

JIMMI GRÖNKVIST, ANDERS HANSSON, JAN NILSSON

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

Jimmi Grönkvist, Anders Hansson, Jan Nilsson

Tal i taktiska flerhoppsnät

Titel Tal i taktiska flerhopsnät

Title Voce communication in tactical multihop networks

Rapportnr/Report no FOI-R--3084--SE

Rapporttyp Användarrapport
Report Type User Report

Månad/Month December

Utgivningsår/Year 2010

Antal sidor/Pages 29 p

ISSN ISSN 1650-1942

Kund/Customer FM

Projektnr/Project no E53057

Godkänd av/Approved by Magnus Jändel

FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut

FOI, Swedish Defence Research Agency

Avdelningen för Informationssystem

Information Systems

Box 1165

Box 1165

581 11 Linköping

SE-581 11 Linköping

Sammanfattning

Utvecklingen för taktisk kommunikation rör sig mot mobila nät med hög kapacitet. I flera av dessa koncept ingår talkommunikation som en av de högst prioriterade taktiska tjänsterna. *Mobila ad hoc-nät* är trådlösa flerhopsnät som kan fungera oberoende av fast infrastruktur och har förmågan att dynamiskt anpassa sig efter varierande förhållanden. I en mjukvarudefinierad radio implementeras en stor del av funktionerna i mjukvara. Den del av mjukvaran som definierar radiosystemet brukar förenklat kallas *vågform*. En eller flera olika vågformer kan användas i samma hårdvaruplattform.

Huvudfrågan för den här rapporten är om tal- och datakommunikation bör implementeras i en gemensam vågform eller i två separata vågformer. Det går inte att ge ett enkelt svar på den frågan, men vi tar upp för- och nackdelar med de två alternativen. Vi har utvärderat två koncept för tal i taktiska flerhopsnät. Det ena konceptet innebär att talkommunikation hanteras i ett separat smalbandigt flerhopsnät på VHF-bandet, med övrig datakommunikation i ett bredbandigt flerhopsnät på UHF-bandet. Det andra konceptet innebär att all kommunikation, även tal, hanteras i den bredbandiga UHF-vågformen. Fokus ligger på realisering av talkommunikation för grupper eftersom den tjänsten ställer speciella krav på utformningen av kommunikationssystemet.

Vi konstaterar att det går bra att realisera tal över flera hopp med både bredbandiga och smalbandiga vågformer. Med några räckviddsexempel visar vi att smalbandiga vågformer har längre räckvidd per hopp. Den bredbandiga vågformen kräver fler hopp över mellanliggande noder för att ge en bra räckvidd.

Nyckelord: Talkommunikation, flerhopsnät, ad hoc-nät, push-to-talk, PTT

Summary

The development of tactical communications is moving towards mobile networks with high capacity. In several of these concepts, voice communication is a service with high priority. *Mobile ad hoc networks* are wireless multi hop networks that are independent of fixed infrastructure, with the ability to dynamically adapt to changing conditions. In a software-defined radio, much functionality is implemented in software. The part of the software that defines the radio system is usually called a *waveform*. One or more different waveforms can be used in the same hardware platform.

The main issue of this report is to determine if voice and data communication should be implemented in a single waveform or in two separate waveforms. It is not possible to give a simple answer to that question, but we consider the pros and cons of the two options. We evaluate two concepts for voice in tactical multihop networks. One concept is that voice communication is handled in a separate narrowband waveform while data communication is handled in a broadband waveform. The second concept means that all communication, including voice, is handled in the wideband waveform. The focus is on voice group calls, as it makes special demands on the design of the communication system.

We conclude that it is possible to realize voice communication over several hops with both wideband and narrowband waveforms. With range calculation examples, we show that narrowband waveforms have a longer range over each hop. The wideband waveform requires a larger number of hops over intermediate nodes to provide a good range.

Keywords: Voice communication, multi-hop networks, ad hoc network, push-to-talk, PTT

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
2	Taktiska kommunikationstjänster	9
3	Vågformskoncept	11
4	Räckvidd för ett hopp	13
4.1	Räckviddsexempel	13
4.2	Slutsatser	18
5	Realisering av taltjänster	19
5.1	Fördröjning	19
5.2	Enheter utanför radoräckvidd	19
5.3	Kapacitetsbehov	19
6	Realisering av tal i de två koncepten	23
6.1	Koncept 1	23
6.2	Koncept 2	23
7	Slutsatser	25
	Appendix – räckviddsexemplen	27
	Referenser	29

1 Inledning

Den här rapporten har tagits fram inom FOI-projektet "Kommunikationsnät för tal- och databaserad stridsledning", som undersöker hur flera olika typer av tjänster samtidigt kan hanteras i heterogena taktiska mobila nät.

Utvecklingen för taktisk kommunikation rör sig mot bredbandiga mobila ad hoc-nät. I flera av dessa system ingår talkommunikation som en av de högprioriterade taktiska tjänsterna. *Mobila ad hoc-nät* är trådlösa flerhoppsnät med förmåga att dynamiskt anpassa sig efter varierande förhållanden. En stor taktisk fördel med ad hoc-nät är att de kan fungera oberoende av fast infrastruktur om så krävs. Tekniken är lämplig både för fordonsburna och handburna enheter.

