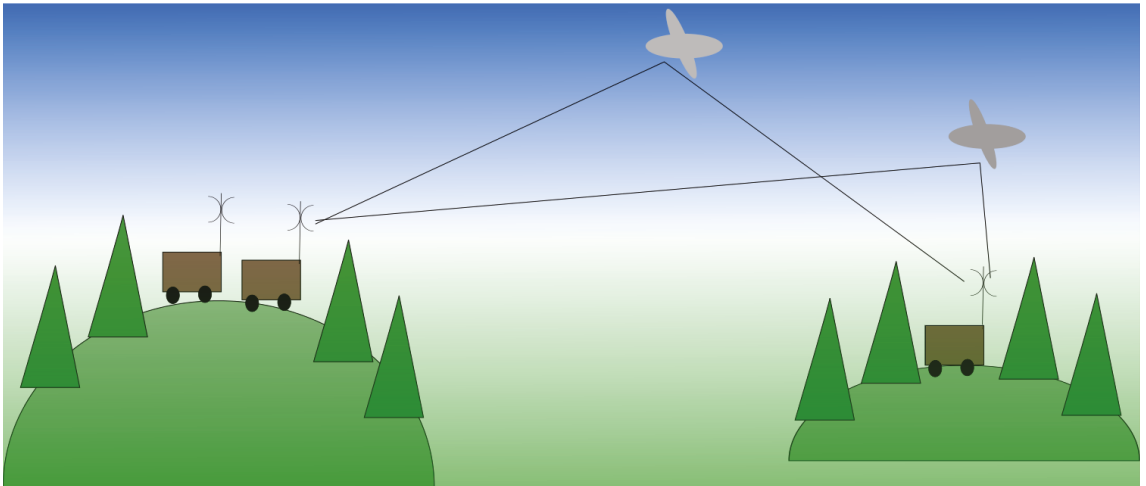


SARA ÖRN TENGSTRAND



Sara Örn Tengstrand

Luftburna kommunikationsnoder i marknät

Scenarioanalys mobilt kärnnät

Titel	Luftburna kommunikationsnoder i marknät Scenarioanalys mobilt kärnnät
Title	Airborne communication nodes in ground networks Scenario analysis mobile core net
Rapportnr / Report No.	FOI-R--3861--SE
Månad / Month	Feb / Feb
Utgivningsår / Year	2014
Antal sidor / Pages	25
ISSN	1650-1942
Kund / Customer	FM
FoT område	Ledning och MSI
Projektnr / Project No.	E36056
Godkänd av / Approved by	Christian Jönsson
Ansvarig avdelning	Informations- och aerosystem

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk. All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden

This work is protected under the Act on Copyright in Literary and Artistic Works (SFS 1960:729). Any form of reproduction, translation or modification without permission is prohibited.

Sammanfattning

För att binda samman taktiska radionät med försvarets fasta telenät, FTN, används ofta ett mobilt kärnnät. Genom att använda luftburna noder i, eller för att ansluta till, det mobila kärnnätet skulle det kunna få förbättrad räckvidd, eller kortare omgrupperingstid. Vi har studerat räckviddsförbättringen av att använda luftburna noder, och vilka krav som ställs på antennvinster på dessa upphöjda noder.

Tre olika scenarion har studerats. I det första används upphöjda noder för att tillfälligt ersätta en nod i det mobila kärnnätet. I det andra scenariot används den upphöjda noden av en rörlig stab, antingen som en hög mast vid en stabsplats eller som en relänod för att utöka räckvidden. I det tredje scenariot används den upphöjda noden för att ersätta master i ett länkstråk. Det studerade systemet använder bärvågsfrekvensen 1,35 GHz, och har en datatakt på 16 Mbps.

Resultaten visar att räckvidderna och kraven på antenner är tydligt beroende på den luftburna nodens flyghöjd. Det krävs typiskt att noden flyger på minst 300 m höjd eller har en antenn med antennvinst på minst 10 dB för att den luftburna noden ska kunna ersätta en mast eller ge en räckviddsförbättring. Om den upphöjda noden har högre prestanda än dessa minimikrav kan vinsterna bli markanta. I scenario tre, exempelvis, kan två noder på 1000 m höjd och med 10 dB antennvinst ersätta sex reläande master i ett länkstråk.

Nyckelord: ad hoc-nät, UAV, luftburna noder, räckvidd, antenn

Abstract

In order to connect tactical radio nets to the fixed core net of the Armed Forces, a mobile core net is often used. By using airborne nodes in the mobile core net, or by using them to connect to the core net, the range of the system could possibly be increased or the redeployment time could become shorter. We have studied the increase in communication range from using airborne nodes and the demands on the antenna gain of the airborne nodes.

Three scenarios have been studied. In the first, an airborne node is used to temporarily replace a mast in the mobile core net. In the second scenario, the airborne node is used by a headquarter, either as a high mast, or as a relay node in order to increase range. In the third scenario, the airborne nodes are used to replace masts in a sequence of radio links. The studied system uses a carrier frequency of 1.35 GHz, and a data rate of 16 Mbps.

