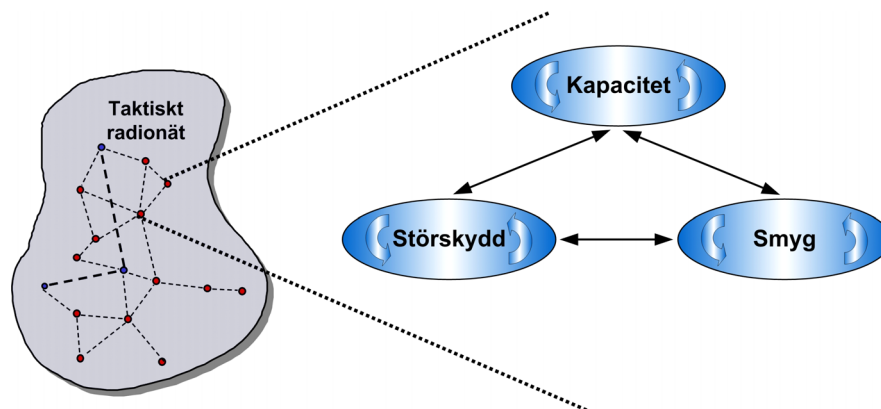


L. Ahlin, P. Johansson, A. Lindblad, S. Linder, K. Wiklundh

## Adaptiv radionod – ARN Slutrapport





TOTALFÖRSVARETS FORSKNINGSINSTITUT

Ledningssystem

Box 1165

581 11 Linköping

FOI-R--1429--SE

November 2004

ISSN 1650-1942

**Användarrapport**

L. Ahlin, P. Johansson, A. Lindblad, S. Linder, K. Wiklundh

# Adaptiv radionod – ARN

## Slutrapport



## Innehåll

<b>FÖRKORTNINGAR FÖREKOMMANDE I RAPPORTEN.....</b>	<b>4</b>
<b>1 INLEDNING.....</b>	<b>5</b>
BAKGRUND.....	5
MÅL OCH SYFTE MED PROJEKTET ADAPTIV RADIONOD.....	6
RAPPORTSTRUKTUR.....	7
<b>2 ADAPTION I EN RADIONOD.....</b>	<b>9</b>
KANALADAPTION.....	10
ADAPTIVA TEKNIKER.....	11
<b>3 SYSTEMMODELL.....</b>	<b>13</b>
RESURSKONTROLL.....	13
ANVÄNDARGRÄNSSNITT.....	14
KANALKOD.....	14
OFDM-MODULATION.....	14
TX/RX MODUL.....	14
ANTENNSYSTEM.....	14
SPACE-TIME PROCESSING.....	15
<b>4 DEMONSTRATION AV ADAPTIVA RADIONODER.....</b>	<b>17</b>
KORT BESKRIVNING.....	17
UPPBYGGNAD.....	18
ADAPTION I DEMONSTRATORN.....	19
<b>5 STÖRNINGARS PÅVERKAN PÅ DIGITALA RADIOSYSTEM.....</b>	<b>23</b>
KURTOSIS-METODEN.....	23
APD-METODEN.....	24
<b>6 EXPERIMENTELL VERKSAMHET OCH FÄLTFÖRSÖK.....</b>	<b>25</b>
UTRUSTNING OCH MÄTMETOD.....	25
FÄLTFÖRSÖK.....	26
RESULTAT.....	26
<b>7 SAMMANFATTNING.....</b>	<b>29</b>
FÖRSLAG TILL FORTSATTA ARBETEN.....	29
<b>PROJEKTETS PUBLIKATIONER.....</b>	<b>31</b>
<b>ÖVRIG RESULTATÖVERFÖRING TILL KUND.....</b>	<b>33</b>
<b>ÖVRIGA REFERENSER.....</b>	<b>33</b>

**Förkortningar förekommande i rapporten**

APD	Amplitude Probability Distribution
ARN	Adaptiv radionod, projektnamn
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BEP	Bit Error Probability, bitfelssannolikhet
Channel3D	Vågutbredningsmodell
CISPR	Comite International Spécial des Perturbations Radioélectriques Den internationella kommittén för radiostörningar
COTS	Commercial off the Shelf, kommersiell standardprodukt
FHS	Försvarshögskolan
FMV	Försvarets materielverk
FOI	Totalförsvarets forskningsinstitut
FoT	Forskning och teknikutveckling
FTK	Flygtaktiska kommandot
HKV	Högkvarteret
IR	Infraröd
IRE	Impulse Response Estimate
LOS	Line-of-sight
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MUD	Multi-User Detection
NBF	Nätverksbaserat försvar
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
OQPSK	Offset Quaternary Phase-Shift Keying
PN-sekvens	Pseudo Noise, slumpsekvens
PSK	Phase-Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quaternary Phase-Shift Keying
RASMUS	Experimentsystem för radiokommunikation vid FOI.
RMS	Root-Mean-Square, kvadratisk medelvärde
RX	Receiver, mottagare
RT90	Rikets koordinatsystem 1990
S1	Upplands regemente, Enköping
SCA	Software Communications Architecture
SDR	Software Defined Radio
SNR	Signal-to-Noise Ratio
TDMA	Time Division Multiple Access
TX	Transmitter, sändare

# 1 Inledning

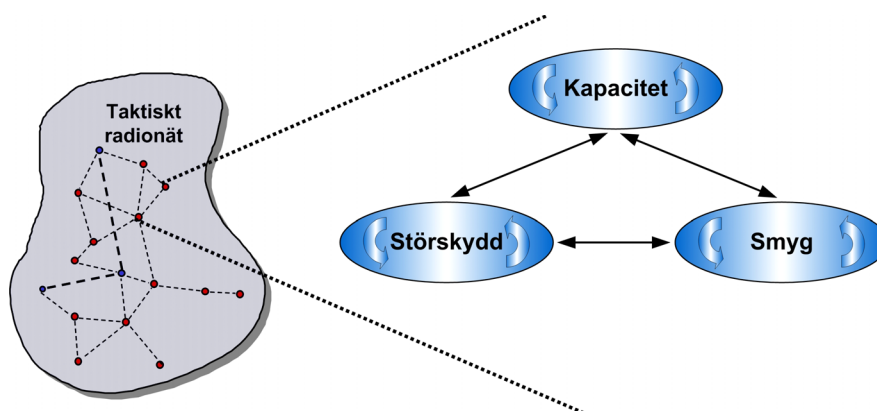
Syftet med denna rapport är att sammanfatta arbetet som har bedrivits inom projektet adaptiv radionod. Projektet har genomförts under tidsperioden 2002-2004 på uppdrag av Försvarsmakten inom FoT-området Spaning och Ledning. Till projektet har en referensgrupp med representanter från HKV, FMV, FHS, S1, FTK och Ericsson varit knuten.

## Bakgrund

Försvarsmakten står inför utmaningen att bygga upp ett flexibelt insatsförsvar där konceptet nätverksbaserat försvar (NBF) är en viktig byggsten. Kraven på och behoven av kommunikation för de olika framtida försvarsuppgifterna är idag inte fullt kända. I ett flexibelt insatsförsvar kommer en stor del av insatserna att ske med rörliga enheter och därmed är användarna beroende av en mobil kommunikationsinfrastruktur. NBF och skapandet av en gemensam lägesbild innebär ett kraftigt ökat informationsflöde vilket ställer krav på hög kapacitet, hög tillgänglighet och yttäckning hos kommunikationssystemet. I vissa situationer ställs dessutom krav på låg fördröjning.

Några av dessa krav ställs även normalt på den civila telekommunikationsinfrastrukturen och de uppfylls också i stor utsträckning i de fasta telenäten. För de mobila civila näten är det betydligt svårare (och kostsammare) att nå motsvarande prestanda som i de fasta näten även om det pågår en tydlig utveckling i denna riktning. Med de extra krav som en militär insats kräver (militära särkrav) och i vissa fall den miljö som en militär insats sker i, så är de mobila kommunikationerna en starkt begränsande faktor för realiseringen av ett flexibelt insatsförsvar. Ett ökat beroende av ledningssystemen medför också ett ökat krav på robusthet mot störning och ökad grad av tillgänglighet.

För den rörliga taktiska kommunikationen är den tekniska lösningen oftast någon form av radionät. Även andra tekniker som laser, IR, etc är möjliga som komponenter i nätstrukturen. Näten kan vara uppbyggda i en cellstruktur som i ett mobiltelefonisystem eller av ad hoc-typ där noderna själva förmedlar trafiken via sina närmaste grannar. För båda dessa typer av nät kan en struktur med adaptiva radionoder, där noderna själva kan växla mellan olika egenskaper beroende på vilka behov en användare har i just denna situation, ge stora vinster. Ofta är det behovet av att överföra mycket information (hög kapacitet) som är det viktigaste, men i vissa lägen kan scenariot ställa krav på ett kraftfullt störskydd eller på en dold signalering (smygförmåga).



**Figur 1.** Figuren illustrerar radiolänken mellan två noder i ett taktiskt radionät. I framtiden kommer det att vara möjligt att adaptera mellan olika nivåer av kapacitet, störskydd och smygegenskaper.

Noderna ska också kunna adaptera sig mot den aktuella signalmiljön, d.v.s mot förändringar i kanalens egenskaper och mot varierande störningsnivåer beroende på interferenser och/eller aktiva störare. Adaptiviteten åstadkoms genom att införa tekniska lösningar i sändar-mottagarstrukturen med möjlighet att både växla mellan olika tekniker och att variera ingående parametrar i stor utsträckning. I ljuset av NBF-utvecklingen tror vi att det viktigaste syftet med adaptationen är att kunna öka kapaciteten i radionoden och därmed i radionätet. Detta innebär att vi kan öka tillgängligheten för de tjänster som användaren efterfrågar. Inom både den civila och militära sektorn pågår en utveckling mot bredbandiga vågformer för att erhålla hög kapacitet i systemen. Utnyttjandet av adaptation medför att hög kapacitet kan erhållas i förhållande till tillgänglig bandbredd när betingelserna är goda.

Nyckeln till en möjlig implementation av en adaptiv radionod är utvecklingen av mjukvaru-definierad radio (Software Defined Radio, SDR) både med avseende på arkitektur och den tekniska utvecklingen av kretsar och processorer. Det är redan idag fullt möjligt att implementera de flesta radiofunktioner i mjukvara och i en öppen arkitektur, t.ex. enligt den amerikanska standardiserade mjukvaruarkitekturen, SCA (Software Communications Architecture). Detta möjliggör en flexibel radiolösning där adaptation mellan olika egenskaper utförs i mjukvara vilket är fundamentalt för realiseringen av avancerade adaptiva radionoder. Enklare adaptiva radionoder kan sannolikt göras utan SDR, där parallella implementeringar görs av t.ex. smygmod och kapacitetsmod direkt i hårdvara.