Försvarsmakten har påbörjat anskaffning och utveckling av fordonsburna ad hoc-nät (GTRS, Gemensamt Taktiskt Radiosystem) och det pågår även flera internationella projekt (COALWNW, ESSOR, WOLF) med uppgift att ta fram handburna eller fordonsburna taktiska mobila ad hoc-nät baserade på mjukvarudefinierad radioutrustning.

I en mjukvarudefinierad radio implementeras en stor del av funktionaliteten i mjukvara. Den del av mjukvaran som definierar radiosystemet brukar förenklat kallas *vågform*. En stor fördel mjukvarudefinierad radio är att olika vågformer kan användas i samma hårdvaruplattform. Huvudfrågan för rapporten är om tal- och datakommunikation bör implementeras i en gemensam vågform eller i två separata vågformer. Det går inte att ge ett enkelt svar på den frågan, men vi tar upp för- och nackdelar med de två alternativen. Fokus ligger på realisering av talkommunikation för grupper (*push-to-talk*, PTT) eftersom det är en viktig taktisk tjänst som ställer speciella krav på utformningen av kommunikationssystemet.

I nästa kapitel ger vi en kort sammanfattning av taktiska kommunikationstjänster. I kapitel 3 definierar vi de två vågformskoncept som utvärderingen baseras på. Kapitel 4 tar upp några olika räckviddsexempel för ett hopp i radionätet för att visa hur kapacitet och frekvensval påverkar räckvidden. Kapitel 5 behandlar några viktiga aspekter för att realisera tal i ett flerhoppsnät, bland annat fördröjning och kapacitetsbehov. Kapitel 6 sammanfattar konsekvenserna för de två koncepten. Slutsatser från utvärderingen ges i kapitel 7.

2 Taktiska kommunikationstjänster

Det finns ett stort behov av taltjänster i taktiska radionät. Några andra viktiga funktioner i ett ledningssystem är att skapa en gemensam lägesbild, hantera order och mål samt att undvika vådabekämpning. Exempel på annan information som överförs i ett taktiskt radionät är geodata, sensordata, video och bilder. Detta beskrivs mer utförligt i [1].

När det gäller tal så det viktigt att ta hänsyn till konsekvenserna för användarna när nätet är hårt belastat eller i terräng med kort radioräckvidd, samt vad som kan är en för användarna acceptabel fördröjning. Push-to-talk (*PTT*) är en taltjänst för grupper, som innebär att en person i taget håller ned sin talknapp för att prata medan de andra lyssnar och väntar på sin tur. Detta gör att samtalen får en helt annan karaktär än vanliga telefonsamtal. Jämfört med telefoni så ställer tjänsten *PTT* högre krav på att själva uppkopplingen (när talknappen trycks ned) är snabb. Eftersom kommunikationen är enkelriktad (en i taget pratar) och användarna förutsätts vara tränade, så tillåts högre fördröjningar för talpaketen att nå fram till mottagaren.

3 Vågformskoncept

En traditionell talradio är smalbandig och baseras på att alla användare är inom radoräckvidd från varandra. Moderna bredbandiga taktiska vågformer utformas för att hantera datakommunikation med förhållandevis hög dataakt. Detta sker ibland till priset av kortare räckvidd. Den kortare räckvidden kan kompenseras med hjälp av flerhoppsteknik. I den här rapporten jämför vi två olika flerhoppskoncept för att hantera tal- och datakommunikation: tal och data i samma vågform respektive i separata vågformer.

Koncept 1: Tal och data i separata vågformer

Detta alternativ består av två separata vågformer i samma radiosystem: en talvågform och en datavågform. Båda vågformerna utnyttjar flerhopp för att förbättra räckvidden. Vi antar att talvågformen utformas för att hantera tal effektivt. Den är smalbandig (25kHz-50 kHz) med en VHF-bärvåg på 30-88 MHz. Datavågformen är bredbandig (1 MHz) med en UHF-bärvåg på 240-380 MHz för att klara lite högre dataakter. Denna systemlösning kräver två sändtagare och kan kräva två antenner.

Koncept 2: Tal och data i samma vågform

I detta fall antar vi att både tal och datakommunikation hanteras i en vågform. Den bredbandiga datavågformen från koncept 1 får här hantera all trafik. Denna systemlösning kräver en sändtagare och en antenn.

För enkelhets skull utvärderar vi bara dessa två koncept men naturligtvis kan man tänka sig andra alternativ. Man kan till exempel med fördel kombinera koncepten så att tal både kan sändas på VHF i den smalbandiga vågformen och på UHF i den bredbandiga vågformen för att få ett mer flexibelt system. Nästa kapitel behandlar räckvidd för ett hopp i smalbandiga respektive bredbandiga radiosystem och därefter utvärderar vi de två vågformskoncepten.

4 Räckvidd för ett hopp

Hög kapacitet, lång räckvidd och bra yttäckning är önskvärda egenskaper hos ett radiosystem. På en enskild länk tvingas man normalt välja mellan hög kapacitet eller räckvidd. I ett nät kan man däremot ha både hög kapacitet på enskilda länkar och ändå skapa räckvidd eller yttäckning genom flera hopp. Det krävs då att det finns mellanliggande noder som kan skicka meddelandet vidare. Att skapa räckvidd genom att använda många hopp medför tyvärr normalt extra fördröjningar vilket är en nackdel för fördröjningskänsliga tjänster såsom tal.

