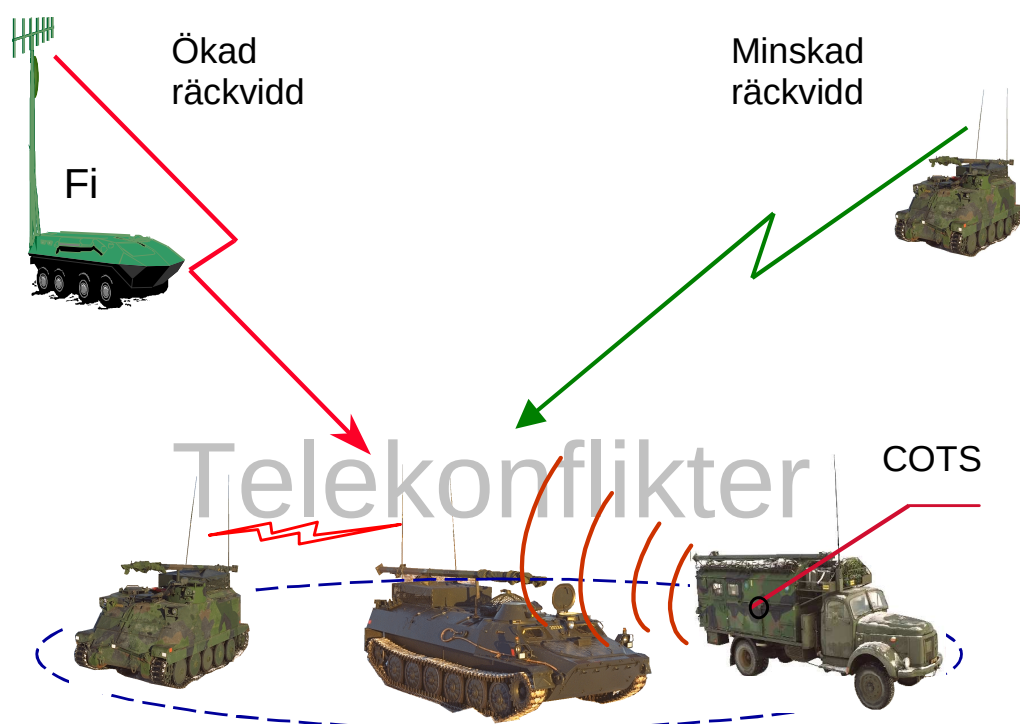


Peter Stenumgaard

Telekonfliktforskning vid FOI 1995 - 2002, slutrapport



TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Ledningssystem

Box 1165

581 11 Linköping

FOI-R--0682--SE

December 2002

ISSN 1650-1942

Användarrapport

Peter Stenumgaard

Telekonfliktforskning vid FOI 1995 - 2002, slutrapport

”We met the jammer – and he is us”

Generalmajor John E. Jaquish, USAF

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Ledningssystem Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--0682--SE	Klassificering Användarrapport
	Forskningsområde 4. Spaning och ledning	
	Månad, år December 2002	Projektnummer E7058
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	Delområde 41 Ledning med samband och telekom och IT-system	
Författare/redaktör Peter Stenumgaard	Projektledare Kia Wiklundh	
	Godkänd av Christian Jönsson	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarsmakten	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Peter Stenumgaard	
Rapportens titel Telekomfliktforskning vid FOI 1995 - 2002, slutrapport		
Sammanfattning (högst 200 ord) För att skapa en resurs att stödja försvarsmakten i telekonfliktfrågor initierades 1995 telekonfliktforskning på FOI. Forskningsinriktning fokuserades på analysmetoder för störningspåverkan av digitala kommunikationssystem vid samlokalisering både med militära system och med COTS-system (Commercial off the shelf). Under hela projektperioden har det varit en nära samverkan med FMV KC Sensor & Telekom. Projektets forskare har vid ett flertal tillfällen använts som tekniska konsulter åt svensk industri för olika tillämpade telekonfliktproblem. Vidare har projektets forskare deltagit i den utbildningssatsning som FOI gör på uppdrag av Försvarshögskolan (FHS). Kunskaper om telekonflikter har där successivt förts in i kursprogrammet. Forskningssamarbete har även bedrivits med professor Jens Zander på Kungliga tekniska högskolan i Stockholm samt professor Arne Svensson på Chalmers tekniska högskola. Båda dessa samarbeten har skett som forskarutbildning. De sista åren har projektets resultat blivit uppmärksammade internationellt bland annat av det europeiska standardiseringsorganet CISPR. Resultaten har här kommit att påverka utvecklingen av internationella standarder för begränsning av strålad elektromagnetisk emission från elektronisk utrustning. Utvecklingen mot ett nätverksbaserat försvar (NBF) kommer att innebära att en stor mängd civil elektronisk utrustning för informationsbehandling kommer att samlokaliseras med militära kommunikationssystem. Här krävs spetskunskaper inom telekonfliktområdet för att förhindra allvarliga funktionsnedsättningar i de framtida ledningssystemen.		
Nyckelord Telekomflikt, störning, elektromagnetisk emission, COTS, digitala radiosystem, NBF		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 29 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Command and Control Systems P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--0682--SE	Report type User report
	Programme Areas 4. C4ISR	
	Month year December 2002	Project no. E7058
	General Research Areas 5. Commissioned Research	
	Subcategories 41 C4I	
Author/s (editor/s) Peter Stenumgaard	Project manager Kia Wiklundh	
	Approved by Christian Jönsson	
	Sponsoring agency Swedish Defence Forces	
	Scientifically and technically responsible Peter Stenumgaard	
Report title (In translation) Research at FOI within Intersystem Interference 1995 - 2002, final report		
Abstract (not more than 200 words) To establish a resource within intersystem interference for the Swedish Defence, a research project within this topic was initiated 1995. The focus for this research has been on analyses methods for the performance degradation on digital communication due to intersystem interference from both co-located military systems and COTS-systems (Commercial off the shelf) equipment. During this project, close cooperation has been done with the Sensor & Telecommunications Division at the Swedish Defence Materiels Administration. The scientists within the project have work as consultants for the Swedish industry. Furthermore, these scientists have been active in the education FOI is doing for the Swedish Defence College. Research cooperation has also been done with professor Jens Zander at the Royal Institute of Technology, Stockholm, and professor Arne Svensson at Chalmers University of Technology, Gothenburg. The results from the project have been internationally noticed for instance by the European standardization agency CIPSR. The results have influenced the development of international standards for limiting electromagnetic radiation from electronic equipment. The evolution against network centric warfare will result in a large amount of civilian information technology equipment in the vicinity of vital communication systems. This requires further research to prevent damages in the command & control systems.		
Keywords Intersystem Interference, Disturbance, Elektromagnetisk emission, COTS, digital communication systems		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 29 p.	
Price acc. to pricelist		

