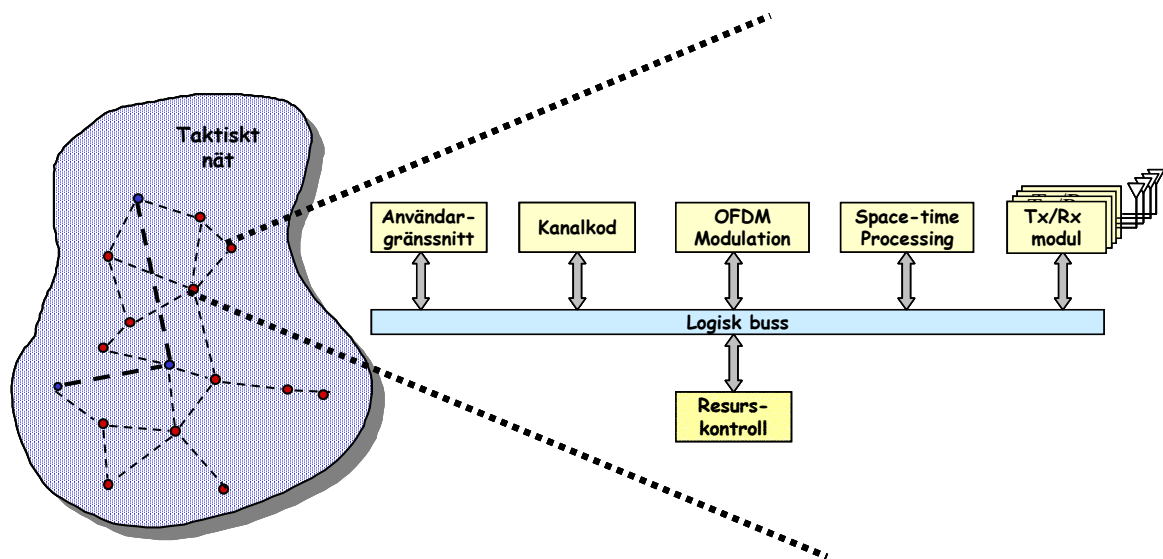


Peter Johansson, Lars Pääjärvi och Jouni Rantakokko

Adaptiv radionod – ett systemförslag



TOTALFÖRSVARETS FORSKNINGSINSTITUT

Ledningssystem
Box 1165
581 11 Linköping

FOI-R--0714—SE

December 2002

ISSN 1650-1942

Teknisk rapport

Peter Johansson, Lars Pääjärvi och Jouni Rantakokko

Adaptiv radionod – ett systemförslag

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Ledningssystem Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--0714--SE	Klassificering Teknisk rapport
	Forskningsområde 4. Spaning och ledning	
	Månad, år December 2002	Projektnummer E7057
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	Delområde 41. Ledning med samband, telekom och IT-system	
Författare/redaktör Peter Johansson Lars Pääjärvi Jouni Rantakokko	Projektledare Lars Ahlin	
	Godkänd av Christian Jönsson	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarmakten	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Peter Stenumgaard	
Rapportens titel Adaptiv radionod – ett systemförslag		
Sammanfattning (högst 200 ord) <p>I det nya försvaret finns ett stort behov av radiosystem som kan anpassa sin förmåga till aktuella uppgifter och aktuell miljö. Den tekniska utvecklingen under senare år har möjliggjort en sådan anpassning. En adaptiv radionod är en höggradigt anpassningsbar komponent i ett radionät. Flexibiliteten fås genom att noden kan variera användandet av ingående teknikblock och anpassa parametrar för att adaptera mot förändringar i den signalmiljö som noden befinner sig i. Noden adapterar också mot förändrade krav från användaren med avseende på kapacitet, robusthet, fördröjning, smygegenskaper, etc.</p> <p>Rapporten beskriver ett generiskt systemförslag som innehåller en kombination av flexibla tekniker. Valet av tekniska metoder har gjorts för att möjliggöra mycket stora variationer i parametervalen. Systemförslaget är inte tänkt som ett underlag för implementering utan syftet är att skapa en struktur som kan ligga till grund för vidare utveckling, värdering och analys. Värderingen/analysen innefattar bedömningar av möjliga prestandavinster i ett framtida taktiskt radiosystem, speciellt med tonvikt på systemets adaptiva förmåga. I rapporten diskuteras också översiktligt några antaganden om nätets struktur, inklusive protokoll, samt begreppet adaptivitet.</p>		
Nyckelord Adaptivitet, turbokoder, OFDM, Space-time processing, gruppantenn		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 26 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	Report number, ISRN FOI-R--0714--SE	Report type Technical Report
	Research area code 4. C4ISR	
	Month year December 2002	Project no. E7057
	Customers code 5. Commissioned Research	
	Sub area code 41. C4I	
Author/s (editor/s) Peter Johansson Lars Pääjärvi Jouni Rantakokko	Project manager Lars Ahlin	
	Approved by Christian Jönsson	
	Sponsoring agency The Swedish Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible Peter Stenumgaard	
Report title (In translation) Adaptive Radio Node – a Generic System Proposal		
Abstract (not more than 200 words) <p>In the new Defence there is a need for radio systems that can adapt their ability to the current tasks and the present environment. During the last years the technical development has made this possible. An adaptive radio node is a highly variable component of a radio network. The variability is obtained by allowing the node to change the use of its functional blocks together with adjustment of parameters in the blocks, all in order to adapt to the changing signal environment of the radio channel. The radio node also adapts to the changing requirements from the user regarding capacity, robustness, delay, stealth properties, etc.</p> <p>This report presents a generic system proposal containing a combination of flexible techniques. The choice of technical methods has been made to support great variations of the parameters. The system proposal is not intended to be a basis for implementation of a radio node. Instead the purpose of the system proposal is to lay a ground for further assessment and analysis. The assessment/analysis includes estimates of possible performance gains in a future tactical radio system, with special emphasis on adaptation. The report also comprises assumptions regarding the structure of the network, including protocols, and a discussion on the concept adaptation.</p>		
Keywords Adaptation, turbo codes, OFDM, Space-time processing, antenna array		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 26 p.	
	Price acc. to pricelist	

Innehållsförteckning

1	Introduktion.....	5
1.1	Bakgrund.....	5
1.2	Syfte och mål	6
1.3	Avgränsningar	7
1.4	Rapportens struktur	7
2	Förutsättningar för systemförslaget	8
2.1	Scenario.....	8
2.2	Begränsningar	9
3	Nätaspekter	10
3.1	Nätkonfiguration	10
3.2	MAC-protokoll	11
3.3	Noder med smygegenskaper i ett nät	12
4	Systemförslag.....	13
4.1	Resurskontroll	14
4.2	Användargränssnitt	14
4.3	Kanalkod	14
4.4	OFDM-modulation	15
4.5	Space-time processing	16
4.6	Tx/Rx-modul.....	17
4.7	Gruppantenn.....	18
5	Diskussion om adaption.....	19
5.1	Viktiga frågeställningar rörande adaptionen av en radionod	19
5.2	Adaption i en radionod.....	20
5.3	Adaptionsloopen	21
5.4	En adaptiv radionods utveckling.....	23
6	Vidare arbete	24
7	Referenser	25
8	Förkortningsordlista.....	26

1 Introduktion

Den framtida inriktningen för det svenska försvaret är mot ett nätverksbaserat försvar. Att skapa säkra kommunikationer med hög kapacitet i detta nätverk är av fundamental och central betydelse. Svenska förband förväntas dessutom i framtiden allt oftare medverka i internationella insatser och där samverka med andra nationer. När flera olika nationer ska samarbeta och kommunicera med varandra är det viktigt med interoperabla kommunikationslösningar som är flexibla och kan anpassa sig, efter de ramar inom vilka de får operera. De framtida kommunikationsbehoven för olika försvarsuppgifter är idag okända. Troligen kommer försvarsuppgifterna Väpnat Angrepp (VA) och/eller Internationella Insatser (II) att vara de uppgifter som ställer de högsta kraven på ett kommunikationssystem. Vi kan också förutse att en stor del av framtida militära operationer kommer att ha höga krav på rörlighet, vilket innebär krav på trådlösa kommunikationssystem.