4.1 Räckviddsexempel

Räckvidden på en länk kan förbättras genom att höja sändareffekten, genom att sänka informationsdatatakten eller genom att använda ett lägre frekvensband.

Frekvensområdet 3 MHz till 3 GHz delas in i HF mellan 3-30 MHz, VHF mellan 30-300 MHz och UHF mellan 300-3000 MHz. Genom att välja ett högt frekvensband ges bättre möjlighet att hitta tillräckligt frekvensutrymme för en bredbandig signal med hög datatakt. Att välja ett lågt frekvensband ger däremot bättre räckvidd. Kortvågsbandet (HF) är förstås bäst om räckvidd är det som ska maximeras men många av dagens handhållna radiosystem för tal ligger på relativt höga frekvensband, till exempel Försvarmaktens Inter/Intra GruppRadio (IGR) som använder frekvensbanden 350- 450 MHz (IGR2; Ra 1570) eller 2.4 GHz (Ra1031). Enligt leverantörernas specifikationer för öppen terräng har Ra 1570 räckvidden 2-3 km och Ra 1031 räckvidden 500 m.

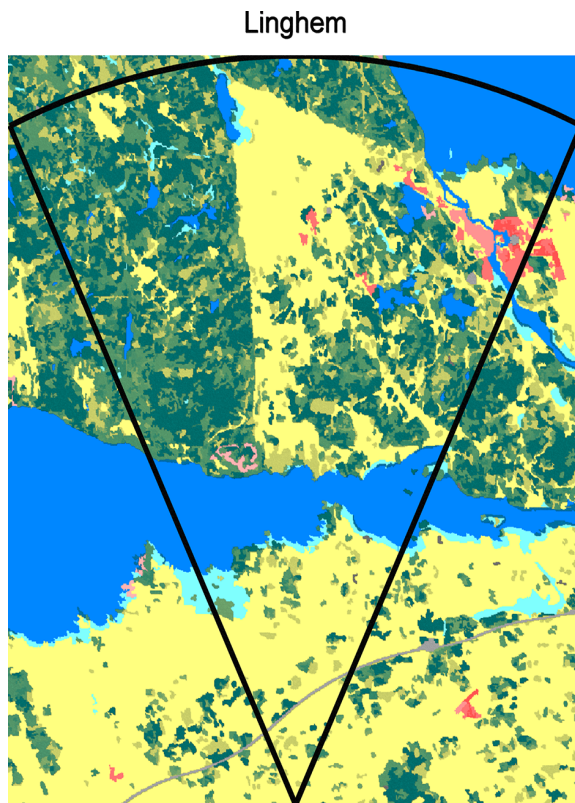
Här är vi främst intresserade av att jämföra räckvidden på de militära banden VHF 30-88 MHz och UHF 240-380 MHz.

Om vi bortser från en del praktiska aspekter, bland annat effektiviteten hos antennerna, så beror räckvidden förutom på valt frekvensband också på sändareffekt och informationsdatatakt, det vill säga utsänd energi per informationsbit. Idealt har bandbredden på signalen ingen påverkan på räckvidden. Om man t ex sänder med en informationsdatatakt av 25 kb/s på en bandbredd av 25 kHz eller sprider informationen 40 ggr och använder en bandbredd av 1 MHz fås samma räckvidd. I praktiken kan bandbredden dock påverka räckvidden på grund av att större implementeringsförluster fås vid bredbandig signalering jämfört med smalbandig.

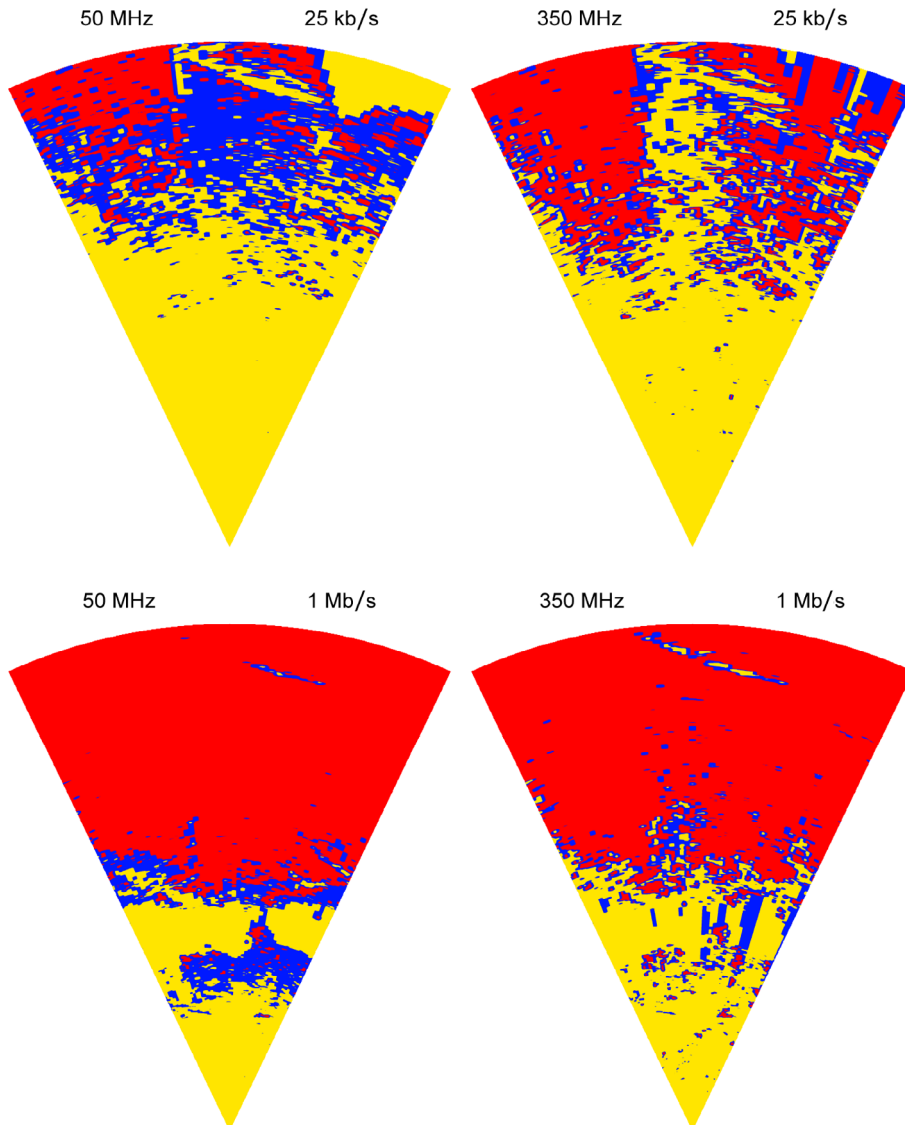
Låt oss betrakta ett enkelt exempel för att jämföra räckvidden på VHF- och UHF-bandet samt för att se hur räckvidd beror på datatakt i två olika terrängområden; vi baserar exemplet på parametrar från TDRS A och B-vågform. Vi har en vågform med relativt låg informationsdatatakt 25 kb/s, ungefär som B-vågformen och en med relativt hög informationsdatatakt 1 Mb/s, lite högre än A-vågformen. Vidare antar vi att vågformerna kan använda både