### **Mål och syfte med projektet adaptiv radionod**

Projektet adaptiv radionod (ARN) har studerat möjligheterna till adaptiv förmåga hos en radionod i en nätstruktur. Syftet med projektet har varit att påvisa de möjliga vinster som kan åstadkommas med adaptiva radiofunktioner och att få klarhet i hur olika tekniska lösningar fungerar i militära miljöer. Detta har skett genom att ta fram systemmodeller (systemförslag) innehållande tekniker med stor förmåga till adaptivitet. Den tekniska fokuseringen har varit mot nya innovativa signalbehandlingsmetoder med beaktande av att i så hög grad som möjligt använda den kommersiella teknik som växer fram inom den civila utvecklingen av framtida mobila trådlösa system (t.ex. 4G-system inom mobiltelefoni). Projektets fokus har varit, förutom att ta fram systemmodeller, att studera adaptiva tekniker och beskriva och implementera adaptationsprocessen i systemmodellen.

Komplexiteten i teknikerna och processerna innebär att det inte har varit möjligt att inom projektets ram få fram en fullständig systemlösning. Delar av en systemmodell har implementerats i mjukvara i en teknikkärna. Teknikkärnan innehåller kanalestimering, OFDM, adaptiv modulation och mottagningsdiversitet.

En viktig komponent i ett forskningsprojekt är att kunna påvisa effekterna av de metoder och tekniska lösningar som växer fram inom projektets ram. Framtagandet av en mjukvarudemonstrator har ingått i projektet med syftet att påvisa vinsterna med adaptation. Demonstrationen utgår från en förenklad systemmodell som innehåller ett begränsat antal adaptiva radiofunktioner. Demonstrationen är baserad på taktiska scenarier där inverkan från terrängen kan tydliggöras. Denna demonstration ska ses som ett första steg för att bygga upp en avancerad simulator som dels kan tjäna som ett verktyg för forskning och utveckling kring adaptiva funktioner och lämpliga systemlösningar och dels vara en plattform för att på ett tydligt sätt demonstrera möjligheterna med adaptivitet. Uppbyggnaden av demonstratorn sker etappvis genom en successiv utveckling och förädling av ingående tekniker och adaptiva funktioner.



## Rapportstruktur

Detta dokument är en sammanfattning och avrapportering av verksamheten inom projektet adaptiv radionod. Rapporten är översiktlig, detaljer återfinns i refererade publikationer. Dokumentet syftar också till att ge den intresserade en uppfattning om vilka adaptiva tekniker som kommer att vara möjligt att utveckla och värdera både i ett kort och ett långt perspektiv.

Dokumentet är uppbyggt på följande sätt: I kapitel två ges en generell beskrivning av adaptivitetetsbegreppet tillsammans med en kortfattad beskrivning av adaptiva tekniker. Kapitel tre innehåller en sammanfattning av den systemmodell som har använts som grund för studier av adaptiva tekniker. I kapitel fyra beskrivs utvecklingen av den demonstrator som har tagits fram i projektet och i kapitel fem ges en kort genomgång av aktiviteterna inom området störningars påverkan på digitala radiosystem. Inom projektet har också bedrivits en experimentell verksamhet, denna redovisas i kapitel sex. Slutligen återfinns en kort summering och framtidsvy i kapitel sju. Rapporten innehåller också en fullständig referenslista över rapporter och andra dokument som har publicerats inom projektets ram.

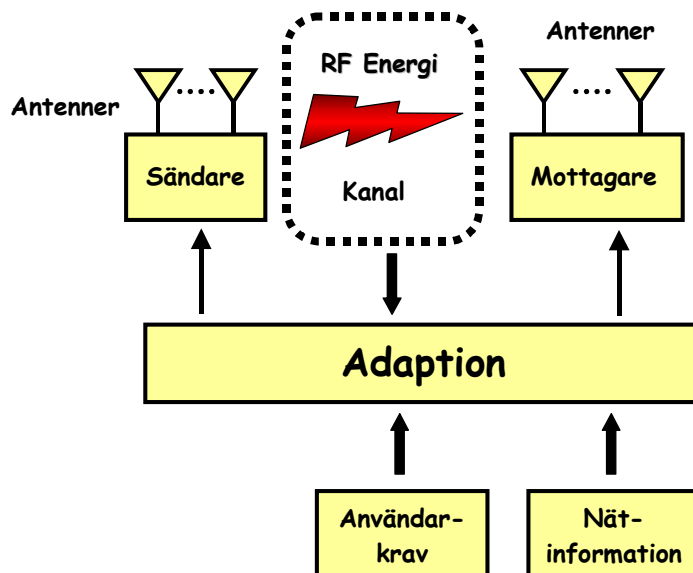


## 2 Adaption i en radionod

Syftet med att adaptera är att vid behov ändra radionodens inställningar för att erhålla bästa möjliga prestanda i det befintliga scenariot och för de krav som användarna har. Idag är de flesta radiolösningar optimerade för en specifik taktisk situation och miljö, t.ex. störskyddad kommunikation. Under perioder då radionoden inte är i behov av det störskydd den är designad för är detta ett stort slöseri med resurser, eftersom ett ökat störskydd ofta sker på bekostnad av kapaciteten. En adaptiv radio kan anpassa sig till en växlande signalmiljö med olika vågutbredningsförhållanden, interferenser och/eller fientlig störning. Nyckeln till adaption mot kanalen är kanalkunskap! Finns liten eller ingen kunskap krävs en design mot ett värsta fall. Med god kanalkunskap ges möjlighet att anpassa radiosystemet efter aktuella förutsättningar och en högre kapacitet kan erhållas när förutsättningar finns.

En adaptiv radio kan även anpassa sig till tjänster med olika krav på egenskaper som hög kapacitet, kort fördröjning eller låg bitfelshalt. En utförlig beskrivning av adaption och adaptionstekniker finns i [18].

En viktig fråga är hur en radionod ska adaptera för att prestanda för ett nät som helhet ska bli så bra som möjligt. Detta är en mycket komplex frågeställning och inom projektet har vi begränsat oss till att betrakta nodens prestanda. Även detta är en inte helt lätt uppgift eftersom noden består av ett antal systemdelar. Om en systemdel förändras påverkar detta andra systemdelar och bästa resultat erhålls inte om varje systemdel optimeras var för sig. Att nå en bra inställning av radionoden kräver stor kunskap om alla ingående tekniker, deras adaptionförmåga och prestanda, samt hur de interagerar med varandra.



**Figur 2.** Schematisk bild över adaption i en radionod.

Kraven på en adaptiv radionod kan komma från olika håll och tre nivåer för adaption har identifierats:

1. Adaption mot tjänst och användarkrav: Adaptering mellan kraven på kapacitet, strömförbrukning, felhalt, fördröjning, räckvidd och smygförmåga. Gemensamt för dessa är att de styrs av användarens krav på förmedlad tjänst.
2. Adaption mot kanal: Anpassning till radiokanal och signalmiljö, dvs. hantera fädning, interferens och störning så att aktuella tjänster kan upprätthållas.
3. Adaption mot nätet: Anpassning till tillgängliga nätresurser, t.ex. tillgänglig bandbredd, tid- och frekvensluckor. Fördelningen av nätresurser styrs av nätets totala kapacitet, nätets belastning och prioritet på meddelanden mm. Här behövs en förhandling mellan radionoden och nätkontrollen.

Figur 2 visar en översiktlig bild över adaption i en radionod och vad som är förutsättningar för adaptionen. Inom projektet har vi framförallt fokuserat på adaption mot kanalen och aktuell tjänst har gett målet för adaptionen, till exempel krav på bitfelshalt. Adaption mot nätet har inte undersökts närmare inom projektet. Det är dock ett intressant och viktigt område för fortsatta forskningsinsatser.

### Kanaladaption

Adaption mot kanalen kan delas upp i fem olika moment; *detektion*, *analys*, *slutsats*, *åtgärd* och *utvärdering*. Adaptionsprocessen börjar med att kanalen på något sätt förändras. Radionoden behöver först och främst upptäcka att en kanalförändring har inträffat (*detektion*), och därefter används olika estimeringsmått för *analys* av kanalen och för att fatta beslut om hur kanalen ser ut för tillfället (*slutsats*). Därefter beslutar den adaptiva radionoden om vilken *åtgärd* som är bäst att vidta i det befintliga scenariot. Slutligen behövs även olika mått som kan *utvärdera* resultatet efter åtgärden som vidtogs i respons mot kanalförändringen. Den här processen har vi kallat adaptionsloopen.

Tiden för genomförandet av adaptionsloopen är av central betydelse. Adaptionsloopen måste vara tillräckligt kort för att systemet ska vara stabilt. Det innebär att tiden, från det att radionoden detekterar en händelse till att den bytt till de nya inställningarna, måste vara kort i förhållande till förändringen av förutsättningarna, t.ex. variationer i radiokanalen. En långsamt utförd adaptionsloop i förhållande till kanalens förändringshastighet ökar risken för att radionoden ska bli instabil, vilket är oacceptabelt. Det innebär också att radionoden kan tvingas till större adaptionssteg, vilket i sin tur kan leda till försämrade prestanda. Noden måste även göra en avvägning mellan adaptionshastighet och noggrannhet i estimering av kanalförhållanden.

Adaptionen kan genomföras på olika sätt, antingen genom att sändare och mottagare förhandlar om en gemensam adaption eller genom att bara en part adapterar.

#### *Ensidig adaption*

Ensidig adaption utförs utan att motparten är medveten om när eller hur. Framförallt är det mottagaren som genom att analysera mottagen signal kontinuerligt kan anpassa sig till kanalens förändringar. Det kan ske genom att byta algoritmer, alternativt justera parametrarna i de använda algoritmerna, till exempel kan mottagaren växla mellan rumsdiversitet och lobformning utan att sändaren är inblandad.

#### *Förhandlad adaption*

Mottagare och sändare kommer överens om vilken signalutformning som ska användas. Det innefattar bland annat val av modulation och kodning. Som underlag

kan tidigare analyser som mottagaren gjort användas eller så sänds speciella testsignaler utifrån vilka kanalen kan estimeras.

