högskola, LTH, avseende kanalmätningar med en MIMO-kanalsond (Multiple Input - Multiple Output).

Med detta mätsystem kan radiokanalen karakteriseras inom tre olika frekvensband som kommer att få stor betydelse för framtida militära och civila radiosystem. Mätresultaten kan användas för att bygga och verifiera kanalmodeller för radiosystem med avancerade antensystem. För sådana radiosystem som utnyttjar radiokanalens spatiella struktur är kunskap om MIMO-kanalens egenskaper avgörande för att kunna modellera och simulera systemens prestanda i verklig miljö.

Det aktuella mätsystemet planeras att levereras till LTH under våren 2004 och denna rapport syftar till att beskriva systemet och hur det kan användas.

2 Radiovågutbredning i stadsmiljö

De viktigaste faktorerna för vågutbredning har beskrivits översiktligt i [Waern m.fl., 2003] (se även [Ladell m.fl., 2001]). Där behandlades också några kommersiella programvaror för vågutbredningsberäkningar i stadsmiljö.

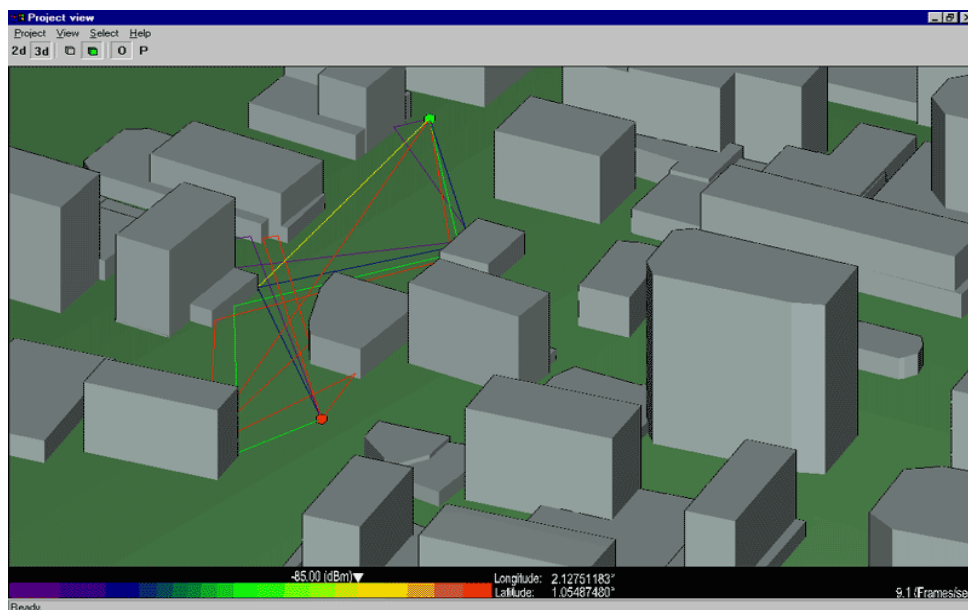
Förutsättningarna för radiokommunikation i stadskärnor skiljer sig kraftigt från landsbygd. Terminalerna befinner sig ofta i gatunivå med den direkta förbindelse-riktningen djupt skuggad av höga byggnader. Vågutbredningen sker huvudsakligen via multipla reflexioner mot husväggar och diffraktion runt hörn och över hustak.

Vi illustrerar vågutbredningsförhållandena i stad genom några beräkningar gjorda med programvaran Wireless InSite från Remcom, USA (<http://www.remcom.com/>); figurerna 2.1–2.4.

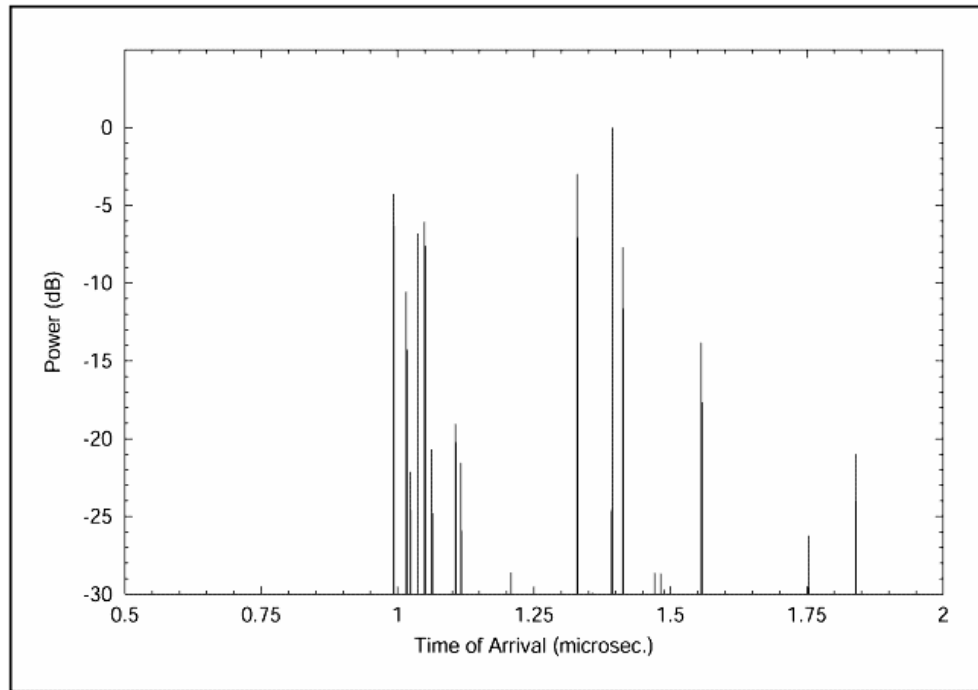
De flesta befintliga programvarorna är baserade på stråloptiska beräkningsmetoder, så även Wireless InSite. I det studerade scenariet söker programmet de strålvägar som förbinder de givna terminalerna; se *figur 2.1*. Varje stråle ges vid mottagarpunkten som ett separat signalbidrag med sin egen riktning, polarisation, fördröjning, fas och amplitud.

Vid smalbandig överföring sammanlagras alla bidragen genom direkt addition av komplexvärda vektorer till en totalsignal. Om någon av terminalerna rör sig, eller om viktiga objekt i utbredningsmiljön rör sig, får man en överföringskanal som varierar i tiden.