VHF- samt UHF-bandet. Vi har alltså fyra olika systemalternativ att jämföra. Dessutom betraktas två olika sändtagare; en avancerad och en enkel. De områden i figurerna som är markerade med gult täcks av båda sändtagarna. I de blåmarkerade områdena kan samband bara fås med den avancerade sändtagaren. Avsikten med att införa två sändtagare är att exemplifiera vilken effekt som fås på räckvidden om man bygger en bättre sändtagare. Fler detaljer avseende systemparametrar och hur beräkningarna görs beskrivs i appendix.

Figur 1 visar en kartbild av det första området där sändaren är placerad i Lingham, ca 10 km öster om Linköping. Räckvidden beräknas för ett 25 graders område rakt norrut över sjön Roxen. Figur 2 visar räckvidden för en vågform med dataakt 25 kb/s respektive 1 Mb/s på VHF-bandet (50 MHz) och på UHF-bandet (350 MHz).



Figur 1 . Karta över beräkningsområdet norr om Lingham. En cirkelsektor med radien 20 km (de heldragna linjerna) är beräkningsområdet. Terrängen är flack utom i vänstra övre hörnet där terrängen är kuperad.

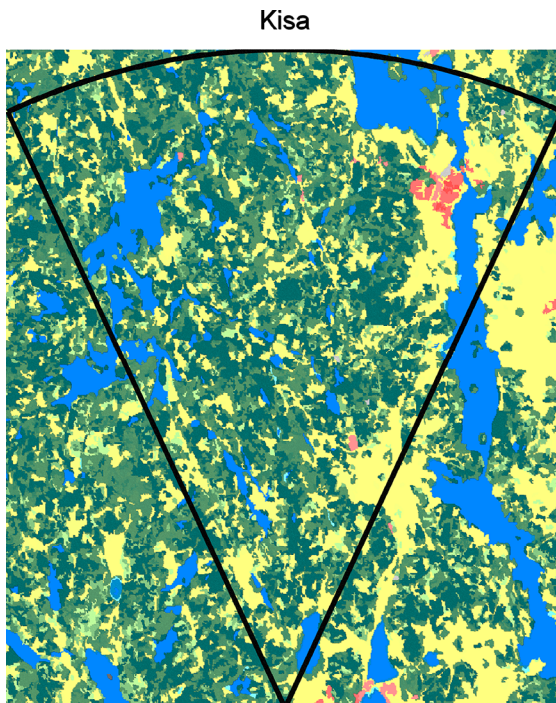


Figur 2 Räckvidd för datatakten 25 Kb/s (övre raden) och 1 Mb/s (nedre raden) på frekvenserna 50 MHz (VHF) till vänster och 350 MHz (UHF) till höger för Linghem-exemplet. Röd färg innebär att man är utanför båda sändtagarnas räckvidd. Gul färg representerar räckvidden för den enkla sändtagaren, och gul till och med blå färg den avancerade sändtagaren.