Idag är de flesta radiolösningar, som är tillgängliga på marknaden, optimerade för en specifik taktisk situation t.ex. störskyddad kommunikation. Under de perioder då radionoden inte är i behov av det störskydd den är konstruerad för är detta ett stort slöseri med resurser, eftersom ett stort störskydd inkräktar på kapaciteten. För att optimera resursutnyttjandet i det taktiska radionätet finns det ett stort behov av adaptiva radionoder, som kan anpassa sig till olika krav på t.ex. hög kapacitet, låg fördröjning, kraftfullt störskydd eller smygsignalering. Allt i syfte att effektivare utnyttja de i radionätet tillgängliga resurserna.

1.1 Bakgrund

Ända sedan Guglielmo Marconi fick patent på den trådlösa telegrafan 1901 och fram till 70-talet, har de flesta radiosystem varit helt analoga konstruktioner. På 80-talet blev konstruktioner med digitala delar allt vanligare. Från början var det endast de lågfrekventa delarna som digitaliserades, men allt eftersom utvecklingen inom digitaltekniken gjort framsteg har fler av de högfrekventa funktionerna kunnat utföras digitalt. Under 90-talet har dessutom allt fler av funktionerna implementerats som mjukvara, vilket innebär att det har blivit enklare att ändra, eller införa nya, funktioner.

Försvarsmakten har idag ett stort antal analoga taktiska radiosystem där modifieringar innebär att hårdvaran måste bytas ut. Detsamma gäller även för försvarsmaktens digitala system, truppradiosystemet Ra180 och marinens taktiska radio HF2000, eftersom det för dessa system aldrig har ställts krav på att de ska kunna uppgraderas med nya funktioner. Processorkapaciteten och minnet räcker helt enkelt inte till. Det enda systemet som är förberett för framtida uppgraderingar av mjukvaran är JAS-radion Ra90. För Ra90 ställdes det redan vid upphandlingen krav på att processorer och minnen inte fick utnyttjas fullt ut och därför kan Ra90 mjukvaruuppgraderas.

Alla nuvarande taktiska radiosystem i Försvarsmakten har antingen bara en mod eller ett fåtal förbestämda moder som användaren kan välja mellan. För Ra180 står valet mellan analog FM eller digital MSK med frekvenshopp. På marknaden finns idag system att köpa som har ett flertal moder att välja mellan, var och en optimerad för en

viss tänkt taktisk situation, t.ex. störskyddad kommunikation eller lång räckvidd. Det finns också system där några av de möjliga valen är automatiserade så att användaren inte behöver ta ställning till vilken mod som är lämpligast, t.ex. förhållandet mellan störskydd och datatakt. Dessa automatiserade valsystem brukar betecknas som adaptiva men gemensamt för alla systemen på marknaden är att adaptivitetfunktionen endast berör någon enstaka parameter i radiosystemet. Det finns inget system som tar ett helhetsgrepp på möjligheten att adaptera flera av radiosystemets parametrar till aktuell situation.

Gemensamt för alla de tidigare generationerna av Försvarens radiosystem, inklusive Ra90, är att arkitekturen är företagsspecifik, vilket innebär att det bara är tillverkaren som har kunskap att genomföra renovering och modifiering. Så länge produkten används har tillverkaren i praktiken ett monopol på underhåll. Nu pågår en utveckling som bl.a. syftar till att bryta detta monopol. Målet är att nya produkter ska kunna modifieras, och underhållas, av tredjepartsleverantörer. Metoden är att ställa krav på att en så stor andel som möjligt av radiorelaterade funktioner ska implementeras som mjukvara. Mjukvaran ska dessutom vara oberoende av hårdvaran och köparen, i vårt fall Försvarens, ska ha alla underlag och fullständig dokumentation samt fri nyttjanderätt. Hårdvaran ska, från en programmerares synvinkel, vara standardiserad och öppen så att i princip vem som helst ska kunna skriva nya radiofunktioner. Mjukvaran ska sedan kunna flyttas till andra hårdvaruplattformar som följer standarden. Förhoppningen är att den nya strategin ska minska de totala kostnaderna för användarna, trots att initialkostnaderna kan vara stora. För att den nya strategin ska fungera måste både köpare och leverantörer hitta nya sätt att göra affärer, eftersom tillverkarna inte kan förlita sig på framtida beställningar av renovering och modifiering av levererad produkt.

I USA pågår ett projekt, Joint Tactical Radio System [8], som är helt inriktat på den nya strategin. Projektet bygger på en öppen standard för en mjukvaruarkitektur, kallad Software Communication Architecture (SCA) [7] som alla hårdvaruleverantörer måste stödja. Visionen är en sorts PC-radio där mjukvaran bestämmer vilken radiofunktion som ska utföras. Produkter baserade på SCA beräknas finnas på marknaden omkring 2005. I Europa är läget splittrat, industrin har inte anammat det nya synsättet på att bygga radio och beställarna stödjer ofta inhemsk industri. Trycket på tillverkarna att ta till sig den nya strategin är därför inte särskilt högt. I USA är det annorlunda, amerikanska försvarsdepartementet köper inget som inte uppfyller SCA.

Sammanfattningsvis kommer den tekniska utvecklingen inom radiosystemområdet att ge ökade möjligheter att variera de tekniska parametrarna i en systemlösning. Anledningen är att allt fler funktioner kommer att realiseras i mjukvara, s.k. mjukvarudefinierad radio. Detta skapar möjligheter till realisering av flexibla radionoder, med en hög grad av adaptivitet. En SCA-kompatibel produkt kan vara en lämplig plattform för test och utvärdering av nya algoritmer för adaptiv signalbehandling.

1.2 Syfte och mål

Projektet Adaptiv RadioNod (ARN) syftar till att, genom analys och experiment, demonstrera framtida möjligheter till adaptiv förmåga hos en radionod i en nätstruktur. Detta sker genom att studera adaptiva tekniska metoder, där adaptationen

sker både mot den fysiska kanalens egenskaper, mot nätets egenskaper och mot användarens krav. Det unika i projektet är att beakta många möjligheter till adaptivitet i kommunikationslänken. Nya innovativa tekniker inom bl.a. smarta antenner, modulation-kodning och rum-tidskodning beaktas. Inom projektets ram kommer vi därmed att studera tekniker, kombinationer av tekniker, hur adaptationen ska utföras samt genomföra värdering av radiosystemet. En av de första uppgifterna är att ta fram ett systemförslag som ska utgöra ett underlag för analys och värdering av en adaptiv radionod. Värderingen sker mot ställda kommunikationskrav med syftet att utvärdera den adaptiva förmågan hos en radionod i ett framtida taktiskt radiosystem.

Systemförslagets detaljeringsgrad ska vara tillräcklig för att möjliggöra analyser av hur specifika algoritmer och tekniker, samt kombinationer av dessa, påverkar den adaptiva radionodens totala förmåga. Systemförslaget ska även fungera som underlag i det fortsatta arbetet med att ta fram nya tekniska metoder för radionodens adaptation.

1.3 Avgränsningar

I systemförslaget, som presenteras i kapitel 4, beskrivs en kombination av flexibla tekniker som, inom en 5 till 10-årsperiod, i hög grad bedöms vara aktuella för implementering i SCA-kompatibla plattformar.

Projektet har inte som ambition att lösa nätbildningen och nätstyrningen, utan fokuserar på att studera kommunikationen mellan två noder i ett nät. För att inte komplicera värderingen mer än nödvändigt har de delar av systemförslaget som inte innefattar signalbehandling fixerats (t.ex. accessmetod, frekvensband). Tonvikten läggs på signalbehandlingen i radionoden och dess adaptivitet.

Ambitionen med systemförslaget är inte att skapa en specifikation för en framtida upphandling. Möjligen kan förslaget fungera som ett underlag till ett specifikationsarbete. Systemets detaljeringsgrad har istället lagts på en nivå som möjliggör påbörjandet av en djupare analys- och värderingsfas. I den fasen kommer teknikerna, och deras förmåga att samspela med varandra, att analyseras. Med största sannolikhet kommer analys- och värderingsfasen att innebära att systemförslaget måste revideras. Det är möjligt att vissa tekniker inte går att kombinera tillräckligt bra eller att deras adaptiva förmåga inte är tillräcklig. I detta fall måste systemförslaget omarbetas, och andra tänkbara tekniker beaktas, för att återigen analyseras och värderas. Arbetet sker således genom en iterativ process med syftet att successivt förbättra den adaptiva radionoden.