Ensidig adaptation kan utföras betydligt snabbare än förhandlad, mottagaren kan till exempel byta vissa inställningar så fort den inser att något kan göras bättre. Till exempel kan fler iterationer i avkodningen användas om bitfelshalten är för hög, alternativt bara använda så många iterationer som behövs för att nå en viss felhalt. Vinsterna vid ensidig adaptation är dock i allmänhet mindre än vid förhandlad adaptation. Förhandlad adaptation sker på en längre tidsskala, information måste hinna föras över från mottagaren, där analysen oftast är gjord, till sändaren. Hur den förhandlade adaptationen går till beror mycket på hur nätet fungerar. I ett tidsdelat nät är det rimligt att den förhandlade adaptationen sker mellan olika tidluckor, det vill säga att tekniker som involverar både sändare och mottagare kan ändras mellan två tidluckor.

Det är viktigt att välja rätt fokus för adaptationen. I många sammanhang, t.ex. i ett mobilt ad hoc-nät, är det sannolikt att kapaciteten kommer att vara den begränsande faktorn. Målet är då att den adaptiva radionoden automatiskt ska adaptera sig och använda de inställningar som hela tiden ger högsta möjliga kapacitet under uppfyllandet av villkor på *tillräckligt* störskydd, *tillräckligt* låg bitfelshalt, *tillräckligt* låga fördröjningar etc.

### **Adaptiva tekniker**

Det finns en mängd olika sätt att adaptera i en adaptiv radionod, exempelvis genom att adaptera mellan olika tekniker eller genom att adaptera inom viss teknik (parameteradaptation). Ett exempel på tekniker som man kan adaptera mellan är hur en gruppantenn kan användas. Antennsystemet kan till exempel användas till klassisk lobformning för att förstärka signalen i en viss riktning, rumsdiversitet för att motverka fädningen på kanalen eller till spatiell multiplexering för att öka kapaciteten, allt beroende på signalmiljön och användarens önskemål. Ett exempel på en parameteradaptation i en teknik är adaptiv lobformning som kan användas i mottagaren för att placera nollställena i riktning mot störare.

Mängden adaptiva tekniker är stor och några exempel som används i civila fleranvändarsystem är effektkontroll och multi-user detection (MUD) för att på olika sätt förhindra att användare stör varandra. I en civil tillämpning finns även ett antal tekniker som utnyttjar flera av dimensionerna tid, frekvens och rum, ofta kallad space-time processing. Exempel är space-time coding och space-frequency coding.

Interferensundertryckning med adaptiv filtrering t.ex. "notch"-filter mot smalbandiga störningar förekommer i vissa system.

För att minska antalet bitar som ska överföras kan källkodning användas. Adaptiv källkodning kan användas till att anpassa komprimeringsgraden till kapaciteten på kanalen, de tillgängliga resurserna i nätet och det kvalitetskrav som användaren har.

Adaptiv modulation är en teknik som gör det möjligt att utnyttja bra kanalförhållanden till högre överföringskapacitet. För att få en bra robusthet kan adaptiv kanalkodning användas för att adaptera mot kanalförhållanden och olika tjänsters krav på bitfelshalt. För vissa tjänster är det möjligt att göra en avvägning mellan fördröjning och robusthet och utnyttja en variabel dataakt hos tjänsten för att uppnå användarens krav.

För ett ökat störskydd kan det vara önskvärt med någon bandspridningsteknik som frekvenshopp eller direktsekvens eller att adaptivt byta bärfrekvens vid störning. Graden av bandspridning kan vara adaptiv och det kan även bandbredden i ett system vara för att kunna anpassas till behovet av kapacitet, störskydd och smygegenskaper.

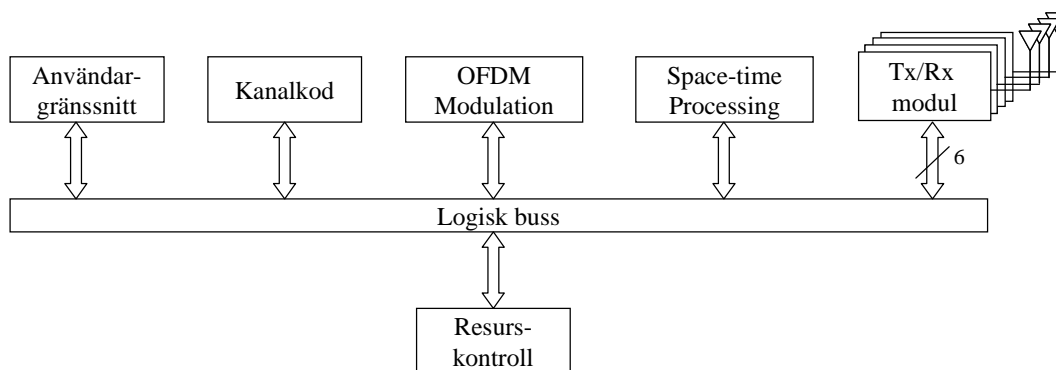


### 3 Systemmodell

I detta kapitel presenteras en sammanfattning av en systemmodell som beskriver inställningsmöjligheterna för en fordonsmonterad adaptiv radionod i ett mekaniserat förband. Radion antas arbeta i frekvensbandet 240 – 380 MHz med en maximal momentan bandbredd på 10 MHz. Systemmodellen ska inte ses som ett underlag för implementering av en radionod utan syftet med modellen är att skapa en struktur som kan ligga till grund för vidareutveckling, värdering, simulering och analys. Delar av systemmodellen finns implementerad i en mjukvarubaserad demonstrator, som beskrivs närmare i kapitel 4, och en utförligare beskrivning av systemmodellen finns i [9].

Grunden för systemmodellen är modulationsmetoden OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) med tillhörande kanalkodning och space-time processing. OFDM har valts för att den i grunden är en spektrumeffektiv teknik som kan göras robust mot både störning och fädning. Den medger också stor flexibilitet i valet av parametrar som bandbredd, symboltakt etc.

I figur 3 visas ett blockschema för sändtagaren i systemmodellen. Blockschemat följer strukturen för en mjukvarudefinierad radio där resurskontrollen väljer i vilken ordning operationerna på data ska utföras, t.ex. kan OFDM-modulationen utföras före eller efter space-time processing. Blocken i figur 3 är logiska funktioner, hårdvaruarkitekturen kan se helt annorlunda ut.



**Figur 3.** Schematisk bild av mjukvaruarkitektur för sändtagare i en adaptiv radionod.

#### Resurskontroll

Förutom att bestämma i vilken ordning funktionerna i den adaptiva radionoden ska utföras, bestämmer resurskontrollen hur stor del av radions resurser varje tjänst och användare ska få använda. De gemensamma resurserna utgörs av hårdvara (processorkapacitet, minne och fysiska databussar) och mjukvara (funktioner i form av kanalkod, modulation, space-time processing, logisk databuss etc.). Resurskontrollen ser också till att noden håller sig inom givna ramar vad det gäller energiförbrukning, utstrålad effekt, använt frekvensspektrum och andra radioparametrar som inte direkt bestäms av en enskild radionod.

## Användargränssnitt

Användargränssnittet är kopplingen mellan användaren och kommunikationssystemet, där användaren kan vara antingen en människa eller ett annat system. Gränssnittet utgörs av anslutningar till t.ex. mikrofoner, högtalare, datorskärmar, kameror eller lokala datornät. Användarna vill ha tjänster uppfyllda och det resulterar i krav på överföring av tal, video och data.

## Kanalkod

För dåliga kanalförhållanden finns en turbokod med två ingående faltningskodare. Några möjligheter till adaptation är att ändra kodens takt, punktering, interleaverns djup och antal iterationer i avkodaren. Utöver turbokoden finns en uppsättning blockkoder att tillgå som kan användas när förhållandena är goda eller när fördröjningen i turbokodningen blir för stor. För blockkoderna kan kodtakt, kodordslängd och symbolstorlek varieras.

## OFDM-modulation

Som modulationsmetod används OFDM där grupper av underbärvågor moduleras på samma sätt. Möjliga modulationsformer är QPSK, 8-PSK, 16-QAM och 64-QAM. Vid svåra kanalförhållanden används QPSK, som är en relativt robust modulationsform, vid bra kanalförhållanden används 64-QAM som ger en hög överföringskapacitet. På vissa underbärvågor sänds känt data, pilottoner, för att underlätta kanalestimeringen på mottagarsidan. Utöver modulationen på underbärvågorna kan antalet underbärvågor varieras och därmed signalens bandbredd.

## Tx/Rx modul

Tx/Rx-modulen är gemensam för både sändare och mottagare och det finns en modul för varje antennelement. I sändardelen (Tx) omvandlas signalen från digital till analog form, moduleras på en bärvåg, eventuellt kombinerat med frekvenshopp, och förstärks. I mottagardelen (Rx) sker filtrering, avhoppning och eventuell analog störundertryckning före digitalisering.

## Antennsystem

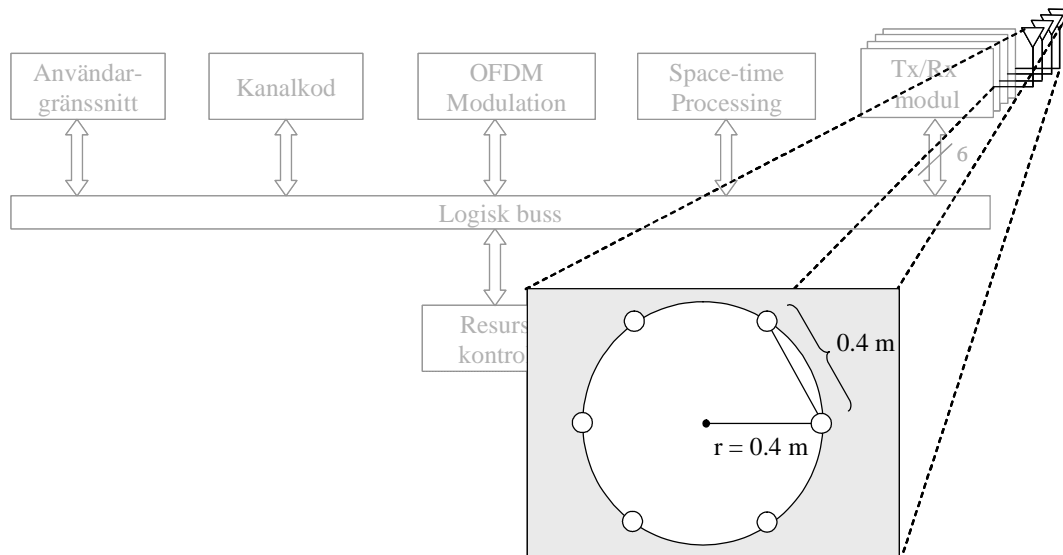
En gruppantenns geometri och antal möjliga antennelement begränsas kraftigt av plattformens storlek och utformning samt av frekvensen. Vi har valt att belysa tre olika alternativ.

