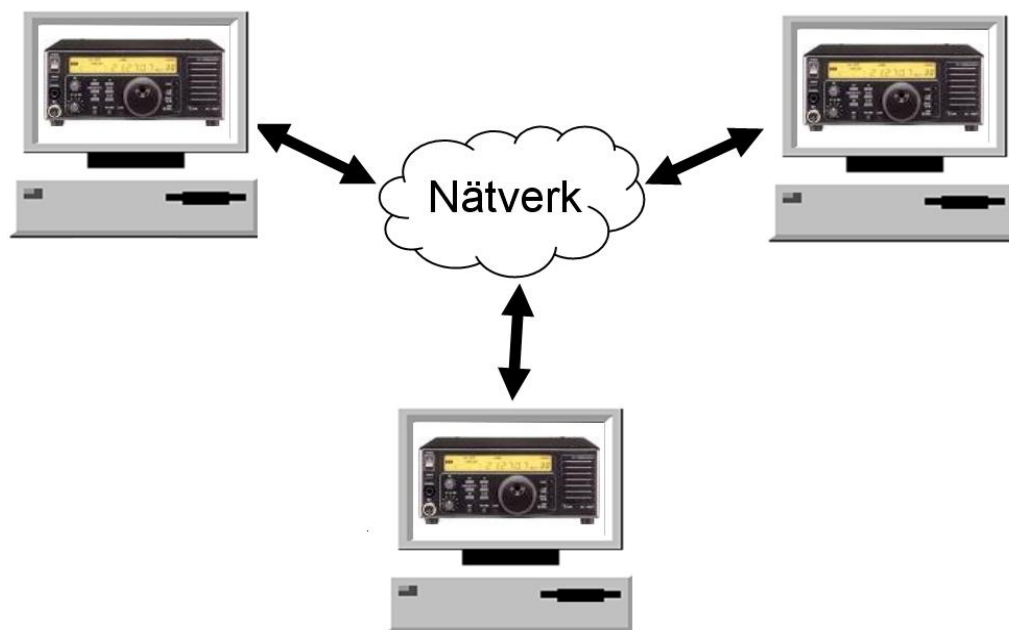


Niclas Appleby, Erika Johansson, Fredrik Forslund

# Åskådliggörande av olika signalmiljöer baserat på avancerade kommunikationsmodeller med realistisk återgivning



TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Ledningssystem

Box 1165

581 11 Linköping

FOI-R--1308--SE

September 2004

ISSN 1650-1942

**Metodrapport**

Niclas Appleby, Erika Johansson, Fredrik Forslund

# Åskådliggörande av olika signalmiljöer baserat på avancerade kommunikationsmodeller med realistisk återgivning

<b>Utgivare</b> Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Ledningssystem Box 1165 581 11 Linköping	<b>Rapportnummer, ISRN</b> FOI-R--1308--SE	<b>Klassificering</b> Metodrapport
	<b>Forskningsområde</b> 6. Telekrig och vilseledning	
	<b>Månad, år</b> September 2004	<b>Projektnummer</b> E7015
	<b>Delområde</b> 61 Telekrigföring med EM-vapen och skydd	
	<b>Delområde 2</b>	
<b>Författare/redaktör</b> Niclas Appleby Erika Johansson Fredrik Forslund	<b>Projektledare</b> Lars Tydén	
	<b>Godkänd av</b> Mikael Sjöman	
	<b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b> FM	
	<b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b>	
<b>Rapportens titel</b> Åskådliggörande av olika signalmiljöer baserat på avancerade kommunikationsmodeller med realistisk återgivning		
<b>Sammanfattning (högst 200 ord)</b> <p>Då framgångarna på det moderna slagfältet är starkt beroende av informationsöverföring mellan olika enheter, är förmågan att bemöta och kunna utföra telekrig inom kommunikationsområdet av yttersta vikt. För att öka kunskaperna om telekrig, bland militär personal, är det viktigt att ha tillgång till ett väl fungerande verktyg för teknikutveckling och utbildning av vilka konsekvenser som kommer som följd av olika uppträdanden. Det arbete som beskrivs i denna rapport, består i framtagandet av ett sådant verktyg.</p> <p>Den utvecklade kommunikationsmodulen har telekrigfunktionalitet och kan utföra simuleringar mellan flera användare i ett datornätverk. Kommunikation och störning av densamma sker i realtid via datornätverket. Telekrigets effekter på analog och digital radiokommunikation presenteras för användaren på ett pedagogiskt sätt. Sända röstmeddelanden spelas upp i mottagarens högtalare med mer eller mindre brus och textmeddelanden visas på skärmen med mer eller mindre antal förstörda tecken. Inga djupare förkunskaper krävs således av användaren för att tillgodogöra sig resultaten från simuleringarna. Vidare använder kommunikationsmodulen ett HLA-nätverk, vilket gör att den enkelt kan återanvändas i olika simuleringsmiljöer.</p> <p>Vid utvecklandet av denna kommunikationsmodul har det även gjorts en hel del anpassningar av befintliga beräkningsmodeller som tidigare använts i telekrigvärderingsverktyget Freke-Tavast. Dessa anpassningar innefattar uppsnabbning av beräkningshastigheten för att kunna möta kraven på kommunikation och störning i nära realtid.</p>		
<b>Nyckelord</b> Kommunikation, telekrig, vågutbredning, VoIP, HLA		
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Antal sidor:</b> 23 s.	
<b>Distribution enligt missiv</b>	<b>Pris:</b> Enligt prislista	

<b>Issuing organization</b> FOI – Swedish Defence Research Agency Command and Control Systems P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	<b>Report number, ISRN</b> FOI-R--1308--SE	<b>Report type</b> Methodology report
	<b>Programme Areas</b> 6. Electronic Warfare and deceptive measures	
	<b>Month year</b> September 2004	<b>Project no.</b> E7015
	<b>Subcategories</b> 61 Electronic Warfare including Electronic weapons and Protection	
	<b>Subcategories 2</b>	
<b>Author/s (editor/s)</b> Niclas Appleby Erika Johansson Fredrik Forslund	<b>Project manager</b> Lars Tydén	
	<b>Approved by</b> Mikael Sjöman	
	<b>Sponsoring agency</b> FM	
	<b>Scientifically and technically responsible</b>	
<b>Report title (In translation)</b> Realistic data/speech in radio communication based on advanced calculation models		
<b>Abstract (not more than 200 words)</b> <p>To be able to face the commitments of the modern battlefield, it is of uttermost importance to master the electromagnetic spectrum. In order to increase the knowledge of and the ability to perform and encounter electronic warfare, within the communication sphere, it is essential to have tools for training and education. The simulation software developed is such an electronic warfare (EW) tool.</p> <p>The developed communication module can perform radio communication simulations between several users in a computer network. Communication and jamming is performed in real time over the computer network. The impact of electronic warfare is presented to the user in a pedagogical manner. For voice communication, the results are presented by audio, i.e. the user can hear messages with the same quality as if they really had been transmitted to him. For data messages, the text is distorted in accordance to the communication quality.</p> <p>The architecture used for the computer network is HLA. Modules that use HLA are portable and can easily be reused and incorporated in several different simulations.</p> <p>The calculations that are used to calculate SNR (signal-to-noise ratio) and SJR (signal-to-jamming ratio) are performed using real height- and terrain data and are the same models used in the earlier electronic warfare planning tool Freke-Tavast. Some adaptations have been made to the calculation model to make it run in real time, without sacrificing accuracy or wave propagation modelling complexity.</p>		
<b>Keywords</b> Communication, electronic warfare, wave propagation, VoIP, HLA		
<b>Further bibliographic information</b>	<b>Language</b> Swedish	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Pages</b> 23 p.	
	<b>Price acc. to pricelist</b>	



# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>INLEDNING</b> .....	<b>6</b>
1.1	BAKGRUND.....	6
1.2	UTFÖRT ARBETE .....	6
1.3	NYTTA FÖR FÖRSVARSMAKTEN.....	7
1.4	DISPOSITION .....	7
<b>2</b>	<b>PROGRAMÖVERSIKT</b> .....	<b>8</b>
2.1	KOMPONENTER OCH APPLIKATIONER .....	8
2.1.1	<i>Kommunikationsmodulen</i> .....	8
2.1.2	<i>Sänd-/mottagarapplikationen</i> .....	9
2.1.3	<i>Kanalmanipulatorer</i> .....	10
<b>3</b>	<b>DATORNÄTVERKETS UPPBYGGNAD</b> .....	<b>12</b>
3.1	HLA-NÄTVERK.....	12
3.1.1	<i>Beskrivning av sändtagarfederaten</i> .....	12
3.2	RTP-NÄTVERK.....	13
3.3	PÅVERKAN PÅ ETT MEDDELANDE .....	14
3.4	TEKNISK BESKRIVNING AV VOIP-MODULEN .....	15
3.4.1	<i>CSoundInWin32Mic</i> .....	15
3.4.2	<i>CL8RTPPacketIn</i> .....	15
3.4.3	<i>CL8RTPPacketOut</i> .....	16
3.4.4	<i>CSoundOutBitErrorFilter</i> .....	16
3.4.5	<i>CSoundOutWin32Spkr</i> .....	16
<b>4</b>	<b>UTRUSTNING OCH KALIBRERING</b> .....	<b>17</b>
4.1	SIGNALKVALITET, TECKENFEL OCH HÖRBARHET .....	17
<b>5</b>	<b>VÅGUTBREDNING</b> .....	<b>19</b>
5.1	MARKVÅGSBERÄKNINGAR .....	19
5.2	DATALÄSNING OCH BERÄKNINGSHASTIGHET .....	20
5.3	BRUS, STÖRNING OCH TELEKONFLIKT .....	20
5.4	VERKLIGHETEN VS MODELLERNA .....	21
<b>6</b>	<b>SLUTSATSER OCH FRAMTIDA ARBETE</b> .....	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>REFERENSER</b> .....	<b>23</b>

# 1 Inledning

Framgångarna på det moderna slagfältet är starkt beroende av informationsöverföring mellan olika enheter. Förmågan att bemöta och utföra telekrig inom kommunikationsområdet i det elektromagnetiska spektrumet är viktig för att erhålla informationsöverlägsenhet och sedermera vinna det fysiska slaget. För att öka kunskapen om, och förmågan att utföra, telekrig bland militär personal är det av yttersta vikt att ha ett väl fungerande verktyg för utbildning av vilka konsekvenser som kommer som följd av olika uppträdanden.

Institutionen för Telekrigvärdering, vid FOI, har sedan ett antal år utvecklat verktyg för simulering av telekrig för Försvarsmakten. Dessa har använts för bland annat utbildning och beräkningsstöd inom marinen och armén.

Demonstratorn som beskrivs i denna rapport är det senaste verktyg som tagits fram i denna genre och ger användarna möjlighet att direkt se respektive höra hur meddelanden påverkas av olika signal-brusförhållanden (SNR) eller signal-störförhållanden (SJR), vilket i sin tur beror på vald grupperingsplats.

## 1.1 Bakgrund

FOI har under en längre period arbetat med verktyg för telekrigberäkningar på kommunikationsområdet. Tavast, Freke och Freke-Tavast [1][2] är exempel på verktyg avsedda för utbildning, övningsgenomgångar eller enklare stridsteknisk/taktisk planering av kommunikation, störning eller signalspaning. Under 2003 påbörjades ett arbete med att ta fram en simuleringsmiljö (EWSim) [3] som möjliggör multispektrala telekrigsimuleringar med kommunikation, radar och optronik. Arbetet med EWSim utförs inom ramen för FOT-projektet Duellsimuleringar Telekrig där resultaten bl.a. kommer enskilda beställningar till nytta.

Under tidigare arbete har behovet av att kunna presentera beräkningsresultat på flera olika sätt, identifierats. Diagram, numeriska värden och kurvor svarar på många av användarens frågor men kopplingen mellan numeriska resultat och den sambandskvaliteten en användare verkligen upplever har varit svårare att ge svar på. I Freke-Tavast färgkodades en markering vid mottagande station (grön/gul/röd) baserat på den beräknade sambandskvaliteten (bra/tveksam/dålig). Genom att göra det möjligt för användaren att, istället direkt höra eller se hur signal-brusförhållandet påverkar kvalitén på mottagna meddelanden blir kopplingen mellan beräkningar och användarens vardag bättre. Inga förkunskaper om telekrig på kommunikationsområdet behövs för att användaren ska kunna tillgodogöra sig resultaten från simuleringarna.

I ett väl fungerande utbildnings- och planeringsverktyg är det viktigt att kunna utföra snabba beräkningar utan att göra avkall på noggrannheten. I EWSim är det viktigt att kunna simulera överföringen av riktiga meddelanden i realtid då informationen som skickas kan vara sensordata som ska ligga till grund för beslut om en insats. Mycket arbete har därför lagts ner på att få upp hastigheten på i första hand inläsning av terräng- och höjddata då det i tidigare applikationer varit den del av beräkningarna som haft den största tidsåtgången.

## 1.2 Utfört arbete

Arbetet som presenteras i denna rapport innefattar framtagandet av en kommunikationsmodul med telekrigfunktionalitet. Radiostationer, dess radioförbindelse samt omvärlden simuleras i ett datornätverk, där flera användare med var sin dator kan delta. Under simuleringen, som går i nära realtid, kan användarna skicka text och röstmeddelanden till varandra samt störa

andras kommunikation. De faktorer som beaktas vid presentationen av de sända meddelandena är geografiska data, brus samt avsiktlig störning.

Kommunikationsmodulen har demonstrerats vid några tidigare tillfällen. [4] Vid dessa tillfällen har några enklare applikationer använts för att påvisa modulens funktionalitet. Modulen är dock portabel och kan enkelt återanvändas i andra simuleringsmiljöer.

### **1.3 Nyttan för Försvarmakten**

Det framtagna verktyget är till för att kunna köra scenarier med störd kommunikation för forskning och teknikutveckling samt att utbilda militär personal på alla nivåer inom telekrig på kommunikationsområdet. Verktöget består av en simulatormiljö där radiomeddelandena skickas, tas emot och utsätts för störning via ett datornätverk. Inga signaler går ut i luften, vilket möjliggör lektionssalsanvändning. I en kontrollerad simuleringsmiljö så som i EWSim, där hela slagfältet simuleras, kan användaren enkelt testa störinsatser. Under en sådan simulerad övning behövs heller inga tillstånd för att gå ut med störning, som kan vara fallet i verkligheten.

### **1.4 Disposition**

I kapitel 2 ges en kort överblick på vad kommunikationsmodulen klarar av, samt vilka applikationer som utvecklats för att visa dess funktionalitet. I kapitel 3 beskrivs det datornätverk som används av modulen mer ingående. Här finns även viss dokumentation av de klasser som använts och utvecklats i källkoden. Detta kapitel vänder sig främst till programvaruutvecklare och kan hoppas över av användare. Kapitel 4 beskriver den specifika radioutrustning som modellerats för demonstration av kommunikationsmodulen. Slutligen så beskrivs i kapitel 5 de beräkningsmodeller som ligger till grund för de kommunikationsberäkningar som används i en av de utvecklade applikationerna.

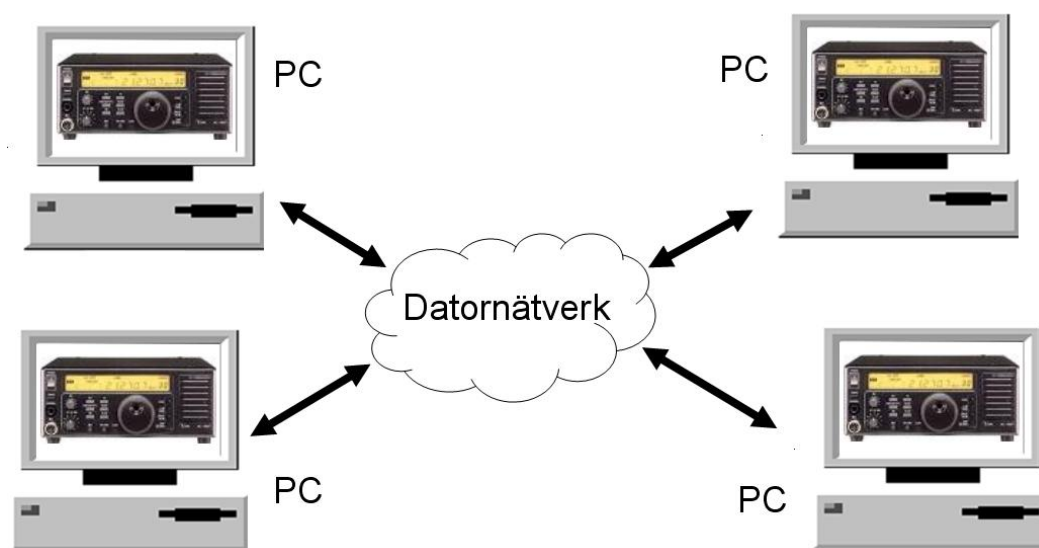


## 2 Programöversikt

I detta kapitel förklaras hur kommunikationsmodulen är uppbyggd och hur de ingående komponenterna fungerar. Vidare beskrivs de applikationer som utvecklades speciellt för testning och demonstration av modulens funktionalitet.