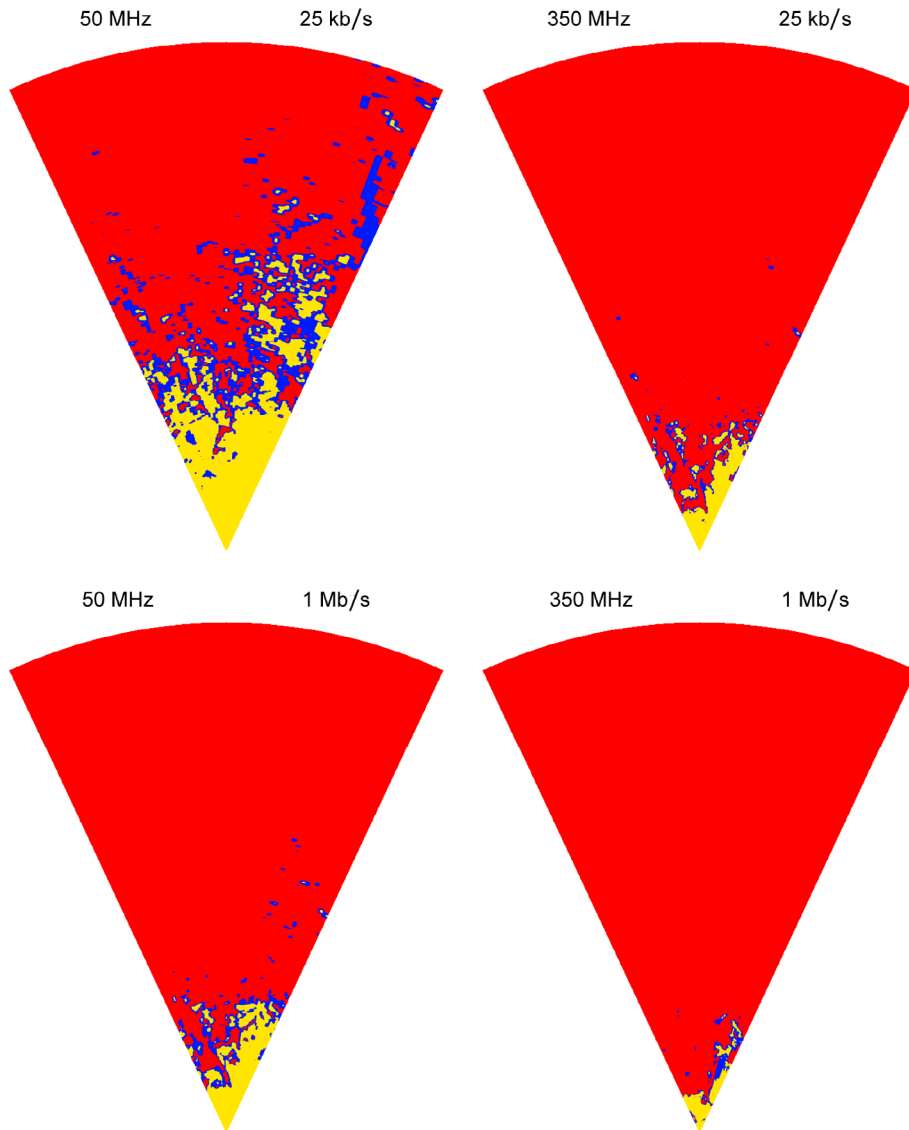
Vi kan genom att jämföra räckvidderna i figur 2 notera att 25 kb/s systemet på VHF ger bäst räckvidd även om räckvidderna inte skiljer sig så väldigt mycket mellan de fyra fallen. I alla fallen fås en räckvidd på åtminstone ca 10 km, dvs bort till Roxens norra strand eftersom terrängen fram till dess är relativt platt. Bäst räckvidd bortom Roxen i vissa riktningar (speciellt i riktning mot den andra sjön Glan) fås med 25 kb/s systemet på VHF och den avancerade sändtagaren.

Ett andra mera kuperat område norr om Kisa visas i figur 3. Sändaren är placerad på en plats där en höjd skymmer utbredningen i riktning mot N-NNW. I Kisa-fallet ser vi större räckviddsskillnader mellan de fyra systemalternativen än i Lingham-fallet, se figur 4. På grund av höjden fås en väldigt kort räckvidd i N-NNW riktningen, ca 1-2 km, utom för 25 kb/s VHF systemet som klarar ca 4-5 km.

Vi kan konstatera att räckvidderna beror kraftigt på terrängen. I det relativt plana Lingham-exemplet får det första systemet, 25 Kb/s på 50 MHz, en räckvidd på nästan 20 km i vissa riktningar. I det kuperade Kisa-exemplet blir räckvidden endast ca 5 km. Med det fjärde systemet, 1 Mb/s på 350 MHz, fås i Lingham ca 10 km räckvidd medan räckvidden i Kisa bara blir ca 1.5 km i vissa svåra riktningar.



Figur 3 Karta över beräkningsområdet norr om Kisa. En cirkelsektor med radien 20 km (de heldragna linjerna) är beräkningsområdet som representerar kuperad terräng.



Figur 4 Räckvidd för datatakten 25 Kb/s (övre raden) och 1 Mb/s (nedre raden) på frekvenserna 50 MHz (VHF) till vänster och 350 MHz (UHF) till höger för Kisa-exemplet.

4.2 Slutsatser

I detta exempel visas relativt tydligt att för svår terräng (Kisa) är det fördelaktigt att använda VHF-bandet på grund av att detta ger bättre utbredningsförhållandena i sådan terräng. I den enklare terrängen (Linghem) blir skillnaden mellan VHF- och UHF-bandet inte lika stora. Vald dataakt, eller bandbredd har en mindre terrängberoende påverkan på räckvidden än det valda frekvensbandet. Det vill säga med en hög dataakt fås generellt en kortare räckvidd än med låg dataakt. Slutligen, om man i exemplen jämför systemet på VHF (50 MHz) med dataakten 25 Kb/s med det på UHF (350 MHz) med dataakten 1 Mb/s fås en förbättring av räckvidden med ca 1.4 ggr i enkel terräng till ca 3.5 ggr i svår terräng.