1.4 Rapportens struktur

I kapitel 1 ges en introduktion och bakgrund både till projektet ARN och systemförslaget för en adaptiv radionod. Kapitel 2 behandlar det första scenario i vilket radionoden kommer att utvärderas. Scenariot ger de förutsättningar som krävs för att kunna analysera nodens prestanda. I kapitel 3 behandlas frågor som har att göra med nätets struktur och hur noder i nätet ska kommunicera med varandra. Kapitel 4 beskriver det systemförslag som kommer att användas i analysfasen. Möjligheter till adaptation behandlas också kortfattat. I kapitel 5 förs en diskussion kring begreppet adaptation hos en radionod.

2 Förutsättningar för systemförslaget

Viktiga begränsningar för hur bra en adaptiv radionod kan utformas är på vilken plattform den ska användas och i vilken typ av scenario som plattformen ska operera. Förutsättningarna för kommunikationen mellan två stridsfordon i skogsmiljö skiljer sig drastiskt från förutsättningarna för kommunikation mellan två soldater i urban miljö. Detta har bland annat att göra med plattformens storlek och mobilitet samt vågutbredningseffekter.

För att få en nära koppling till användarna utvärderas systemförslagets funktion i ett realistiskt scenario. I detta scenario kommer olika tjänster att ha olika prioritet varför också behovet av tjänster i olika skeenden av scenariot måste beaktas. I avsnitt 2.1 beskrivs det scenario som använts för framtagandet av systemförslaget.

2.1 Scenario

Scenariot beskriver förutsättningarna för kommunikation inom ett mekaniserat förband med tidsperspektivet 2010.

Det tänkta radiosystemet är ett taktiskt radionät inspirerat av det s.k. Skara-scenariot med 150 – 200 mobila noder, se [3] och [5] för en närmare beskrivning. Varje nod anses vara ett fordon som kan röra sig med en maximal hastighet av 75 km/h. Terrängen är ”svensk normalterräng”, d.v.s. skog med kullar, dalgångar och enstaka berg. För en radioförbindelse innebär det flervägsutbredning, oftast utan direktvåg. Varje fordon har ett antensystem som maximalt består av 6 monopolantenner. Frekvensbandet är valt till 220 – 380 MHz. Den maximalt tillgängliga momentana bandbredden är 10 MHz. Varje fordon är utrustat med en mjukvaruradio och det är via dess mjukvara som de adaptiva förmågorna realiserar.

Fyra olika klasser av kommunikationstjänster ska förmedlas av nätet. Tjänsterna har mycket skilda krav på datatakt, feltolerans, fördröjning etc. För att alla tjänster ska vara tillgängliga krävs att radiosystemet kan adaptera sig efter de olika kraven. I tabell 1 finns en första ansats till tjänster och krav på dessa. Genom en iterativ process kommer kraven att preciseras närmare.

Krav Tjänst	Innehåll	Typ	Datatakt bitar/s	Feltolerans	Fördröjning “end-to-end”	Prioritet
Gruppanrop	Tal och data	punkt till multipunkt	10k	$<10^{-3}$	<250 ms	Hög
Filöverföring	Data	punkt till punkt	1000k	$<10^{-6}$	<5 s	Låg
Video-konferens	Data	punkt till punkt	100k	$<10^{-3}$	<500 ms	Medium
Position	Data	punkt till multipunkt	50k	$<10^{-3}$	<1 s	Medium

Tabell 1: Beskrivning av kommunikationstjänster.

Radiokanalens egenskaper kan variera mycket i scenariot och radionoden måste kunna anpassa sig till flera olika situationer. Tiden för hur länge en tjänst är aktiv kallar vi en session. Att beskriva hur kanalen varierar under en session är en pågående uppgift inom projektet. Exempel på egenskaper som påverkar beskrivningen är:

- Avstånd mellan noder.
- Antalet mellanliggande noder
- Fri sikt eller hinder mellan noder.
- Stillastående och/eller rörliga noder.
- Interferenser från eget och/eller andra radiosystem.
- Telekonflikter från annan elektronisk utrusning.
- Närvaro av fientlig störning eller inte.

Den adaptiva radionodens uppgift är att anpassa sig efter dessa variationer.

2.2 Begränsningar

Adaptiv radionod är det generiska begrepp vi använder för en höggradigt flexibel radionod, som kan variera sina parametrar för att, likt en kameleont, anpassa sig till den miljö den befinner sig i.

Den framtida mjukvaruradion kommer att ha ett frekvensområde på 2 – 2000 MHz eller mer. Naturligtvis ska den adaptiva radionoden kunna utnyttja detta¹ men vi begränsar frekvensområdet till 220 – 380 MHz, vilket vi anser vara ett lämpligt frekvensområde för ett radionät avsett för ett mekaniserat förband. I detta frekvensområde finns möjlighet att erhålla hög kapacitet samtidigt som vågutbredningen inte störs allt för mycket av den omgivande terrängen. Vi tar inte heller någon hänsyn till regulatoriska begränsningar som t.ex. kanalindelning.

10 MHz maximal momentan bandbredd är en rimlig kompromiss mellan flera olika krav. En signal med 10 MHz bandbredd är möjlig att sampla av med tillräckligt stor upplösning och den datamängd som genereras kan signalbehandlas i realtid. I dag är detta inte trivialt, men fullt möjligt.

En adaptiv radionod ska kunna utnyttja omgivande trådlös infrastruktur² och det framtida taktiska kommunikationsarvet³, men det mekaniserade förbandet ska även kunna uppträda oberoende av alla andra system. Därför måste det egna radiosystemet klara den interna kommunikationen utan hjälp utifrån.

Sömlösa övergångar mellan olika nät kan ställa krav på samtidig sändning och mottagning i en radionod eftersom det inte är troligt att olika nät med olika protokoll har synkroniserade sändningsscheman.

¹ Tänkbara frekvensband som en adaptiv radionod skulle kunna utnyttja är KV: 2 – 30 MHz, UK: 30 – 90 MHz, VHF/UHF: 220 – 380 MHz, UHF: 1350 – 1400 MHz.

² Tänkbara omgivande infrastrukturer är NMT450, TETRA, GSM, 3G, m.fl. civila och militära trådlösa kommunikationssystem.

³ Det framtida taktiska kommunikationsarvet anses år 2010 vara, se [4], KV90, Ra180, Ra90 och TS9000. KV90 har senare bytt namn till HF2000.

3 Nätaspekter

Vi kan förutse att en stor del av de framtida militära operationerna kommer att ske där kraven på rörlighet och samarbete mellan olika enheter är mycket stora. Ett taktiskt radiosystem för ett sammansatt förband kommer att ha ett antal nätfunktioner som ställer krav på hur de enskilda länkarna och noderna i nätet är uppbyggda.

Inom projektet har vi inte ambitionen att lösa alla nätrelaterade aspekter av adaptiva kommunikationslösningar över ytan, men eftersom radionoderna ingår i ett nät måste vi anta något om utformning och göra antaganden om några parametrar i nätstrukturen. Anledningen är att nätutformningen påverkar vilka möjligheter till anpassning som står till buds för radionoden.

Nätstyrningen kan grovt delas in i tre funktioner, nätverkskontroll, routing och *media access control (MAC)*. Av dessa tre har MAC-protokollet störst betydelse för hur en adaptiv radionod kan adaptera sina radiofunktioner. I det här kapitlet berörs MAC-protokollet, men inte nätverksstyrning och routing. Dessutom diskuteras nätkonfiguration.

3.1 Nätkonfiguration

En helt distribuerad implementering av nätstyrningen av ett mobilt ad hoc-nät ställer stora krav på kapacitet för förmedling av nätinformation till de olika noderna. För stora nät kan nätinformationen vara den helt dominerande trafiken. Fördelen är att nätets funktion inte är beroende av någon enskild nod, eftersom alla noder är likvärdiga.