Den enklaste konfigurationen i ett stridsfordon i dag, består endast av ett enkelt rundstrålande element.

De svenska stridsfordonen har fyra fästen för antenner, rektangulärt utplacerade där de inte utgör något hinder för t.ex. kanontornet. Dessa skulle kunna utnyttjas till en gruppantenn med fyra element.

För att erhålla en effektiv gruppantenn bör symmetri och storlek kopplas till våglängden. En cirkulär gruppantenn, som består av 6 (rundstrålande) antenspröt enligt figur 4 placerad ovanpå kanontornet, är en konfiguration som ger ett antennsystem med möjlighet till adaptiv störundertryckning, förbättrad antennvinst och minskade interferenser.





**Figur 4.** Cirkulär gruppantenn sedd från ovan med 6 element för frekvensområdet 220 – 380 MHz. Varje antennelement är ungefär 25 cm långt och separerade en halv våglängd vid den högsta frekvensen.

### Space-time processing

I ett antensystem som är arrangerat i en viss geometri kan signalerna från varje element kombineras i tid och rum med hjälp av signalbehandling. Det finns flera olika signalbehandlingsmetoder som den adaptiva radionoden kan använda sig av. Vilka metoder som används under olika förhållanden beror i huvudsak på gruppantennens utformning, taktiskt scenario, radiokanalen samt signalmiljön.

Diversitet innebär att man utnyttjar att antennelement som är tillräckligt långt ifrån varandra upplever olika kanaler när de tar emot samma utsända signal. Därigenom minskar inverkan av överföringsmediet på den mottagna signalen. Sändningsdiversitet kan också skapas genom samtidig sändning på flera antennelement.

Lobformning kan användas vid både sändning och mottagning. Genom lobformning i mottagaren kan signaler från olika infallsriktningar förstärkas eller "nollas" ut (undertryckas). Vid sändning riktas utsänd effekt mot mottagaren för att få längre räckvidd, högre kapacitet eller för att spara på uteffekten. Dessutom minskar upptäcktsrisken eftersom utstrålad effekt i andra riktningar än sändningsriktningen minskas.

Spatiell multiplexering är en teknik som lämpar sig väl i miljöer med kraftig flervägsutbredning. Metoden utnyttjar den svåra miljön för att ge kapacitetsvinster. Om flervägsutbredningen är tillräckligt kraftig kan radioöverföringen mellan de olika antennelementen på sändar- och mottagarsidan ses som ett antal separata radiokanaler som informationen matas genom. Det ger möjlighet till att sända informationen parallellt i rummet. Spatiell multiplexing förutsätter multipla antenner i både sändare och mottagare, d.v.s ett MIMO-system.



## 4 Demonstration av adaptiva radionoder

En mjukvarudemonstrator för adaptiva radionoder har utvecklats. Demonstratorn är både ett verktyg för forskning och utveckling kring adaptiva funktioner och lämpliga systemlösningar och en plattform för att på ett tydligt sätt demonstrera möjligheterna med adaptivitet i en framtida militär radionod.

Syftet med demonstratorn är att med hjälp av simulering påvisa:

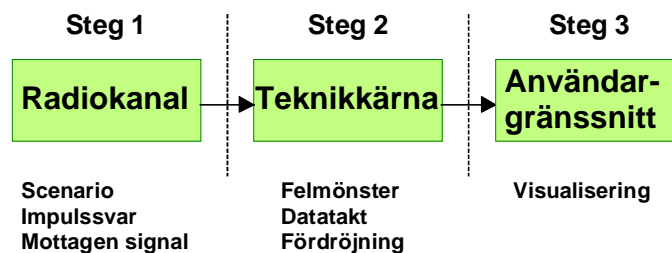
- möjliga prestandavinster med adaptivitet,
- realiserbarheten hos de tekniska lösningarna,
- tekniska utmaningar och ge underlag för forskningsinsatser.

### Kort beskrivning

Ett av målen med demonstratorn är att påvisa de prestandavinster på länknivå som adaptiva radionoder ger jämfört med radionoder utan adaptionsförmåga. I teorin ger en adaptiv radionod stora prestandavinster och redan idag finns olika former av adaptivitet i civila system och standarder. Det återstår att visa att stora vinster kan uppnås också under de speciella förutsättningar som en militär radionod arbetar under.

Demonstrationen är baserad på en taktisk situation och genomförs med utgångspunkt från en geografisk beskrivning (karta). Vi har möjlighet att simulera en kommunikationslänk mellan sändare och mottagare med adaptiv förmåga.

Demonstratorn är uppbyggd av tre huvuddelar; en radiokanal, en teknikkärna och ett användargränssnitt, se figur 5. Teknikkärnan innehåller en systemmodell med ett antal implementerade tekniker, vissa adaptiva och andra inte. För att kunna jämföra olika system ges möjlighet att koppla in och ur olika tekniker och att ställa in ett antal parametrar för respektive teknik. Demonstrationen ger en jämförelse mellan prestanda för ett adaptivt system med prestanda för ett icke-adaptivt system.



**Figur 5.** Figuren visar uppdelningen i demonstratorn mellan radiokanal, teknikkärna och användargränssnitt.

I demonstratorn kan realtidsöverföring av video visas både för ett adaptivt system och ett icke-adaptivt system. Skillnaden i kvalitet på överföringarna visas visuellt, men även olika kvalitetsmått för överföringen kan visas, till exempel bitfelshalt och överföringshastighet (kapacitet). Överföringen sker mellan två radionoder som rör sig i en terräng så inverkan från rörelsen och terrängen påvisas också.

## Uppbyggnad

Att simulera en komplett radionod i realtid är mycket beräkningstungt. Därför har simuleringen delats upp i tre steg.

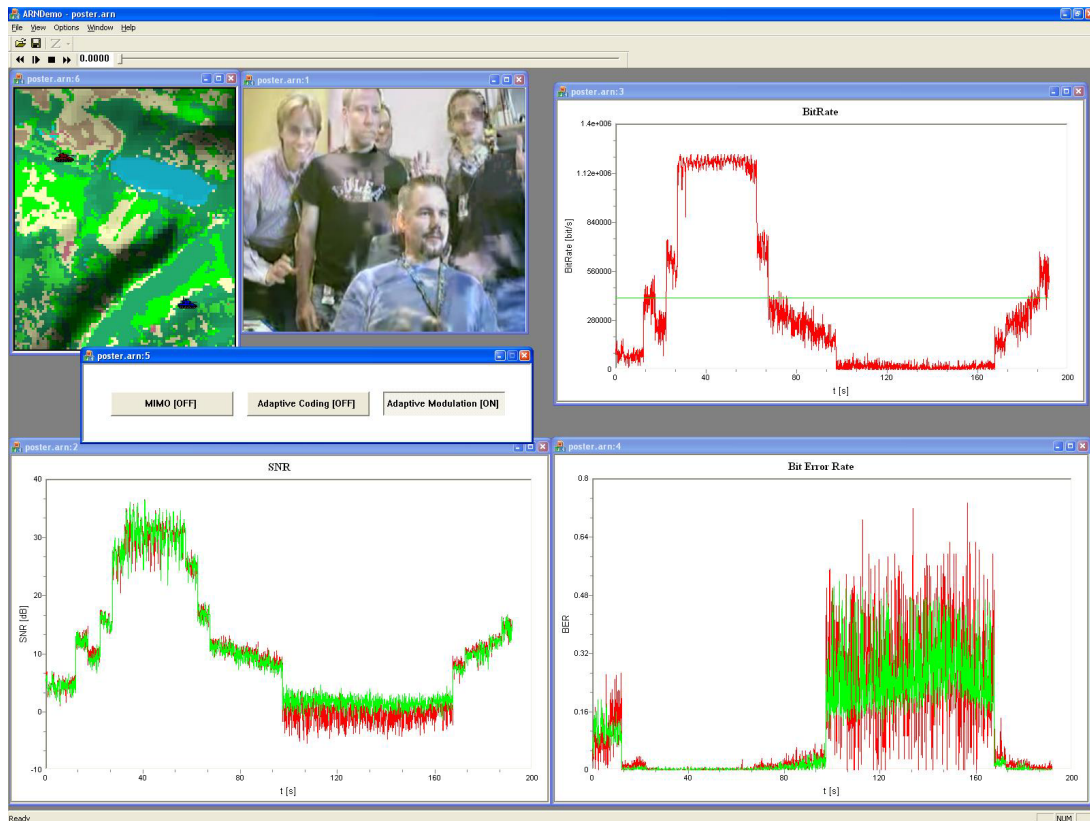
**Steg 1:** Ett taktiskt scenario bestäms. Detta inkluderar bland annat signalmiljö, sändarens och mottagarens positioner och rörelse, och positioner för eventuella fientliga störare. Utifrån det taktiska scenariot bestäms radiokanalens egenskaper genom simulering eller med hjälp av uppmätta impulssvar. Simuleringarna utförs med hjälp av Channel3D som är en kartdatabaserad vågutbredningsmodell [33]. Då kanalens egenskaper varierar beroende på nodernas position och rörelse måste impulsvaret bestämmas för varje tidsögonblick under den tid som händelseförloppet pågår.

**Steg 2:** Tekniskärnan omfattar all radiorelaterad signalbehandling inklusive adaption i sändaren och mottagaren. Det här steget är speciellt framtaget för att det ska vara enkelt att prova nya adaptiva tekniker och metoder för att förbättra kommunikationen. I sändaren beräknas utsänd signal som sedan påverkas av kanalens impulssvar, störningar och brus. I mottagaren justeras de olika adaptiva teknikerna och kommunikationsresultatet räknas fram, bl.a. felmönster och fördröjningar.

**Steg 3:** Användargränssnittet använder resultaten från steg 1 och 2 för att visa effekten av adaptionen genom att visualisera resultaten.

Användargränssnittet visas i figur 6 och består av fyra huvuddelar.