5 Realisering av taltjänster

I detta kapitel diskuterar vi egenskaper hos taltjänster i flerhopsnät och vilka kapacitetsbehov och maximal fördröjning en taltjänst kräver.

5.1 Fördröjning

Taltjänster kräver väldigt korta fördröjningar, i civila applikationer krävs ofta så låga siffror som 150 ms. I militära sammanhang med mer tränade användare kan större fördröjningar ofta accepteras, det kan dock fortfarande finnas gränser för vad talkodaren klarar. Acceptabla fördröjningar är fortfarande lågt (speciellt om fördröjningen varierar). Dessutom finns rent taktiska skäl till behov av korta fördröjningar, exempelvis order om eldgivning.

5.2 Enheter utanför radioräckvidd

Ett specifikt problem för radionät är enheter utanför radioräckvidd. Traditionella lösningar för tal förmedlar talet ett radiohopp, enheter längre bort kommer inte att kunna höra vad som sägs. Flerhopsnät förmedlar talet längre avstånd, men då dessa system oftast klarar ett begränsat antal hopp, kommer det även här finnas risk för att enheter inte kan höra vad som sägs.

Hantering av enheter utanför kommunikationsräckvidden riskerar i praktiken att behöva hanteras mer eller mindre manuellt då systemet inte nödvändigtvis kan upptäcka detta automatiskt. Fördelen med flerhopsnät är dock att antalet hopp oftast kan anpassas för att detta problem ska ske sällan genom att hantera ett större antal hopp än vad som normalt förväntas, detta riskerar dock att kräva mer kapacitet av nätet än vad som annars vore nödvändigt. Man kan också tänka sig mer avancerade funktioner för att upptäcka dessa problem, men i detta brukar också kosta kapacitet i nätet.

5.3 Kapacitetsbehov

Innan vi i detalj börjar diskutera de olika koncepten bör vi i kort säga något om hur mycket kapacitet en taltjänst kräver. Ett stort antal talkodare existerar med olika behov av kapacitet, olika krav på fördröjningar samt med en varierande känslighet för fel på överföringen. Förenklat kan man säga att en talkodare som genererar mer data brukar ge bättre talkvalité och kan vara något mindre känsliga för fel i överföringen då de har mer redundans, för detta är kostnaden ett högre kapacitetsbehov. Men utvecklingen/förbättringen av talkodare för olika syften gör att detta inte alltid stämmer så väl. En talkodare kan idag generera alltifrån 64kb/s ner till 600b/s, för militära ändamål är 2.4kb/s vanligt (MELPe). I våra

exempel nedan kommer vi oftast att anta användandet av MELPe då denna talkodare är vanlig inom NATO-sammanhang för smalbandiga kanaler.

Informationsmängderna beskrivna ovan är den direkta datamängd själva talkodaren genererar. Beroende på hur resten av systemet fungerar kan mer eller mindre extra overhead-data behövas (i vissa fall väldigt mycket mer). I ett system direkt anpassat till en specifik talkodare och utan några större adresseringsbehov (dvs. från vem, till vem/vilka), vilket är normalt för en traditionell PTT tjänst, kan den extra overheaden hållas minimal.

Säkerhetslösningar kan kräva ökad overheadinformation, då kryptosystemet och talkodaren annars behöver vara anpassade för varandra, dvs. liknande storlek på kryptoblock och de paketstorlekar som talkodaren generar. Om så är fallet kan overheadinformationen hållas ytterst begränsad för PTT och kapacitetsbehov under 3kb/s bör vara möjligt i MELPe fallet. (Som exempel på detta kan vi ta två sammanlagda MELPe block (108 bitar) som passerar ett krypto med minimal kryptoblocklängd på 128 bitar varje 45ms ger 2.84 kb/s utan någon annan overhead i systemet, jämfört med de 2.4 kb/s som MELPe själv genererar.)

Den andra extremen kan uppstå om man bara rätt upp och ner försöker använda IP-teknik (VoIP) med IPsec som säkerhetslösning. Fördelen med att använda IP-teknik är att det blir mycket enklare att koppla ihop olika system (interoperabilitet) och att det möjliggör i större utsträckning att delar av systemet kan designas och bytas ut separat från andra delar, såsom talkodare och säkerhetslösningar. I IP-fallet läggs till varje talpaket en rad information som sedan krypteras och läggs i ett annat paket ihop med krypteringsinformation. Den slutgiltiga mängden overhead som läggs på i detta fall varierar mycket, men 500-600 bitar är inte ovanligt, vilket kan jämföras med de 54 bitar som MELPe genererar. I sådana fall kan man hamna över 24kb/s för en tjänst som bara behövde 2.4kb/s själv!

Riktigt så illa behöver det dock inte bli om man inför vissa förbättringar. Overheadinformationen i IP-paket innehåller väldigt mycket redundans och kan komprimeras mycket. Det finns teknik för att komprimera alla delar av overheadinformationen. Ett problem är dock säkerhetslösningarna. Delar av kompressionen måste i så fall ske i samband med krypteringen, något som till viss del kan komplicera lösningen om kryptoenheter önskas flyttas ut från själva radioenheten, närmare en användare. Hur mycket overheadinformation som genereras kan också påverkas av vad som behöver krypteras, dvs. om overheadinformationen också behöver krypteras eller om det enda som behöver vara hemligt är själva talet.