The results shows that the range and demands on antenna gain are clearly dependent on the flight height of the airborne node. Typically, a flight height of at least 300 m or an antenna with antenna gain of at least 10 dB is needed in order for an airborne node to be able to replace the mast or give increased range. If the airborne node has better performance than the minimum requirements, the gains might be substantial. In scenario three, for example, two airborne nodes at 1000 m height and with 10 dB antenna gain can replace six relaying masts.

Keywords: ad hoc networks, UAV, airborne nodes, communication range, antenna

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
2	Scenarion	9
2.1	Bakgrund: mobila kärnnät	9
2.2	Tillfällig knutpunkt	10
2.3	Stabsplats	10
2.4	Luftvärn	11
3	Metod	13
3.1	Länkbudget	13
3.2	Antenner	13
3.3	Placering av noder	16
3.4	Definition av räckvidd	16
3.5	Avgränsningar	16
4	Resultat	17
4.1	Tillfällig knutpunkt	17
4.2	Stabsplats	17
4.3	Luftvärn	21
5	Sammanfattning	23
	Referenser	25

1 Inledning

Den här rapporten är framtagen inom projektet *Luftburna noder i marknät, Lunar*. Projektets syfte är att utvärdera metoder för effektiv kommunikation i ett taktiskt kommunikationsnät med mobila marknoder och upphöjda noder. En upphöjd nod kan realiseras till exempel som en högt placerad marknod eller en luftburen nod. Exempel på en luftburen nod är en UAV, ballong, aerostat eller helikopter. Syftet med att tillföra luftburna noder skulle exempelvis kunna vara att öka räckvidden eller att minska systemets omgrupperingstid. I denna rapport studerar vi dels vilka räckviddsförbättringar systemet skulle kunna få genom att tillföra luftburna noder, dels vilka krav som ställs på antennvinster för att dessa noder ska kunna ersätta en mast med riktantenn.

Tre olika fall studeras. I det första fallet används luftburna noder för att tillfälligt ersätta en nod i det mobila kärnnätet. Noden ansluter här till andra, redan utplacerade, noder. Vi studerar hur hög antennförstärkning som krävs för några olika flyghöjder för att den upphöjda noden ska kunna ersätta en mast. Det andra typfallet handlar om en stabsplats som ansluter till det mobila kärnnätet med hjälp av en luftburen nod. Noden används för att minska omgrupperingstiden eller öka räckvidden. Här analyserar vi vilken räckvidd systemet kan få med en luftburen nod som relänod. Dessutom analyseras vilka krav som ställs på relänoden avseende antenn och flyghöjd, för att ge samma räckvidd som om en mast hade använts. Det tredje typfallet handlar om kommunikation för luftvärnet. Här kan olika enheter vara grupperade långt ifrån varandra, och data måste överföras med kort tidsfördröjning. I detta typfall studerar vi räckvidder, även mellan noder i luften, och hur många luftburna noder som skulle behövas på en sträcka jämfört med antalet master. Vi studerar dessa tre typfall genom att göra beräkningar av länkdämpningen mellan par av noder på olika höjd och i olika typer av terräng. Ur länkdämpningen tar vi sedan fram räckvidder och antennkrav via länkbudgeten. Det studerade systemet använder frekvensen 1,35 GHz och har en dataakt på 16 Mbps.

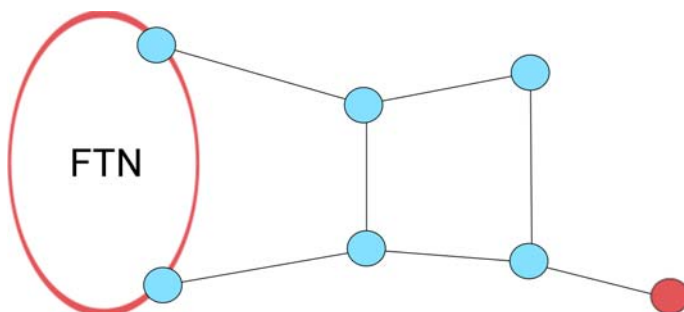
Vi börjar med att beskriva det mobila kärnnätet och de tre typfallen, i kapitel 2. I metodkapitlet, kapitel 3, beskriver vi länkbudgeten och hur noderna placerats ut, samt diskuterar begränsningar. Kapitel 4 presenterar resultaten för de tre scenarierna och kapitel 5 sammanfattar slutsatserna.

2 Scenarion

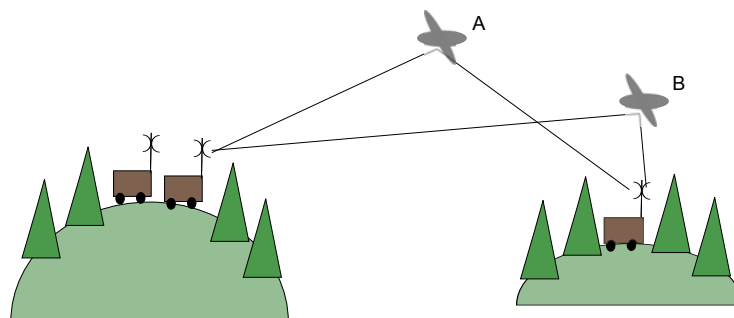
Vi har studerat tre olika typfall; temporär ersättning av knutpunkt, anslutning av stabsplats för ett mobilt förband, samt kommunikation för luftvärnet. Det vi har studerat är hur räckvidden påverkas om luftburna noder tillförs till dessa tre typfall, och vilka krav som ställs på de upphöjda noderna när det gäller antennvinster. Kapitel 2.1 ger en bakgrund till det mobila kärnnätet. Typfallen finns beskrivna i kapitlen 2.2 - 2.4. De finns också beskrivna i mer detalj i [1].