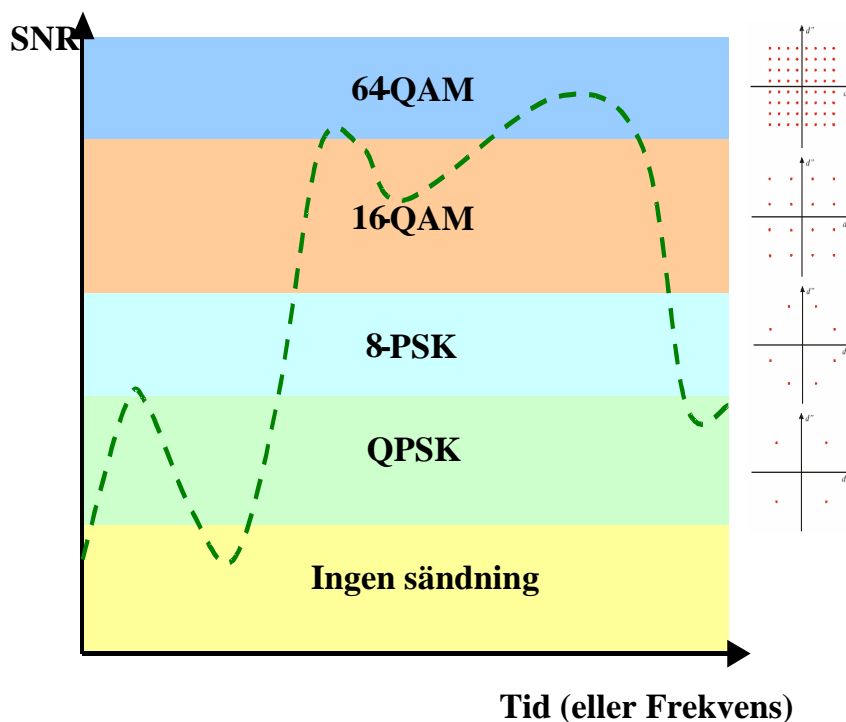
1. Ett fönster som visar en karta och nodernas placering och rörelse i terrängen. Härigenom visas hur miljön påverkar radionoderna och hur noderna adapterar mot förändringar i terrängen.
2. I ett fönster kan användaren styra adaptionen genom att koppla in och ur olika adaptiva tekniker.
3. Ett eller flera fönster som presenterar prestanda för det adaptiva respektive icke-adaptiva systemet till exempel bitfelhalt och bithastighet för respektive överföring.
4. Slutligen visas hur nyttotrafiken påverkas, bl.a. kan vi visa hur en videoförbindelse påverkas i realtid.



**Figur 6.** Figuren visar ett exempel på vad användargränssnittet i demonstratorn kan illustrera. En karta med två noder, en realtidsvideo, en panel med valbara adaptionsmetoder och kurvor visande momentana prestanda på länken.

### Adaption i demonstratorn

Grunden i demonstratorn är OFDM med ett fixt antal underbärvågor. I den första utvecklingen av demonstratorn har vi valt att adaptera den modulation som används på de olika underbärvågorna. I en framtida utveckling kan många andra parametrar i OFDM-strukturen adapteras. Underbärvågor med lågt SNR moduleras med en robust modulationsform (få bitar per symbol) vilket ger lägre kapacitet. På underbärvågor med högt SNR skickas många bitar och därmed ökar kapaciteten. Principen för adaptiv modulation visas i figur 7. I ett OFDM-system kan adaptiv modulation genomföras på ett antal olika sätt, några av dem har undersökts i [18]. Till exempel kan ett antal underbärvågor adapteras tillsammans i en grupp. Extremfallen är att alla underbärvågor har samma modulationsform under en OFDM-symbol eller att varje underbärvåg får den modulationsform som är bäst för egen del. Små grupper ger ofta högre kapacitet eftersom anpassningen till kanalen blir bättre, däremot ställer det högre krav på estimeringen av kanalen och mängden information som måste föras över till sändaren (förutsatt att mottagaren tar beslut om modulationsform).



**Figur 7.** Figuren visar hur modulationen kan adapteras för att utnyttja kanalens varierande signalbrusförhållande.

Effekt	25 W
Bandbredd	5,12 MHz
OFDM-underbärvågor	1024 stycken
Andel pilottoner	8 %
Modulationsformer	QPSK, 8-PSK, 16-QAM, 64-QAM
OFDM-symboltid	200 $\mu$ s
Guard-tid	50 $\mu$ s
Total symboltid	250 $\mu$ s
Tidlucka	4 ms
Ramtid	80 ms

**Tabell 1.** Inställningar för teknikkärnan i demonstratorn.

I tabell 1 anges några inställningar för teknikkärnan i demonstratorn. Det är värt att nämna att parametrar i OFDM-schemat inte är optimerade, utan vinster skulle kunna göras genom att minska overheaden. Demonstrationen visar ett scenario i Älvdalen med svåra vågutbredningsförhållanden. Radionoden jobbar i ett tänkt TDMA-schema med återkommande tidluckor med 80 ms mellanrum. I det här tänkta TDMA-schemat är den högsta nyttobittakten som användaren kan få för en tjänst 1,23 Mbit/s om alla bärvågor moduleras med 64-QAM. Som

sämst kan användaren råka ut för att inte kunna överföra några data över huvud taget om förhållandena är för dåliga.

Som mått på hur bra kanalen är för den adaptiva modulationen har signal-brusförhållandet (SNR) i mottagaren använts. En estimeringsalgoritm för SNR har implementerats i teknikkärnan. Det finns även en mängd andra olika estimeringsmått som skulle kunna användas för att förbättra en adaptiv radionods kännedom om kanalen och därmed förmågan att adaptera på ett bra sätt.

I demonstratorn märks den ökade kapaciteten som en förbättring av kvaliteten på videoöverföringen genom att fler paket kan skickas över kanalen. En annan effekt är att en mer kraftfull kanalkodning kan användas då kapaciteten ökar, d.v.s vi har råd att använda fler paritetsbitar. I demonstratorn används två olika felrättande koder, en som alltid används av det statiska systemet och av det adaptiva systemet vid lägre bittakter, och en mer kraftfull kod som används av det adaptiva systemet vid högre bittakter. En förbättring av videokvaliteten kan då ses för det adaptiva systemet vid höga SNR, både genom en höjd kapacitet och en lägre bitfelshalt. Adaption av det här slaget innebär en avvägning mellan felrättningsförmåga och kapacitet och skulle kunna förbättras avsevärt med fler typer av koder eller en mer sammanlänkad adaption av kodning och modulation.

I demonstratorn kan även rumsdiversitet kopplas in genom att flera mottagarantennor används. Diversiteten ger en vinst i form av ett högre och stabilare SNR i mottagaren. Höjningen av SNR kan ge en kapacitetsvinst genom att adaptiv modulation används. Ett stabilare SNR över tiden innebär ofta att bitfelshalten sjunker eftersom skillnaden mellan det estimerade SNR som adaptionen grundar sig på, och det verkliga SNR då överföringen sker, blir mindre.





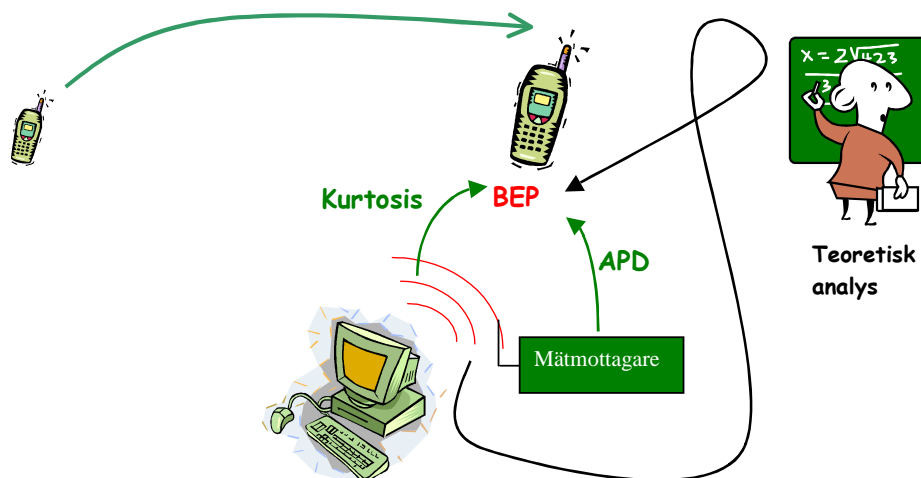
## 5 Störningars påverkan på digitala radiosystem

Störningar från intilliggande elektroniska utrustningar kan avsevärt försämra möjligheten för en radiomottagare att ta emot information. Det är därför viktigt att veta hur mycket dessa störningar försämrar kommunikationskvaliteten. Situationer som riskerar att ge en otillräcklig kommunikationsförmåga bör i förväg kunna predikteras och eventuellt förhindras.

Att bestämma påverkan på ett digitalt kommunikationssystem från elektromagnetiska störningar kräver ofta relativt komplexa beräkningar och analyser. Speciellt i beräkningsverktyg för telekonfliktanalyser kan dessa metoder vara för komplexa för att användas. På grund av detta finns ett stort behov av approximativa metoder som inte är lika beräkningstunga men ändå ger tillförlitliga resultat.

En ofta använd approximation vid estimering av den bitfelshalt som orsakas av interferenser i digitala kommunikationssystem är att behandla interferensen som om den vore additivt vitt gaussiskt brus. Approximationens giltighet varierar dock kraftigt för olika typer av interferenser. En felaktig använd AWGN-approximation kan både leda till över- eller underskattning av bitfelshalten.

Två mått eller metoder för att analysera störningssignaler har undersökts: kurtosis-metoden och APD-metoden, de visas schematiskt i figur 8 tillsammans med alternativet teoretisk analys.



**Figur 8.** Schematisk bild över olika möjligheter att bestämma bitfelssannolikheten (BEP) i en radiomottagare.

### Kurtosis-metoden

Det ena måttet som undersökts är kurtosis som är ett statistikmått av högre ordning. AWGN-approximationens giltighet har undersökts genom att simulera bitfelssannolikheten för en radiomottagare när den störts av olika typer av signaler. Både inverkan från modulerade och pulsade signaler har undersökts. Det visade sig möjligt att använda kurtosis som kvalitetsmått på approximationen [12], [13], [14].