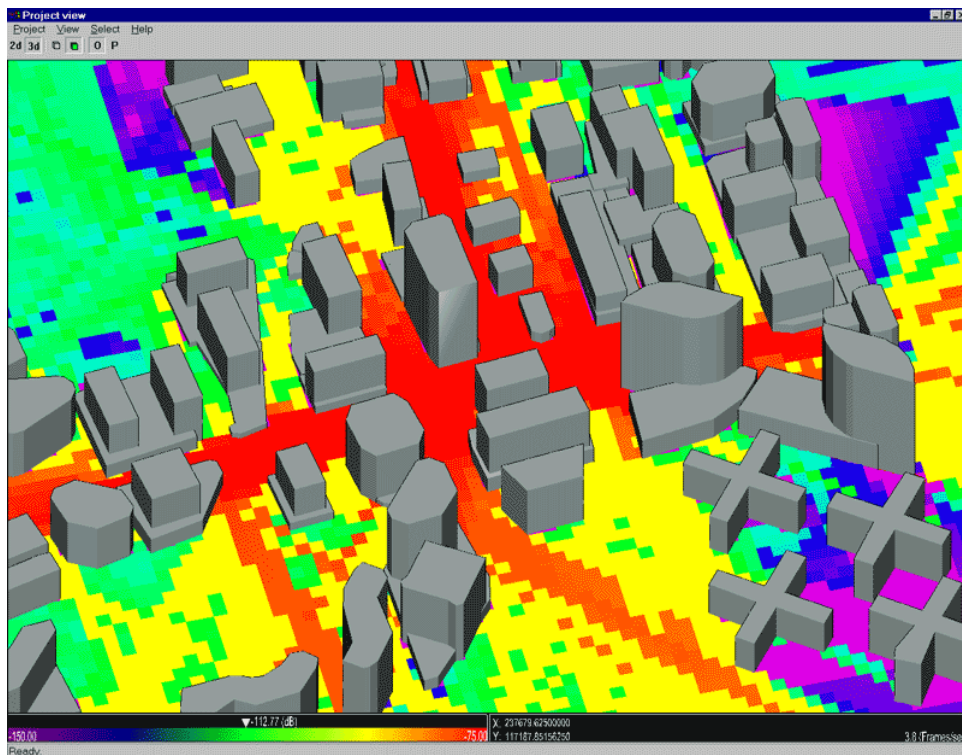
Vid bredbandig överföring måste man dessutom beakta signalkomponenternas individuella fördröjningar. Ett vanligt sätt att illustrera detta är genom kanalens impulssvar. Figur 2.2 visar signalkomponenternas effekt som funktion av deras fördröjning för ett utbredningsfall liknande det i figur 2.1. Exemplet visar signalbidragen som s.k. Diracpulser som saknar utsträckning i tiden (oändlig bandbredd). I verkliga system har man alltid ändlig bandbredd och impulssvaret fås i det fallet genom att falta det idealiserade impulssvaret i figur 2.2 med systemfiltren.



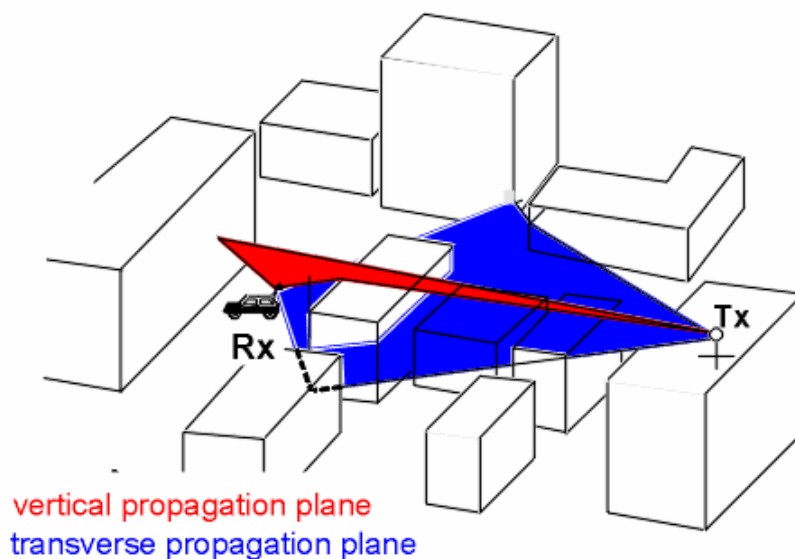
Figur 2.1: Wireless InSite: Identifierade utbredningsvägar (strålar) mellan grön och röd terminal.



Figur 2.2: Wireless InSite: Exempel på impulssvar. Flervägskomponenter finns inom ett intervall av ca $1 \mu\text{s}$ vilket motsvarar gångvägsskillnader om 300 m.



Figur 2.3: Wireless InSite: Radiotäckning från sändare i bildens mitt. Färgskalan anger signalnivån.

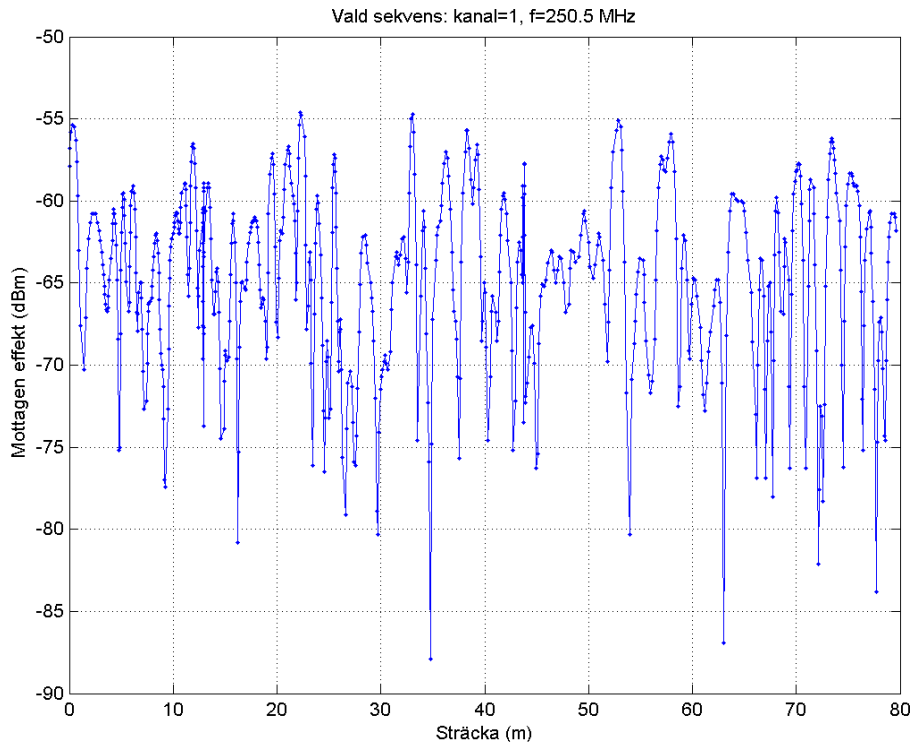


Figur 2.4: Diffraction i vertikalplan (runt hörn) eller horisontalplan (över tak).