Ett cellbaserat nät med rörliga basstationer ställer låga krav på förmedling av nätinformation men däremot krav på mekanismer för överlämning mellan basstationer. På länknivå innebär det mätningar av signalkvalitet mot flera basstationer i nära realtid. Stora krav ställs på kapacitet i och mellan basstationer eftersom all trafik måste gå den vägen. Den stora fördelen med cellbaserade system är att mobilerna blir billiga då den mest komplicerade tekniken finns i ett fåtal basstationer. Svagheten är sårbarheten eftersom nätet är beroende av fungerande basstationer. För att minska sårbarheten kan systemet utformas så att en grupp mobiler bildar ett lokalt peer-to-peer nät. Nackdelen är mer komplexa mobiler.

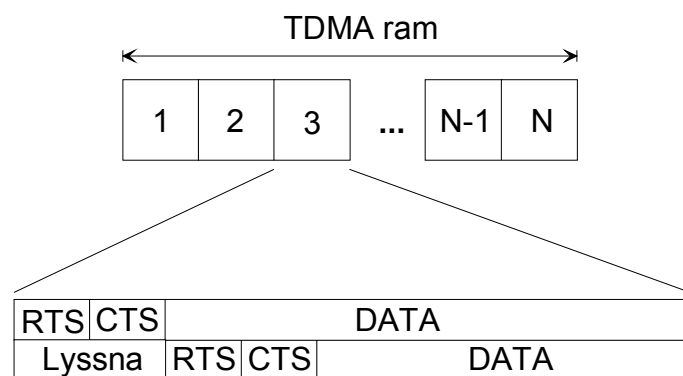
En kombination av de båda nätstrukturerna, ett så kallat klustersystem, ställer naturligtvis krav som motsvarar de båda renodlade lösningarna. Ett klustersystem kan fungera så att inom ett kluster är det ett distribuerat mobilt ad hoc-nät och mellan kluster är det ett cellbaserat nät. Detta innebär att radionoderna i ett kluster enas om ett klusterhuvud så att alla medlemmar i klustret kan kommunicera via klusterhuvudet, eller konsultera det, för att nå noder som ligger utanför det egna klustret. Metoden ställer höga krav på kapacitet mellan de olika klusterhuvudena och funktioner för att upptäcka förlust av klusterhuvud, samt delning och sammansmältning av kluster. Alla noder är likvärdiga och kan antingen vara klusterhuvuden eller klustermedlemmar.

Vi har valt ett paketförmedlande klustersystem som nätlösning, vilket innebär att vi kan koncentrera våra analyser av adaptiva metoder inom ett kluster, d.v.s. i praktiken ett inte allt för stort ad hoc-nät.

3.2 MAC-protokoll

Ett ad hoc-nät består av ett antal individuella noder som gemensamt delar på ett antal kommunikationskanaler. Varje nod får tillstånd att sända via MAC-protokollet. Det finns två huvudprinciper för att fördela kanalresurser, den första innebär en tävling om rätten att sända, t.ex. CSMA, och den andra är ett förplanerat sändningsschema för varje nod, t.ex. TDMA. Båda har allvariga nackdelar för en adaptiv radionod. I CSMA riskerar kollisioner mellan noder som samtidigt försöker sända att bli så många att hela nätets stabilitet äventyras om trafikintensiteten blir för stor. Nackdelen med TDMA är att metoden begränsar möjligheten till adaptering mot förändrade förutsättningar.

Vårt nät har behov av ett MAC-protokoll som både undviker kollisioner och medger adaptering. En möjlig lösning är en hybridlösning d.v.s. ett MAC-protokoll som i grunden är ett TDMA-protokoll men där tidsluckorna som inte används av en viss nod är öppna för övriga noder att tävla om, se [2]. Principen för detta är ganska enkel och innebär att i ett vanligt RTS-CTS⁴ handskakningsschema för TDMA införs ytterligare en möjlighet till RTS-CTS handskakning. Om nod A tänker sända och är ägare till tidsluckan så använder nod A den första RTS-CTS handskakningen och utväxlar sin trafik i resten av tidsluckan. Om nod A inte är ägare till tidsluckan så lyssnar A på den första RTS-CTS handskakningen för att avgöra om ägaren tänker utnyttja sin tidslucka eller inte. Om då A inte hör någon RTS-CTS är det fritt fram att tävla med alla andra om resten av tidsluckan enligt ett vanligt CSMA förfarande med handskakning och kollisionsdetektion, se Figur 1.



Figur 1: Struktur för ram och tidsluckor i MAC protokollet.

⁴ RTS: Request-To-Send. CTS: Clear-To-Send.

3.3 Noder med smygegenskaper i ett nät

Vissa metoder involverar hela nätverket, t.ex. om en nod byter till smygmod vilket medför att alla andra noder kan tvingas uppdatera sina routingtabeller. Om en nod antar läget smygmod måste de övriga noderna erkänna det och ge de länkar som leder från den noden en hög kostnad så att inte smygnoden belastas med för mycket relätrafik. Den smygande noden måste kunna förmedla information till övriga nätet så att det övriga nätet kan styra den trafik som är avsedd för smygnoden rätt. Om noden inte kan förmedla information till övriga nätet (t.ex. en radiotyst nod) tvingas nätet övergå till ett broadcastmod. Anledningen är att nätet inte vet vilken nod som är lämpligast att använda för att avsedd trafik ska komma fram till den radiotysta noden. Detta kan orsaka en stor belastning på nätet.

För att på ett enkelt sätt känna igen en smygsignal inom nätet, utan att det röjer smygnoden, är en tidsdelad struktur enligt TDMA en fördel. I detta fall vet alla när smygnoden förväntas sända och kan då anpassa sina mottagare under den tidsluckan.

4 Systemförslag

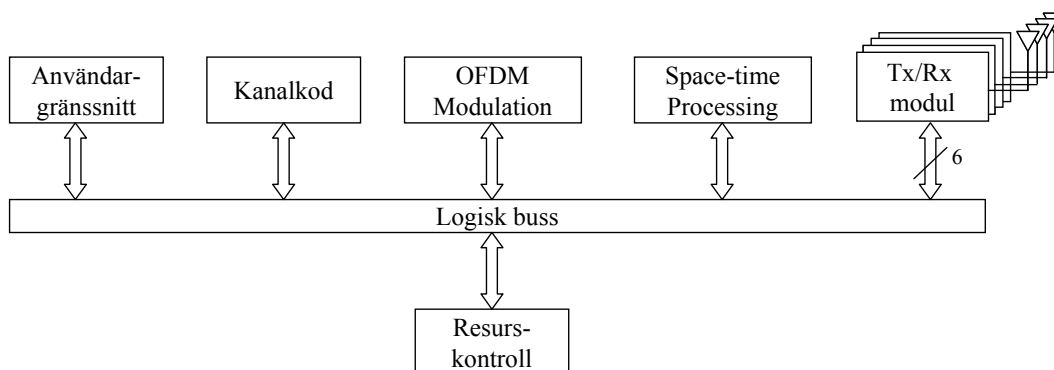
I detta kapitel presenteras ett systemförslag som ger inställningsmöjligheterna för den adaptiva radionoden. Systemförslaget är framtaget utifrån de förutsättningar som angivits i kapitel 2 och kapitel 3. I nästa kapitel förs en diskussion om hur adaptationen kan utföras.

Systemförslaget skall inte ses som ett underlag för implementering av en radionod utan syftet med förslaget är att skapa en struktur som kan ligga till grund för vidare utveckling, värdering och analys. Värderingen/analysen innefattar bedömningar av möjliga prestandavinster i ett framtida taktiskt radiosystem, speciellt med tonvikt på adaptiv förmåga.

Grunden för den adaptiva radionoden är 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.