2.1 Bakgrund: mobila kärnnät

Mobila kärnnät används för att binda samman taktiska radionät med försvarets fasta telenät, FTN. Det mobila kärnnätet byggs upp efter behov och består av radiolänkar monterade i master. Förutom en upphöjd position för antennerna används normalt riktantennor för att förbättra räckvidden hos systemet. Ett normalstort mobilt kärnnät består av 10 till 20 knutpunkter som i sin tur har 4-6 radiolänkar vardera. Knutpunkterna är mobila men kan inte vara i drift under förflyttning. Knutpunkternas master placeras ofta på platser med bra radiotäckning och typiska avstånd för en radiolänk är mellan 8 och 20 kilometer. För att ansluta en taktisk radio till det mobila kärnnätet används idag normalt en anslutningspunkt med en radiolänkmast som ansluter till en knutpunkt i det mobila kärnnätet. För att hantera förbandens förflyttningar måste de olika knutpunkterna omgrupperas allt eftersom förbandet förflyttar sig. För att upprätthålla det mobila kärnnätets funktionalitet under omgrupperingen flyttas inte hela nätet på en gång utan man flyttar enskilda knutpunkter. Kravbilderna på det mobila kärnnätet varierar beroende på vilken typ av förband som ansluts. I figur 2.1 visas en principskiss av ett mobilt kärnnät som anslutit sig till FTN. De blå noderna utgör knutpunkter i kärnnätet medan den röda representerar ett förband som är anslutet till det mobila kärnnätet.



Figur 2.1: Principskiss av ett mobilt kärnnät.



Figur 2.2: Användning av luftburna kommunikationsnoder för anslutning av en rörlig stab. I fall (A) används den luftburna noden som en extra relänod. I fall (B) används den upphöjda noden som en hög radiomast.

2.2 Tillfällig knutpunkt

Ett möjligt användningsområde för luftburna noder skulle kunna vara att tillfälligt ersätta en förlorad knutpunkt i det mobila kärnnätet. Alternativt skulle en luftburen nod kunna utgöra ett första temporärt steg i en omgruppering av det mobila kärnnätet som efter hand ersätts med en ordinarie knutpunkt. På detta sätt skulle snabba behov av omgruppering lättare kunna hanteras. I detta scenario studerar vi huvudsakligen hur hög antennförstärkning som krävs för att den upphöjda noden ska kunna ersätta en mast, för några olika flyghöjder.

2.3 Stabsplats

En stabsplats har ofta ett stort kommunikationsbehov och är därför normalt ansluten via radiolänk till ett mobilt kärnnät. För att staben ska kunna leda förbandet samtidigt som förbandet och staben förflyttar sig finns två staber som växelvis leder och omgrupperar till en ny plats. Eftersom staben flyttas oftare än knutpunkterna i det mobila kärnnätet kan vi normalt inte välja att gruppera på radiomässigt lika fördelaktiga platser. Det kan därför lätt uppstå problem med räckvidden för radiolänken mellan staben och kärnnätet vilket reducerar stabens möjligheter till rörlighet. Att resa en mast tar tid och de högre masterna tar längre tid att upprätta. Det kan därför vara en taktisk fördel att använda sig av en lägre mast eller kanske till och med ingen mast alls. En luftburen nod skulle kunna användas för att möjliggöra användandet av en lägre mast för den rörliga staben. Alternativt skulle en luftburen nod kunna förlänga räckvidden mellan den främre stabsplatsen och det mobila kärnnätet. Detta skulle kunna ge den främre staben längre räckvidd och större möjlighet att förflytta sig. I figur 2.2 exemplifieras de olika användningsalternativen för en luftburen nod. I detta scenario analyserar vi dels vilken räckvidd systemet kan få med en luftburen nod som relänod, dels vilka krav som ställs på relänoden när det gäller antenn och flyghöjd för att ge samma räckvidd som om en mast hade använts.

2.4 Luftvärn

Luftvärnet har till uppgift att skydda mot attacker från luftrummet. Luftvärnsförband hanterar markbaserad bekämpning av luftmål genom hela kedjan, från sensorer för upptäck av mål, via ledning till bekämpningssystem. Uppgiften ställer höga krav på kommunikationssystemet eftersom det handlar om överföring av data med kort tidsfördröjning. Samtidigt kan olika enheter vara grupperade med stora avstånd mellan sig under lång tid. Till skillnad från stabs- och knutpunktsfallet antas dock mängden data som ska överföras vara mindre. De olika enheterna förbinds idag med ett eget radiolänksystem. En långsiktig målsättning är att låta luftvärnsförbanden nyttja det mobila kärnnätet för sin kommunikation. Luftburna enheter har ofta en radiomässig fördel då de tack vare sin höjd har fri sikt till enheter och därigenom lång räckvidd för kommunikation. Då datataktkravet i detta scenario är lägre än i de tidigare två torde kraven på avancerade antenner och duplexlänkar vara lägre. I detta scenario studerar vi räckvidder, även mellan noder i luften, och hur många luftburna noder som skulle behövas på en sträcka jämfört med antalet master.