### 2.1 Komponenter och applikationer

Huvudsyftet med arbetet har varit att utveckla en kommunikationsmodul som innehåller funktionalitet för att sända och ta emot meddelanden samt även modifiera dessa för att simulera dålig signalkvalitet eller störning. Meddelandena kan vara tal, telegrafi eller text (data) och skickas/tas emot över en simulerad radioförbindelse via ett datornätverk. De enskilda radiooperatörerna och störarna kommunicerar/stör varandra över nätverket. Se figur 2.1. De transmitterade meddelandena presenteras för mottagaren på en skärm eller i högtalare/headset. Baserat på kommunikationslänkens kvalitet presenteras röst- och telegrafimeddelandena med mer eller mindre adderat brus och de digitala textmeddelandena med lägre eller större teckenfelshalt.



Figur 2.1 Den grundläggande designen på kommunikationsmodulen.

Ett krav som tidigt ställdes på modulen är att den ska vara portabel och därmed kunna utnyttjas enkelt i olika simuleringsmiljöer. För att demonstrera kommunikationsmodulen så har tre applikationer tagits fram, en sänd-/mottagarapplikation och två olika kanalmanipulatorer. Dessa applikationer och kommunikationsmodulen beskrivs nedan.

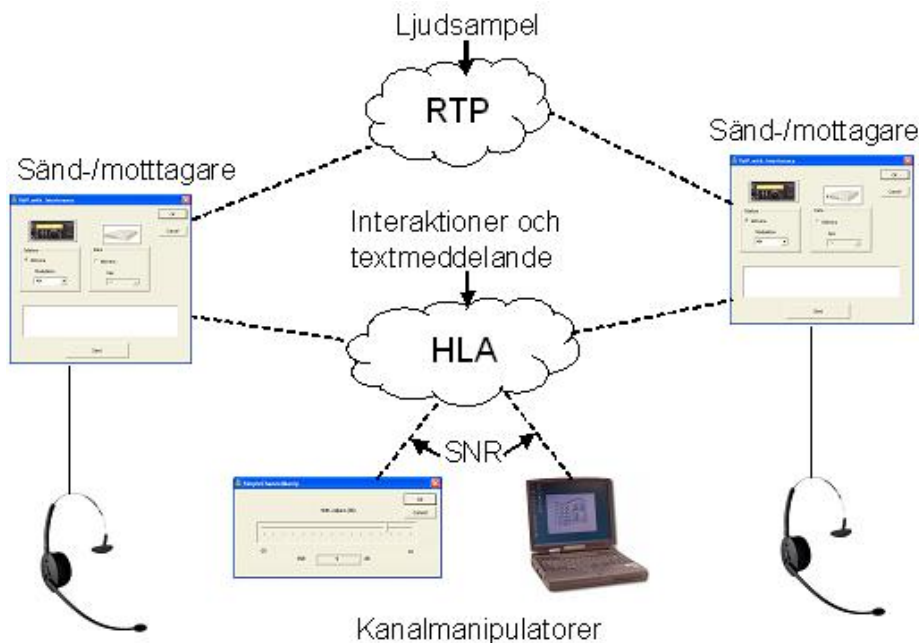
#### 2.1.1 Kommunikationsmodulen

För att ge en realistisk bild av hur radioutrustningen fungerar i verkligheten behöver både radiokanalen och omvärlden simuleras. Om kanalen är dålig försämras meddelandekvaliteten. Detta gäller oavsett om det är terräng, brus, telekonflikter eller avsiktlig störning som orsakar den dåliga kanalen.

Alla kvalitetsvariationer på radiokanalen simuleras via varierande nivå på vitt gaussiskt brus. Detta innebär att i denna rapport är SNR (signal-brusförhållande), SJR (signal-störförhållande) och SIR (signal-interferensförhållande) utbytbara. Dvs. både störning och interferens betraktas som brus.

I figur 2.2 visas en schematisk bild på kommunikationsmodulen och de 3 applikationer som använts. Modulen är beroende av två nätverksdelar för datautbyte. Den ena är ett TCP/IP

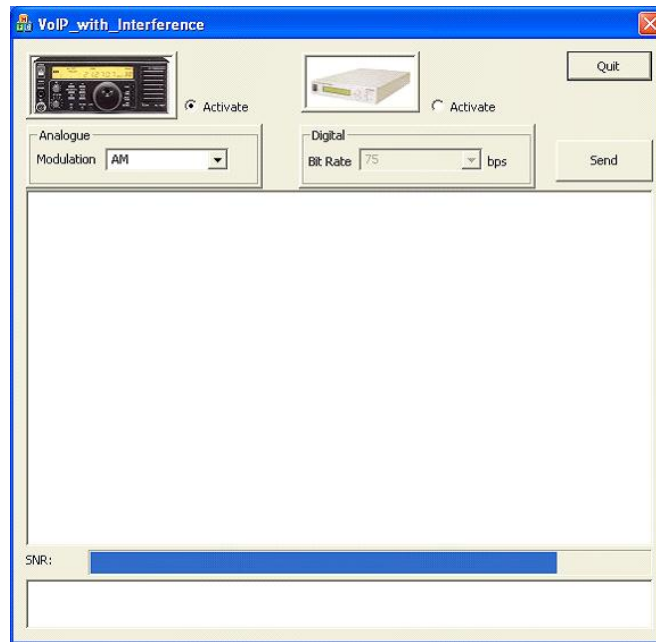
baserat HLA nätverk (High Level Architecture), som är en militär standard för distribuerade simuleringar. [5] Detta gör att kommunikationsmodulen är portabel och kan användas i olika simuleringsmiljöer. Den andra delen utgörs av en VoIP-session (Voice over Internet Protocol) över ett RTP-nätverk (Real-Time Transport Protocol) Detta möjliggör sändning och mottagning av strömmande ljuddata. [6]. Det strömmande ljuddata behövs för att kunna skicka röstmeddelande (ljudsampel) mellan de olika radiooperatörerna i realtid, vilket HLA inte klarar. Se figur 2.2. För mer ingående beskrivning av nätverkets uppbyggnad i kommunikationsmodulen se kapitel 3.



**Figur 2.2** Kommunikationsmodulens uppbyggnad med nätverk och de använda applikationerna.  
Om förbindelsen är störd fås SJR istället för SNR

## 2.1.2 Sänd-/mottagarapplikationen

Denna applikation innehåller funktionalitet för att sända och ta emot meddelanden. Meddelandena kan vara tal, telegrafi eller text (data). Det grafiska gränssnitt som används är en förenkling av den verkliga sänd-/mottagarens panel, se figur 2.3.



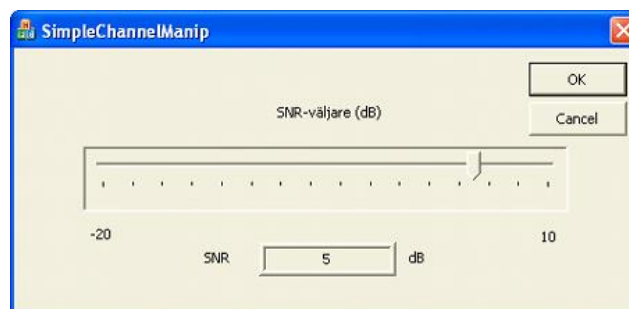
**Figur 2.3 Sänd-/mottagartagarapplikationen**

För att sända ett röstmeddelande klickar radiooperatören på sänd-knappen i gränssnittet och pratar in sitt meddelande via mikrofonen på sitt headset. Ett textmeddelande skickas på liknande sätt; användaren väljer först vilken textfil som ska skickas. Innan ljud eller textmeddelandet tas emot av mottagaren så skickar den sändande stationen sina radioinställningar till alla mottagare via HLA-nätverket. Om sändarens och mottagarens radioinställningar stämmer överens så kommer mottagaren att kunna ta emot meddelandet. Då HLA-nätverket inte är dimensionerat för att klara av att skicka stora mängder data så skickas ljudströmmen till mottagaren via RTP-nätverket. Textmeddelandet skickas via HLA-nätverket.