En förbättrad robusthet mot störning erhålls genom frekvenshopp som utförs direkt i Tx/Rx-modulen. Skydd mot signalspaning skapas genom direktspredning av underbärvågorna i OFDM-blocket. Om signalspaningsskyddet inte visar sig vara tillräckligt kan hela OFDM-blocket komma att ersättas av modulation kombinerat med ren direktsekvensspredning för smygsignalering. Antennen är av central betydelse för störskydd och signalspaningsskydd och utgörs av en gruppantenn där varje element är anslutet till en egen Tx/Rx-modul. Gruppantennen kan bestå av upp till 6 element. Antalet antennelement begränsas i hög grad av aktuell plattform och för vissa plattformar kan bara enstaka antennelement få plats.

I Figur 2 visas ett blockschema för sändtagaren av den adaptiva radionoden. 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.



Figur 2: Schematisk bild av mjukvaruarkitektur för sändtagare i en adaptiv radionod.

Resurskontroll, kanalkodning, modulation, space-time processing och logisk buss är alla datorprocesser i en generell mjukvarubaserad radio som kan implementeras i en eller flera processorer.

Systemförslaget innehåller en sändarkedja och två mottagarkedjor som är identiska. Två mottagarkedjor gör att noden kan avdela en kedja till att bevaka en kontrollkanal samtidigt som den andra kedjan mottar data. Två mottagarkedjor är även bra för att bevaka och hantera övergångar mellan två olika nät. Alternativt kan noden använda de två mottagarkedjorna till att ta emot data från två skilda kanaler.

4.1 Resurskontroll

Förutom att bestämma i vilken ordning funktionerna i den adaptiva radionoden ska utföras, bestämmer resurskontrollen hur stor del av resurserna 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.).

4.2 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.

Digitalt data strömmar mellan användargränssnittet och den logiska databussen. Källkodning kan antingen utföras i användargränssnittet eller externt. Kryptering sker lämpligen direkt innan data överförs till den logiska databussen.

Det är önskvärt att systemet kan adaptera mot tjänsternas kvalitetskrav i form av kapacitet, felhalt och fördröjning. Detta kan exempelvis utföras genom adaptation i källkodningen.

4.3 Kanalkod

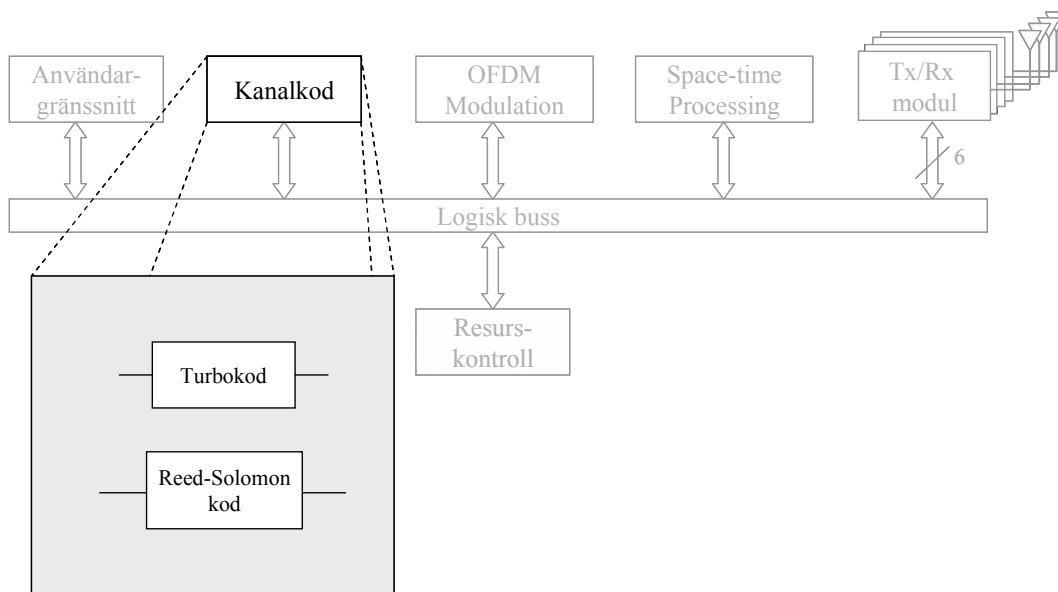
Vid dåliga kanalförhållanden används en turbokod med två ingående faltningskodare, se figur 3. Några möjligheter till adaptation är att ändra kodens takt, punktering samt interleaverns djup. En uppsättning Reed-Solomon koder finns att tillgå och kan användas när förhållandena är goda eller när fördröjningen i turbokodningen blir för stor. Turbokodaren kan enkelt rekonfigureras till att fungera som en ren faltningskodare och kan då, vid behov, sammanlänkas seriellt med Reed-Solomon kodaren. Det är även möjligt att använda en interleaver för att ge en mer slumpmässig fördelning av felen. Sammanfattningsvis, de parametrar som kan varieras för de två olika typerna av koder är:

Turbokod:

- Interleaverdjup
- Punktering
- Antal iterationer vid avkodning
- Kodtakt

Reed-Solomon kod:

- Kodordsstorlek
- Symbolstorlek
- Kodtakt



Figur 3: Kanalkodning.

4.4 OFDM-modulation

Som modulationsmetod används OFDM där samtliga underbärvågor moduleras på samma sätt. Möjliga modulationsformer är DQPSK, 8-PSK, 16-QAM och 64-QAM. Vid svåra kanalförhållanden används DQPSK, som är en relativt robust modulationsform, och vid bra kanalförhållanden används 64-QAM. Variabla parametrar i OFDM-schemat är:

- Modulationsform (DQPSK, 8-PSK, 16-QAM eller 64-QAM).
- Antal underbärvågor.
- Användning av cykliskt prefix (CP).
- Bandbredd: 10 MHz, 3 MHz, 1 MHz, 300 kHz, 100 kHz.
- Symboltid.

4.4.1 OFDM vid slygsignalering

Vi tror att det ur en implementeringsmässig synvinkel är en fördel om OFDM kan användas även vid slygsignalering. När en nod vill slyga måste eventuellt

direktsekvensbandspridning (DSSS) användas om det visar sig att smygegenskaperna för OFDM inte är tillräckliga, eller om implementeringen av en sådan radionod är alltför komplex.

4.4.2 Synkronisering av FH-OFDM

Vi förutsätter att hopptakten aldrig överskrider tiden för en OFDM-symbol, i syfte att undvika alltför komplexa mottagare. Om en högre hopptakt krävs minskas symboltiden genom att använda färre underbärvågor på samma bandbredd.

Energiintegrering används för att hitta tidssynkronisering för varje OFDM-symbol. För frekvenssynkronisering används pilottoner som byter plats, efter ett i förväg bestämt mönster, för bästa störskydd.

4.5 Space-time processing

Det finns flera olika space-time processing (STP) metoder 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. Följande möjligheter bör finnas i STP-blocket:

- Rumsfiltrering (adaptiv lobformning, lobstyrning osv).
- Tidsfiltrering.
- Space-time block coding (STBC).
- Diversitet.

Lobformning med endast sex antennelement ger upphov till relativt breda huvudlober och gruppantennens förstärkning blir troligen i storleksordningen 5-7 dB. Vid adaptiv lobformning (mottagningsfallet) används bl.a. referenssignalbaserade algoritmer som utnyttjar OFDM-systemets pilottoner. Antalet och placeringen av pilottoner kommer då att avgöra prestanda för den adaptiva lobformningen. Vid sändning används antingen lobstyrning eller sändningsdiversitet, beroende på radiokanalen och signalmiljön.