3 Metod

För att ta fram räckvidder och antenkraft har länkdämpningen mellan par av noder beräknats. Beräkningarna har genomförts för olika nodkombinationer, terrängtyper och antennförstärkningar. De nodkombinationer som vi använt är två master, en mast och en luftburen nod, och två luftburna noder. Två terrängtyper har undersökts. Den ena är en plan varierande öppen/skogstäckt terräng kring Örebro. Den andra är kuperad terräng på Lombens skjutfält norr om Kalix. Figur 3.1 visar exempel på terrängprofiler från de två områdena. Räckvidderna har beräknats för två möjliga antennvinster.

3.1 Länkbudget

För att avgöra om två noder har kontakt använder vi länkdämpningen. Länkdämpningen har beräknats med vågutbredningsprogrammet DETVAG-90 [2]. Vi har använt metoden *Geometric Theory of Diffraction* (GTD) med 10 kilar för att approximera terrängprofilen. Vi har ansett att noderna har kontakt om länkdämpningen inte överskrider en viss gräns. Den gränsen ges av länkbudgeten, och beror bland annat på antennvinsterna på sändaren och mottagaren. Mottagen effekt P_r beräknas, i dB, som

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_b$$

där P_t är sändareffekt, L_b är länkdämpningen, och G_t och G_r är antennvinster för sändare respektive mottagare. För att ha kontakt ska den mottagna effekten vara större än mottagarens känslighet S . Detta ger ett krav på maximal tillåten länkdämpning för att ha kontakt. Räknet i dB blir detta krav

$$L_b \leq P_t + G_t + G_r - S$$

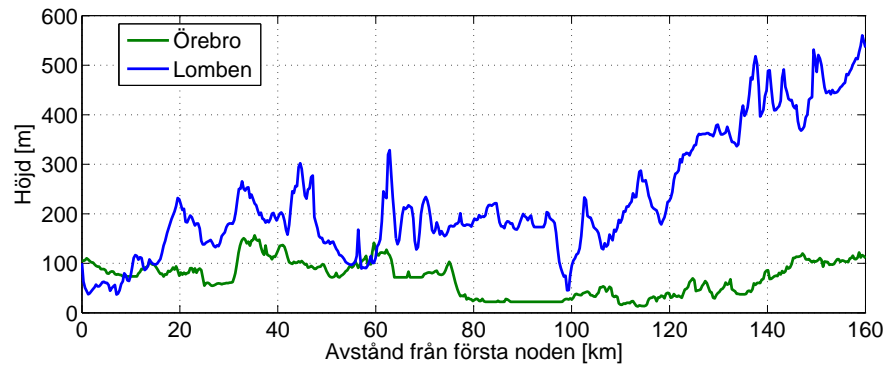
Vi har antagit samma uteffekt på sändaren, 5 W (vilket är 7 dBW), oavsett vilken typ av nod det är. Med denna uteffekt och riktantenner på 26 dB på båda noderna fås exempelvis kravet

$$L_b \leq P_t + G_t + G_r - S = 7 + 26 + 26 - (-112) = 171 \text{ dB}$$

Värdena för både mottagarens känslighet (-82 dBm, det vill säga -112 dBW) och uteffekten har tagits från ett exemplarsystem för radiolänk [3]. Känsligheten beror på data-takten, och vi har valt det värde som gäller för den högsta data-takten, 16384 kbps. Om kravet på data-takt sänks, sänks också kravet på mottagen signalstyrka. Även antennvinsten för en riktantenn har tagits från exemplarsystemet. Tabell 3.1 ger de parametrar som använts för simuleringarna.

3.2 Antenner

Som vi såg i länkbudgeten så har antennvinsten en direkt påverkan på vilken länkdämpning som kan övervinnas, och därmed på räckvidden. I beräkningarna har vi använt någon av tre olika antennkoncept, med antingen 0, 10 eller 26 dB antennvinst.



Figur 3.1: Exempel på höjdprofiler. Blå linje är den kuperade terrängen, Lomben, och grön linje är Örebroterrängen.

Allmänna parametrar	
Terränger	Plan, kuperad
Antennhöjder	3, 10, 25 m
Höjder luftburen nod	100, 300, 1000 m
Frekvens	1,35 GHz
Sändareffekt	5 W
Känslighet mottagare	-82 dBm
Dataakt	16384 kbps
Modulationsform	16-QAM

Tabell 3.1: Parametrar för beräkningarna

Antennhöjd	Antennförstärkning
3 m	0, 10 dB
10 m	0, 10 dB
25 m	26 dB
100 m	0, 10 dB
300 m	0, 10 dB
1000 m	0, 10 dB

Tabell 3.2: Antagen antennförstärkning för olika antennhöjder

Antenner med förstärkning kan byggas på olika sätt. Storleken på en antenn blir ungefär densamma oavsett om den byggs som en antenn-array eller som en riktantenn i form av en parabol eller gridantenn. Det kan vara svårt att använda en antenn som måste riktas in mekaniskt på en luftburen nod som rör sig. En elektriskt styrbar array bör däremot vara lättare att rikta in när noden rör sig.