Som framgår av figur 2.3 varierar signalstyrkan kraftigt vid förflyttningar över markytan. De lägre signalnivåerna i skuggområdena beror på längre gångvägar för signalen via multipla reflektioner eller på förluster vid diffraktioner runt byggnader; se figur 2.4.

Förflyttningar över ett antal meter i den miljö man ser i figur 2.3 kan ge avsevärda förändringar i kvalitén och styrkan på den mottagna signalen. Det vi ser i den figuren är emellertid endast de storskaliga vågutbredningseffekter som nämnts ovan, den s.k. storskaliga signalfädningen. Utöver denna upplever man också en mycket snabbare, småskalig fädning som beror på destruktiv och konstruktiv interferens mellan flervägskomponenter. Den typiska skalan för den snabba fädningen är halva våglängden; vid 1 GHz är denna endast 15 cm.

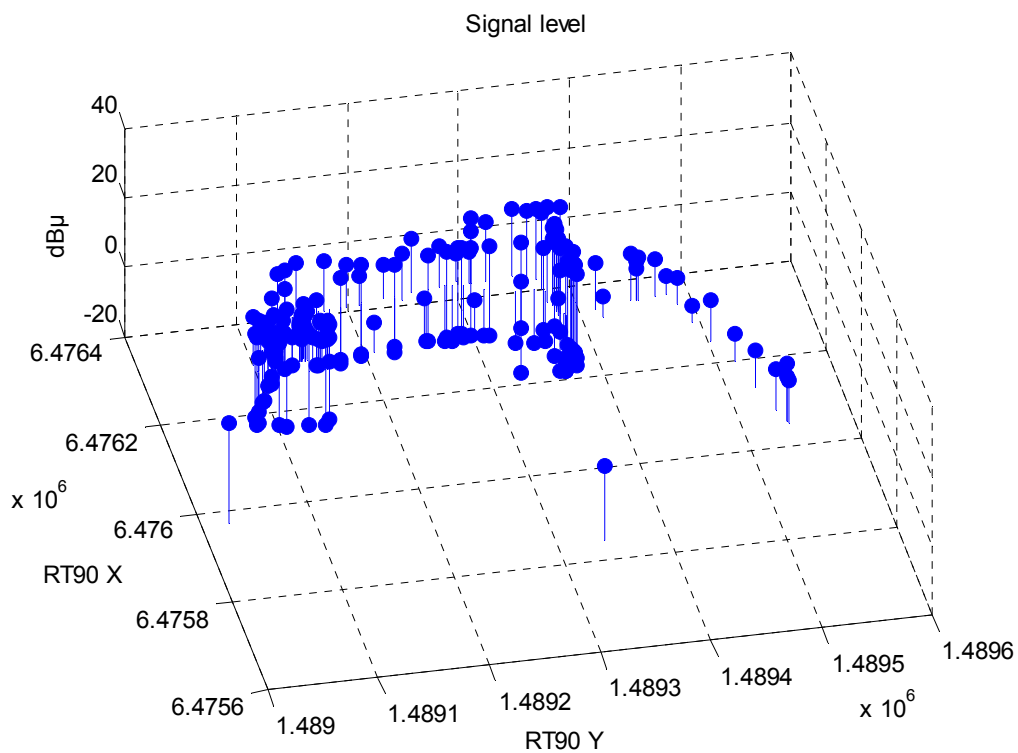
Ett exempel på småskalig fädning från en smalbandig mätning vid 250 MHz ges i figur 2.5. Mätningen är gjord på Normmalm i Stockholm inom projektet "3D vågutbredning och kanalmodell" [Ladell, 2002; Krans m.fl., 2003]. Sändarbilen befann sig relativt högt upp i Vandadislunden. Mottagarbilen rörde sig längs med den närbelägna Hagagatan, i djup skugga från sändarplatsen. Det innebär en typisk flervägssituation med diffrakterade och multipelreflekterade signalbidrag, men ingen direktvåg. Karaktäristiska skallängden är 60 cm och signalen fädrar inom ett ca 30 dB stort intervall då mottagaren förflyttar sig.



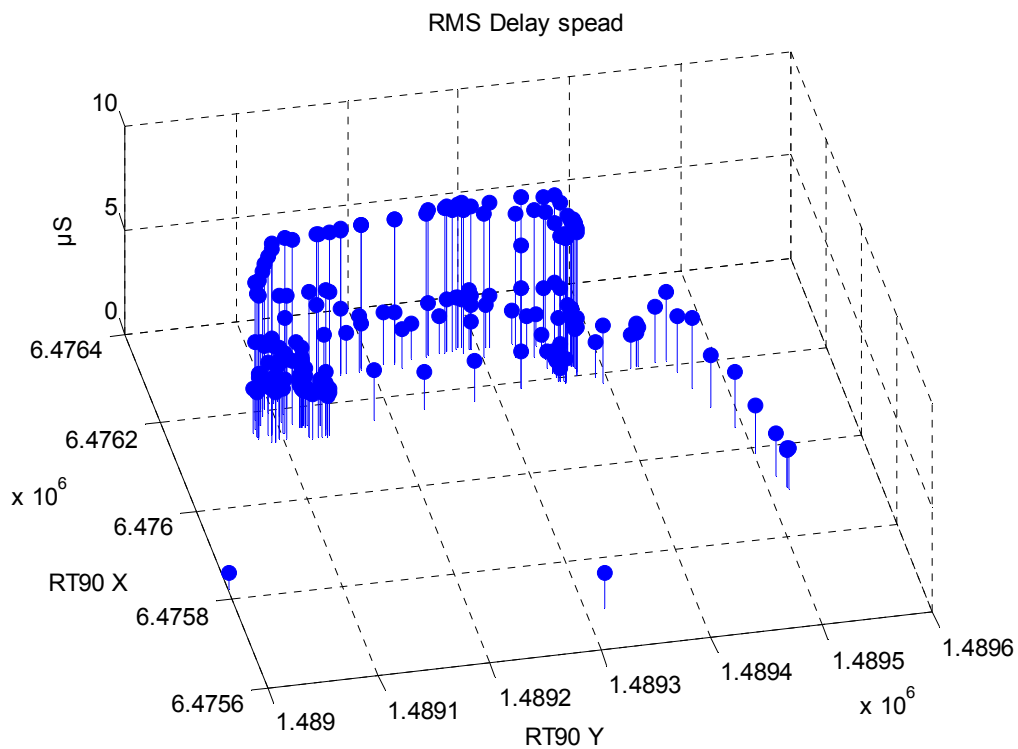
Figur 2.5: Småskalig fädning vid mätförsök på Norrmalm i Stockholm.