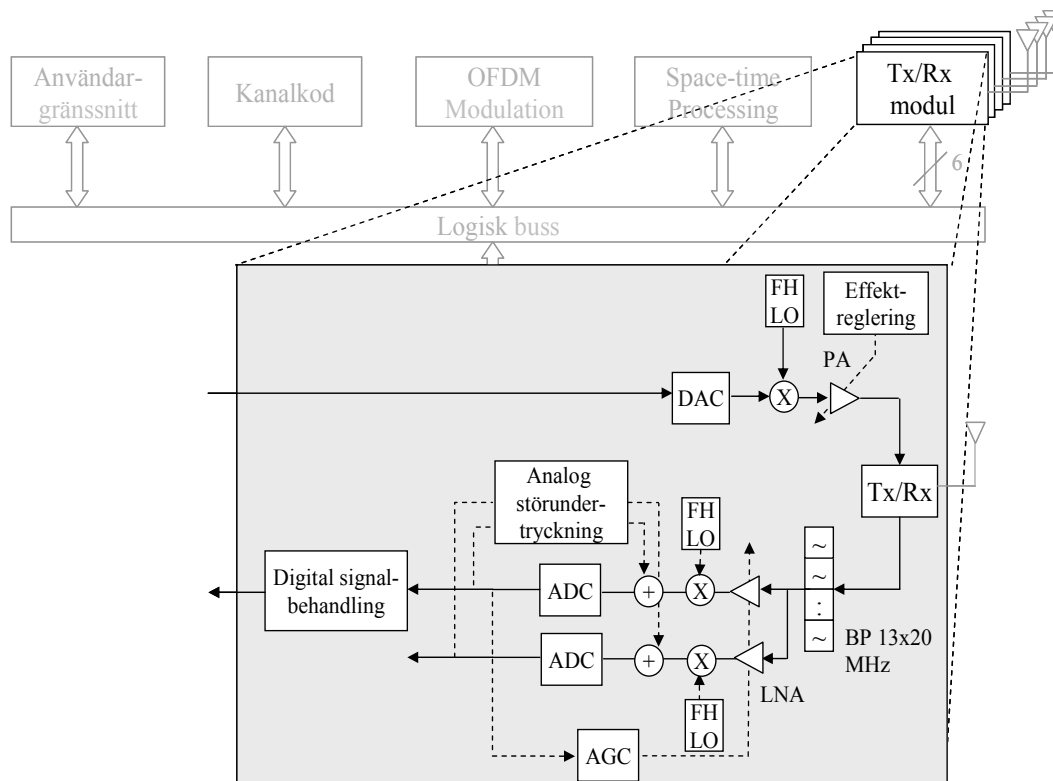
Rumsfiltreringen kan kombineras med traditionell tidsfiltrering genom användandet av tapped-delay-line lobformare. En kombinerad rums- och tidsfiltrering möjliggör samtidig diskriminering av signaler i både riktning och frekvens.

Med hjälp av STBC är det möjligt att utföra sändningsdiversitet. STBC kan t.ex. ske enligt Alamoutis princip [1] eller med hjälp av ortogonala STBC [6]. För en del STBC-algoritmer behöver vissa kanalparametrar först estimeras.

Ju lägre korrelationen är mellan fädningen på olika antennelement desto större är vinsterna med konventionell rumsdiversitet. Korrelationen minskar då avståndet mellan antennelementen ökar. I en del av de scenarion vi förutser, med lågt placerade antenner och med relativt mycket spridning (p.g.a. flervägsutbredning) nära både sändare och mottagare, kan vi troligen uppnå betydande vinster genom rumsdiversitet redan med avstånd på några få våglängder mellan antennerna. Se avsnitt 4.7 för detaljer angående antensystemets utformning.

4.6 Tx/Rx-modul

Tx/Rx-modulen är gemensam för både sändare och mottagare. Det finns en Tx/Rx-modul för varje antennelement. Varje modul innehåller en sändarkedja samt två mottagarkedjor.



Figur 4: Tx/Rx modul.

4.6.1 Sändarkedja

I sändardelen utförs först digital-till-analog konvertering (DAC). Därefter multipliceras signalen med ett förbestämt hoppmönster, effektförstärks och skickas slutligen ut på antennelementet via Tx/Rx-switchen.

4.6.2 Mottagarkedja

I mottagningsfallet går signalen från antennelementet via Tx/Rx-switchen ner i mottagardelen. Signalen bandpassfiltreras i en filterbank bestående av 13 stycken överlappande 20 MHz filter innan de två 20 MHz signalerna går ut på varsin mottagarkedja. På varje mottagarkedja sker avhoppning och eventuell analog störundertryckning innan digitalisering (ADC) och vidarematning av signalen. I det digitala signalbehandlingsblocket utförs all digital signalbehandling som görs på elementnivå.

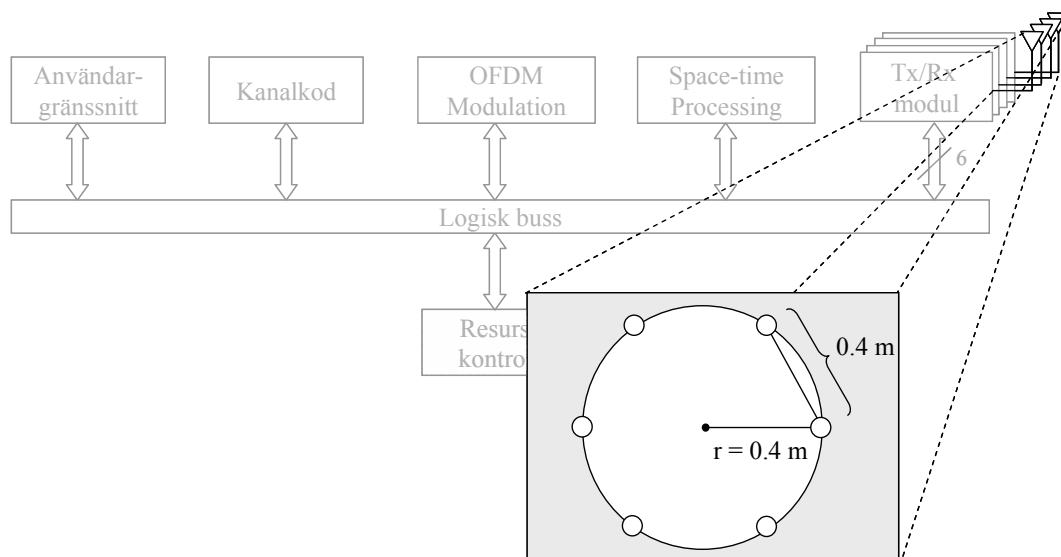
Interferensundertryckning sker både analogt och digitalt. Om den interfererande signalens fas och amplitud är kända kan den subtraheras från övriga signaler. Om inte, är alternativet att istället blockera interferensen i frekvens genom att t.ex. använda ett notch-filter.

4.7 Gruppantenn

Av de ingående teknikblocken i den adaptiva radionoden intar antennen en särställning. Detta på grund av att en gruppantenns geometri och antal möjliga antennelement kraftigt begränsas av plattformens storlek och utformning. Vi har valt att belysa tre olika alternativ. Den enklaste konfigurationen består endast av ett enkelt rundstrålande element och följaktligen behöver den adaptiva radionoden endast en Tx/Rx-modul. Det är den mest troliga installationen i ett stridsfordon i dag.

Inom en inte alltför avlägsen framtid finns möjligheten att ersätta alla taktiska radioapparater i ett stridsfordon med en mjukvarubaserad taktisk radio som övertar de uppgifter som tidigare var spridda på flera system. I det läget kan alla existerande antenninstallationer användas gemensamt utan modifieringar i fordonet, förutom att själva antenspröten måste bytas ut för att passa valt frekvensområde. De svenska stridsfordonen har fyra fästen för antenner, en för varje radio, rektangulärt utplacerade där de inte utgör något hinder för t.ex. kanortornet. Dessa skulle kunna utnyttjas som en gruppantenn med fyra element.

Ur en kommunikationsteknisk synvinkel är de antennplaceringar som erbjuds i dagens installationer långt ifrån de önskvärda. Det finns ingen koppling till avståndet mellan antennelementen och våglängden utan placeringen styrs helt och hållet av fordonskonstruktörens anvisningar. För att erhålla en effektiv gruppantenn bör symmetri och storlek kopplas till våglängden. En cirkulär gruppantenn, som består av 6 (rundstrålande) antenspröt, enligt Figur 5, placerad ovanpå kanortornet, är en konfiguration som medger avancerad signalbehandling för antensystemet. Gruppantennen ska användas i frekvensområdet 220 – 380 MHz, vilket innebär en våglängd på ca 0.8 m vid den högsta frekvensen. För att få bra prestanda vid lobformning placeras antennelementen ut med ett inbördes avstånd på knappt en halv våglängd, vilket innebär knappt 0.4 m. Antennelementen kan t.ex. bestå av ca 25 cm långa monopolantenner.