Hur noggrant antennen behöver riktas in påverkas av antennvinsten. En antenn med högre antennvinst får smalare lobber och måste därmed riktas in mer noggrant. En antenn med en antennvinst på 10 dB har typiskt en huvudlob som är omkring 60 grader vid. En 26 dB antenn däremot har en huvudlob som är i storleksordningen 10 grader. 10 grader motsvarar 500 m på 3 km avstånd, exempelvis. Om en riktantenn ska användas för att kommunicera med den luftburna noden kan det alltså vara viktigt hur den luftburna noden realiseras. Till exempel behöver en UAV troligen röra sig över ett större område än en aerostat, vilket påverkar hur mycket och ofta en antenn behöver riktas om.

Den första typen vi har använt i beräkningarna är en riktantenn med hög antennvinst, 26 dB. En sådan antenn blir omkring 1,8-2 m stor för den aktuella frekvensen, 1,35 GHz. Den andra typen av antenn har en antennvinst på 10 dB, och blir i storleksordningen 0,3 m. Det motsvarar grovt en sektorantenn. Den tredje antennen vi räknat med är en rundstrålande antenn, med 0 dB antennvinst.

Vi har gjort vissa antaganden om i vilka fall det är rimligt att använda vilka antenner. Då en 25 m hög mast används antar vi att den alltid har en riktantenn, med 26 dB antennvinst. På 3 m och 10 m höga master antar vi en enklare antenn. Här använder vi sektorantenn eller rundstrålande antenner, alltså 10 dB eller 0 dB antennvinst. Även på den luftburna noden antar vi någon av de två mindre och enklare antennerna, eftersom det troligen är svårt för en luftburen nod att bära den stora antennen, både med avseende på vikt och storlek. Tabell 3.2 visar de höjder och antenner som använts i simuleringarna.

3.3 Placering av noder

Hur noderna placeras i terrängen är viktigt, eftersom det påverkar länkdämpningen mellan dem. Vi har placerat noderna på den lokalt högsta punkten. Det har gjorts genom att terrängen delats in i ett rutnät, där varje ruta har en sida på en kilometer. Sedan har en nod placerats på den högsta positionen i varje ruta. Länkdämpningen har beräknats från en nod till noderna i de rutor som ligger på en linje rakt bortåt i en riktning. För varje kombination av terräng och antennhöjd/höjd på den luftburna noden har 960 par av noder använts. Terrängerna är valda för att så långt som det är möjligt ge samma typ av terräng över hela räckvidden.

3.4 Definition av räckvidd

Det som studerats är räckvidden under olika förutsättningar, samt vilken antennvinst på en luftburna nod som krävs för att antingen nå samma prestanda som med en mast eller för att ge önskad räckviddsökning. Räckvidd har vi i de flesta fall definierat som det största avstånd där 10 % av noderna fortfarande har kontakt. Att endast 10 % av nodparen behöver ha kontakt ska motsvara att endast den bästa tiondelen av möjliga positioner används. Antagandet bygger på att det är rimligt att man väljer de bästa positionerna för sina master om man sätter upp denna typ av länkar. I vissa scenarion används i stället definitionen att 50 %, det vill säga den bästa hälften av noderna, måste ha kontakt. Detta beror på att vi i dessa scenarion anses ha mindre möjlighet att välja bra positioner. Där länkdämpningar anges är det av samma anledning länkdämpningen för de bästa 10 % eller 50 % som används. Vilken antennvinst som krävs för att få kontakt ges av den beräknade länkdämpningen, och den övriga länkbudgeten.

3.5 Avgränsningar

I det mobila kärnnätet har radiolänkarna duplex när de sitter i en mast, och länkar åt minst två håll, ofta fler. Att ha länkar åt flera håll samtidigt kräver dock flera utrustningar. De luftburna noderna har begränsad lastförmåga rörande både vikt och fysisk storlek, vilket kan göra det svårt att ha multipla länkar. Eventuellt har de luftburna noderna inte heller duplex. Om länkdämpningen är lägre till den luftburna noden skulle detta teoretiskt kunna nyttjas till att höja datatakten för att kompensera för färre länkar. Detta förutsätter då att systemet stödjer högre datatakt än de som används i mastfallet. I våra beräkningar antar vi alltid samma datatakt, nämligen den högsta exempelsystemet klarar.

Vi har även antagit att samma uteffekt använts för alla noder, oavsett om de sitter i en mast eller en luftburna nod.

4 Resultat

I detta kapitel redovisas resultaten för de tre olika scenarierna. Det som studerats är räckvidden under olika förutsättningar, samt vilken antennvinst på en luftburen nod som krävs antingen för att nå samma prestanda som med en mast eller för att ge önskad räckviddsökning.