Innehåll

1. Redovisning av genomförd forskningsverksamhet	9
Inledning	9
Samverkan med försvaret och svensk industri	9
Nytta för kunden.....	10
Publikationer	11
Konferensbidrag.....	11
Vetenskapliga tidskriftsartiklar	12
Populärvetenskapliga artiklar	12
Rapporter.....	12
Utbildningsmaterial.....	13
2. Vad är telekonflikter och hur uppkommer de?	15
2.1 Telekonfliktincidenter.....	15
2.2 Typiska orsaker till och konsekvenser av telekonflikter	15
2.3 Hur uttrycka prestandapåverkan i mått som kan relateras till taktiska sammanhang ?	18
3. Exempel på forskningsresultat	19
3.1 Telekonflikt vid samgruppering av två Ra 180 i ett fordon.	19
3.2 Telekonflikt vid samgruppering av PC med FH-radio.	20
3.3 Telekonflikt under samtidig fientlig störning.	22
3.4 Telekonflikter och tredje generationens mobiltelefonisystem.....	23
3.5 Elektriskt styrbara antenner och telekonflikter	25
4. Sammanfattning/Diskussion.....	27
Referenser.....	29

1. Redovisning av genomförd forskningsverksamhet

Inledning

1995 påbörjade FOI (dåvarande FOA) forskning inom telekonfliktområdet. Forskningsuppdraget kom från högkvarteret inom FoT-programmet. Detta uppdrag har sedan funnits kvar till och med 2002. Inga specifika direktiv om forskningsinriktning har funnits i detta uppdrag förutom att forskningen skulle syfta till att kunna stödja framtida utveckling av beräkningsverktyg för telekonfliktanalys. En sådan utveckling var sedan tidigare planerad att genomföras av Försvarets Materielverk (FMV).

Forskningsinriktningen för FOIs telekonfliktforskning lades fast efter en omfattande kartläggning av var forskningsfronten låg nationellt och internationellt. Det största arbetet med att utveckla beräkningsmetoder/program för telekonfliktanalys har bedrivits i USA sedan slutet av 1960-talet. Arbetet betalades av amerikanska försvarsdepartementet och utfördes på dåvarande NOSC (Naval Command Control and Ocean Surveillance Center), San Diego. I första hand fokuserade man på telekonflikter vid konstruktion av hangarfartyg. FOIs kartläggning visade att fokus fortfarande låg på hur mottagare för analog transmission påverkades av telekonflikter. När det gällde påverkan på digitala system saknades genomarbetade analysmetoder. Vidare hade fokus legat på hur telekonflikter uppstår vid samlokalisering av system som uppfyller militära standarder med avseende på oavsiktlig emission. I mitten av 1990-talet började användningen av civil teknik COTS (Commercial Off The Shelf) öka väsentligt vilket bland annat innebär att en stor mängd civil elektronik (typ persondatorer och faxar) kunde förväntas samlokaliseras i närheten av militära taktiska digitala radiosystem.

Med bakgrund av dessa slutsatser kom forskningen att fokusera på analysmetoder för störningspåverkan av digitala kommunikationssystem vid samlokalisering både med militära system och med COTS.

Samverkan med försvaret och svensk industri

Under hela projektperioden har en tät samverkan bedrivits med FMV KC Sensor & Telekom. Samverkan har skett inom ramen för FMV-projektet EMEC (Electromagnetic Environment Classification) där forskning bedrivits för att stödja utvecklingen av ett datorbaserat beräkningsverktyg för elmiljöanalys av anläggningar och system. Samverkan har bedrivits under delprojektnamnet VOLGA där speciellt fokus legat på hur störningar från samlokaliserad civil elektronik påverkar digitala radiosystem. Här har kunskaper inhämtade från telekonfliktforskningen tillämpats på ett specifikt problem som FMV velat lösa. Detta arbete har uppmärksamrats av det europeiska standardiseringsorganet CISPR som arbetar med emissionsbegränsningsstandarder avsedda att skydda digital kommunikation. CISPR har tagit fasta på resultat som framkommit och håller på att införa dessa i kommande standarder.

Utvecklingen av ett nytt försvarsgemensamt beräkningsverktyg för telekonfliktanalys påbörjades av FMV i större skala under 2000 under projektnamnet NTK (Nytt

Uppdrag	Beställare
Telekonfliktmodul till EMEC-systemsimulering	FMV
Telekonflikter i Marinen	FMV
Nytt Telekonfliktverktyg	FMV
Telekonfliktanalys Ra90 på JAS39/JA37	FMV via SAAB Avionics
Störningsmiljö personbilar	Volvo Personvagnar via Aero-techTelub
Telekonfliktmodul till duellsimuleringsverktyget FREKE/TALISMAN	FMV via FOI Telekrigvärdering

Tabell 1.1: Sammanställning telekonfliktrelaterade uppdrag utöver FM-uppdraget.

Telekonfliktverktyg). I NTK deltar FMV, FOI, Saab Avionics, AerotechTelub samt Communicator. Projektets forskare har även vid ett flertal tillfällen tagits i anspråk som tekniska konsulter åt svensk industri för olika tillämpade problemställningar. Vidare har projektets forskare deltagit i den utbildningssatsning som FOI gör på uppdrag av Förvarshögskolan (FHS). Kunskaper om telekonflikter har där successivt förts in i kursprogrammet.

Forskningssamarbete har även bedrivits med professor Jens Zander på Kungliga tekniska högskolan i Stockholm samt professor Arne Svensson på Chalmers tekniska högskola. Båda dessa samarbeten har skett som forskarutbildning. Detta resulterade i en teknologie doktors-examen hos Jens Zander 2001 och kommer enligt plan att leda till en teknologie licentiatexamen hos Arne Svensson under 2003.

Nytta för kunden

Projektets resultat har gett följande nytta för kunden (Förvarsmakten):

- Analysmodeller för telekonfliktpåverkan på digitala kommunikationssystem. Dessa kan användas som underlag i framtida beräkningsverktyg för telekonflikter. De har redan använts i telekonfliktmoduler i telekrig-simuleringsprogrammet TALISMAN som FOI utvecklar i samverkan med ATK på uppdrag av FMV och HKV.
- Kunskap om taktiska konsekvenser orsakade av telekonflikter
- Kunskap om telekonfliktpåverkan från samlokaliserad COTS på taktiska kommunikationssystem.
- Kunskap om telekonfliktrisker vid militär användning av 3G-teknik (UMTS).
- Kunskap om hur telekonflikter påverkar antennegenskaperna för elektriskt styrbara antenner.
- Utbildningsmaterial i telekonflikt i de kurser FOI ger åt FHS.
- Internationellt uppmärksammat resultat som positionerat svenskt försvar som kvalificerad aktör inom telekonfliktområdet. Detta har utnyttjats vid diskussioner om forskningssamarbete i samband med eventuell export av JAS39 till Polen.
- Mycket goda relationer med UoH speciellt med KTH och Chalmers som har starka forskargrupper inom telekommunikation.
- Projektets forskare har tagits i anspråk för tillämpade problem inom försvaret som exempelvis telekonfliktarbeten inom JAS39, Ra180.
- Projektets forskare har gjort konsultuppdrag åt svensk industri som exempelvis Volvo Personvagnar.

Publikationer

I tabell 1.2 kan antalet av olika publikationstyper ses. Nedan följer en detaljerad lista över dessa publikationer.

Konferensbidrag

Peter F. Stenumgaard, "Impact of Radiated Emission Standards on Digital Radio Receiver Performance," *Proceedings of EMC'96 Roma International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, pp. 445-449.

Thomas Theiler, Peter Stenumgaard, "Signal Environment – A Prioritized Area Within Information and Command and Control Warfare", *MILINF 96* pp. 340–345.