Som ytterligare ett exempel på radiokanalens dynamiska uppträdande visar vi några resultat från vågutbredningsmätningar gjorda i FOIs regi i Linköping [Lindblad, 2004]; figurerna 2.6–2.8. Mottagarantennen befann sig på taket till FOI-byggnaden och sändaren i en bil som kördes över ett antal mätsträckor i olika utbredningsmiljöer. Frekvensen var 300 MHz och mätningarna var bredbandiga (impulssvar). I de redovisade exemplen befann sig sändarbilen i området kring Nygatan i Linköpings stadskärna, vilket innebär ca 3 km sträcka och 10 μ s fördröjning för direktvägen.

Enligt figur 2.6 varierar signalnivån kraftigt under mätningen, mer än 10 dB. Fördröjningsspridningen enligt figur 2.7 var upp till ca 5 μ s; ser man till de enskilda impulssvaren fann man enskilda impulssvar med fördröjningar upp till ca 24 μ s. Karaktären hos bebyggelsen i sändarens absoluta närhet leder till att radiokanalens flervägsutbredning är kraftig och snabbt varierande.



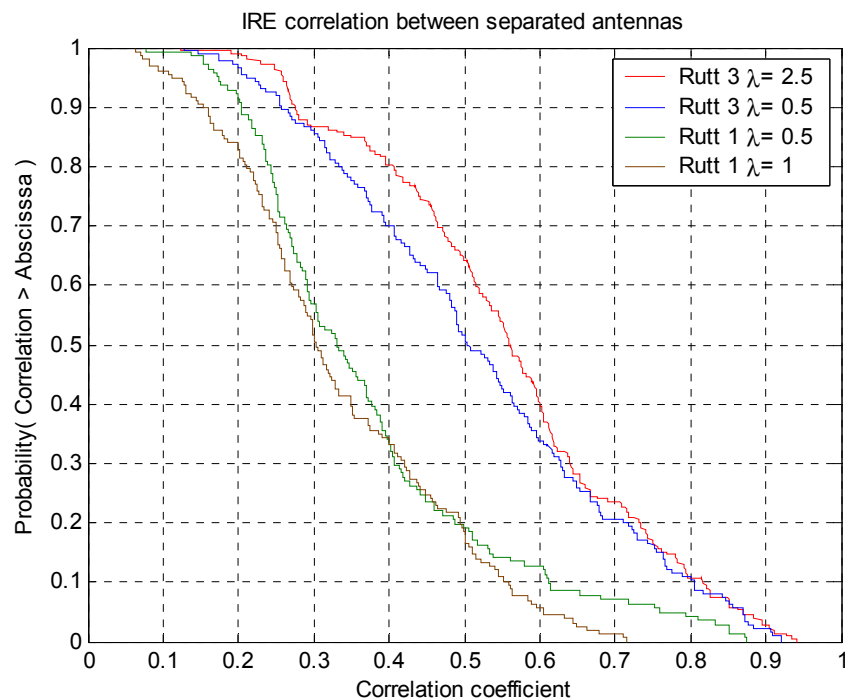
Figur 2.6: Signalnivå (dBμ) vid 300 MHz under körning med sändarbilen genom ett ca 600 m stort område kring Nygatan i Linköpings innerstad. Mottagarantennen befann sig på FOIs tak.



Figur 2.7: Fördröjningsspridning (μs) vid samma försök som i figur 2.6.

Mätningarna utfördes samtidigt över två kanaler, med separata antenner på sändarbilens tak. Avståndet mellan dessa kunde varieras mellan en $\frac{1}{2}$ och $2\frac{1}{2}$ våglängder. Syftet med arrangemanget var att studera korrelationen mellan signaler från näraliggande antenner, just med tanke på möjligheterna att utnyttja kanalens spatiella egenskaper, till exempel med hjälp av MIMO-system. De båda kanalerna erhöles genom att modulera en gemensam bärvåg med två ortogonala spridningskoder. I mottagaren separerades kanalerna genom korrelation med respektive spridningskod.

Figur 2.8 visar fördelningsfunktioner för korrelationskoefficienten mellan kanalerna för några av mätserierna. Kurvorna benämnda Rutt 1 togs fram över samma mätsträcka som figurerna 2.6 och 2.7. Eftersom utbredningsmiljön där är rik på flervägsutbredning finner man en låg korrelation mellan antenssignalerna under största delen av tiden. Det är precis i sådana miljöer man kan förvänta sig den största vinsten med ett MIMO-system, antingen för att få en robustare kanal eller för att öka överföringskapaciteten.



Figur 2.8: Korrelation mellan signalerna från två näraliggande antenner (två antennavstånd, två mättrutter) vid samma försök som i figur 2.6.

3 MIMO-konceptet

Forskningen kring radiosystem där flera antenner används på såväl sändare som mottagare – så kallade MIMO-system (Multiple Input Multiple Output) – har under de senaste åren expanderat mycket kraftigt. Orsaken till detta är de potentiellt mycket stora prestandavinster som kan erhållas med hjälp av dessa system [Foschini och Gans, 1998]. I synnerhet är det den höga kapaciteten (uttryckt i bitar/s/Hz) som MIMO-systemen ger möjligheten till som är lockande när allt större krav ställs på radiosystemens överföringskapacitet, samtidigt som radiofrekvent spektrum blir en allt trängre resurs.

Kapacitetsvinsterna uppkommer genom att spatiellt skilda överföringskanaler kan formas mellan sändaren och mottagaren med hjälp av de olika utbredningskomponenter som radiokanalen normalt har till följd av flervägsutbredning mellan sändaren och mottagaren. På detta sätt kan en egenskap hos radiokanalen, som för konventionella radiosystem i allmänhet är destruktiv, exploateras för att erhålla bättre prestanda.

MIMO-systemens antenner ger även prestandavinster genom möjligheten till lobformning och diversitet, något som även är möjligt för radiosystem med gruppantennor vid enbart den ena terminalen (SIMO resp. MISO). I MIMO-fallet bestäms dock den möjliga diversitetsordningen av produkten av antalet sändar- och mottagarantennor, vilket i allmänhet ger en mycket hög diversitetsordning.

Den civila aktiviteten inom MIMO-området är ganska starkt fokuserad på frekvensområdena kring 2 och 5 GHz. Dessa frekvensområden är naturligtvis även intressanta ur försvarets perspektiv, men dessutom bedöms för närvarande frekvensområdet 235–387 MHz som det mest intressanta området för mobil taktisk kommunikation. Det är därför viktigt att skaffa sig kunskap om hur radiokanalen skiljer sig inom detta område i förhållande till högre frekvenserna. I första hand gäller detta för urbana miljöer, men det finns naturligtvis även ett intresse av att karakterisera detta frekvensområdes MIMO-potential i landsbygds- och skogsmiljö. Den senare miljön förväntas, i likhet med stadsmiljö, uppvisa en relativt hög grad av flervägsutbredning.