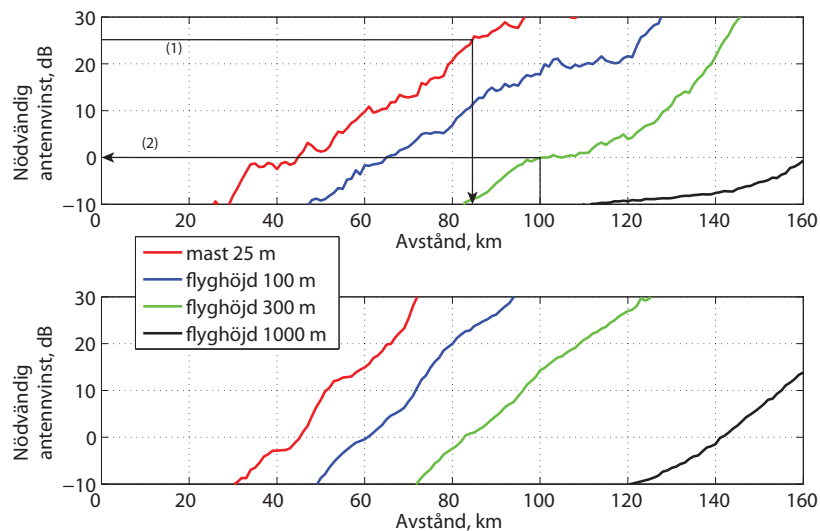
4.1 Tillfällig knutpunkt

Den luftburna noden används i detta scenario för att tillfälligt ersätta en mast i det mobila kärnnätet. Noden är här tänkt att användas som ren relänod, som ansluter till andra redan utplacerade noder. Avståndet till de två andra noderna antas vara ungefär lika stort som den räckvidd man har mellan två master med bra antenner. Räckvidden är här det största avstånd där 10 % av noderna har kontakt. Den första frågan är vilken prestanda som krävs på den luftburna noden för att den ska kunna ersätta en mast med bra antenn (25 m mast, 26 dB antennvinst). Figur 4.1 visar vilken antennvinst vi behöver ha för att få kontakt med masten i andra änden, beroende på avstånd. Kraven på antennen visas för olika flyghöjder, samt för en 25 m mast som referens. I de fallen då länkdämpningen är negativ räcker det med en rundstrålande antenn. Eftersom vi antar att masten har 26 dB antennvinst kan vi se att räckvidden är ca 85 km i Lomben. För att få samma räckvidd med en luftburen nod krävs det ca 10 dB antennvinst på 100 m flyghöjd, medan en rundstrålande antenn räcker om noden flyger på 300 eller 1000 m höjd.

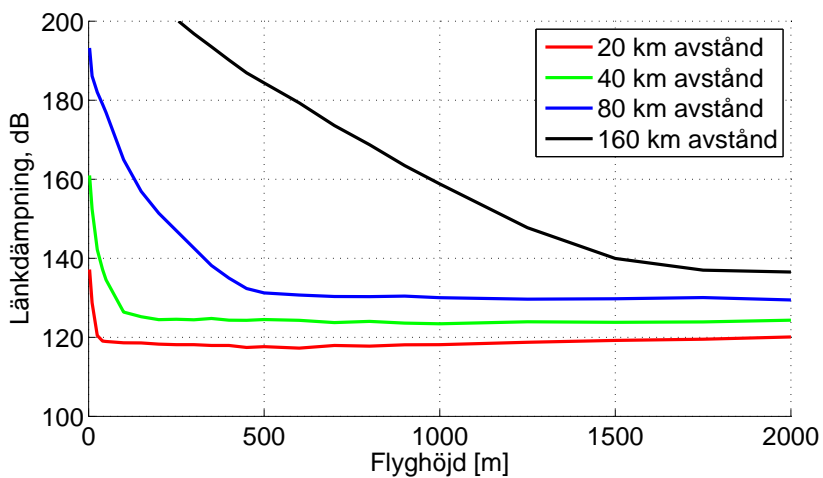
Figuren 4.1 tyder på att flyghöjden har stor påverkan på vilka krav som ställs på antennen. Figur 4.2 visar flyghöjdens påverkan på länkdämpningen mellan en luftburen nod och en 25 m hög mast. Länkdämpningen är beräknad på avstånden 20, 40, 80 och 160 km. Ju kortare avstånd mellan noderna desto mindre finns det att vinna på att flyga högre. Endast för det längsta avståndet skulle det finnas det något att vinna på att flyga på högre höjd än 1000 m.

4.2 Stabsplats

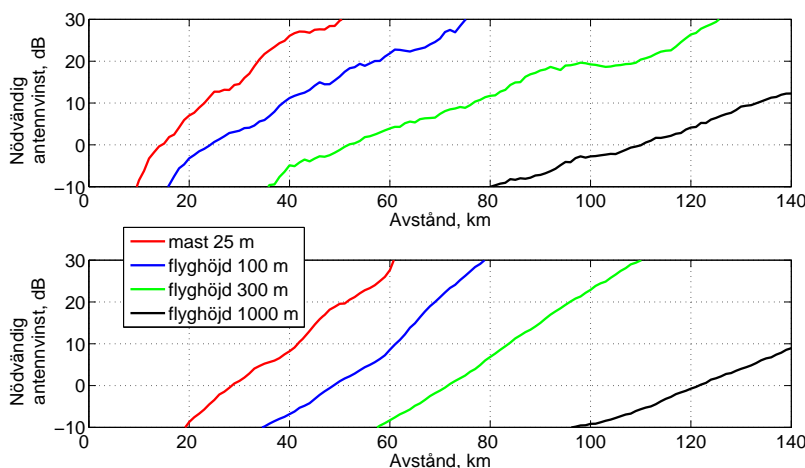
I detta scenario användes den luftburna noden antingen som en hög mast vid en stabsplats, eller som relä för att utöka räckvidden till stabsplatsen. I det första fallet är det kraven för att ersätta en mast som är mest intressant. Här blir det samma resonemang som i det föregående scenariot, men eftersom staben omgrupperar oftare än det mobila kärnnätet kan man troligen inte välja platser som är lika radiomässigt fördelaktiga. Därför har vi här valt att titta på länkdämpningen för den bästa hälften i stället för den bästa tiondelen. Figur 4.3 visar vilka krav vi får på antennerna i detta fall. Räckvidden för mastparet är här ca 40 km i Lombenterrängen. På det avståndet krävs en antennvinst på drygt 10 dB om vi flyger på 100 m höjd. På de två högre flyghöjderna är kraven negativa. Där räcker det med rundstrålande antenner. I den plana Örebroterrängen är