Beroende på aktuellt SNR värde kommer ljudet och texten att uppfattas mer eller mindre bra. I varje sändtagare finns det två brusmodeller som kan användas för att simulera en av brus störd kanal. Dessa modeller används med ett SNR-värde som in -parameter. Brusmodellerna och deras gränsvärden beskrivs i kapitel 4 och 5.

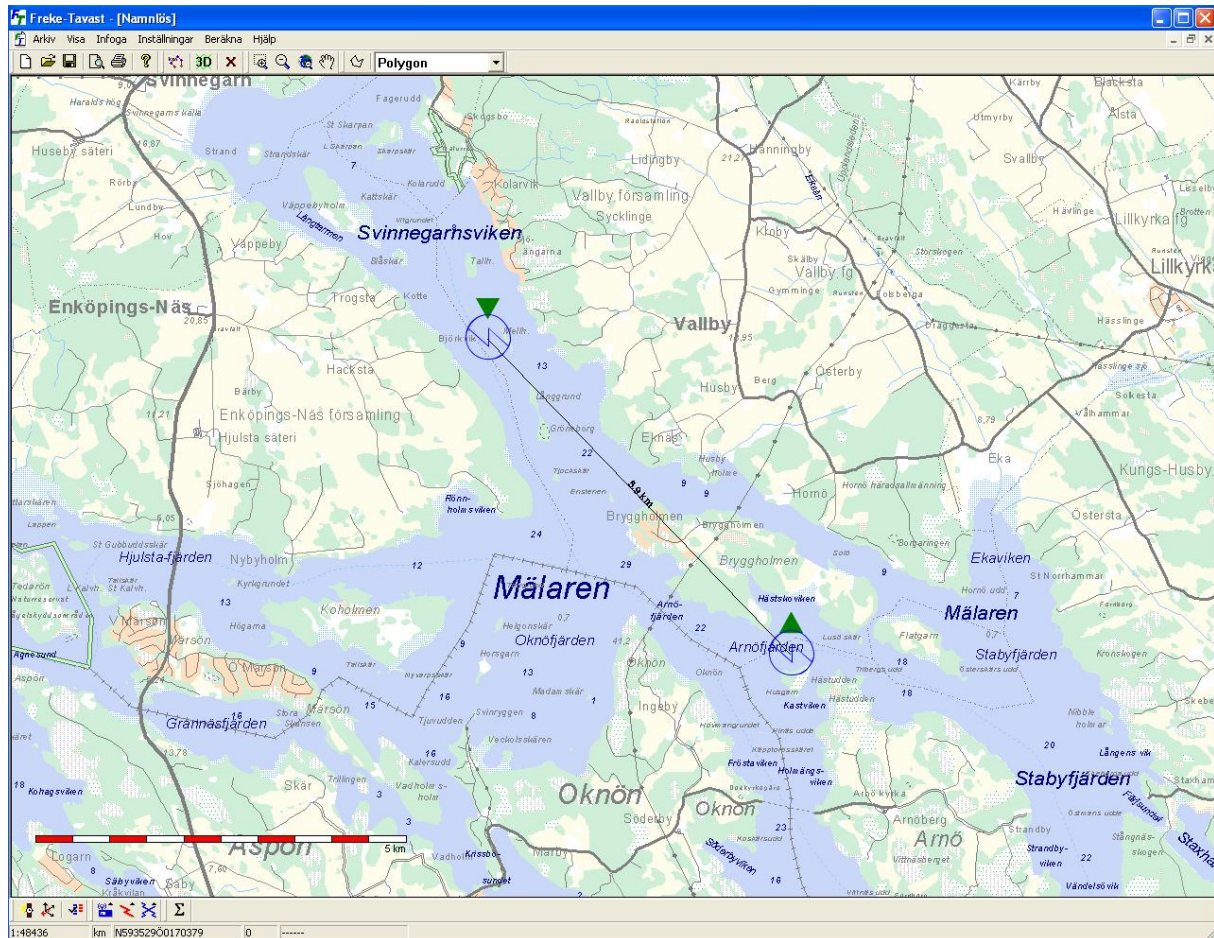
### 2.1.3 Kanalmanipulatorer

Den mottagna signalen/ljudströmmen kan påverkas på två olika sätt. Detta sker genom så kallade kanalmanipulatorer. Den ena kanalmanipulatorn är en enkel applikation som heter SimpleChannelManip. Den består av en slidebar och genom att ändra dess inställning så skickas ett meddelande via HLA-nätverket med det nya SNR-värdet till varje uppkopplad sändtagare. Se figur 2.4



**Figur 2.4 En enkel kanalmanipulator**

Den andra kanalmanipulatorn är mer avancerad och beräknar sträckdämpningen mellan sändaren och mottagaren. Applikationen är en specialversion av telekriegräveringsverktyget FREKE-TAVAST (F-T). Se figur 2.5. Den fungerar så att man placerar ut två radiostationer i applikationens kartbakgrund och när en av radiostationerna flyttas så räknas, baserat på det aktuella scenariot, ett nytt SNR-värde ut. De faktorer som beaktas i beräkningen är bl.a. frekvens, avstånd, terräng, bakgrundsbrus och höjdprofil mellan stationerna. Samma beräkningsmodeller används i F-T, men beräkningshastigheten är dock mycket högre i denna beräkningsmodul för att den ska kunna påverka en signal i nära realtid. Applikationen skickar det beräknade SNR-värdet till sändtagarna via ett meddelande över HLA-nätverket. I kapitel 5 beskrivs den använda vågutbrednings- och beräkningsmodellen mer ingående.



**Figur 2.5 Kanalmanipulator med beräkningsmodul. Då en av de två radiostationerna flyttas av användaren beräknas momentant ett nytt SNR-värde ut, baserat på de förändrade förutsättningarna i scenariot. Detta värde skickas som ett meddelande till sändtagarna via HLA-nätverket.**

### 3 Datornätverkets uppbyggnad

För att göra simuleringar med flera datorer krävs ett datornätverk. Kommunikationsmodulen är, som nämnts tidigare, beroende av två nätverksdelar för datautbyte; HLA-nätverk, och ett RTP-nätverk. Både dessa nätverksdelar och deras användning beskrivs närmare i detta kapitel.

Kommunikationsmodulen har utvecklats för att användas av flera användare med varsin dator. Det är dock fortfarande möjligt att använda kommunikationsmodulen och de övriga applikationerna på en fristående dator. Detta för att användaren ska kunna testa kommunikationsscenarier på egen hand.

#### 3.1 HLA-nätverk

HLA (High Level Architecture) [4] är en militär standard för distribuerade simuleringar och utgör grunden datornätverket i kommunikationsmodulen. Moduler och applikationer som använder sig av HLA kan lätt kopplas ihop och återanvändas i andra HLA-simuleringar. Eftersom kommunikationsmodulen utvecklats som en fristående komponent, men kommer att utgöra kommunikationsdelen i EWSim, var det nödvändigt av använda HLA.

En kritisk del av ett HLA-nätverk är RTI (Run Time Infrastructure). RTI administrerar hur data sänds och tas emot av de olika applikationer eller moduler som deltar i simuleringen. HLA-nätverket utbyter data mellan de i simuleringen deltagande komponenterna. Dessa kallas federater och består i detta fall av sändtagare och kanalmanipulatorer. Datautbytet sker via så kallade interaktioner och attributuppdateringar och består av så kallade byte-arrayer (vektorer av tecken). Kopplingen mellan federaterna kontrolleras av RTI. I kommunikationsmodulen används RTI som utvecklats av företaget Pitch, pRTI. [7]

Interaktioner och attributuppdateringar som skickas via RTI är kontrolltrafik och innehåller information för att initiera datorkommunikationen samt parametrar som påverkar en radiosändning. Datameddelanden som skickas från en sändare, skickas på samma sätt via RTI till mottagarna. Datameddelanden som skickas via kommunikationsmodulen är i dagsläget textmeddelanden.

I HLA-nätverket är mängden data som kan skickas via RTI begränsad. Detta spelar i synnerhet roll i fallet då röstmeddelanden i form av ljudsampler ska skickas. Denna typ av meddelanden skickas därför via RTP-nätverk (Real-Time Transport Protocol). Kontrolltrafiken som initierar RTP-nätverket skickas dock mellan sändare och mottagare via HLA-nätverket.