3.1 Beskrivning av MIMO-kanalen

Användning av multipla antenner på både sändar- och mottagarsidan kan under ideala förhållanden drastiskt öka ett radiosystems prestanda. Under verkliga förhållanden kommer kanalens egenskaper att vara avgörande för hur stor del av dessa vinster som är möjligt att tillgodogöra sig i praktiken.

När vi har flera antennelement på både sändar- och mottagarsidan kan vi beskriva kanalens egenskaper med en överföringsmatris \mathbf{H} som för ett fall med två sändarantennor och tre mottagarantennor får schematiskt följande utseende

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22} \\ H_{31} & H_{32} \end{pmatrix}, \quad (3-1)$$

där matriselementen representerar det tidsvariabla impulssvaret $h(t, \tau)$ för varje kombination av sändarantenn och mottagarantenn.

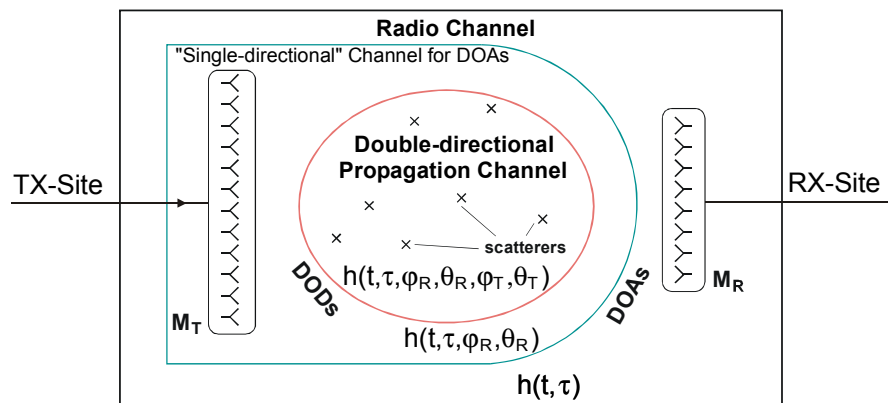
3.1.1 Modeller baserade på överföringsmatrisen

Kanalbeskrivning med hjälp av överföringsmatrisen lämpar sig mycket väl för analytiska studier och en stokastisk beskrivning av MIMO-kanalen. En kraftfull analysmetod är att, utgående från kanalens korrelationsmatris, dela upp kanalen i egenmoder med tillhörande egenvärden. Ur dessa kan många kanalegenskaper identifieras; som till exempel kanalkapacitet, diversitetsgrad och lobformningsvinst.

3.1.2 Modeller med dubbel riktningsinformation

Kanalbeskrivning med så kallad dubbel riktningsinformation är ett sätt att göra kanalbeskrivningen oberoende av de använda antennerna [Steinbauer m.fl., 2001]. På det sättet kan en och samma kanalbeskrivning användas för att till exempel utvärdera hur ett radiosystems prestanda påverkas av olika antennlösningar, utan att nya mätningar behöver utföras.

Varje identifierbar flervägskomponent karakteriseras med hjälp av utgående och ankommande riktning vid sändaren respektive mottagaren, dess fördröjning, dopplerskift, komplex amplitud och polarisation. Kanalmodellen kan schematiskt beskrivas med hjälp av *figur 3.1*.



Figur 3.1: Kanalmodell med dubbel riktningsinformation, illustrerad genom den inre röda ellipsen med en geometri av spridare. Den yttre rektangeln illustrerar kanalmodellen i signaldomän med $M_T \times M_R$ delkanaler.

3.2 Mätmetoder för karakterisering av MIMO-kanalen

För att mäta upp MIMO-kanalens bredbandiga egenskaper krävs, förutom en bredbandig probsignal, för identifiering av flervägskomponenter, att mätsystemet har möjlighet att bestämma utbredningskomponenternas riktning vid såväl sändaren som mottagaren. Detta kräver antingen att man använder sig av en array av antennelement eller åstadkommer en virtuell array genom att utföra upprepade mätningar under det att antennens position förflyttas kontrollerat. Det senare förfarandet har fördelen att samtliga element i den virtuella arrayen blir identiska. Dock krävs det att kanalen är stationär under hela tiden för mätningen. För kanaler med kort koherenstid, eller för situationer där antingen sändaren eller mottagaren är i rörelse, krävs i allmänhet att både sändaren och mottagaren är utrustade med lämpliga antennarrayer.

3.2.1 Extrahering av kanalparametrar

Om en kanalbeskrivning baserad på överföringsmatrisen önskas kan i princip resultatet från en kanalmätning användas direkt för att utvärdera kanalens egenskaper. För att erhålla en kanalbeskrivning baserad på dubbel riktningsinformation behöver däremot en extrahering av de olika utbredningskomponenterna göras. För detta ändamål har så kallade högupplösande metoder visat sig mycket användbara. De vanligast använda i detta sammanhang är ESPRI (Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance techniques) [Roy och Kailath, 1989] och SAGE (Space-Alternating Generalized Expectation-maximization) [Fleury m.fl., 2002]. Åtminstone för cirkulära arrayer har SAGE visat sig ha stora fördelar [Tan m.fl., 2002; (del I)].

4 Samarbete med LTH

Under våren 2002 togs inledande kontakter med Lunds tekniska högskola, LTH, institutionen för Elektrovetskap. Kontakterna är ett resultat av FOIs deltagande i COST273. Institutionen för Elektrovetskap har en gedigen erfarenhet av trådlös kommunikation och vågutbredning. I och med rekryteringen av Professor Andreas Molisch till LTH har kompetensen och det internationella kontaktnätet inom området ytterligare väsentligt förstärkts.

Under hösten/vintern 2002 fördjupades kontakterna i och med att LTH erbjöd FOI samarbete om kanalmätning med ett MIMO-system. Som ett led i detta påbörjade en medarbetare på FOI doktorandstudier, inom ämnesområdet, vid LTH i januari 2003.

FOI antog erbjudandet om samarbete med kanalmätningar och avtal slöts i juli 2003 mellan FOI och LTH angående nyttjanderätt för FOI av det MIMO-mätsystem som LTH skall införskaffa. FOI har genom avtalet gett LTH i uppdrag att införskaffa en frekvensmodul till mätsystemet för det försvarsintressanta frekvensområdet 235–387 MHz. Tillsammans med LTHs frekvensmoduler på 2.4 GHz och 5.4 GHz blir systemet världsunik.

Mätsystemet planeras att levereras till LTH under våren 2004 och nyttjanderätten gäller i nuvarande avtal i tre år.