Peter F. Stenumgaard, "Digital Radio System Range Reduction Due to Radiated Electromagnetic Disturbance," *Proceedings of EMC'98 Roma International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, pp. 843-846.

Sara E. Linder, Peter F. Stenumgaard, "Performance of Co-Located Frequency Hopping Systems", *RVK 99*, Karlskrona.

Peter F. Stenumgaard, "Using the RMS Detector for Weighting of Disturbance According to its Effect on Digital Communication Services" *Proceedings of EMC Europe 2000* Brügge, Belgium, pp. 377-380, 11-15 September 2000.

Peter F. Stenumgaard, "Disturbance Model for Information Technology Equipment" *EMC 2001 Zurich, International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Februari 2001.

Kia Wiklundh, Peter Stenumgaard, "Performance of Digital Radio Systems in Cosite Configuration", *RVK 96*, Sundsvall, pp. 291-295.

Kia Wiklundh, "A Comparison between the Impact of Some Signals on an MSK Receiver," *MILCOM'99*.

Kia Wiklundh, "Impact of some interfering signals on an MSK receiver under fading conditions," *MILCOM'00*.

Sara E. Linder, Peter F. Stenumgaard, "A Novel Method to Determine the Performance Degradation of Co-Located Frequency-Hopping Systems", *MILCOM'00*.

Publikationstyp	Antal
Rapporter	11
Konferensbidrag	15
Vetenskapliga (IEEE) artiklar	3
Populärvetenskapliga tidskriftsartiklar	4
Utbildningskompendier	1

Tabell 1.2: Sammanställning av skriftlig resultatproduktion

Peter F. Stenumgaard, "Modeling Radiated Disturbance from Information Technology Equipment for Interference Analyses on Digital Communication Services", *EMC 2001 Zürich*, Schweiz.

Peter F. Stenumgaard, Sara E. Linder, "Combat Radio System Range Reduction due to Radiated Electromagnetic Interference from COTS Electronics", *MILCOM'01*.

Kia Wiklundh, "A Method to Determine the Impact from Disturbing Electrical Equipment on Digital Communication System by Using APD", *EMC Europe 2002*, Sorrento, Italien.

Sara E. Linder, Jouni G.J. Rantakokko, Peter F. Stenumgaard, "A New Approach for Estimating the Impact of Electromagnetic In-band Interference on Digital Communication Systems", *EMC Europe 2002*, Sorrento, Italien.

Vetenskapliga tidskriftsartiklar

Peter F. Stenumgaard, "A Simple Method to Estimate the Impact of Different Emission Standards on Digital Radio Receiver Performance", *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, no. 4, November 1997.

Peter F. Stenumgaard, Kia C. Wiklundh, "An Improved Method to Estimate the Impact on Digital Radio Receiver Performance of Radiated Electromagnetic Disturbances", *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* vol. 42, no. 2, pp. 233-239, May 2000.

Peter F. Stenumgaard, "Using the RMS Detector for Weighting of Disturbances According to its Effect on Digital Communication Services", *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, November 2000, pp. 368-375.

Populärvetenskapliga artiklar

Peter Stenumgaard, "Strålad störning mot digitala radiosystem – EMC-problem som kräver brett kunnande att hantera" *EMC Magazine* nr 4, 1998.

Peter Stenumgaard, "Digitala radiosystem och störningar, del 1", *EMC Magazine* nr 1, 2000.

Peter Stenumgaard, "Digitala radiosystem och störningar, del 2", *E3 Magazine* nr 1 2001.

Erika Johansson, Sara Linder, Elisabeth Löfsved, Dag N H Malmström, "Radioteknik för stridsfartyg", *Marinnytt* nr 1, 2001.

Rapporter

Kia Wiklundh, "Digitalt modulerade störningars påverkan på digitala radiosystem", FOA-rapport FOA-R--95-00214-3.5--SE, Januari, 1996.

Peter Stenumgaard, "Impact of Intersystem Disturbance on the Duel between Jammer and Communication System", FOA-report: FOA-R--98-00794-504--SE, May 1998.

Kia Wiklundh, "A Comparison between the Impact of Different Interfering Signals on an MSK Receiver", FOA-rapport, FOA-R--99-01065-504--SE, Februari, 1999.

Kia Wiklundh, "Impact of different interfering signals on an MSK receiver in fading environment", FOA-rapport, FOA-R--99-01344-504--SE, December 1999.

Björn Johansson, Sara Linder, Marcus Rundgren, Peter Stenumgaard, "Utvärdering av telekonfliktmätningar på Ra180", FOA Memo 99-5529/L, December 1999.

Sara Linder, "Telekonfliktanalys vid tät samgruppering av frekvenshoppande radiosystem", FOA-rapport, FOA-R--99-01211-504--SE

K. Wiklundh, P. Stenumgaard, "Telekonfliktrisker vid militär användning av tredje generationens mobiltelefoni", FOA-rapport, FOA-R--00-01692-504--SE, December 2000.

Sara Linder, Marcus Rundgren, "Taktiska konsekvenser av telekonflikter" FOA-rapport, FOA-R--00-01704-504--SE, December 2000.

Jouni Rantakokko, "Elektriskt styrbara gruppantennor och telekonflikter – förstudie", FOA Memo 00-6110/L, December 2000.

K. Wiklundh, "Generell beskrivning av störningskällor för bestämning av prestandaförsämring i ett WCDMA-system", FOI-Memo 01-2442, Juni 2001.

Karina Fors, "Implementering av en telekonfliktmodell i mjukvarudemonstratorn ELSA", FOI-rapport FO--0166--E, Juli 2001.

K. Wiklundh, "Generell modell av störningsmiljöer för bestämning av dess påverkan på digitala kommunikationssystem", FOI-memo 02-3006, December 2002.

Sara Linder, Jouni Rantakokko, "Higher-Order Statistics-based Estimation of Intersystem Interference in Digital Communication Systems", FOI-R--0699--SE, December 2002.

Karina Fors, "Validering och användarbeskrivning för telekonfliktmodulen i ELSAsd" FOI-Memo 02-2793, December 2002.

Utbildningsmaterial

Peter Stenumgaard, "Utbildningskompendium – Telekonflikt", FOI Dnr 01-3924, December 2000.

2. Vad är telekonflikter och hur uppkommer de?

2.1 Telekonfliktincidenter

De två Super-Etendardplanen lyfte kl 10.00 på förmiddagen från det argentinska fastlandet. Under högervingen på varje plan hängde en franskbyggd sjömålsrobot av typen *Exocet*. Roboten är utrustad med 160 kg sprängmedel och har egen radarmålsökare. Målet för operationen var att slå mot de Engelska hangarfartygen *Hermes'* och *Invincibles* fjärrskydd bestående av de tre robotjagarna *Coventry*, *Sheffield* och *Glasgow*. För detta uppdrag hade två erfarna piloter handplockats; kapten Augusto Bedacarratz och löjtnant Armando Mayora. Datumet var 4 maj 1982 och händelsen utspelades under Falklandskriget mellan Argentina och Storbritannien.