Figur 5: Cirkulär gruppantenn med 6 element. Vy från ovan.

5 Diskussion om adaption

I det förra kapitlet presenterades ett första systemförslag för en adaptiv radionod. I systemförslaget beskrevs ett antal möjligheter till adaption, bl.a. genom att variera kodning, modulation, diverse OFDM-parametrar samt användning av antensystemet. Däremot innehåller systemförslaget i sin nuvarande form inte information om *hur* adaptionen ska utföras, utan där anges endast vilka tekniker och parametrar som kan adapteras.

En stor del av det framtida arbetet inom projektet kommer att koncentreras på att behandla adaptivetsfrågorna. Adaptionens uppgift är att vid behov (då förutsättningarna förändrats, t.ex. det taktiska scenariot, radiokanalen eller signalmiljön) ändra radionodens inställningar så att bästa möjliga inställningar används för det befintliga scenariot.

I det här kapitlet diskuterar vi adaptiviteten närmare. Adaptiviteten är en relativt komplex fråga och vårt arbete med adaptivitet har hittills fokuserat på att i första hand strukturera problemet och identifiera de frågeställningar som förväntas bli avgörande för hur väl adaptiviteten kommer att fungera. Det finns bl.a. olika typer av adaptivitet och de kommer att delas upp utifrån flera olika faktorer, bl.a. utifrån om adaptionen kräver förhandling med motparten (sändaren alternativt mottagaren) eller om den kan utföras ensidigt. Adaptiviteten är troligen den största utmaningen vid utveckling och design av den adaptiva radionoden.

5.1 Viktiga frågeställningar rörande adaptionen av en radionod

En viktig fråga är hur en radionod ska adaptera för att prestanda för noden som helhet ska bli så bra som möjligt. Om en systemdel förändras (adapteras) kommer helheten att påverkas. Det handlar alltså om att få en helhetssyn på nodens prestanda istället för att försöka optimera prestanda för de olika systemdelarna var för sig. Exempel på andra frågor som behöver besvaras i samband med införandet av adaption i radionoden är:

- Vilka förändringar har låg komplexitet? Det är t.ex. betydligt enklare att byta mellan diversitetskombinering och lobformning i jämförelse med att byta modulationsform.
- Är adaption mellan olika fördefinierade lägen kombinerat med finjusteringar runt dessa lägen, t.ex. genom kodning, en möjlig metod för att lösa adaptionen?
- Vilken information behövs för att besluta om, och till vad, radion ska adaptera? I vilken ordning bör olika systemdelar (tekniker, algoritmer och parametrar) adapteras för att uppnå bästa prestanda?
- Hur ska vi mäta radionodens adaptionsförmåga?

I systemförslaget anges de möjligheter till adaption vi har för de olika systemdelarna. Det fortsatta arbetet, i form av analys- och utvärderingsfasen, förväntas ge underlag för en revidering av systemförslaget. I det förbättrade systemförslaget kommer delvis nya möjligheter till adaption att finnas med, samtidigt som andra delar har skurits

bort. Vi tror dock inte att strukturen för adaption och frågeställningarna som nu har identifierats kommer att påverkas av det valda iterativa arbetssättet. Diskussionerna om adaptivitet har än så länge förts på en konceptuell nivå. Nästa steg är att utvärdera systemspecifika lösningar.

5.2 Adaption i en radionod

De möjligheter till adaption som finns att tillgå i den adaptiva radionoden är i huvudsak:

- Välja metoder. Bestämma vilka algoritmer som ska tillämpas.
- Tillämpa metoder. Använda adaptiva algoritmer, för t.ex. interferensundertryckning eller lobformning, som själva försöker adaptera sig mot omgivningen.
- Justera metoder. Ändra parametrar i valda signalbehandlingsalgoritmer för att följa förändringar.

Tre olika nivåer av adaption har identifierats:

1. Adaption mot tjänst: adaptering mellan kraven på kapacitet, 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, d.v.s. hantera fädning, interferenser och störning så att tjänsten kan upprätthållas. Noden ska även kunna adaptera för att minska effekten av defekt hårdvara, t.ex. ett trasigt antennelement.
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 användaren och nätkontrollen.

Projektet ARN studerar nivåerna 1 och 2, medan fördelning av nätresurser förutsätts finnas och fungera.

Det är troligt att sändare och mottagare, innan vissa typer av adaption införs, i förväg måste komma överens (genom en förhandling) om vilka inställningar radionoden ska använda. Alternativet, som är att mottagaren hela tiden själv får undersöka (parallellt eller seriellt beroende på tillgänglig beräkningskomplexitet) vilken modulation, kodning o.s.v., som sändaren använder är sannolikt ogörligt ur komplexitetssynpunkt då vi förutser att dessa kombinationer kommer att bli många. Vissa sorters adaption kan mottagaren givetvis själv besluta om. Exempel på den typen av adaption är om mottagaren väljer att ändra antalet iterationer i en turboavkodare, byta lobformningsmetod, eller byta från adaptiv lobformning till lobstyrning eller diversitet.

Teknikerna för adaptering som är aktuella i nivå 1 och 2 kan delas in i två klasser:

A. Ensidig adaption

Ensidig adaption utförs utan att motparten är medveten om när eller hur. Framförallt är det mottagaren som genom att analysera mottagen signal (genom att försöka estimeras signal-brusförhållande, bitfelshalt, signalmiljö, etc.) kontinuerligt kan anpassa sig till kanalen förändringar. Det kan ske genom att byta algoritmer, alternativt justera parametrarna i de använda algoritmerna.

B. Förhandlad adaption

Mottagare och sändare kommer överens om vilken signalutformning som ska användas. Det innefattar bl.a. val av modulation, kodning och bandspridning. Som underlag kan tidigare analyser som mottagaren gjort användas eller så sänds speciella test signaler, s.k. kanalprobning.

Ensidig adaption kan utföras betydligt snabbare än förhandlad adaption och dess påverkan på systemprestanda är sannolikt enklare att analysera, då det ofta kommer att röra sig om byte av algoritmer för signalbehandling alternativt ändringar av parameterintervall i dessa.

I paketförmedlade radionät finns det tidpunkter i protokollet då endast vissa typer av adaption är möjlig. Under sändning av ett paket kan endast mottagaren adaptera. Utifrån mottagen signal kan mottagaren justera de egenskaper som inte kräver förhandling med sändaren. När paketet är mottaget kan mottagaren svara sändaren med antingen ett kvalitetsmått på hur signalen uppfattas eller med ett förslag på adaption för nästa paket. Då sändaren tar emot svaret kan adaption som involverar förändringar i signalutseendet införas, antingen på förslag av mottagaren eller som ett resultat av analysen av kvalitetsmättet.

Förhandlingen kan antingen utföras genom att sända separata paket före en adaption ska ske, med tillhörande bekräftelse (eng. acknowledgement), eller så bestäms att första delen av alla paket (pakethuvudet) innehåller information om hur resten av paketet är modulerat, kodat osv. Den första delen av paketet ser då alltid ut på samma sätt, lämpligen med en hög grad av redundans. Pakethuvudet kan även användas då sändaren etablerar den första kontakten med mottagaren, eller för de fall då svaret helt uteblir och ett nytt försök initieras.

5.3 Adaptionsloopen

Användaren vill ha vissa (ofta flera samtidigt) tjänster uppfyllda, t.ex. tal-, videoöverföring eller positionsförmedling. Varje tjänst ställer ett antal krav på kommunikationssystemet, t.ex. när det gäller minsta acceptabla kapacitet eller högsta tillåtna fördröjning. Tjänster kan också tillåta olika grader av Quality-of-Service (QoS). Beroende på vad kommunikationssystemet kan leverera kan användaren bli tvingad att acceptera en lägre kvalitet på den önskade tjänsten. Därför bör tjänsterna ha olika kvalitetsgraderingar, t.ex. bra, acceptabel eller ej uppfylld. Radionoden bör alltså

ha möjlighet att även adaptera kvalitetsgraden på tjänsten. Det kan t.ex. utföras genom användandet av olika typer av källkodning.