##### 3.1.1 Beskrivning av sändtagarfederaten

En applikation som deltar i en simulering över nätverket via HLA-interaktioner kallas federat. För att alla federater ska kunna kommunicera med varandra behöver de initieras. Detta görs med en så kallad fed-fil. I denna fil finns en klassbeskrivning över de interaktioner som kommer att skickas och tas emot av applikationen.

Sändtagarapplikationen kan skicka 3 olika interaktioner, *Send*, *StopSend* samt *SendReceiveOK*. *Send*-interaktionsklassen består av 8 variabler och skickas då användaren trycker på sändknappen i applikationen. Se tabell 3.1. För att skicka textmeddelanden behöver endast denna interaktion skickas.

Send	
IP	long
Port	long
Index	unsigned long
Effect	unsigned short
Digital	boolean
Modulation	unsigned short
BaudRate	unsigned short
Textmessage	string

**Tabell 3.1** När interaktionen *Send* skickas över HLA-nätverket skickas 8 variabler i byte-arrayen.

Om den boolska variabeln *Digital* i *Send* är satt till *false* så består meddelandet av ljud. I detta fall inväntas en interaktion *SendReceiveOK* tillbaka av mottagaren innan ljuddata börjar strömmas över RTP-nätverket. Interaktionen *StopSend* meddelar mottagaren att sändaren tryckt på stoppknappen och att inget mer ljuddata kommer över nätverket. Interaktionsklasserna *SendReceiveOK* och *StopSend* innehåller information för att initiera resp. stänga RTP-nätverket, se tabell 3.2.

SendReceiveOK		StopSend	
IP	long	Index	unsigned long
Port	long		
Index	unsigned long		
RemoteIndex	unsigned long		

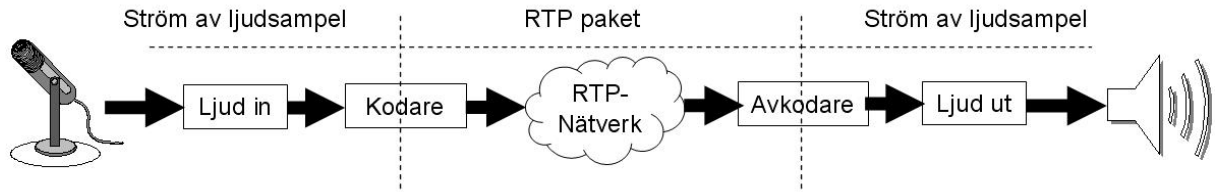
**Tabell 3.2** Interaktionsklasserna *SendReceiveOK* och *StopSend* används för att initiera RTP-nätverket för röstmeddelanden.

### 3.2 RTP-nätverk

För att sända röstmeddelanden över datornätverket skapas en VoIP-session (Voice Over Internet Protocol) [8]. Denna teknik använder sig av så kallade RTP-paket (Real-time Transport Protocol) för att skicka ljudströmmen till mottagarna i realtid [6]. VoIP-sessionen sätts upp med hjälp av HLA, vilket innebär att motsvarande kontrolltrafik som används för att skicka textmeddelanden används för att skapa sessionen och RTP-nätverket. RTP-nätverket används sedan för att föra över ljudströmmen.

Ett röstmeddelande skickas genom att sändarsidans kommunikationsmodul spelar in meddelandet via en mikrofon som är kopplad till datorn. Röstmeddelandet samplas, dvs görs om från analogt till digitalt ljud, och omvandlas sedan till en bitström. Bitströmmen delas upp i delar, där varje del är lagom stor för att skickas med ett RTP-paket. Paketerna skickas över datornätverket. På mottagarsidan sätter kommunikationsmodulen ihop RTP-paketerna till en bitström igen. Från bitströmmen återskapas sedan röstmeddelandet och spelas upp för användaren. Se figur 3.1.





Figur 3.1 Schematisk bild över ett röstmeddelandes väg från sändare till mottagare.

I kapitel 3.4 beskrivs mer i detalj hur VoIP-sessionen fungerar samt hur den har implementerats.

### 3.3 Påverkan på ett meddelande

Brus, störning och telekonflikter påverkar mottagningsförhållandena och därmed sambandskvaliteten. Det av de olika kanalmanipulatorerna satta eller beräknade SNR-värdet avgör hur mycket meddelandet ska påverkas.

Ett visst SNR-värde kombinerat med en viss modulation motsvarar en viss teckenfelssannolikhet (CEP). Motsvarande mängd teckenfel introduceras således i bitströmmen eller byte-arrayen innan den översätts tillbaka till ett röst- eller textmeddelande, se figur 3.2. Transmitterade meddelanden påverkas med hjälp av ett bitströmsfilter. Filtret introducerar fel, antingen i bitströmmen av ljudsampler för röstkommunikation eller i byte-arrayen som innehåller textmeddelanden. Felen introduceras innan meddelandet återskapas på mottagarsidan. Sambandet mellan mängden introducerat fel och SNR kräver noggrann kalibrering. Se kapitel 4.

Röstmeddelande:



Textmeddelande:

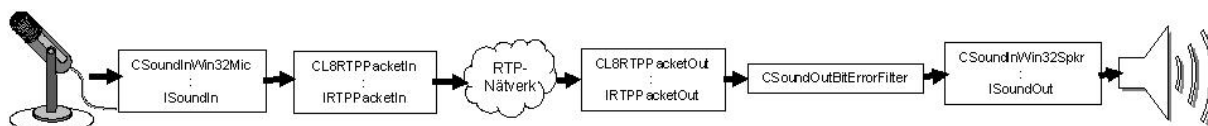


Figur 3.2 Bruset påverkar de transmitterade meddelandena med hjälp av ett bitströmsfilter genom att introducera teckenfel på mottagarsidan.

### 3.4 Teknisk beskrivning av VoIP-modulen

I detta arbete har så kallad öppen källkod (Open Source) använts. De två öppna bibliotek med öppen källkod som använts är *JVOIPLIB* (Jori's Voice over IP Library), och *JRTPLIB* (Jori's RTP Library). *JVOIPLIB* används för sampling och återskapande av röstmeddelanden och *JRTPLIB* för hanteringen av RTP-paket. Dessa bibliotek är en påbyggnad av RTP och lyfter upp implementationen på en högre nivå genom egendefinierade funktioner för att skicka data i en nätverksmiljö. [9] [10]

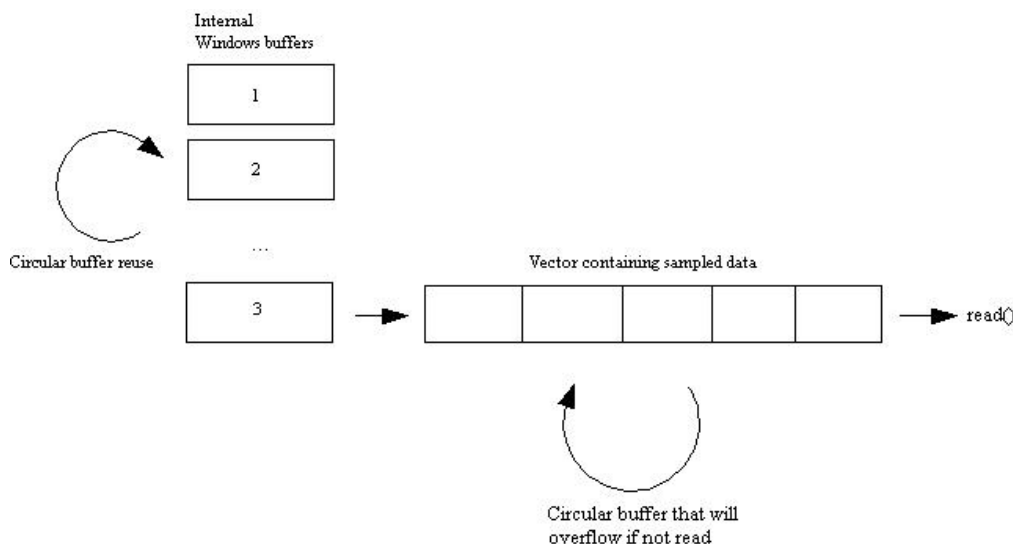
I figur 3.3 nedan ges en detaljerad beskrivning, av huvudkomponenterna och de använda klasserna i VoIP-modulen. Via dessa kan man ändra den typ av paket som skall skickas, hur dessa skall tolkas och eventuellt påverkas i mottagaren.



Figur 3.3 De viktigaste komponenterna i VoIP-modulen och klassernas namn i implementationen. I fyra av komponenterna finns även basklassens namn.