För att minska overheadinformationen kan man också lägga ihop flera paket genererade av en talkodare innan man skickar dem. Det är dock inte lämpligt att addera för många paket på det sättet då detta ökar fördröjningen då mer tal väntas in innan en sändning görs.

Utan att gå in på mer detaljer på hur man minskar overheadinformationen i IP-fallet, så bör mängden overheadinformation kunna begränsas rätt dramatiskt med hjälp av en del olika tekniker som vi nämnt ovan, såsom. Ett problem kan dock vara att dessa tekniker involverar även funktioner som kan ligga utanför själva radioenheten. Det bör vara möjligt att reducera kapacitetsbehoven för VoIP ner till 4.5kb/s-6kb/s utan större problem, men det kräver att mer än kommunikationssystemet involveras.

Diskussionen hittills har så långt enbart hanterat ett radiohopp, vid behov av att sända information flera hopp växer kapacitetsbehovet. Hur mycket beror på specifika tekniska lösningar men det finns lösningar utvecklade som låter kostnaderna växa linjärt med antal hopp, exempelvis Barrage Relay Networking som är en metod att förmedla broadcastdata (en till alla) till ett nät med korta fördröjningskrav [5]. Denna metod utnyttjar ett koncept som kallas "cooperative diversity" och har dessutom fördelen att vara relativt okänslig för mobilitet. Vi kommer inte att diskutera några teknikdetaljer om hur det fungerar i denna rapport, men de exempelresultat som ges nedan baserar sig på användandet av Barrage Relay Networking då det är tämligen enkelt att göra estimat om prestanda.

Givet detta så kan man anta att kapacitetsbehovet växer linjärt med antalet hopp, dvs. två hopp kostar dubbelt så mycket som ett hopp och tre hopp tre gånger så mycket. I praktiken behöver kostnaden inte fortsätta växa när man får många hopp, men då riskerar istället fördröjningen öka så vi förenklar det hela med att kräva en linjär tillväxt av kapacitetsbehovet med antal hopp då detta möjliggör en garanterad fördröjning. Kapacitetsbehovet för taltjänsterna kan då grovt antas vara antal radiogrupper multiplicerat med antal hopp de ska förmedlas multiplicerat med kostnaden för ett hopp, där den sista parameteren är de värden vi tidigare diskuterat.

6 Realisering av tal i de två koncepten

I detta kapitel undersöker vi konsekvenserna av de två koncepten för realiseringen av taltjänster i flerhoppsnät. Frågorna vi försöker besvara är bland annat hur många simultana talgrupper som kan åstadkommas, hur många hopp som näten kan klara, och i fallet en gemensam vågform hur stor del av kapaciteten som taldelen kommer att ta i anspråk.

6.1 Koncept 1

I fallet att separata vågformer används, antar vi, såsom tidigare motiverats, att taltjänsten körs i en smalbandig vågform på VHF-bandet. Med dataakter på 25 eller 50 kb/s, är kapaciteten begränsad. Men i fallet att talkodaren/säkerhetslösningen kan integreras i vågformen innebär detta ändå att multipla simultana talgrupper kan hanteras över flera hopp. Exempelvis 4 grupper över två hopp, eller 3 grupper över 3 hopp (beroende på hur mycket under 3kb/s som kan åstadkommas) för 25 kb/s fallet.

Om VoIP teknik används reduceras dock antalet talgrupper betydligt. Om man inte använder speciella komprimeringstekniker så går det bara att använda en 25 kb/s kanal för en enda talgrupp, och det enbart ett hopp. För 50kb/s möjliggörs ett andra hopp eller en andra grupp, men med något reducerad räckvidd som konsekvens. Med komprimering av VoIP kan vi räkna med lite bättre resultat, t.ex. 2 grupper a 2 hopp, på 25 kb/s.

6.2 Koncept 2

För fallet att realisera tal och data i en vågform, så är tanken att använda en liten del av totala kapaciteten i en bredbandig UHF-vågform för att hantera talet. I alla uppskattningar nedan antar vi att en del av kapaciteten dedikeras till taltjänsterna. I praktiken kan man tänka sig att återanvända icke utnyttjad talkapacitet till data när en talgrupp inte används (ingen säger något), men detta ökar komplexiteten hos lösningen och kan dessutom kosta extra kapacitet för att man ska snabbt kunna hantera fallet att talgruppen vill ha tillbaka kapaciteten (dvs. någon börjar tala). Vi kommer inte att diskutera detta problem något närmare i denna rapport.

I detta fall är kapaciteten mycket större än i de smalbandiga lösningarna och tekniskt är normalt fördröjningskravet svårare att hantera än kapacitetskraven, även vid hög overhead. Dessutom kan det vara svårt att fördela så små resurser som en enskild talgrupp skulle kräva till en enskild användare. Att sända 54 bitar vid 1Mb/s dataakt skulle ta 0.05 ms, att hantera så korta meddelanden över ett multihopnät är inte speciellt effektivt. Praktiskt kan det vara svårt att ens komma i närheten av dataakter motsvarande 1 Mb/s för så små blocklängder.