Fördelar med samarbetet ur FOIs synvinkel är bl.a.:

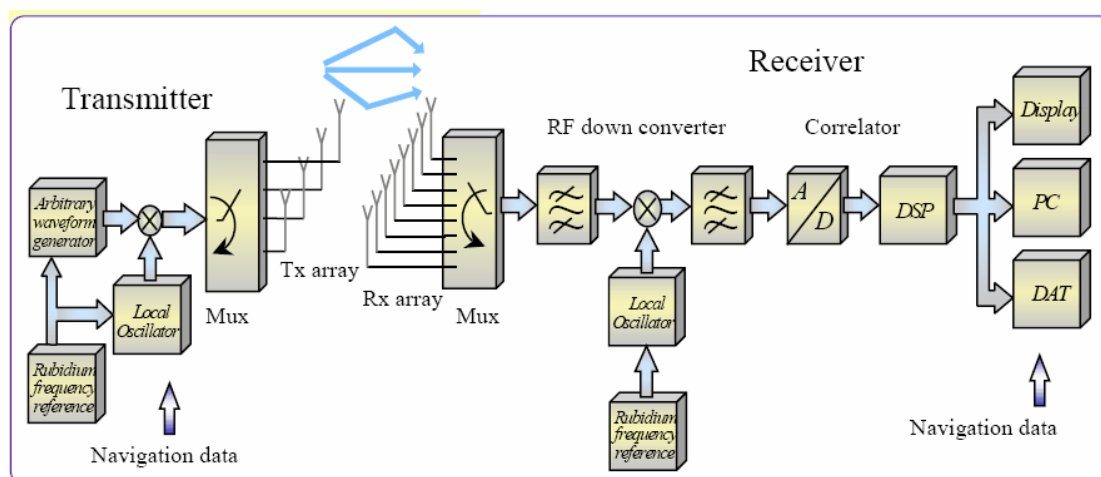
- Möjligheten att få tillgång till ett avancerat mätsystem utan att finansiera det helt och hållet själva, då vi endast står för en modul i systemet.
- Vi ökar vår experimentella verksamhet och utvecklar samarbete med universitet och högskolor i enlighet med FOIs handlingsplan.
- LTH har en gedigen kunskap om trådlös kommunikation och vågutbredning och såväl det nationella som det internationella kontaktnätet är stort.
- Vi kommer att få tillgång till mätresultat från mätningar på 2.4 GHz och 5.4 GHz genom den del av mätsystemet som LTH anskaffar och vi kommer att ha möjlighet att utföra egna intressanta mätkampanjer.
- Frekvensområdet, 235 – 387 MHz, är intressant för försvaret och mobil taktisk kommunikation. Inom frekvensområdet ligger bl.a. TETRA som kan vara aktuell i RAKEL, TB04 och för nordisk brigad.

5 RUSK kanalsond

5.1 Funktionsbeskrivning

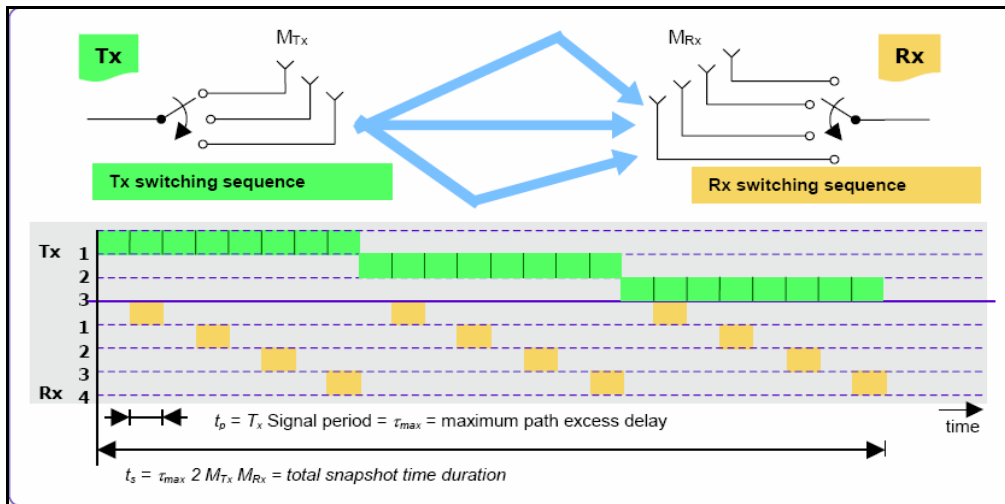
Mätsystemet levereras av det tyska företaget Medav Digitale Signalverarbeitung. Systemet består av tre delar, sändardel, mottagardel samt analys- och datalagringsdel. Varje del är monterad i en 19" racklåda för transport och drift och kan strömförsörjas från batteri för mobilt bruk.

Sändarenheten är försedd med en vågformsgenerator som genererar en bredbandig testsignal anpassad för de kanalegenskaper man är intresserad av. Testsignalen består av en flertonsignal med en varaktighet i tiden i relation till kanalens uppskattade impulssvar. Denna blandas med lokaloscillatorfrekvensen och förstärks sedan i slutsteget för att via en multiplexer matas till respektive antennelement i sändarens gruppantenn. Mottagarens antennelement växlas med hjälp av en multiplexer, antensignalen bandpassfiltreras och blandas ned till en mellanfrekvens på 160 MHz för att sedan digitaliseras med en 8 bitars A/D-omvandlare. Korrelation och signalbehandling sker i en digital signalprocessor och resultatet lagras i en hårddiskarray för efterbearbetning, se *figur 5.1*.



Figur 5.1: Blockschema (hämtad från www.channelsounder.de/medavdocs/).

Sändarsidan sänder signalen på ett av antennelementen och mottagarsidan mäter på varje antennelement i tur och ordning. Därefter växlas antennelement på sändarsidan och mottagarsidan upprepar sin mätsekvens. Växlingen mellan sändarantennelementen är synkroniserad med signalperioden på testsignalen; tidsintervallet mellan växlingen av mottagarantennerna är anpassat efter uppskattad maximal tidsspridning på kanalen, se *figur 5.2*. På så sätt mäts kanalens impulssvar för varje antennelement, med endast en sändarantenn aktiverad åt gången.



Figur 5.2: Växlingssekvens för sändning/mottagning (hämtad från www.channelsonder.de/medavdocs/).

Sändar- och mottagardel är försedda med GPS-kontrollerad Rubidiumnormaler för frekvensstabilitet och för tidssynkronisering av sändar- och mottagardel. Rubidiumnormalerna används även för loggning av positionsdata vid mätningar. Fasstabilitet kan vid behov erhållas via synkronisering med hjälp av optisk fiber mellan sändare och mottagare. Odometer (avståndsmätare) kan även anslutas vid ex mätningar i fordon.

Systemet kommer att levereras med 8 sändar- och 8 mottagarantennor för det lägsta bandet, men kan ansluta upp till 16 sändarantennor.