#### 3.4.1 CSoundInWin32Mic

I VoIP-modulen sköter klassen *CSoundInWin32Mic* om ljudupptagning via mikrofon. Internt lagrar Windows alla ljudsampler i en cirkulär buffert som återanvänds. Samtliga ljudsampler kopieras till en annan intern cirkulär buffert som finns i klassen *CSoundInWin32Mic*. Viktigt att tänka på är att den senare bufferten måste tömmas på data regelbundet annars finns risken att data skrivs över. I dagens implementation tar *CSoundInWin32Mic* hand om detta. Se figur 3.4. *CSoundInWin32Mic* ärver från interfaceklassen *ISoundIn*.



Figur 3.4 Ljudupptagning via mikrofon. Internt lagrar Windows alla ljudsampler i en cirkulär buffert som återanvänds. Samtliga ljudsampler kopieras därför till en annan intern cirkulär buffert.

#### 3.4.2 CL8RTPPacketIn

I klassen *CL8RTPPacketIn* kodas det samplade ljuddata om till RTP-paket. Detta sker enligt vissa rekommendationer som finns i *JRTPLIB*. *CL8RTPPacketIn* ärver från interfaceklassen *IRTPPacketIn*.



### 3.4.3 CL8RTPPacketOut

Mottagna RTP-paket avkodas i klassen CL8RTPPacketOut på mottagasidan till ljudsampler. CL8RTPPacketOut ärver från IRTPPacketOut.

### 3.4.4 CSoundOutBitErrorFilter

Den ström av ljuddata som kommer till mottagaren passerar alltid bitströmsfelfiltret. Detta filter finns implementerat i klassen CSoundOutBitErrorFilter. Strömmen påverkas av aktuellt SNR-värde. Kalibreringen mellan SNR och teckenfelhalt finns implementerad i bitströmsfelfiltret.

Det finns två funktioner för att generera brus. Den mer avancerade heter *getRandomNoise()* och funktionen returnerar ett normalfördelat värde i intervallet -128 till +127. Funktionen är dock ganska processorkraftkrävande och används inte för tillfället. Här bör en optimering göras för att denna ska bli mer som en process, vilket innebär att den kan sövas när den inte används.

Den funktion som för tillfället används för brusgenerering heter *getNoise()*. Den gör en tabelluppslagning av bruset för att påverka dataströmmen. Denna funktion är inte alls lika processorkraftkrävande som ovanstående men den är nog lite för generell för att användas som brusgenerator för vitt brus.

### 3.4.5 CSoundOutWin32Spkr

Allt avkodat, och eventuellt påverkat, ljuddata kommer att handhas av en klass som heter CSoundOutWin32Spkr. Den här klassen för över ljudströmmen till ljudkortet så att den kan spelas upp via högtalare/headset.

## 4 Utrustning och kalibrering

Den radiostation som i ett första skede modellerats i kommunikationsmodulen är kortvågsstationen ICOM 707 (Ra763), då denna station är väl uppmätt i tidigare arbete. Detta ger möjlighet att simulera analog fixfrekvenskommunikation med AM, CW (telegrafi) eller SSB som modulationsform. Genom att modellera ett Harris-5710 modem kan även digitala sändningar med SSB-modulation simuleras. För närvarande antas alla antenner vara isotropa, d v s antennförstärkningen antas vara 0 dB i alla riktningar.

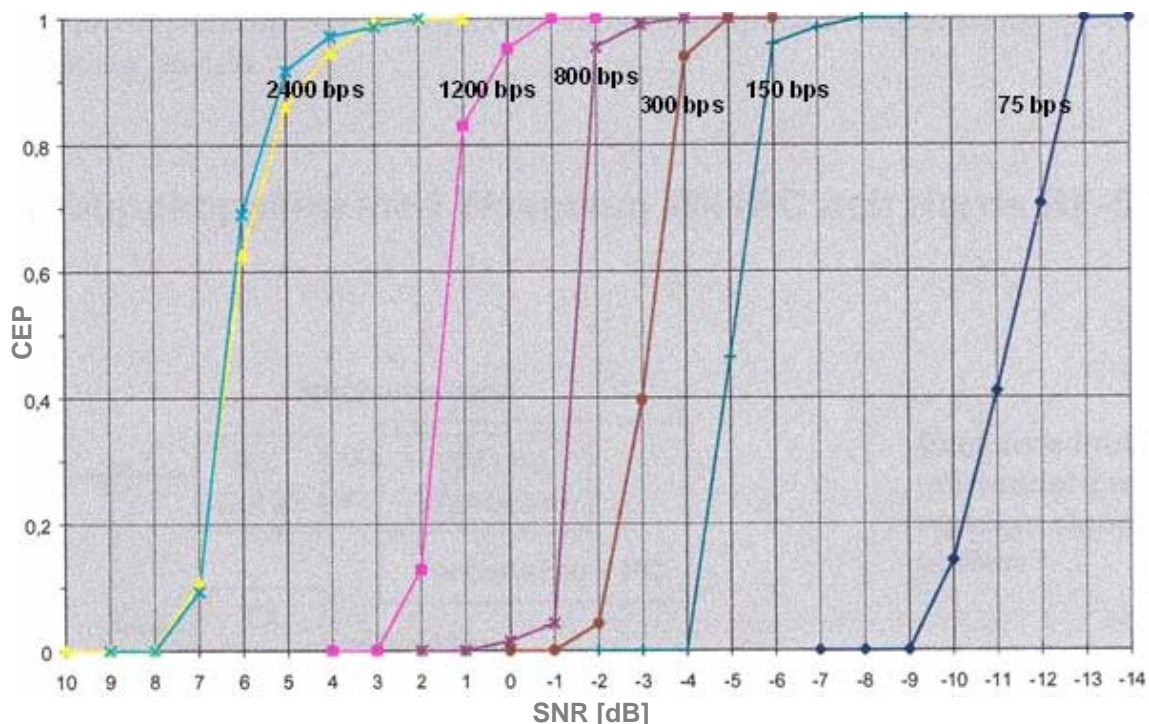
### 4.1 Signalkvalitet, teckenfel och hörbarhet

I kommunikationsmodulen introduceras brus och störning på en radiokanal via ett bitströmsfilter som en teckenfelsannolikhet. Sambandet mellan SNR och teckenfelsannolikhet (Character Error Probability, CEP) i mottagaren har kalibrerats genom egna och tidigare utförda mätningar.

För SSB-modulerad digital kommunikation, med modemmet och radiostationen ovan, finns mätningar gjorda för några olika datatakt i intervallet 75-2400 bitar/s (bps), se figur 4.1.

Modemet innehåller en viss mängd felrättande koder, d v s enstaka fel i kommunikationen kan korrigeras på mottagarsidan. När kanalen blir alltför dålig räcker dock inte felrättningen till vilket leder till en mycket snabb ökning av CEP.

I kommunikationsmodulen används denna graf för att definiera förhållandet mellan det av kanalmanipulatorerna angivna SNR och den av bitströmsfiltret introducerade teckenfelsannolikheten.