Synkronisering av signalen, korta kodlängder och övrigt skydd av signalen minskar effektiviteten för korta meddelanden. På grund av detta krävs ofta blocklängder uppemot någon ms för att få rimlig effektivitet. I sådana fall är det frågan om uppemot 1000 bitar vid ett sändtillfälle vilket är bra mycket mer än en talgrupp behöver om vi inte har mycket overhead.

I fallet att man ska hantera många samtidiga talgrupper i en enskild nod skulle man kunna tänka sig att lägga samman dessa, men av tekniska skäl kommer det vara svårt att addera ihop talgrupper genererade i olika noder. I detta fall blir den komprimerade VoIP-lösningen möjlig att använda utan någon direkt prestandaförsämring då man i sådana fall kan räkna med ca 250 bitar per paket istället för ett hundratal när taltjänsten ignorerar IP. Alternativa talkodare med högre dataaktsbehov kan också vara intressanta här

Om vi återigen tar MELPe som exempel, så genereras ett paket på 54 bitar var 22.5 ms. Om man exempelvis paketerar 4 sådana tillsammans var 90ms så är detta på lite drygt 200 bitar (mer med kryptering och overhead) men vi bör kunna anta att det får plats vid ett sändtillfälle.

Vid detta antagande kommer varje grupp respektive hopp kosta ca 1/90 av kapaciteten i nätet. Exempelvis skulle 4 talgrupper som sänds 4 hopp kosta cirka 18 % av kapaciteten i nätet. Fördröjningen i nätet skulle också kunna hållas under 90 ms i detta fall. Om man inte kan addera så många talpaket i samma meddelande ökar kapacitetsbehovet, vid två i stället för fyra paket vid en sändning behövs lika många sändtillfällen inom 45ms i stället vilket dubblar kapacitetsbehovet.

7 Slutsatser

Vi har utvärderat två koncept för tal i taktiska flerhoppssnät. Det ena konceptet innebär att talkommunikation hanteras i ett separat smalbandigt flerhoppssnät på VHF-bandet, med övrig datakommunikation i ett bredbandigt flerhoppssnät på UHF-bandet. Det andra konceptet innebär att all kommunikation, även tal, hanteras i den bredbandiga vågformen.

Vi konstaterar att det är möjligt att realisera tal i en bredbandig vågform om applikationer och säkerhetslösningar är anpassade till vågformen. En bredbandig vågform kan erbjuda talkommunikation med bra räckvidd eftersom den klarar fler hopp än en smalbandig vågform. Detta förutsätter dock att det finns mellanliggande enheter som kan förmedla trafiken. Den högre kapaciteten i en bredbandig vågform innebär också att systemet klarar mer overhead-trafik än i det smalbandiga fallet, vilket gör det möjligt att utnyttja VoIP för taltjänsterna. Att använda en bredbandig vågform för all tal- och datakommunikation kräver färre sändtagare och färre antenner, jämfört med att använda separata vågformer för tal och data.

Om en hög räckvidd per hopp är viktigt så är det smalbandiga konceptet att föredra utifrån dess bättre räckviddsprestanda, framför allt i besvärlig terräng. En annan fördel med detta koncept är att det kan vara lättare att få tillgång till ett smalbandigt spektrum under internationella insatser.

Appendix – räckviddsexemplen

Vi har antagit vertikal polarisation och att antennerna är rundstrålande i horisontalplanet, antennhöjd 2 m, antennförstärkning 0 dB samt att sändareffekten är 44 W. Vidare antas en spektraleffektivitet på 1 bit/Hz vilket innebär en bandbredd på 25 kHz för 25 kb/s systemet och en bandbredd på 1 MHz för 1 Mb/s systemet. För att beräkna räckvidderna i de två olika områdena Lingham och Kisa används beräkningsverktyget DETVAG [1] och en modell baserat på "Parabolic Equations" (PE) [2]. För brustillskottet från omgivningen används brusmodellen "rural" enligt rekommendationerna i [3]. Brustillskottet beror på valt frekvensband och är större på VHF än på UHF.

Två olika sändtagare betraktas; en avancerad som klarar att ta emot signalen vid ett SNR ("Signal to Noise Ratio") värde på 6 dB och en enkel som behöver SNR på 12 dB för att fungera. I praktiken kan en ytterligare fädningsmarginal (ca 5-10 dB) behövas men vi försummar dess effekt i denna jämförelse. En sådan marginal behöver normalt vara större för det smalbandiga 25 kb/s systemet än för det bredbandiga 1 Mb/s systemet.

Referenser

- [1] Jimmi Grönkvist *et al.*, "Hantering av multipla tjänster i heterogena ad hoc-nät", FOI-R--2886--SE, FOI, Linköping, december 2009.
- [2] Börje Asp, Gunnar Eriksson, and Peter Holm, "DETVAG-90 – Final report", FOA-R--96-00362-504--SE, FOI, Linköping, september 1997.
- [3] Peter D. Holm, "Wide-angle shift-map PE for a piecewise linear terrain – A finite-difference approach," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 55, no. 10, pp. 2773–2789, oktober 2007.
- [4] ITU:s brusmodell: Rec. ITU_R P.372-8, "Radio noise".
- [5] A. Blair, T. Brown, K. M. Chugg, T. R. Halford, and M. Johnson, "Barrage relay networks for cooperative routing in tactical MANETs", i Proc. IEEE Military Comm. Conf., San Diego, CA, november 2008.