Robotjagarna var utrustade med såväl egen spaningsradar som signalspanings-utrustning (SIS) som kunde registrera Super-Etendardplanens eldledningsradar. Detta visste de argentiska piloterna väl och flög därför under radarhorisonten under hela anflygningen. Sedan skulle de behöva göra en snabb upptagning (stiga från 20 till ca 60 meter), göra en kort radarobservation, och sedan dyka ned under Britternas radarlober igen. Vad de däremot inte visste var att de brittiska robotjagarna var behäftade med allvarliga störningsproblem (telekonflikter) ombord. Om robotjagarna sände med sin spaningsradar störde de ut sin egen satellitkommunikation. Om de använde satellitkommunikationen störde de ut den signalspaningsutrustning som skulle registrera Super-Etendardplanens eldledningsradar. Alltså: om man sände med satellit störde man ut sitt SIS-system och var dessutom tvingad att ha egen spaningsradar avslagen. Denna ödesdigra kombination var aktiv på *HMS Sheffield* när Super-Etendardplanen gjorde sin upptagning varför man inte registrerade den anflygande fienden. Nu uppfattade dock *Glasgow* de anflygande planen och sände omedelbart rapport till *Sheffield*. Denna rapport uppfattades dock aldrig av *Sheffield* varför hon var ovetande om att en *Exocet*-missil var på väg.

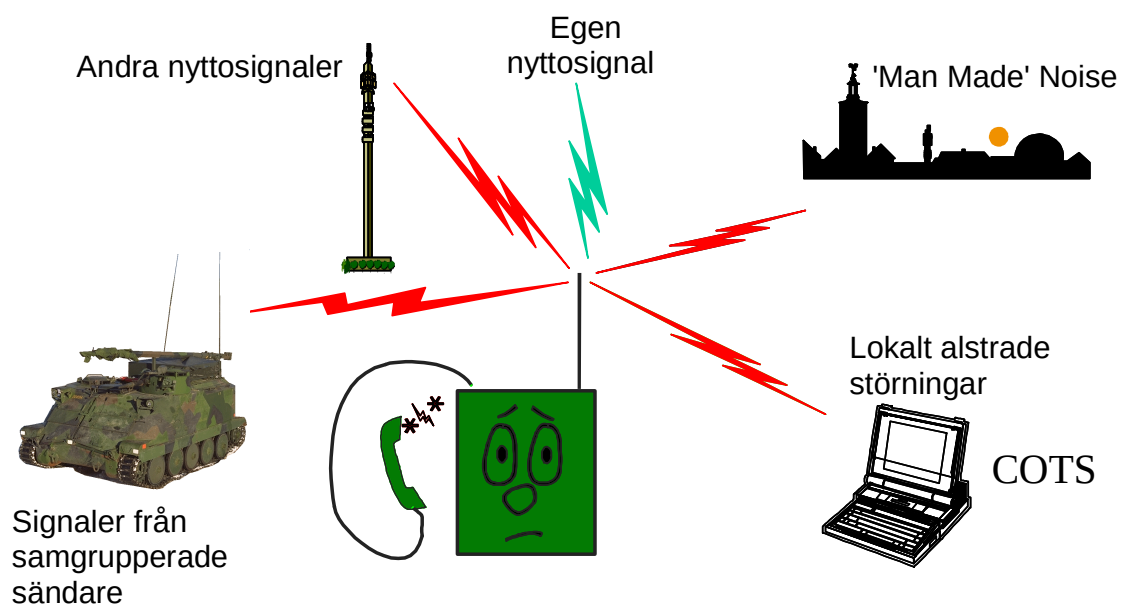
Den första kontakten med missilen var optisk varför man aldrig hann aktivera motmedel i form av metallremсор som skulle lura missilens radarmålsökare. Missilen träffade kl 10.04, med 20 dödade och 24 skadade besättningsmän som följd. *Sheffield* sjönk efter ett dygns häftig brand. Detta var första gången sedan andra världskriget ett brittiskt flottfartyg träffades av fientlig eld. Utredningen som följde pekade på att telekonflikten sannolikt var huvudorsaken till att missilen kunde avfyras och träffa *Sheffield* [1].

2.2 Typiska orsaker till och konsekvenser av telekonflikter

Telekonflikter uppstår när egna system genererar störningssignaler som kopplas via antennsystemet till samlokaliserade system, se figur 2.1. Exemplet *Sheffield* visar en av de yttersta konsekvenserna av telekonflikter; onödiga förluster av människoliv i en stridssituation. Telekonflikter har varit ett känt problem inom främst flygvapen och marin under 30-40 års tid. Eftersom telekonflikter visat sig få avgörande konsekvenser för ett förbands förmåga att lösa sin uppgift satsades stora pengar i USA i början av 70-talet på att utveckla beräkningsverktyg för telekonfliktanalys av kompakta militära plattformar. Arbetet betalades av amerikanska försvarsdepartementet och utfördes på dåvarande NOSC (Naval Command Control and Ocean Surveillance Center), San Diego. I första hand fokuserade man på telekonflikter vid konstruktion av hangarfartyg. På hangarfartyg finns en mängd system med hög sändareffekt

samlökaliserade på liten yta. Dessutom är fartygens flygplan utrustade med en mängd sändare och mottagare, inklusive aktiva målsökare på vapen. En mängd telekonflikter finns rapporterade från hangarfartyg. Exempelvis har man haft telekonflikter vid landning med arméflyg. Andra typiska problem är när man försökt använda marinens vapen i flygvapnets flygplan och vice versa. Inför operation *Uphold Democracy* på Haiti 1994 användes helikopter UH-60 *Black Hawk*, på hangarfartyget *USS Eisenhower*. Den vapenlast som användes inom armén var inte testad för hangarfartygsmiljö varför fartygets radar inte kunde användas. Detta innebar operativa begränsningar [4]. *Black Hawk* har dessutom råkat ut för ett antal haverier (ett 20-tal omkomna totalt) där man misstänker att elektromagnetiska störningar varit orsaken. I samband med internationella insatser i forna Jugoslavien har man haft telekonflikter mellan flygburna störningssändare och artilleriradar [4]. Vid testflygning i sydvästra USA med den obemannade *Global Hawk* fick man en telekonflikt med en markstation på samma frekvens som signalerna för fjärrmanövreringen. Detta resulterade i att självförstörelsemekanismen utlöstes på farkosten som alltså sprängdes [4].

Överhuvudtaget uppstår ofta telekonfliktproblem vid operationer mellan enheter från olika vapenslag. Fartyg är alltid svåra att få telekonfliktfria av flera skäl. För det första så är det inte radio- och radaringenjörer som bestämmer antennplaceringen för sina system. På ett krigsfartyg blir det ofta där det finns plats över när hänsyn tagits till vindmätare, eldledningsradar, skottfält från eldrör etc. Resultatet blir ofta att antennerna från flera system placeras mycket nära varandra. En annan svårighet med moderna krigsfartyg är att få varnings- och motverkanssystemet telekonfliktfritt. Detta beror på att man vill kunna lyssna (spana) och sända (störa) i samma frekvensband. I fallet Sheffield klarade man inte detta utan telekonflikt. Störningar kommer inte enbart från andra närbelägna sändande utrustningar. All elektronik strålar ut elektromagnetisk energi varför datorer, faxar och annan elektronisk utrustning, som placeras i närheten av radiosystem, påverkar störningsnivån.