Innan radionoden börjar användas behöver den initieras (dvs. besluta vilka parametervärden noden ska anta för en viss tjänst). QoS-profilen (dvs. en kombination av krav på olika parametrar) behöver anges och det kan vara lämpligt att beräkna gränser för hur vi kan tillåta att parametrarna varierar för att fortsatt kunna leverera tjänsten.

Själva adaptationen kan delas upp i flera steg. De moment som en adaptiv radionod behöver utföra för en lyckad adaptering, efter det att en förändring har skett, är:

1. Detektion. Har något förändras som eventuellt fordrar en åtgärd? Hur upptäcker vi förändringen? Vad kan vi mäta (signaler och data)? Vad vill vi mäta?
2. Analys. Vilka prestandamått ska estimeras? Vilka signalbehandlingsmetoder ska användas vid estimeringen?
3. Slutsats. Vad är händelsen, d.v.s. vad är orsaken till förändringen, utifrån analysresultaten? Detta kräver god kunskap om både radiokanalen och signalmiljön.
4. Åtgärd. Vilka åtgärder kan vi vidta? Vilka åtgärder är lämpliga att vidta, d.v.s. vilka radioinställningar ger bäst prestanda under dom nya förhållandena? Vilka nya inställningar ska användas (val av metoder, algoritmer och parametrar)? Behöver förhandling utföras med motparten?
5. Utvärdering. Hur påverkade åtgärden radionodens prestanda? Kan radionoden fungera ännu bättre?

Estimeringen av prestanda sker i huvudsak i mottagaren. Det handlar om signalnivåer i tid, frekvens och rum. Med hjälp av statistiska signalbehandlingsberäkningar som medelvärde, standardavvikelse och högre ordningens moment, så kan bl.a. följande signalegenskaper estimeras: signal-brusförhållande, tids- och frekvensfördelning, flervägsutbredning samt synkroniseringsfel. Längre in i mottagarkedjan kan mätningar på dataflödet ge estimat på bitfel, symbolfel och paketfel samt fördelningen av felen. Att diskriminera händelsers inverkan på systemet i tid, frekvens, kod och rum kommer att bli viktigt.

Tolkningen av en grupp av estimat ska leda fram till en modellbeskrivning av det aktuella kanalstillståndet, d.v.s. avgöra om kanalen är en bruskanal, en fädande kanal, pulsstörd, delbandstörd, interferensstörd, om den innehåller flervägsutbredningskomponenter som ger upphov till intersymbolinterferens eller om vi är utsatta för en telekonfliktsituation. Tolkningsresultatet ligger i sin tur till grund för åtgärder. Möjliga åtgärder begränsas av systemets möjligheter och användarens tjänstekrav.

Tiden för att utföra adaptiviten är av central betydelse. Den s.k. ”adaptionloopen” 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 kanalestimaten.

5.4 En adaptiv radionods utveckling

Den enklaste varianten av en adaptiv radionod kan designas genom att ta fram separata förslag som, utifrån givna förutsättningar, antingen maximerar kapaciteten, störskyddet eller smygegenskaperna. I det enklaste fallet utförs adaptationen genom att användaren väljer vilket av ytterlighetsfallen som för tillfället ska användas. Nästa steg är att låta den adaptiva radionoden själv estimerar om den är utsatt för t.ex. avsiktlig störning som förhindrar radionoden från att uppfylla tjänstekraven och i sådana fall direkt övergå till de radioinställningar som ger maximalt störskydd. Radionoden kan fortfarande utnyttja olika typer av adaptiva algoritmer som hela tiden ser till att störskyddet alternativt kapaciteten maximeras. Den här typen av system finns att tillgå idag.

Genom att designa radionoden så att den inte bara använder de olika ytterlighetsfallen får den adaptiva radionoden potential att ge betydligt bättre prestanda än dagens system. Den adaptiva radionoden ska automatiskt 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. En motivering för detta synsätt är att vi förutser att all den kapacitet som finns tillgänglig i radiolänken kommer att användas. Den kapacitet som inte används av den specifika sändaren och mottagaren kommer istället att användas till att reläa trafik. Den här typen av adaptation är betydligt mer komplex och är tveklöst en stor utmaning att lösa på ett bra sätt.

Smygegenskapen är speciell och vi tror att användaren (av radionoden eller av radionätet) även om ett antal år kommer att vilja/behöva avgöra i vilka situationer som smygegenskapen ska prioriteras. Anledningen är att förbättrad smygförmåga vanligtvis fås på bekostnad av lägre kapacitet och att detta endast kan accepteras i några få taktiska situationer. Nivån på smygförmågan kan dessutom behöva väljas av användaren beroende på vad som är viktigast, förmedla en tjänst eller minimera upptäcktssannolikheten. Vissa tjänster kräver en viss kapacitet och då får radionoden istället försöka smyga så bra som möjligt under uppfyllandet av tjänsten.

6 Vidare arbete

Nästa steg är att, med hjälp av det systemförslag som har presenterats i denna rapport, analysera den adaptiva radionodens prestanda. Nodens ingående tekniker, och deras förmåga att samspela med varandra, kommer att analyseras. En viktig del är att analysera radionodens adaptiva förmåga. Analys och värdering kommer att ske genom teoretiska analyser, simuleringar och experiment.

I analys- och värderingsfasen är det viktigt med prestandamått som talar om hur bra adaptationen fungerar under varierande kanalförhållanden. Arbetet med att ta fram lämpliga prestandamått för att mäta och analysera effekterna av kanalvariationers inverkan på noden samt utvärdera nodens adaptiva förmåga har påbörjats och kommer att fortgå.

Scenariobeskrivningen kommer att fördjupas i takt med att nya resultat utkommer dels från studien Ag GETAS och dels från de scenarier som beaktas i Ledsyst-arbetet.

Det är önskvärt att använda experimentella resultat för att förbättra och validera de modeller som ska användas i simuleringarna. En undersökning om lämpliga experiment för att få fram dessa parametrar har därför påbörjats.

Analys- och värderingsfasen kommer att ge underlag för modifiering av systemförslaget. Det är möjligt att vissa tekniker inte går att kombinera tillräckligt bra eller att deras prestanda inte är tillräcklig för de scenarier vi studerar. Arbetet kommer att bedrivas genom en iterativ process där systemdesign och analys sker omväxlande.

7 Referenser

- [1] S. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications", *IEEE J. Select. Areas. Commun.*, vol. 16, pp 1451-1458, oktober 1998.
- [2] I. Chlamtec et al, "A performance comparison of hybrid and conventional MAC protocols for wireless networks", *IEEE Proceedings*, VTC, 2000.
- [3] F. Eklöf och B. Johansson, "Förutsättningar och begränsningar för KOFTA", FOA Memo, 00-3410/L, juni 2000.
- [4] M. Lönnegren, "Sambandsberedningen (B505) inom ramen för TaktRa", Kriorgavd, Försvarsmakten, delrapport 1998.
- [5] M. Sköld, "Scenariobaserad utvärdering av positionsförmedling i en mekaniserad bataljon", FOI Memo, 01-4233, december 2001.
- [6] V. Tarokh, H. Jafarkhani, och R.A. Calderbank, "Space-time block codes from orthogonal designs", *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 45, pp.1456-1467, juli 1999.
- [7] –, "Software Communications Architecture Specification", MSRC-5000SCA, V2.2, Joint Tactical Radio System (JTRS) Joint Program Office (JPO), November 17, 2001.
- [8] <http://www.jtrs.saalt.army.mil/>

8 Förkortningsordlista

ADC	Analog-to-Digital Converter
ARN	Projektet Adaptiv RadioNod
CP	Cyclic Prefix
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CTS	Clear To Send
DAC	Digital-to-Analog Converter
DSSS	Direct-Sequence Spread-Spectrum
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying
FH	Frequency Hopping
FM	Frequency Modulation
II	Internationella Insatser
MAC	Media Access Control
MSK	Minimum Shift Keying
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PSK	Phase Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
RTS	Request To Send
Rx	Receiver
STBC	Space-Time Block Coding
STP	Space-Time Processing
TDMA	Time Division Multiple Access
Tx	Transmitter
VA	Väpnat Angrepp