Vi har skattat kurtosis för olika typer av pulsade signaler, både analytiskt och från simuleringar. Överensstämmelsen är bra mellan de simulerade och de analytiska värdena. Med hjälp av kurtosis har vi skapat en metod för att skatta bitfelssannolikheten i en mottagare för olika sorters störningar [15], [16]. Metoden hanterar både störande modulerade signaler

och pulsade signaler. Med hjälp av kurtosisvärdet för en signal avgörs ifall signalen kan approximeras som additivt vitt gaussiskt brus (AWGN) för att beräkna bitfelssannolikheten eller inte. Om AWGN-approximationen inte kan användas har vi typiskt en pulsad signal och då används två olika metoder för att beräkna bitfelssannolikheten beroende på om pulsens varaktighet är kortare eller längre än bittiden för kommunikationssignalen.

Den föreslagna metoden har använts för att beräkna bitfelssannolikheten för olika typer av signaler, både pulsade och modulerade, och resultaten visar god överensstämmelse med gjorda simuleringar. Slutsatsen är att den approximativa metoden efter viss utveckling kan användas i ett telekonfliktverktyg där beräkningsmetoder med låg komplexitet behövs.

### **APD-metoden**

Det andra måttet som har studerats är Amplitude Probability Distribution (APD). APD har diskuterats inom CISPR (The International Special Committee on Radio Interference, internationellt standardiseringsorgan) som ett möjligt mått på oavsiktligt utstrålad elektromagnetisk energi från elektrisk utrustning. Den uppmätta APD:n ger information om störningssignalens fördelning efter mellanfrekvensfiltret i en mottagare. APD:n av en störningssignal har visat sig vara relaterad till den påverkan störning har på en digital radiomottagare. Det gör att APD:n fungerar bra som störningsmodell för många ändamål [22]. En metod har tagits fram för att kunna bestämma den resulterande bitfelssannolikheten genom att ta hänsyn till informationen från den uppmätta APD:n [21],[25]. Metoden bygger på konventionella felsannolikhetsuttryck som är kompletterade med information från den icke-gaussiska störningssignalen. Detta gör det möjligt att analysera den påverkan en uppmätt interferensmiljö får på en radiomottagare.

Även APD:ns beroende av den använda mätbandbredden har analyserats. Eftersom mätbandbredden påverkar den mottagna signalen, påverkas även APD:n av den använda mätbandbredden. En metod har därför tagits fram för hur APD:n bör justeras om bandbredden hos mätmottagaren och den aktuella radiomottagaren skiljer sig åt [27]. Metoden är utvecklad för två relevanta störningsmodeller, som är applicerbara på störningskällor av pulsad karaktär. Korrelationen mellan den uppmätta APD:n hos störningssignaler och dess påverkan på digitala radiomottagare gör det även möjligt att definiera emissionskrav på elektriska utrustningar. Det kan visas att den maximala bitfelshalten en störningssignal kan generera är direkt relaterad till APD:n hos samma störningssignal för okodade system [23], [26].

Arbetet har bedrivits i samarbete med Chalmers och resulterat i en licentiatavhandling hösten 2003 [24].

## 6 Experimentell verksamhet och fältförsök

Fältförsök med mätningar behövs för en realistisk värdering av olika adaptiva tekniker i för militären intressanta scenarion och frekvensområden. En förbättrad kanalkunskap behövs, inte i första hand för att ge en fysikalisk beskrivning av radiokanalen, utan för att kunna värdera hur kanalens spatiala och temporala egenskaper påverkar ett adaptivt radiosystem.

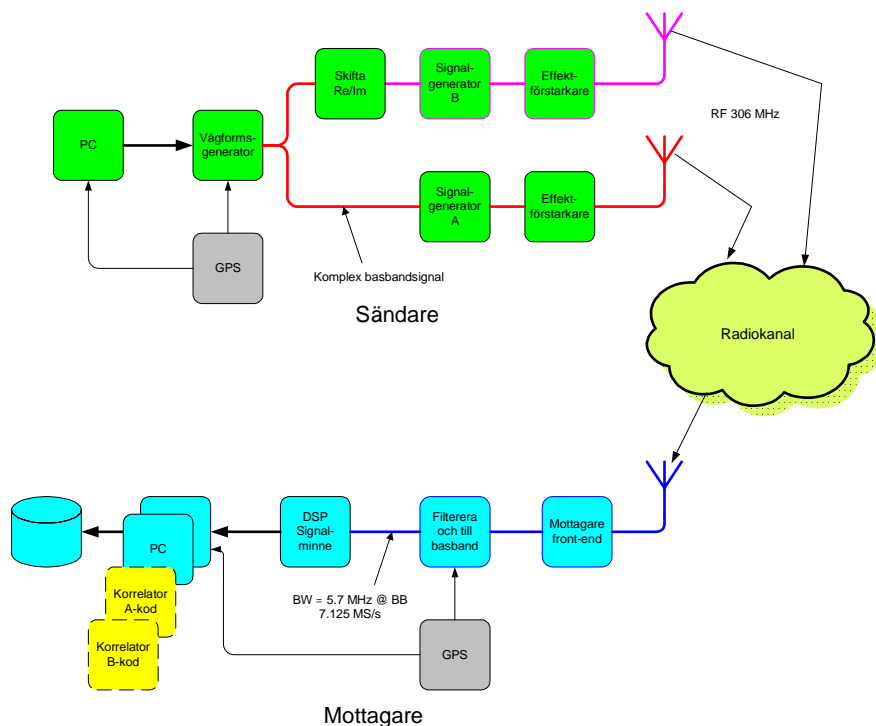
En viktig frågeställning är: Hur korrelerar kanalens impulssvar mellan två antenner som funktion av avståndet mellan dem i olika miljöer? Svaret på den frågan är avgörande om vinster kan göras med rumsdiversitetssystem eller MIMO-system. Också viktigt är att få tillgång till experimentella kanaldata för de frekvensband och antennhöjder som är intressanta för militära radiosystem.

Ambitionen var att genomföra försöken stegvis med början på labb för att med kanalemulator verifiera experimentutrustningen, fortsätta med ett inledande försök med syftet att ge underlag för planeringen av fortsatta försök, t.ex. avseende antennavstånd, hastigheter, terräng, mm, och att ta fram lämplig mjukvara för analys av intressanta kanalegenskaper.

En planering har gjorts för fortsatta försök vilka skiljer sig från de inledande försöken i huvudsak när det gäller val av försöksmiljöer, antennhöjder samt när det gäller mottagarens mobilitet. Tyvärr har resurserna inte räckt till för att genomföra fortsatta försök.

### Utrustning och mätmetod

Ett befintligt experimentsystem kallat RASMUS modifierades för att möjliggöra mätning av kanalens impulssvar med två simultana sändningar över något separerade antenner [10], [32]. Metoden bygger på korrelation mellan mottagen och utsänd signal.



**Figur 9.** Försöksutrustningen för spatial kanalmätning. Sändardelen av RASMUS modifierades till två kanaler och placerades i en bil.

En pseudonoise- (PN) sekvens används som mätsignal och OQPSK-moduleras på bärvågen. Genom att skifta real- och imaginärkomponenten kan ytterligare en signal som är ortogonal mot originalsignalen skapas vilken tillförs den andra antennen. På så sätt kan två simultana impulssvar mätas. Mätsignalen utnyttjar i det närmaste RASMUS hela bandbredd (5,7 MHz) och har en upprepningstakt på exakt 1 ms.

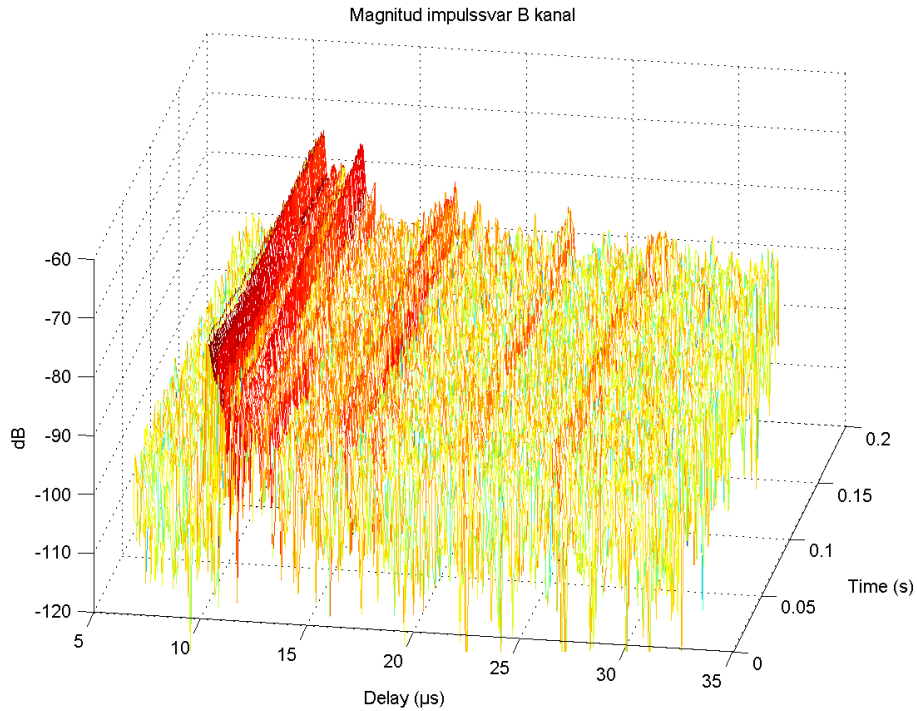
### **Fältförsök**

Efter lyckade labbförsök genomfördes juni 2003 inledande försök. Mottagaren var placerad i FOI:s byggnad i Linköping, med antenn på taket. Sändaren placerades i en bil som körde olika rutter i och omkring Linköping. Samma rutter upprepades med olika avstånd mellan sändarantennerna. Antennavstånden var 0,5 m, 1 m eller 2,5 m vilket motsvarar samma siffror i våglängd. Frekvensen var 306 MHz och uteffekten ca 5 W. Mätningar gjordes efter två olika scheman. Ett schema med en 200 ms mätning var femte sekund och det andra schemat med en fyra sekunder mätning var 60:e sekund.