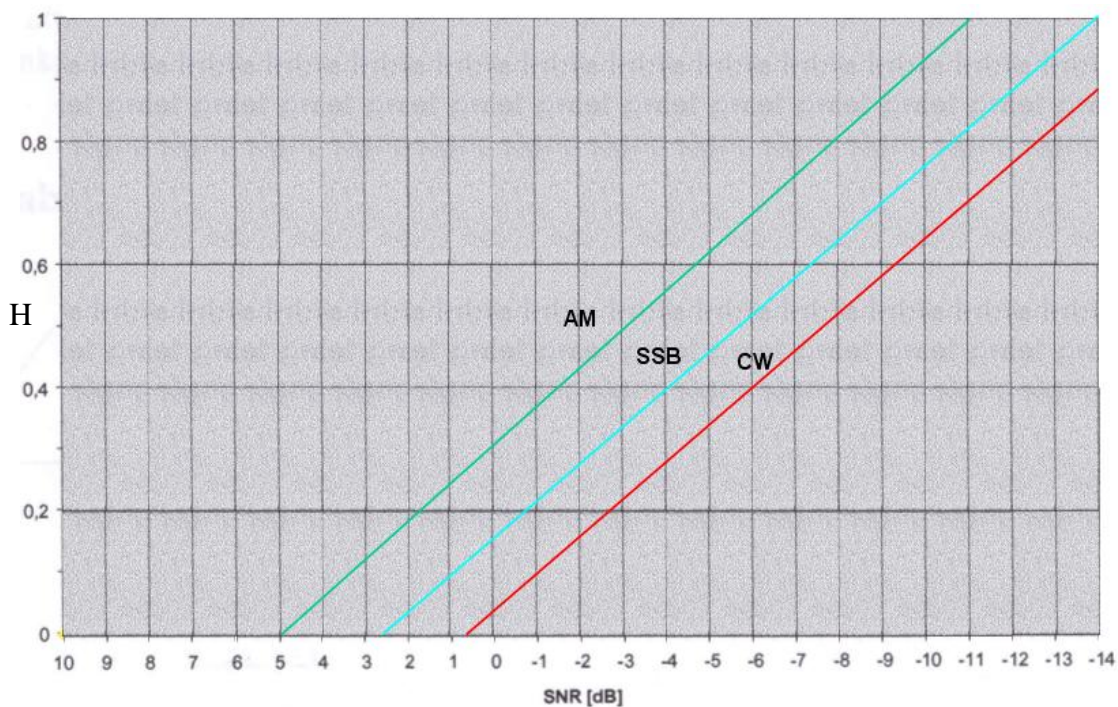


Figur 4.1 Teckenfelsannolikheten (CEP) som funktion av SNR för några olika datatakt för digital SSB. [11]

Motsvarande mätdata finns ej tillgängliga för analog kommunikation. För att kunna använda samma modell, med teckenfel introducerade av bitströmsfiltret, för både digital och analog kommunikation har motsvarande kurvor tagits fram i egna mätningar. Detta gjordes genom att

koppla upp angiven radioutrustning och en brusgenerator i laboratoriemiljö varpå hörbarheten vid olika SNR-värden bestämdes.

Två referenspunkter togs fram för varje modulation: det SNR-värde för vilket hörbarheten sjönk till noll respektive det SNR-värde som behövdes för att kommunikationen skulle bli så bra som möjligt, d v s de SNR-värden för vilka ytterligare sänkning/höjning inte ger någon försämring/förbättring av hörbarheten. Denna kalibrering utfördes för tal på AM och SSB och för telegrafi på CW. I området mellan referenspunkterna antogs sambandet mellan hörbarhet och SNR vara linjärt. Se figur 4.2.

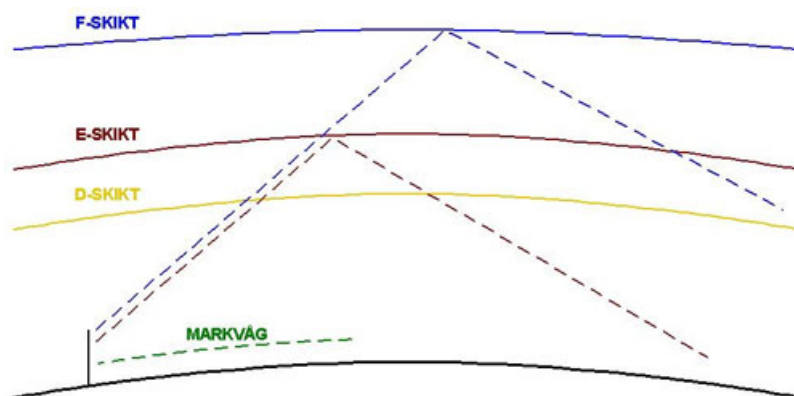


**Figur 4.2 Hörbarhet (H) som funktion av SNR för analog kommunikation med AM, SSB resp. CW. Hörbarheten varierar mellan 0 och 1 och är analogt med CEP i figur 4.1.**

## 5 Vågutbredning

I detta kapitel beskrivs den beräkningskomponent som ingår i den mer avancerade kanalmanipulatorn. Beskrivningen täcker de beräkningsmodeller som använts inom kortvågsområdet (HF, 1-30 MHz). Beräkningsmodellerna är samma modeller som tidigare utvecklats för telekrigvärderingsverktyget Freke-Tavast [1]. Vissa anpassningar har dock gjorts till kommunikationsmodulen, för att verkliga meddelanden mycket snabbt ska överföras mellan användare och dessa samtidigt ska kunna höra eller se resultatet av vågutbredningsberäkningen på det mottagna meddelandet.

På kortvågsområdet (HF, 1-30 MHz) kan samband fås på två olika sätt: via markvåg eller via rymdvåg, se figur 5.1. Rymdvågutbredning har dock ej behandlats i detta arbete och behandlas inte vidare i denna rapport.



Figur 5.1 Olika utbredningsvägar för kortvågssignaler.

De markvågsberäkningsmodeller som använts är beroende av höjd- och terrängdata mellan sändaren och mottagaren. I det arbete som utförts har vi fokuserat på att snabba upp inläsningen av detta geografiska data.

### 5.1 Markvågsberäkningar

Markvågsberäkningar kan i beräkningskomponenten göras på ett flertal olika sätt. De vågutbredningsmodeller som finns tillgängliga är dels fri-rymd och plan jord och dels alla de modeller som finns i vågutbredningsbiblioteket Detvag-90® [12]. Detvag-90 har utvecklats på institutionen för Informationsöverföring på FOI och används bland annat i WRAP [13] och Freke-Tavast. [1] Exempel på modeller som ingår i biblioteket är sfärisk jord och kvadratrotmodellen.

I kommunikationsmodulen har kvadratrotmodellen använts när markvågsberäkningar på kortvåg ska göras. Denna modell kombinerar en sfärisk jord modell med en kniveggmodell och tar hänsyn till både höjd- och terrängdata. Se figur 5.2. Terrängdata översätts under beräkningen till konduktivitet och relativ dielektrisk permittivitet. Följaktligen är det stora mängder data som ska läsas in för att en beräkning ska kunna göras vilket innebär att det blir mycket viktigt att läsa data på ett effektivt sätt.



Figur 5.2 Kniveggsmetoden letar reda på de dominerande höjderna i förbindelsestråket. Här visas ett exempel med tre kniveggar.

## 5.2 Dataläsning och beräkningshastighet

Höjd- och terrängdata som används är i det rasterformat som levereras av Lantmäteriverket [14]. Detta data täcker Sverige med ett 50 meters rutnät och noggrannheten i höjd är 1-2 meter.

Datahämtningen i kommunikationsmodulen sker i flera steg:

- Vid uppstart läses lämpligt data in i datorns primärminne. Applikationen är designad så att den klarar 1-8 stycken Gröna kartan-blad, där varje Gröna kartan-blad är 25x25 km och har skala 1:50 000.
- När en punkt-till-punkt beräkning utförs för markvågsutbredning, skapas en vektor som innehåller de punkter man behöver höjd- och terrängdata för. Därefter hämtas data för alla punkter i vektorn från primärminnet.

Denna teknik innebär en betydligt snabbare datahämtning än tidigare versioner av Freke-Tavast. En typisk beräkning av markvågsutbredning över 10km terräng tar med den nya beräkningskomponenten ca 10ms.

Dessutom har viss ny beräkningslogik införts. Detta för att minimera antalet gånger data hämtas, t ex hämtas bara nytt höjd- och terrängdata om sändare eller mottagare flyttats mer än 50 meter. Detta innebär att en förändring av uteffekt, antennförstärkning, kabeldämpning etc. inte resulterar i ny vågutbredningsberäkning utan den tidigare beräknade sträckdämpningen kan användas direkt. Således behöver endast en ny beräkning av SNR, SJR eller SIR göras.

## 5.3 Brus, störning och telekonflikt

Sambandskvalitén påverkas av brus i och vid mottagaren. Bruset i mottagaren kallas internt genererat brus eller termiskt brus. Detta brus beror av mottagarens bandbredd,  $B$  Hz, och dess så kallade brustemperatur  $T$  (mätt i K,  $0 \text{ K} = -273,15 \text{ }^\circ\text{C}$ ):

$$N = kTB \quad [1]$$

där  $N$  är det termiska bruset (mätt i W) och  $k$  är Boltzmanns konstant ( $k=1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ ). Om man inte har tillgång till uppmätt eller beräknat värde på brustemperaturen för en specifik mottagare brukar  $T = 290 \text{ K}$ , antas. Detta är ett antagande som använts i modellerna. Bruset vid mottagaren kallas externt brus. Detta brus är bland annat beroende av den omgivande miljön (lantlig miljö, tätort etc.) och av frekvensen. För närvarande används samma brusmodul som finns i Freke-Tavast. Hänsyn tas till både internt brus ( $kTB$ ) och externt brus. Det externa bruset inkluderas enligt CCIR Rep. 332-3 [15].