Figur 2.1: Telekonflikter är störningar kopplade via antensystemet.

Riskfaktorer	Orsaker till telekonflikt
Kompaktare plattformar	Mer utrustning/ytenhet ger högre störnivåer
Ökad användning av civil elektronik	Generellt högre störnivåer
Ökad rörlighet	Oförutsägbara samgrupperingssituationer
Internationella insatser	Samoperationer med andra nationers system
Samutnyttjande av civila och militära resurser	Samgruppering av olika enheters system

Tabell 2.1: Riskfaktorer för telekonflikter i framtida försvarstillämpningar

En ökad användning av civil elektronik s k COTS (Commercial Off The Shelf) i militära tillämpningar ökar telekonfliktrisen då civil elektronik ger ifrån sig betydligt högre störningsnivåer än militär. Kompaktare systemplattformar, stor rörlighet samt användning av civil utrustning är faktorer som kraftigt ökar telekonfliktrisen i framtida militära system. Telekonflikter kan också medföra begränsad interoperabilitet vid exempelvis internationella insatser eftersom erfarenheter visar att telekonflikter typiskt uppstår vid samverkan mellan enheter som inte samverkat tidigare. I det framtida försvaret diskuteras också samutnyttjande av civila och militära resurser. Detta innebär även en ökad telekonfliktrisk eftersom civilt och militärt försvar har olika typer av system för t ex telekommunikationer. I tabell 2.1 sammanfattas de viktigaste faktorerna som ökar telekonfliktriskerna i framtida försvarstillämpningar. Sammanfattningsvis kan vi alltså konstatera att telekonflikter är ett problem som kan drabba många olika typer av system om man inte redan under konstruktionsstadiet analyserar och förebygger dessa problem. Verkligheten visar många exempel på allvarliga konsekvenser av olösta telekonfliktproblem. Vi talar alltså om ett reellt hot som kräver särskilda kunskaper att hantera.

Vår definition av telekonflikt är som ovan sagts störningar som kopplas via antennsystemet till en mottagare. Med denna definition underförstås att nivåerna på dessa störningar är tillräckliga för att påverka prestanda hos mottagaren. I praktiken brukar begreppet telekonflikt vara applicerbart på plattformar eller anläggningar/grupperingsplatser som innehåller flera sändande och mottagande utrustningar. Exempel på sådana plattformar är flygplan, fartyg, fordon eller en tillfällig samgruppering av flera sändande och mottagande utrustningar. I vissa fasta installationer kan det finnas ett större antal sändande och mottagande utrustningar som kan interferera med varandra. Ett militärt flygplan kan till exempel vara utrustat med kommunikationsradio, radar, radarhöjdmätare, utrustning för igenkänning (IK), landningshjälpmedel (TILS), radarvarnare, radarstörsändare samt olika yttre laster (vapen) med sändar- och mottagarfunktioner i målsökare. För att säkerställa att inte plattformens egna sändare stör mottagarfunktioner måste telekonfliktanalys göras under utvecklingsfasen av plattformen samt varje gång förändringar sker med avseende på sändare och mottagare.

En komplett telekonfliktanalys kräver kunskaper som spänner över flera tekniska discipliner såsom elektromagnetisk fältteori, signalteori, informationsteori, digital kommunikation och tillämpad elektronik.

2.3 Hur uttrycka prestandapåverkan i mått som kan relateras till taktiska sammanhang ?

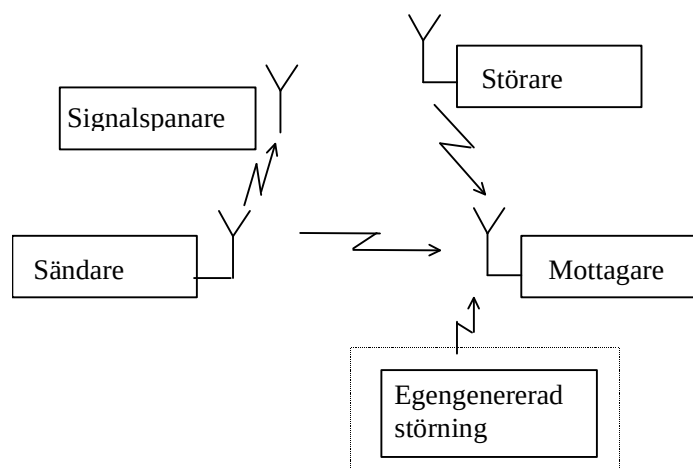
En bitfelssannolikhet säger ofta inte något som direkt kan relateras till en verklig situation. Därför måste en framräknad bitfelssannolikhet från en telekonfliktanalys översättas till ett taktiskt användbart mått. Om vi studerar situationen då man inte är, respektive är, utsatt för fientlig störning, så kan två olika mått användas.

1. Vi är inte utsatta för fientlig störning

Den ökade bitfelssannolikheten på grund av telekonflikt kan leda till *räckviddsminskning* om man utan telekonflikt ligger nära den maximalt tillåtna bitfelssannolikheten. Denna räckviddsminskning kan skattas.

2. Vi är utsatta för fientlig störning

Utan telekonflikt åstadkommer en fientlig störare en viss skada på ett visst avstånd. Med vår telekonflikt *kan den fientliga störaren åstadkomma samma skada på ett längre avstånd*, eftersom den får hjälp av vår telekonflikt, se figur 2.2. Denna avståndsökning kan skattas. Genom att införa begreppet "jamming loss" (störningsförlust) får vi fram hur mycket den fientliga störaren kan minska det avstånd som krävs för att få avsedd störningsverkan i vår mottagare.



Figur 2.2. Egengenererad störning hjälper den fientliga störaren i telekrigduellen.