5.2 Antenner

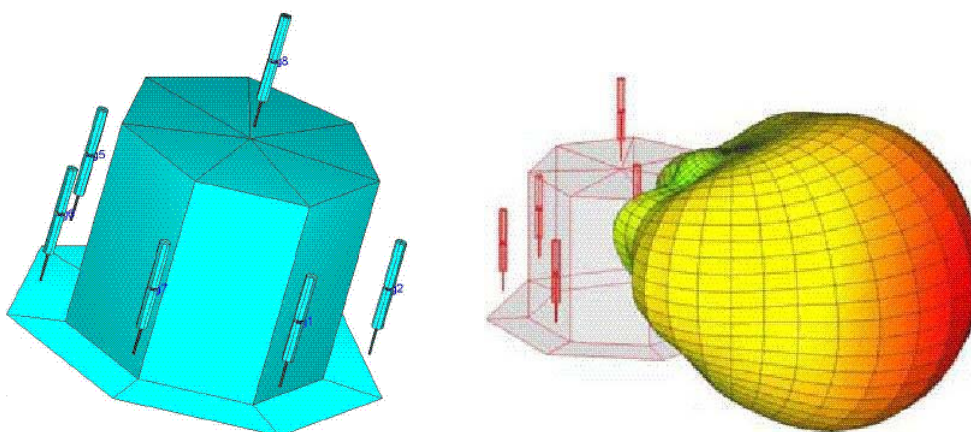
Mätantennerna utgör en mycket viktig komponent i en kanalsonderingsutrustning som skall användas för att generera kanalmodeller med dubbel riktning information. Antennerna måste ha sådana egenskaper att de olika utbredningskomponenternas riktningar kan bestämmas entydigt vid respektive mätantenn. Vid användning av högupplösande estimeringsmetoder korreleras den mottagna signalen med den antagna signalmodellen, där antennens strålningsfunktion är en komponent. Det är därför av stor vikt att denna korrelationsfunktion har ett entydigt maximum och inte uppvisar starka sidlober [Tan m.fl., 2002; (del II)]. Exempel på mätantennor för 5.2 GHz visas i figur 5.3.



Figur 5.3: Mätantenner för 5.2 GHz. Till vänster en 16-elements cirkulär monopolantenn. Den cirkulära cylindern i mitten består av dämpmaterial och har till uppgift att förbättra arrayens egenskaper genom att ge varje element en önskad riktningskaraktär. Till höger ses en 8-elements linjär antenn med antennelement för både vertikal och horisontell polarisation.

För att uppnå god noggrannhet vid bestämning av flervägskomponenternas riktningar är det önskvärt att ha en antenn med hög vinkelupplösning. Eftersom denna är proportionell mot antennens fysiska utsträckning, i våglängder räknat, kommer en mätantenn för frekvensområdet kring 300 MHz att behöva vara av en ganska ansevärd storlek.

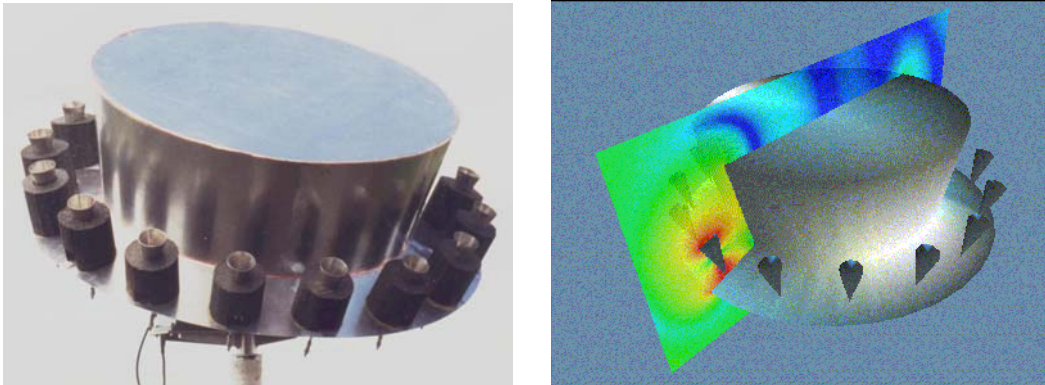
För det senare frekvensområdet kommer två stycken antenner, speciellt konstruerade för detta ändamål, att levereras av MEDAV. Det kommer att vara 8-elements vertikala dipolarrayer med 7 element placerade i en cirkel och med ett upphöjt mittelement. Antennen kommer därmed att medge estimering av vinklar i såväl azimut som elevation. Konstruktionsprincipen framgår av figur 5.4.



Figur 5.4: Vertikal dipolarray med 7+1 element. Till vänster en simuleringsmodell av antennen och till höger strålningsdiagrammet för antennelement nummer 1.

Vidare kommer en vid FOI tidigare framtagen 16-elements vertikal monopolantenn att kunna användas. Denna antenn, som konstruerades inom ramen för projektet

Elektriskt styrbara antenner (ELSA), har en extremt stor bandbredd och täcker frekvensområdet 200–500 MHz [Martin m.fl., 1999], se *figur 5.5*.



Figur 5.5: ELSA-antennen; 16-elements monopolantenn för 250–500 MHz. Till vänster monterad på ett vridbord under verifieringsmätningar och till höger resultat från simuleringar med FDTD.

5.3 Teknisk data

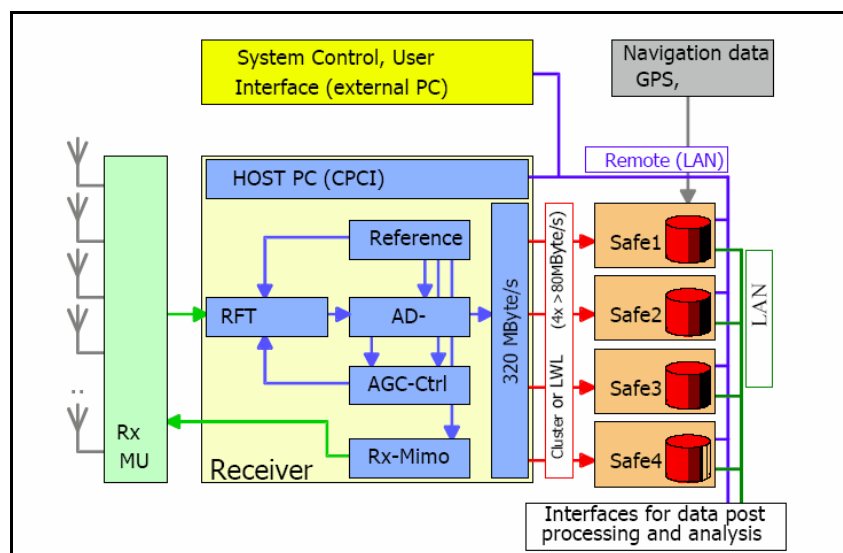
5.3.1 Sändarenhet

Sändarenheten är försedd med en inbyggd dator för lokal styrning och konfigurering av testsignalen. Datorplattform är Windows och styrprogramvaran är en klient-server applikation för både lokal- och fjärrstyrning.