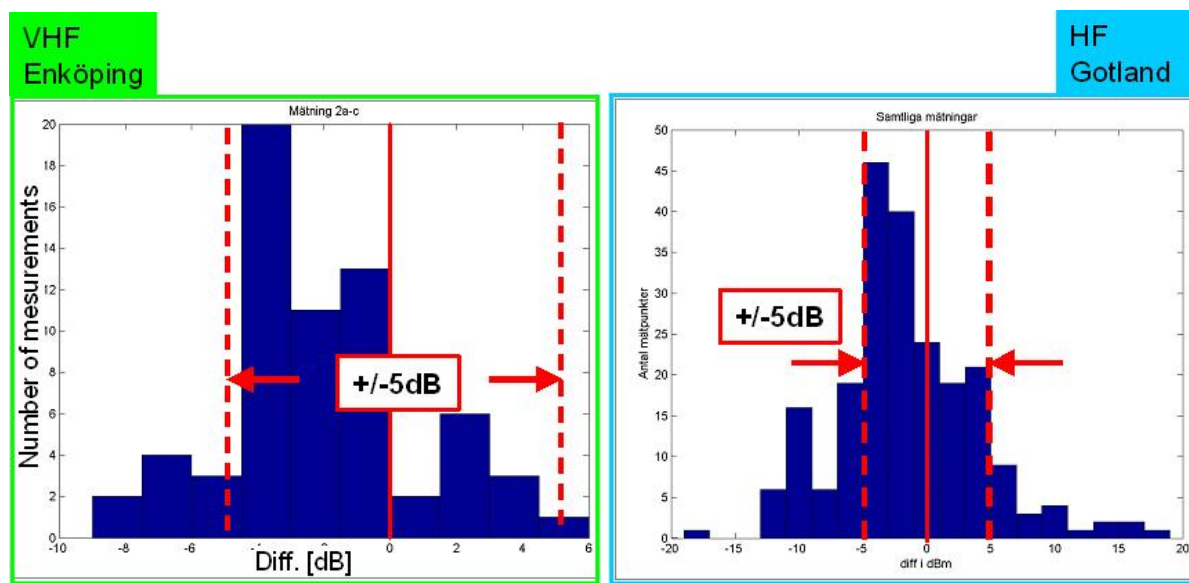
För analoga meddelanden är den beräknade brusnivån en av de faktorer som bestämmer hur mycket brus användaren hör när han/hon lyssnar på det sända meddelandet. För digitala meddelanden är brusnivån en av de faktorer som avgör bitfelssannolikheten och följaktligen hur läsbart det mottagna meddelandet är. Se kapitel 4.

Brus är självfallet inte det enda som kan sänka sambandskvaliteten. Kommunikationen kan också försämrats på grund av interfererande signaler. Dessa kan endera vara avsiktliga (störning) eller oavsiktliga (telekonflikt). Interferenser inkluderas som vitt brus av den nivå som beräknats i mottagaren.

I den nuvarande beräkningskomponenten kan vi ta med effekterna av störning för både kortvåg (HF) och truppradiobandet (VHF). Telekonflikt är än så länge bara inkluderat för truppradiobandet.

## 5.4 Verkligheten vs modellerna

Av naturliga skäl är verkligheten mer detaljrik och komplex än modellerna av den. Jämförelser mellan beräkningsmodellerna i Freke-Tavast och verkligheten i form av gjorda mätningar på HF och VHF visar en standardavvikelse på 5-10 dB mellan beräknade och uppmätta värden. Se figur 5.3. Detta får anses vara en rimlig avvikelse bland annat på grund av begränsad upplösning och uppdatering av tillgängliga geodata, interferenser vid flervägsutbredning, osäkerhet i antennvinsten och vegetation. Andra faktorer som påverkar resultatet är kraftledningar, rinnande vattendrag och säsongsbundna förändringar hos vegetation och mark.



Figur 5.3 Histogram över differensen mellan beräknade och uppmätta värden.

Ovanstående berör huvudsakligen det så kallade absoluta felet, d v s skillnaden mellan beräknat värde och uppmätt värde för ett och samma scenario. Det relativa felet är betydligt mindre, d v s alla simulerade kommunikationsförbindelser påverkas lika av modellernas idealiseringar och relationerna mellan olika modulationer, frekvenser, uteffekter etc. förblir därmed intakta.



## 6 Slutsatser och framtida arbete

Vi har i vårt arbete visat att det är möjligt att presentera resultat från telekrigberäkningar, inom kommunikationsområdet, på ett pedagogiskt sätt. Skickade röstmeddelanden spelas upp i mottagarens högtalare och textmeddelanden visas på skärmen. Effekten av telekrig eller dålig signalkvalité presenteras genom att påverka röstmeddelanden med brus resp. öka teckenfelhalten i textmeddelanden. Användaren behöver således inga djupare kunskaper om vare sig telekrig eller vågutbredning för att kunna tillgodogöra sig resultaten från beräkningarna.

I den simulerade radiokanalen har analogt brus simulerats digitalt, genom att tillföra bitfel till en dataström med ljudsampler. Detta har visat sig fungera på ett tillfredställande sätt. Bruset har i det genomförda arbetet antagits varit vitt och gaussiskt. I framtiden kommer studier att genomföras för att även ta fram modeller av färgat brus och därmed öppna möjligheten att simulera mer avancerade störformer.

En rad förbättringar har gjorts på de beräkningsalgoritmer som ligger till grund för presenterad signalkvalité, utan att göra avkall på noggrannheten. Då beräkningshastigheten och datainläsningen är två viktiga förbättringar som gjorts till beräkningsalgoritmerna så har vi lyckats visa att det går att använda avancerade beräkningsmodeller och deras resultat i realtidsimuleringar.

Det radiosystem som modellerats definieras av ett antal grafer som beskriver sambandet mellan SNR och teckenfelssannolikhet. Denna kalibrering kan enkelt göras för annan radioutrustning. I framtiden kommer även radiostationer på andra våglängdsområden att simuleras, exempelvis så kommer i närtid Ra180, på truppradiobandet, med DART, som digital kommunikation, att modelleras.

Kommunikationsmodulen kommer inom kort att införas i simuleringsmiljön EWSim. I denna miljö kommer nya, mer realistiska gränssnitt till sänd-/mottagarapplikationen att tas fram. Beräkningskomponenten kommer att kompletteras med en beräkningsdatabas där SNR på alla tänkbara radioförbindelser lagras. Detta kommer att underlätta användandet av simulerade radioutrustningar på andra simulerade plattformar i EWSim, då ingen speciell kunskap om radiokommunikation behövs för att korrekt hänsyn ska tas till telekrig och dåligt vald grupperingsplats.

## 7 Referenser

- [1] N.Appleby, Freke-Tavast 1.3, FOI-Memo 04-827
- [2] L Festin, "Simulation of Electronic Warfare in HF Communication", Nordic HF 2004, Fårö, Sweden, in proceedings (to be published), Aug. 2004.
- [3] L.Tydén, Lägesrapport. Duellsimulering med nätverksbaserade sensor- och telekrigfunktioner. FOI-Memo, 03-2708
- [4] N Appleby, E Johansson, "Realistic Data/Speech in Radio Communication Simulation", Nordic HF 2004, Fårö, Sweden, in proceedings (to be published), Aug. 2004.
- [5] F Kuhl, R Weatherly, J Dahmann, "Creating Computer Simulation Systems", Prentice Hall PTR 1999, ISBN 0-13-022511-8
- [6] <http://www.rtsp.org>
- [7] <http://www.pitch.com>
- [8] <http://www.fcc.gov/voip>
- [9] <http://lumumba.luc.ac.be/jori/jvoiplib/jvoiplib.html>
- [10] <http://lumumba.luc.ac.be/jori/jrtplib/jrtplib.html>
- [11] S Ahlgren, "Utveckling av störformer för HF-bandet", S1/Fo47, Tekniska Enheten, Versionkontor Telekrig, June 1999.
- [12] B Asp, G Eriksson, and P Holm, "Detvag-90® -- Final Report", FOA Report, FOI, Linköping, Sweden, FOA-R--97-00566-504—SE, Sept. 1997.
- [13] AerotechTelub, <http://www.wrap.se>
- [14] <http://www.lantmateriet.se>
- [15] International Radio Consultative Committee Report, "Characteristics and Applications of Atmospheric Radio Noise Data", CCIR Rep. 322-3.