Figur 4.1: Krav på antennvinst för att få kontakt. Överst i Lombenterrängen, underst Örebro. Exempel (1) visar hur räckvidden kan läsas ut till ca 85 km med masten, eftersom antennvinsten antas vara 26 dB. Enligt (2) krävs ingen antennvinst för att få 100 km räckvidd, på 300 m höjd.



Figur 4.2: Länkdämpningens beroende av flyghöjd i Örebro-terrängen, på olika avstånd från masten.



Figur 4.3: Krav på antennvinst för att få kontakt. Överst i Lombenterrängen, underst Örebro.

räckvidden större, cirka 60 km. Här krävs det antennvinster på ca 7 dB på 100 m höjd, och ingen förstärkning på högre flyghöjder. Skillnaderna beroende på flyghöjd är även här stora.

I det andra fallet, där den luftburna noden används som en relänod, är det en räckviddsökning som eftersträvas. Tabellerna 4.1 och 4.2 visar räckvidderna för olika kombinationer av mast- och flyghöjder. I 4.1 har rundstrålande antenner antagits, i 4.2 ges räckvidden då antenner med 10 dB förstärkning används. Genom att utgå från dessa värden för ett hopp kan vi ta fram ungefärliga skattningar av räckvidder för hela kedjan, från mast till luftburet relä till mast. Vi ser att genom att tillföra en upphöjd nod som relä kan räckvidden ökas betydligt. Ett exempel på räckviddsändring med relänoden: i den planare terrängen har vi 59 km räckvidd med mastparet. Med en likadan mast i ena änden, en relänod på 300 m höjd och en mottagande nod med 3 m antenn fås $71 + 11 = 82$ km räckvidd, redan utan antennvinster på den luftburna noden. I Lomben får vi med samma antaganden $51 + 10 = 61$ km räckvidd, jämfört med mastparets 39 km.

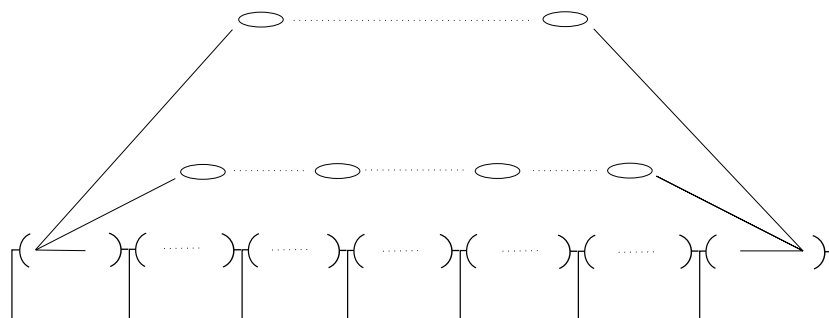
För att ersätta mastparet med systemet med luftburet relä och marknod ställs i vissa fall krav på flyghöjden hos den luftburna noden. Om den upphöjda noden och den främre enheten endast har rundstrålande antenner så krävs det att flyghöjden är minst 300 m om den främre masten ska kunna ersättas av en antenn på 3 m. Om antennen istället tillåts vara 10 m hög blir räckvidden alltid bättre med reläet och marknoden än med två master, oavsett vilken av de tre flyghöjderna som används. Även för fallet med 10 dB antenner på den luftburna noden och på den framskjutna enheten blir räckvidden alltid bättre än med mastparet.

		Räckvidd [km]		
		3 m, 0 dB	10 m, 0 dB	25 m, 26 dB
Lomben	25 m, 26 dB	9	11	39
	100 m, 0 dB	5	7	24
	300 m, 0 dB	10	13	51
	1000 m, 0 dB	15	15	110
Örebro	25 m, 26 dB	15	20	59
	100 m, 0 dB	7	11	48
	300 m, 0 dB	11	14	71
	1000 m, 0 dB	15	15	121

Tabell 4.1: Räckvidder då noderna har de angivna höjderna och antennvinsterna; endast 25 m-masten antas ha antennvinst, de övriga har 0 dB.