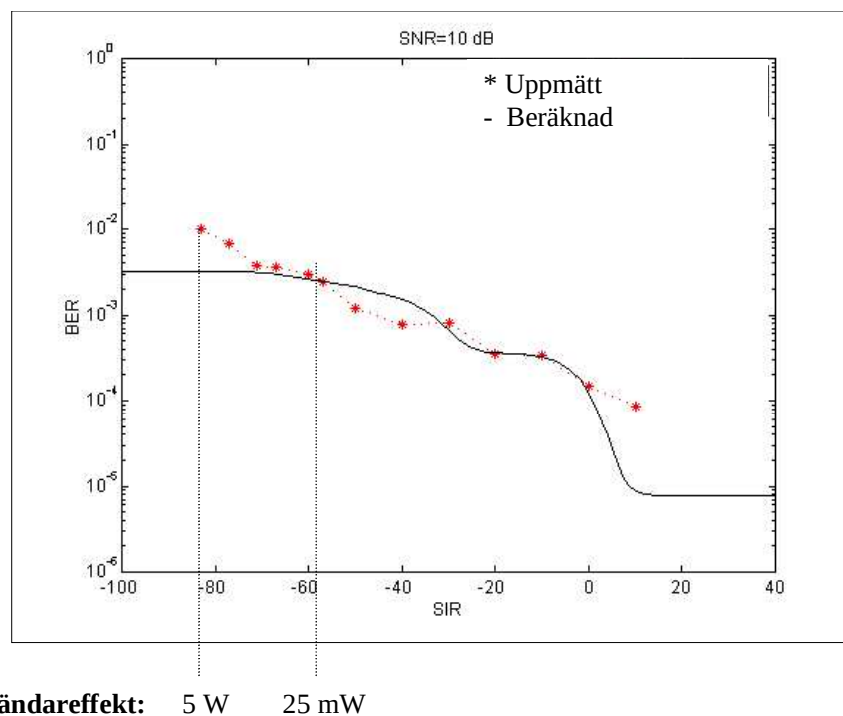
3. Exempel på forskningsresultat

3.1 Telekonflikt vid samgruppering av två Ra 180 i ett fordon.

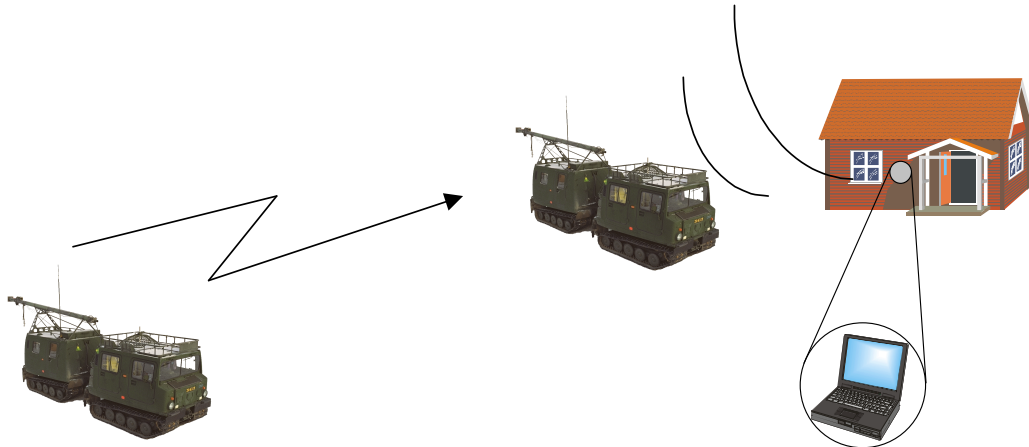
I praktiska tillämpningar önskar man ibland använda flera frekvenshoppande radiosystem i samma fordon, se figur 3.1. Genom att ge radiosystemen oberoende hoppsekvenser kan man klara av telekonfliktsituationen trots att systemen hoppar inom samma frekvensband. I exemplet nedan visas uppmätta och beräknade bitfelssannolikheter vid samgruppering av två Ra 180 i samma fordon, se figur 3.2. På x-axeln visas det uppkomna signalinterferensförhållandet i mottagaren. Värden för 5 W och 25 mW uteffekt på radiostationen finns inlagda som referens. För okodat tal kan man acceptera bitfelssannolikheter på ca $10^{-3} - 10^{-2}$, beroende på vilken talkodare som används.



Figur 3.1. Samgruppering av radiostationer i ett fordon.



Figur 3.2. Uppmätt och beräknad bitfelssannolikhet vid samgruppering av två Ra 180 i fordon. Effektlägena på Ra180 motsvarande 5 W och 25 mW är angivna.



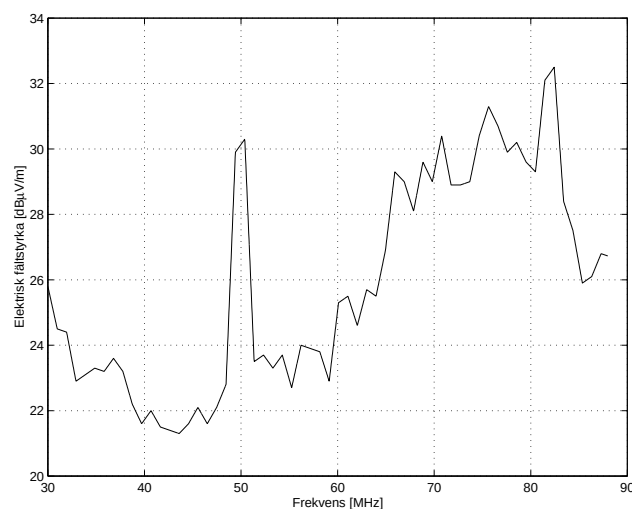
Figur 3.3. Samlokalisering av COTS-PC med frekvenshoppande radio.

3.2 Telekonflikt vid samgruppering av PC med FH-radio.

Ett frekvenshoppande radiosystem, med systemparametrar enligt tabell 3.1, samgrupperas 20 meter från fyra COTS-datorer, se figur 3.3. Systemparametrarna kan anses typiska för truppradiosystem med fordonsmonterade antenner. Uteffekten 50 W motsvarar t ex högsta effektläget på Ra 180. Den strålade störningen från datorerna har uppmätts på tre meters avstånd enligt figur 3.4. Räckvidden till ett identiskt radiosystem som rör sig i omgivande terräng beräknas under villkoret att en god talförbindelse skall erhållas. Beräkningen är gjord med en datorbaserad vågutbredningsmodell; det FOI-utvecklade DETVAG 90 som tar hänsyn till både terrängprofil och terrängtyp. Den uppmätta elektriska fältstyrkan är angiven i dB μ V/m, vilken beräknas som

$$E_{\text{dB}\mu} = 10 \log_{10} \frac{E}{10^{-6}}, \quad (3.1)$$

där $E_{\text{dB}\mu}$ är den elektriska fältstyrkan i dB μ V/m.

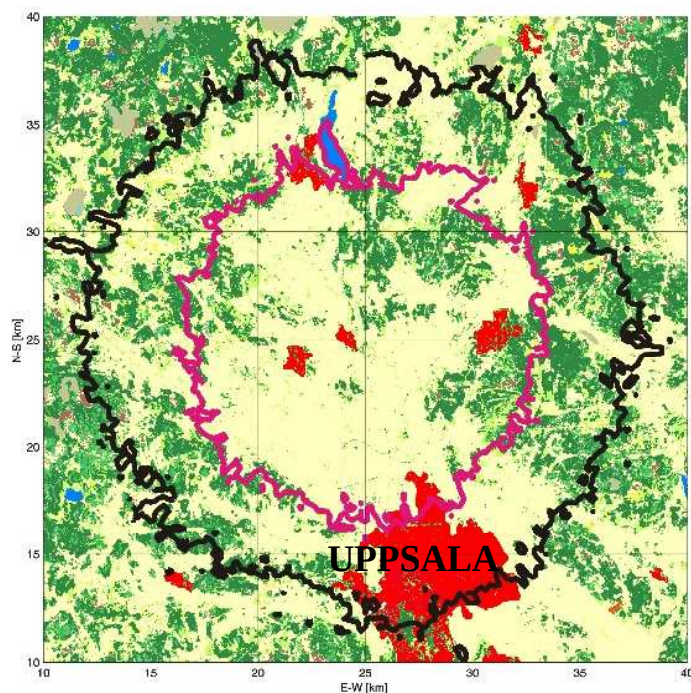


Figur 3.4. Uppmätt elektrisk fältstyrka på tre meters avstånd från fyra datorer; Compaq 166 MHz, Dell 200 MHz, Fujitsu 333 MHz samt en Compaq laptop 350 MHz. Mätningen är gjord på Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (SP) i Borås.