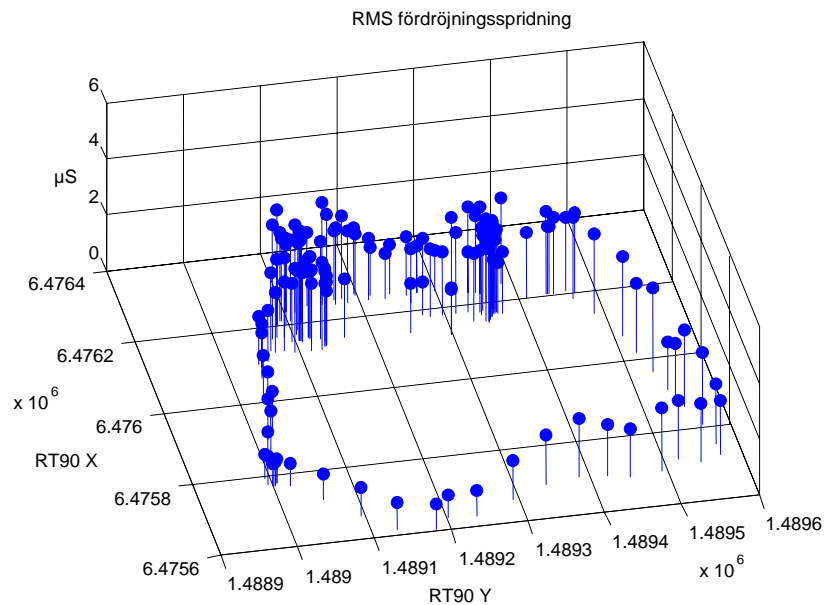
Rådata och positionsuppgifter sparades för efterarbetning och analys.

### **Resultat**

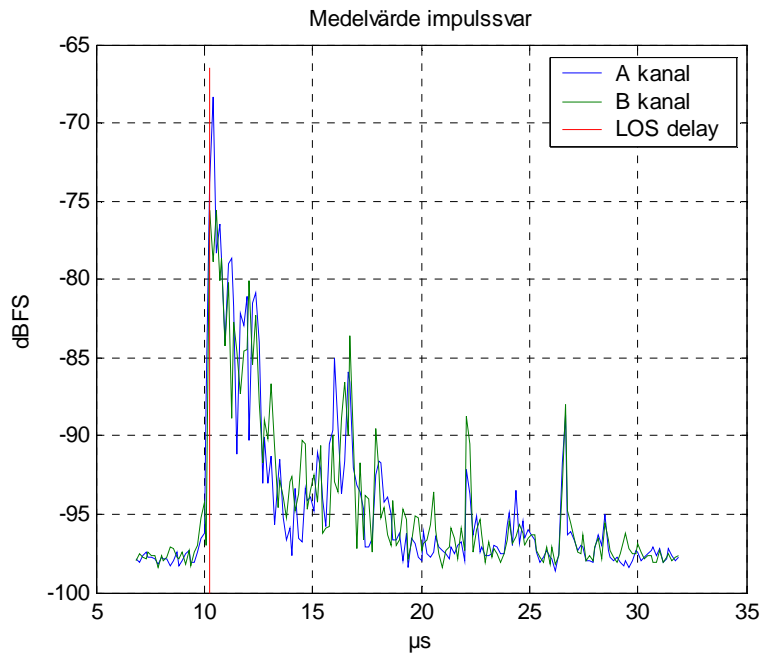
De inledande försöken gav kunskap om vågutbredningsförhållandena för scenariot med två lågt placerade sändarantennor och en högt placerad mottagarantenn. Figur 10 till figur 13 visar exempel på mätresultat från mätningarna. I [11] redovisas genomförandet och framtagna resultat från hela fältförsöket. I figur 10 ser man ett exempel på uppmätta impulssvar som funktion av tiden under en registrering. Figur 11 ger en bild av att omfattningen av flervägsutbredning varierar med platsen för sändningen. Av figur 12 framgår att impulssvaren är ganska lika för signalerna som sänts över respektive antenn. I ett försök att åskådliggöra de båda kanalernas inbördes fas- och amplitudförhållande visas i figur 13 den komplexa korrelationskoefficienten mellan kanalerna. Man kan se en tydlig variation under en 4 sekunder lång mätning. Allmänt kan sägas att mätdata är av god kvalitet och att flervägsutbredningen var stor. Vi fann en tydlig skillnad i kanalernas korrelation beroende på mätrutt, dvs. i vilken miljö sändaren befann sig, men en obetydlig skillnad beroende på antennavstånd.



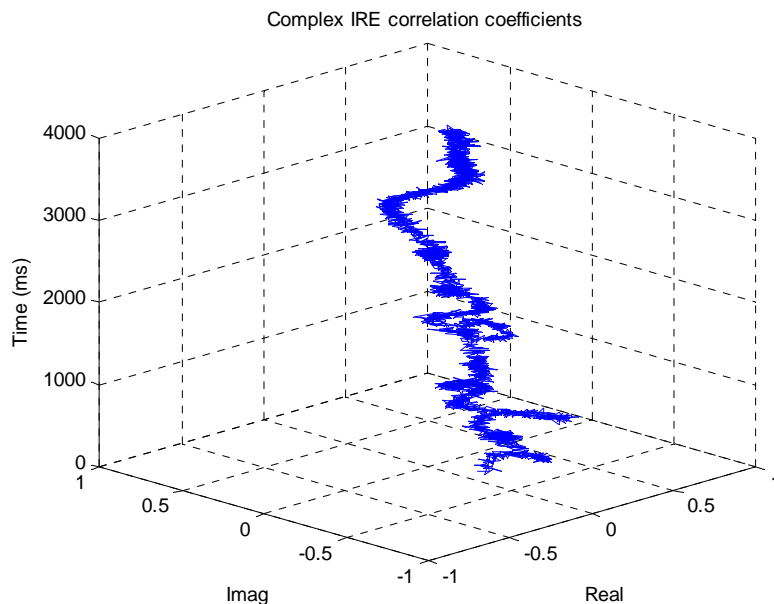
**Figur 10.** Mätresultat när sändarbilen kör med farten 1,4 m/sek centralt i Linköping. Ett impulssvar registreras per msec och frekvensen är 306 MHz. Mottagarantennen befann sig på FOI:s tak ca 3 km bort. X-axeln visar impulssvarets fördröjning i  $\mu$ sek absolut tid, Y-axeln magnituden för impulssvaret graderad i dB relativt full utstyrning av mottagaren. Z-axeln visar mättid.



**Figur 11.** Fördröjningsspridning ( $\mu$ sek) vid samma försök i centrala Linköping. "Nålar" är utplacerade på de koordinater där sändning gjordes, deras höjd motsvarar uppmätt fördröjningsspridning (RMS). Koordinatsystemet är RT90.



**Figur 12.** Figuren visar medelvärde av impulssvarens magnitud under en sändning. Fördröjningen är angiven i absolut tid, ett rött streck anger beräknad utbredningsfördröjning. Y-axeln är graderad i dB full utstyrning av mottagaren. Avser en 200 ms registrering när sändarbilen kör med farten 1,4 m/s centralt i Linköping (korsningen Drottninggatan och Djurgårdsgatan). Med A- och B-kanal avses de signaler som utsänds över respektive antenn, se figur 9.



**Figur 13.** Den komplexa korrelationskoefficienten mellan A- och B-kanal beräknat för varje impulssvar under en fyra sekunders mätning. Projektionen mot golvet i figuren visar korrelationskoefficienten för impulssvaren.

## 7 Sammanfattning

Projektet adaptiv radionod har pågått i tre år under perioden 2002 – 2004. Syftet med projektet har varit att utveckla och värdera tekniklösningar som kan skapa adaptiva förmågor i ett taktiskt radionät. Projektet har huvudsakligen arbetat på länknivå men med övergripande mål att även ta hänsyn till nätets struktur och användarnas behov. Adaptivitet var ett nytt område varför projektet har inneburit ett stort mått av kompetensutveckling speciellt under det första året. Projektets mål har varit att få kunskap om möjliga vinster med adaptivitet samt att få en kunskap om hur nya tekniska metoder kan fungera i militära miljöer. Detta har skett genom att ta fram systembeskrivningar, göra fältförsök och testa olika lösningar i en mjukvarudemonstrator. Inom projektets ram har också störningars inverkan på digitala radiosystem undersökts.

Projektets fokus har varit inriktat på adaptivitet och att skapa adaptivitet på länknivå genom att använda avancerad radiosignalbehandling. En systemmodell med modulationsmetoden OFDM som bas har byggts upp i mjukvara tillsammans med möjlighet till adaptiv modulation och mottagningsdiversitet. Som modell för radiokanalen används en vågutbredningsmodell med indata från en kartdatabas. Delar av systemmodellen utgör teknikkärnan i den demonstrator som har utvecklats under projektets sista år. För att verifiera modellantaganden om kanalen har fältförsök utförts för att utreda möjligheterna med enkla MIMO antensystem. Adaptiva tekniker på länknivå för taktiska radiokommunikationssystem har undersökts. Arbetet som behandlar icke-gaussiska störningars inverkan på digitala radiosystem har resulterat i en licentiatavhandling.

### Förslag till fortsatta arbeten

Det finns ett stort antal möjligheter till fortsatt verksamhet med de forsknings- och utvecklingsidéer som har genererats inom projektet. Den demonstrator som har utvecklats ska ses som ett första steg i en utveckling. Ytterligare moduler bör tillföras och simuleringar med flera varianter av adaptation bör genomföras. Demonstratorn bör också utnyttjas även i fortsättningen för att demonstrera effekterna av adaptivitet med olika tekniska lösningar.

Centralt för taktisk kommunikation är att få fram prestanda i en nätmiljö. Att undersöka vad adaptivitet innebär för nätprestanda är viktigt. Nätanalyser bygger ofta på mycket enkla beskrivningar av noderna i nätet. För att uppnå en betydligt bättre värdering av ett näts prestanda kan bättre modeller av radionodens egenskaper användas. Aspekter som kapacitet, störskydd, smygförmåga över nätets infrastruktur behöver utredas. Användning av MIMO-system och effekterna av att adaptera många tekniker och tekniska parametrar samtidigt behöver utredas. De fältförsök som har genomförts har varit av inledande karaktär. Det behövs ytterligare mätningar och analys av mätdata för att få en ökad förståelse av kanalens egenskaper bland annat vid användning av MIMO-system. Användning av kommersiella system (COTS) diskuteras flitigt inom Försvarmakten. Det behöver undersökas närmare vilka risker som är förknippade med samlokalisering av elektriska utrustningar och ett ökat användande av trådlösa kommunikationssystem. För att göra detta bör förenklade metoder utvecklas för telekonfliktanalys.