		Räckvidd [km]		
		3 m, 10 dB	10 m, 10 dB	25 m, 26 dB
Lomben	25 m, 26 dB	14	18	39
	100 m, 10 dB	11	14	38
	300 m, 10 dB	22	32	76
	1000 m, 10 dB	51	69	133
Örebro	25 m, 26 dB	23	29	59
	100 m, 10 dB	21	29	61
	300 m, 10 dB	36	49	83
	1000 m, 10 dB	63	87	141

Tabell 4.2: Räckvidder då noderna har de angivna höjderna och antennvinsterna; 10 dB antennvinst antas för alla noder utom 25 m-masten.



Figur 4.4: Schematisk illustration av exemplet länkstråk Stockholm-Malmö

4.3 Luftvärn

I detta scenario jämförs ett länkstråk av master med ett där de mellanliggande masterna har ersatts med luftburna noder. Tabellerna 4.3 och 4.4 visar räckvidden mellan par av noder som är luftburna, med olika antenner. Om noder utan antennvinst används blir räckvidden betydligt sämre mellan de upphöjda noderna än mellan två master med riktantenner. Om däremot 10 dB antennvinst antas på de upphöjda noderna kan systemet vinna i räckvidd. Genom att summera räckvidder för en enda sträcka uppskattas en sträcka på 500 km kräva 8 master. Denna sträcka är exempelvis avståndet från Stockholms södra del till Malmö. Vi använder då räckvidderna för den plana terrängen. Om de mellanliggande masterna ersätts med luftburna noder med 10 dB antennvinst krävs förutom de två masterna i ändpunkterna två luftburna noder på 1000 m höjd, eller fyra noder på 300 höjd. Figur 4.4 illustrerar resultatet schematiskt. Att beräkna räckvidden på ett stråk av länkar genom att addera räckvidden på individuella länkar är en förenkling, men kan ge en uppfattning om räckvidden.

		Räckvidd [km]			
		25 m 26 dB	100 m 0 dB	300 m 0 dB	1000 m 0 dB
Lomben	25 m, 26 dB	88	64	101	160
	100 m, 0 dB		17	17	16
	300 m, 0 dB			16	16
	1000 m, 0 dB				16
Örebro	25 m, 26 dB	70	60	82	141
	100 m, 0 dB		19	19	19
	300 m, 0 dB			19	18
	1000 m, 0 dB				16

Tabell 4.3: Räckvidd mellan noder under antagandet om antenner utan antennvinst, det vill säga 0 dB, på de luftburna noderna.

		Räckvidd [km]			
		25 m 26 dB	100 m 10 dB	300 m 10 dB	1000 m 10 dB
Lomben	25 m, 26 dB	88	82	128	175
	100 m, 10 dB		79	122	152
	300 m, 10 dB			141	177
	1000 m, 10 dB				167
Örebro	25 m, 26 dB	70	71	96	155
	100 m, 10 dB		70	96	161
	300 m, 10 dB			134	191
	1000 m, 10 dB				224

Tabell 4.4: Räckvidd mellan noder under antagandet om 10 dB antennvinst för de luftburna noderna.

5 Sammanfattning

Vi har studerat möjliga räckviddsförbättringar av att använda upphöjda noder i eller för att ansluta till det mobila kärnnätet. Vi har även studerat vilka krav som ställs på antennvinster på dessa upphöjda noder för att de ska kunna ersätta en mast med riktantenn. Det studerade systemet använder en bärvågsfrekvens på 1,35 GHz och har en dataakt på 16 Mbps.

I det första av tre scenarion används upphöjda noder för att tillfälligt ersätta en nod i det mobila kärnnätet. För att få samma räckvidd som med en 25 m hög mast med en riktantenn på 26 dB krävs en antennvinst på ca 10 dB om noden flyger på 100 m höjd. På 300 m eller 1000 m höjd krävs ingen antennvinst alls för att få samma räckvidd.

I det andra scenariot används den upphöjda noden av en rörlig stab, antingen som en hög mast vid stabspunkten eller som en relänod för att utöka räckvidden. Noderna antas här vara mindre fördelaktigt placerade eftersom staben omgrupperar oftare än noderna i det mobila kärnnätet. Även här krävs en antennvinst på ca 10 dB om noden flyger på 100 m höjd, och ingen antennvinst på de två högre flyghöjderna, för att ersätta en mast.

I det tredje scenariot används den upphöjda noden för att ersätta master i ett länkstråk. En sträcka på 500 km, ungefär sträckan mellan Stockholm och Malmö, skulle enligt våra beräknade räckvidder kräva 8 master med riktantenn. Om de upphöjda noderna inte har antennvinst är deras räckvidd avsevärt sämre än masternas, men om en antennvinst på 10 dB antas kan två noder på 1000 m höjd ersätta de 6 mellanliggande masterna.

Referenser

- [1] U. Uppman, K.. Fors, S. Linder, A. Hansson och U. Sterner. Luftburna kommunikationsnoder i marknät. Teknisk rapport, FOI, 2012.
- [2] B. Asp, G. Eriksson och P. Holm. Detvag-90 final report. Teknisk rapport FOA-R-97-00566-504-SE, Försvarets Forskningsanstalt, september 1997.
- [3] RL532A - Tactical Radio Link. http://www.kongsberg.com/sitecore/shell/Controls/Rich%20Text%20Editor/~/_media/KDS/Files/Products/Defence%20Communication/RL532A_datasheet_rev_E6_34option.ashx, 2011. Tillgänglig 2013.02.04.

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.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se