Systemparameter	Värde
Uteffekt	50 W
Modulation	MSK
Brusfaktor	14 dB
Antennvinst	- 4 dBi
Bandspridningsteknik	Frekvenshopp
Frekvensområde	30 MHz – 88 MHz
Kanalseparation	25 kHz
Maximalt tillåten bitfelssannolikhet	10^{-3}

Tabell 3.1: Systemparametrar för radiosystemet.

I figur 3.6 [2] visas radoräckvidd utan (svart) samt med störning (röd) från COTS-datorer. Med datorerna avslagna erhålls en räckvidd på ca 20 km vilket är förväntat med 50 W uteffekt och fordonsantenner. Med datorerna påslagna sjunker räckvidden till ca 65 % av räckvidden i ostört läge. Maximalt tillåten störningsnivå för försäljning av datorer inom EU är 40 dB μ V/m, jfr figur 3.5. Det använda störningsspektrumet är alltså inte ett värsta fall utan skall snarare betraktas som ett typiskt värde på strålad störning från civila persondatorer. Vidare bör noteras att den rörliga enheten fortfarande kan uppfatta talet från den fasta enheten. Detta kan leda till förvirring när den fasta enheten plötsligt inte kan uppfatta det som sänts från den rörliga enheten. Mätningar som gjorts på liknande situationer visar räckvidder på ned till 25 % av räckvidden i ostört läge, varför beräkningen inte är ett värsta fall.



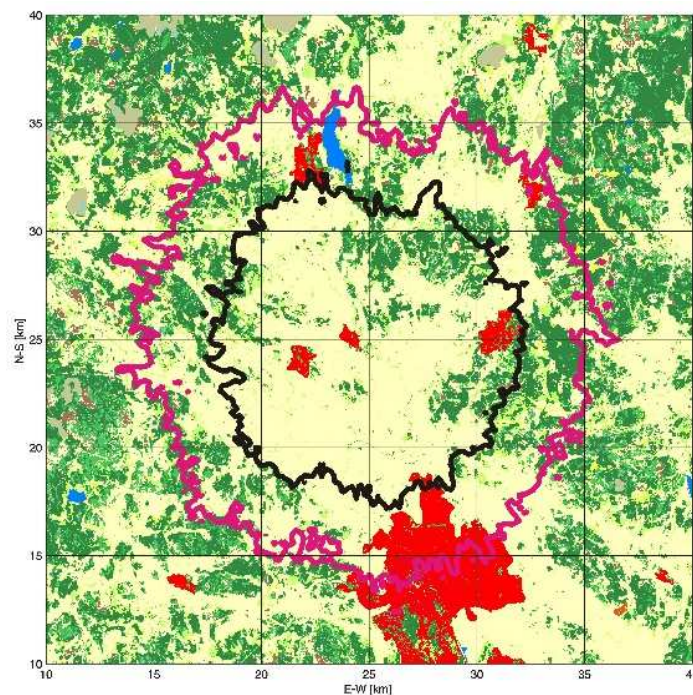
Figur 3.5. Radoräckvidd utan (svart) samt med störning (röd) från COTS-datorer. Samlokaliseringsplatsen är placerad i bildens centrum och avståndet mellan datorer och radio är 20 meter.

Systemparameter	Värde
Uteffekt	1000 W
Antennvinst	6 dBi
Antennhöjd	10 meter
Andelen av frekvensbandet som störs	30 % (optimalt)
Önskad bitfelssannolikhet i radiosystemet.	5 %

Tabell 3.2: Systemparametrar för fientlig störare.

3.3 Telekonflikt under samtidig fientlig störning.

Då man har en telekonflikt och samtidigt är utsatt för fientlig störning (telekriginsats) leder detta till att den fientliga störaren kan uppnå samma effekt på ett större geografiskt avstånd än utan telekonflikt. I figur 3.6 visas exempel på denna räckviddsökning för en fientlig störare med systemparametrar enligt tabell 3.2. Det störda systemet har parametrar enligt tabell 3.1. I exemplet får den fientliga störaren en räckviddsökning med ca 50%. En telekonflikt får alltså märkbara taktiska konsekvenser även beträffande påverkan från fientlig störning.



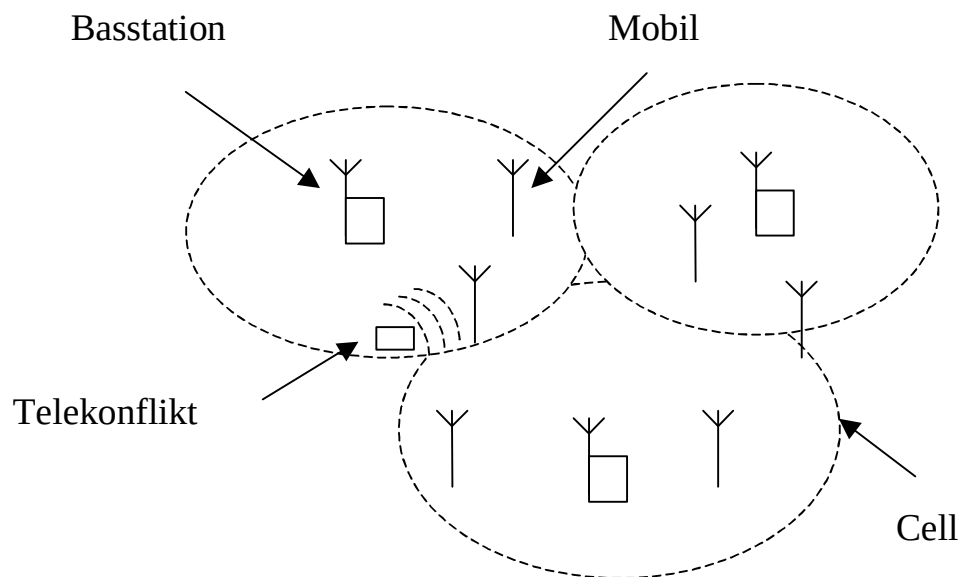
Figur 3.6: Räckvidd för fientlig störare utan (svart) samt med telekonflikt (rosa).

3.4 Telekonflikter och tredje generationens mobiltelefonisystem.

Nästa generations mobiltelefonisystem UMTS (Universal Mobile Tele-communications System) kan komma att föreslås som tänkbar teknik i framtida militära tillämpningar. Detta på grund av att försvarsmakten har direktiv om att i största möjliga utsträckning använda civil teknik inom de områden civilsidan är teknikledande. UMTS-standarden har fördelar som till exempel:

- erbjuder relativt höga datahastigheter
- möjligheten att kunna utnyttja befintliga nät
- tillgång till internet
- civil teknik ger billiga enheter och finns som hyllvara.

UMTS är ett CDMA-system, där CDMA står för Code Division Multiple Access. Det betyder att användarna i systemet sänder över samma frekvensområde, men med olika koder. I det ideala fallet är användarna ortogonala, dvs man kan sända på samma frekvens utan att störa varandra, men i verkligheten kommer de av olika anledningar att uppföra sig som störningar till varandra. Antalet användare är på det sättet gränsättande i systemet. Störningar genererade från den egna cellen beror på flervägsutbredning från basstationen till de olika mobilerna. Dessutom kan det bero på att de olika användarnas koder inte är helt ortogonala. Detta ger en begränsning i systemet, men med hjälp av effektregleringen hos mobilerna kan interferenserna minimeras. Det har gjort att en stor del av arbetet med utvecklingen av systemet har inriktats på effektregleringen. Syftet med effektregleringen är att optimera effekten hos mobilerna och basstationerna så att dessa inte använder onödigt stor effekt.