## Projektets publikationer

- [1] L. Ahlin, F. Eklöf, P. Johansson, A. Lindblad, S. Linder, L. Pääjärvi, "Lägesrapport, Adaptiv RadioNod (ARN), genomförd verksamhet våren 2002", FOI-MEMO--02-1706--SE, juni 2002.
- [2] L. Ahlin, P. Johansson, S. Linder, L. Pääjärvi, J. Rantakokko, H. Tullberg, "Demonstration av adaptiv radionod", FOI-R--1208--SE, mars 2004.
- [3] M. Andersson, "Förbättrad lobformning i cirkulära gruppantenner", FOI-D--0092--SE, 2002.
- [4] M. Ek, "Flexibel kommunikation med mjukvaruradio", Framsyn, nr 4, s 42-43, 2004.
- [5] F. Eklöf, "On the performance of the eigenvector correlation algorithm for a TDMA communication system", FOI-S--0892--SE, Symposium on smart antennas RTO IST/RSY. Chester, April 2003.
- [6] G. Eriksson, A. Lindblad, J. Rantakokko, "Underlag för beslut om spatiala mätningar mha RASMUS", FOI-MEMO--02-1842, februari 2002.
- [7] K. Fors, "Validering och användarbeskrivning för telekonfliktmodulen i ELSAsd", FOI-MEMO--02-2793, november 2002.
- [8] K. Fors, P. Stenumgaard, "Elektroniska vådaskott viner i luften", FOI-S--1158--SE, E3 Magazine, no 2, p. 24-28, 2003.
- [9] P. Johansson, L. Pääjärvi, J. Rantakokko, "Adaptiv radionod – ett systemförslag," FOI-R--0714--SE, december 2002.
- [10] A. Lindblad, "Experimentell verksamhet inom ARN – Kanalmätningar för utvärdering av adaptivitet och rumslig diversitet", FOI-MEMO--03-881, mars 2003.
- [11] A. Lindblad, "Kanalmätning juni 2003 inom projekt ARN", FOI-D--0156--SE, mars 2004.
- [12] S. Linder, J. Rantakokko, P. Stenumgaard, "A new approach for estimating the impact of electromagnetic in-band interference on digital communication systems", Proceedings of EMC Europe 2002, Sorrento, Italy, September 2002.
- [13] S. Linder, J. Rantakokko, "Higher-order statistics based estimation of intersystem interference in digital communication systems - a kurtosis approach", FOI-R--0699--SE, December 2002.
- [14] S. Linder, J. Rantakokko, P. Stenumgaard, "A new approach for estimating the impact of pulsed interference on digital communication systems", IEEE International symp on EMC, Istanbul, May 2003.

- [15] S. Linder, J. Rantakokko, "A new method for estimating the impact of interference on digital communication systems in intersystem interference analysis tools", Proceedings of MILCOM, Boston, October 2003
- [16] S. Linder, O. Tronarp, J. Rantakokko, "A kurtosis-based approximative method for intersystem interference analysis", FOI-R--1053--SE, December 2003.
- [17] J. Rantakokko, H. Tullberg, "Adaptive radio node", FOI-S--1230--SE, PvTT seminar on signal processing advances and smart antenna systems, Helsingfors, October 2003.
- [18] J. Rantakokko, S. Linder, K. Wiklundh, K. Fors, L. Pääjärvi, H. Tullberg, "Adaptive Techniques for Tactical Communication Systems", FOI-R--1340--SE, September 2004.
- [19] J. Rantakokko, O. Tronarp, "Robust cumulant-based blind beamforming", FOI-S--0515--SE, RVK 02, Stockholm, June 2002.
- [20] P. Stenumgaard, "Telekonfliktforskning vid FOI 1995-2002, slutrapport", FOI-R--0682--SE, december 2002.
- [21] K. Wiklundh, "A method to determine the impact from disturbing electrical equipment on digital communication system by using APD", EMC Europe, September 2002.
- [22] K. Wiklundh, "Generell modell av störningsmiljöer för bestämning av dess påverkan på digitala kommunikationssystem", FOI-MEMO--02-3006, december 2002.
- [23] K. Wiklundh, "A New Approach to derive Emission Requirements on APD in order to protect Digital Communication Systems", IEEE Int. symp. on EMC, Istanbul, May 2003.
- [24] K. Wiklundh, "On Performance of Digital Radio Receivers in Non-Gaussian Interference", Licentiatavhandling, Teknisk rapport no. 473L, Chalmers, 2003.
- [25] K. Wiklundh, "How is the APD related to the interference impact on digital radio communication services?", EMC Europe, Eindhoven, 6-10 September, 2004.
- [26] K. Wiklundh, "Application of amplitude probability distribution (APD) as a new measure for emission requirements", EMC Europe, Eindhoven, 6-10 September 2004.
- [27] K. Wiklundh, "Bandwidth conversion of the amplitude probability distribution for pulse modulated interference for emission requirement issues", The Int. Zurich Symp. on Electromagnetic Compatibility, Zurich, 13-18 February 2005 (to be published).

## **Övrig resultatöverföring till kund**

- [28] Referensgruppsmöte, Stockholm, november, 2003.
- [29] Referensgruppsmöte, Stockholm, april, 2004.
- [30] CIMI, Enköping, oktober, 2002.
- [31] FOI Resultatkonferens, Stockholm Bosön, oktober 2004

## **Övriga referenser**

- [32] P. Johansson, "Rasmus - Ett bandspridnings och modulationsutvärderingssystem," FOA-R--00-01439-504--SE, februari 2000.
- [33] P. Krans, L. Ladell, B. Lundborg, "Modellstruktur och beräkningsmetodik för 3D kanalmodell", FOI-MEMO--03-169:10, september 2003.



<b>Utgivare</b> Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Ledningssystem Box 1165 581 11 Linköping	<b>Rapportnummer, ISRN</b> FOI-R--1429--SE	<b>Klassificering</b> Användarrapport
	<b>Forskningsområde</b> 4. Ledning, informationsteknik och sensorer	
	<b>Månad, år</b> November 2004	<b>Projektnummer</b> E7057
	<b>Delområde</b> 41 Ledning med samband, telekom och IT- system	
	<b>Delområde 2</b>	
<b>Författare/redaktör</b> Lars Ahlin Peter Johansson Arne Lindblad Sara Linder Kia Wiklundh	<b>Projektledare</b> Lars Ahlin	
	<b>Godkänd av</b> Martin Rantzer	
	<b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b> Försvarsmakten	
	<b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b> Hugo Tullberg	
<b>Rapportens titel</b> Adaptiv radionod – ARN, Slutrapport		
<b>Sammanfattning (högst 200 ord)</b> Syftet med detta dokument är att sammanfatta och avrapportera verksamheten inom projektet adaptiv radionod (ARN). Möjligheterna att skapa adaptiva förmågor hos en radionod i en nätstruktur har studerats, med målet att få kunskap om vilka vinster som kan nås med adaptivitet, samt att få kunskap om hur nya tekniska metoder kan fungera i militära miljöer. Med adaptivitet förstås att radionoden kan anpassa sig till radiokanalens egenskaper, användarnas behov samt till nätets egenskaper. Projektets fokus har varit att studera tekniska lösningar som ger möjlighet till adaptivitet på länknivå genom att använda avancerad radiosignalbehandling. En systemmodell med modulationsmetoden OFDM som bas, har formulerats. Delar av systemmodellen (OFDM, adaptiv modulation, mottagningsdiversitet) har byggts upp i en mjukvara som utgör teknikkärnan i den demonstrator som har utvecklats inom projektets ram. Den är tänkt att vara ett verktyg för utveckling samt att kunna illustrera vinster med adaptiva förmågor. Fältförsök har genomförts för att utreda radiokanalens rumsliga egenskaper. Slutligen har också störningars inverkan på digitala radiosystem undersökts. Projektmålet att påvisa fördelar med adaptiva metoder i radionoder har uppfyllts och den uppbyggda kompetensen kommer att kunna användas vid utveckling av framtida taktiska radiosystem.		
<b>Nyckelord</b> radio, radiosystem, adaption, adaptiv, OFDM, radionod		
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Antal sidor:</b> 37 s.	
<b>Distribution enligt missiv</b>	<b>Pris:</b> Enligt prislista	



<b>Issuing organization</b> FOI – Swedish Defence Research Agency Command and Control Systems P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	<b>Report number, ISRN</b> FOI-R--1429--SE	<b>Report type</b> User report
	<b>Programme Areas</b> 4. C4ISTAR	
	<b>Month year</b> November 2004	<b>Project no.</b> E7057
	<b>Subcategories</b> 41 C4I	
	<b>Subcategories 2</b>	
<b>Author/s (editor/s)</b> Lars Ahlin Peter Johansson Arne Lindblad Sara Linder Kia Wiklundh	<b>Project manager</b> Lars Ahlin	
	<b>Approved by</b> Martin Rantzer	
	<b>Sponsoring agency</b> The Swedish Armed Forces	
	<b>Scientifically and technically responsible</b> Hugo Tullberg	
<b>Report title (In translation)</b> Adaptive Radio Node – ARN, Final report		
<b>Abstract (not more than 200 words)</b> <p>The purpose with this report is to summarize the activities within the project Adaptive Radio Node (ARN). The possibilities to obtain adaptive capabilities for radio nodes in a net structure have been studied. The aim has been to obtain knowledge both about what possible gains can be achieved with adaptivity and also about of how new technical methods will work in military environments. With adaptivity we mean that the radio node can adapt to the radio channel, the needs of the users and to the properties of the network. The focus has been to study technical solutions which give adaptivity at the link level by using advanced radio signal processing. A system model based on the modulation method OFDM has been developed. Parts of the system model (OFDM, adaptive modulation, receive diversity) have been implemented in software and constitute the technique kernel in a demonstrator. The purposes with the demonstrator are to be a tool for development and to illustrate the benefits with adaptivity. Field trials have been carried out to investigate the spatial properties of the radio channel. Also, the impact of interference on digital radio systems has been investigated. The project goal to prove the advantages of adaptive capabilities in radio nodes has been reached and the competence will be used in the development of future tactical radio nets.</p>		
<b>Keywords</b> Radio, Radio system, adaptation, adaptive, OFDM, radio node		
<b>Further bibliographic information</b>	<b>Language</b> Swedish	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Pages</b> 37 p.	
	<b>Price acc. to pricelist</b>	