Testsignal:	Periodic Multicarrier Spread Spectrum
Bärvåg:	235 – 387 MHz, i steg om 1 MHz 2200 – 2700 MHz, i steg om 10 MHz 5150 – 5750 MHz, i steg om 10 MHz
Bandbredd:	Max 240 MHz, samt max 20 MHz i det lägsta frekvensområdet
Uteffekt:	Max 0.5 W for 2/5 GHz området, samt max 20 W i det lägsta området.

5.3.2 Mottagarenhet

Mottagardelen är uppbyggd med ett VXI-chassi som grund, och inkluderar en inbyggd dator för kommunikation med datalagrings- och analysdatorn. Den levereras med en hårddiskarray med en maximal överföringshastighet av 320 MByte/s och en lagringskapacitet på 1 Tbyte, se *figur 5.6*. Möjlighet att fjärrstyra sändardelen över nätverk (LAN) från mottagaren finns även.



Figur 5.6: Mottagarblockshema (hämtat från www.channelsonder.de/medavdocs/).

Förstärkning: 72 dB
 Dynamik AGC: 51 dB, i steg om 3dB, noggrannhet 0.5 dB
 SFDR: 50 dB

5.3.3 Styr- och analysdator

Inkluderad i denna enhet är styr- och mätprogramvara för att konfigurera, kalibrera, och hantera mätningarna. Även en enklare analysprogramvara ingår för att kunna kontrollera funktionalitet under mätkampanjer, ex "Built in test" och presentation av mätresultat i tid- och frekvensdomänen. Denna programvara är skriven i JAVA, och plattformen är Windows.

5.3.4 Ordlista

AGC: Automatic Gain Control , automatisk förstärkningskontroll.
 LAN: Local Area Network , lokalt datornätverk.
 SFDR: Spurious Free Dynamic Range.
 VXI: VMEbus eXTensions for Instrumentation, en öppen industristandard för hårdvarukonstruktion av instrument.

6 Intressanta problemområden för mätkampanjer

Ett antal olika mätkampanjer kommer att genomföras både tillsammans med LTH och i egen regi. I båda fallen kommer vi att ha tillgång till alla tre frekvensmodulerna, vilket kan hjälpa oss att få en noggrann beskrivning av radiokanalen. Nedan har vi listat några olika exempel på intressanta problemområden och flera av dem har vi för avsikt att undersöka vid mätkampanjer i närtid:

- Scenarier som är intressanta ur militär synvinkel är direktkommunikation mellan olika enheter i gatunivå, d.v.s. kommunikation som inte sker via basstationer. Vi kommer i ett sådant scenario att studera radiokanalen och analysera flervägsutbredningen.
- Kommunikation på lite längre avstånd skulle, i en stadsmiljö, kunna ske mellan stridsvagnar eftersom de har möjlighet att bära tyngre utrustning. I dessa fall kan MIMO-system vara intressanta och vi vill undersöka om dessa har förutspådda fördelar. Vilken betydelse har valet av frekvens?
- När soldater går in i byggnader förlorar de oftast lägesuppfattningen om vad som händer utanför. Att upprätthålla kommunikationen med en enhet ute på gatan kan vara av stor betydelse för att bibehålla lägesuppfattningen. Vi avser därför att undersöka kommunikationskanalen in och ut från byggnader.
- När en grupp soldater befinner sig inne i byggnader är det av stor betydelse att de kan hålla kontakt med varandra, oavsett om de befinner sig på olika våningsplan. Hur påverkas radiovägutbredningen av byggnadsmaterialet?
- Strid i urban miljö innebär sannolikt att soldater behöver gå in i tunnlar och kulvertar. Hur påverkar tunnelmiljöer vägutbredningen?
- MIMO-system antas ha fördelar i urbana miljöer på grund av den flervägsutbredning som uppstår. Huruvida MIMO-system har fördelar i skogsterräng har inte undersökts. De kan mycket väl ha fördelar, framför allt för låga antennhöjder i kuperad terräng och mätsystemet kan med fördel användas för att undersöka saken.

7 Referenser

- L. M. Correia, "Wireless flexible personalized communications (COST 259: European co-operation in mobile radio research)", Wiley, Chichester, UK, editor 2001.
- COST273, Towards Mobile Broadband Multimedia Networks, <http://www.lx.it.pt/cost273/>
- B. H. Fleury, P. Jordan, A. Stucki, "High-resolution channel parameter estimation for MIMO applications using the SAGE algorithm", *International Zürich Seminar on Broadband Communications (IZS 2002)*, 2002.
- G. J. Foschini, M. J. Gans, "On limits of wireless communications in fading environments when using multiple antennas", *Wireless Personal Communications*, 6:311-335, 1998.
- P. Krans, L. Ladell, B. Lundborg, "3D vågutbredning – delstudie inom projekt FFTK", *AerotechTelub K2-03:1375; FOI Memo Dnr 03-169:10.*, 2003.
- L. Ladell, "VU-mätning Stockholm 1.1 (CD-ROM)". *AerotechTelub K2-02:1918; FOI Dnr 02-1111:12.*, 2002.
- L. Ladell, L., A. Thomasson, B. Lundborg, "3D vågutbredningsprogram för tätort": Förslag till handlingsprogram. *AerotechTelub K2-01:0373; FOI Memo Dnr 01-2142:10.*, 2001.
- A. Lindblad, "Kanalmätning juni 2003 inom project ARN", *FOI-D--0156--SE*, 2004.
- T. Martin, L. Pettersson, J. Lorén, R. Erickson, J. Rahm, "A broadband circular antenna array", *FOA-R--99-01321-504--SE*, 1999.
- R. Roy, T. Kailat, "ESPRI—Estimation of signal parameters via rotational invariance techniques", *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. 37, pp. 984–995, July 1989.
- M. Steinbauer, A. F. Molisch, E. Bonek, "The double-directional radio channel", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 43:51-63, August 2001.
- C. M. Tan, F. Fletcher, M. A. Beach, A R. Nix, M. Landmann, R. S. Thomä, "On the application of circular arrays in direction finding — Part I: Investigation into the estimation algorithms", *1:st Annual COST 273 Workshop*, Espoo, Finland, 29–30 May 2002.
- C. M. Tan, M. Landmann, A. Richter, L. Pesik, M. A. Beach, Ch. Schneider, R. S. Thomä, A R. Nix, "On the application of circular arrays in direction finding — Part II: Experimental evaluation on SAGE with different circular arrays", *1:st Annual COST 273 Workshop*, Espoo, Finland, 29–30 May 2002.
- Å. Waern, P. Johansson, B. Lundborg, E. Löfsved, P. Sakari, "The communication channel in urban operations - A first survey", *FOI-R--0884--SE*, 2003.