Figur 3.7: Störningssituation med en intelligande elektrisk utrustning.

Störningarna som kommer från intilliggande celler beror främst på att användarna återanvänder koderna som andra celler använder, se figur 3.7. Genom en väl fungerande effekterglering minimeras dessa störningar. Det innebär att basstationerna sänder med minsta möjliga effekt för att hålla en viss kvalitet på informationen som sänds. Det gör att interferenseffekten som tas emot hos en mobil minimeras då effektergleringen fungerar. En telekonflikt bestående av en elektrisk utrustning som finns i närheten av en mobil, kommer att påverka interferensnivån hos mobilen. Genom att mobilens Signal-interferensförhållande SIR försämras vid en telekonflikt kommer mobilen att begära högre effekt från basstationen. Om nätet tillåter en högre signaleffekt förbättras mobilens SIR temporärt. En ökning av signaleffekten påverkar dock också de andra användarna i cellen och i intilliggande celler genom att de får en ökad interferensnivå. De kan då också komma att begära mer signaleffekt från basstationen. Om processen ställer in sig på en stabil nivå eller/och om effekten trissas upp är oklart. Dock kan man säga att en telekonflikt alltid måste betalas för i form av ett minskat antal användare. Den interferens som tillkommer genom telekonflikten stjälar kapacitet som kunde ha utnyttjats av ett antal användare i systemet.

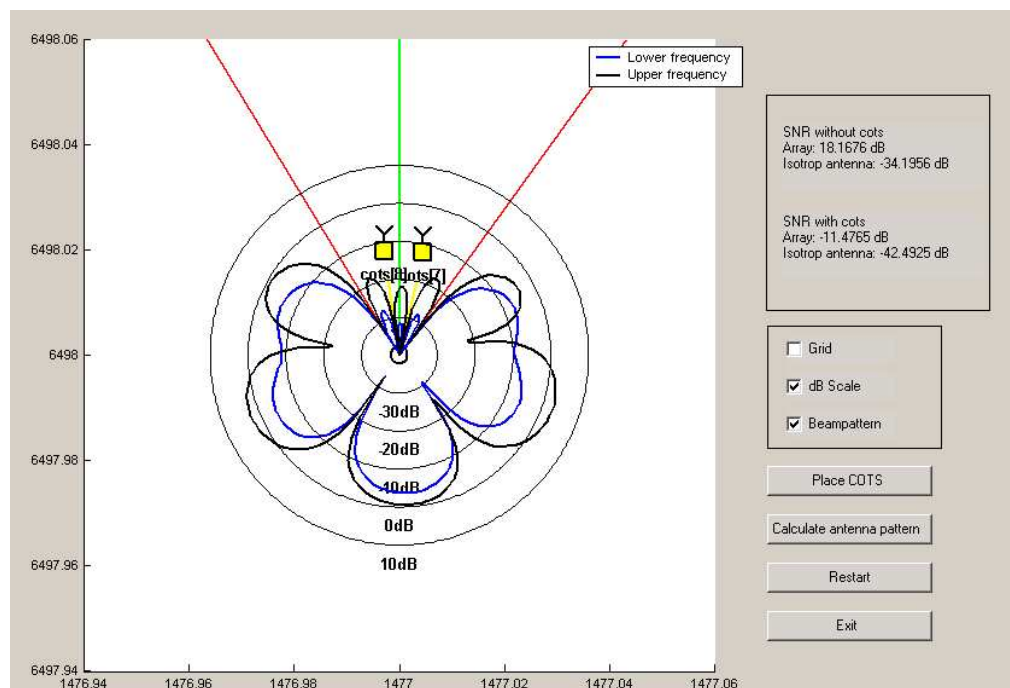
I militära tillämpningar är tiden som går åt för att utföra en viss tjänst av stort intresse. Ibland kan den vara kritisk. Därför är den inledande anslutningen till nätet mycket känsligt mot telekonflikter eftersom de senare kan försvåra eller förhindra anslutning. Det krävs att förhållandena är relativt goda för att en mobil ska kunna ansluta sig till en lämplig basstation. Det beror på att basstationerna i UMTS(WCDMA) är asynkrona. Det betyder att ingen gemensam tid finns att rätta sig efter för basstationerna. För att mobilen ska kunna ansluta sig behöver mobilen lyssna efter en synkroniseringssekvens gemensam för alla basstationer. Med ett signalanpassat filter tar mobilen emot en synkroniseringssekvens från den basstation som är starkast. Störningar kring mobilen kan göra att det tar lång tid eller till och med hindra mobilen att ansluta till nätet. Hur stor risken är och vilka störningsnivåer som krävs behöver utredas ytterligare inför en militär tillämpning.

Sammanfattningsvis är det ur telekonfliktsynpunkt viktigt att komma ihåg att UMTS är ett system som innehåller ett antal interferensbaserade funktioner, dvs funktioner som påverkas av den störningsmiljö som finns vid mobiler och basstation.

3.5 Elektriskt styrbara antenner och telekonflikter

En elektriskt styrbar antenn, gruppantenn, kan undertrycka interferenser genom att adaptera strålningsdiagrammet, med hjälp av avancerad signalbehandling, i olika riktningar. Interferenserna kommer både från avsiktliga och oavsiktliga störkällor där bland annat störsignaler från COTS-utrustning ingår. Vid en telekonflikt kommer inte kommunikationssystemet att vara medveten om prestandasänkningen för mottagningen som konflikten bidrar till.

För att på ett intuitivt sätt kunna visa en gruppantenns mottagningssegenskaper har FOI inom projektet för *Elektriskt Styrbara Kommunikationsantenn*er utvecklat ett simuleringsverktyg, ELSAsd, (ELEktriskt Styrbar Antenn software demonstrator), vilket är en mjukvarudemonstrator. Demonstratorn har sedan utökats med en telekonfliktmodul för att kunna visa hur gruppantennens mottagningssegenskaper förändras vid en telekonfliktssituation. Med modulen kan en telekonflikts påverkan på en gruppantenn visas, inte enbart den negativa effekten, utan även att en telekonflikt kan undertryckas. När en telekonflikt uppstår och om gruppantennen har få antennelement kommer förmågan att undertrycka avsiktliga störare kraftigt minskas. Antalet nollställen som kan placeras ut i olika riktningar vid lobformningen minskas genom att de används för att undertrycka en telekonflikt istället för den avsiktliga störkällan. Förstärkningen i riktning mot sändaren kan även kraftigt påverkas, vilket tydligt visas i figur 3.8.



Figur 3.8: Antennendiagrammet visar att förstärkningen i riktning mot sändaren påverkas kraftigt av telekonflikten.

4. Sammanfattning/Diskussion

1995 påbörjade FOI (dåvarande FOA) forskning inom telekonfliktområdet. Forskningsuppdraget kom från högkvarteret inom FoT-programmet. Detta uppdrag har sedan funnits kvar till och med 2002. Inga specifika direktiv om forskningsinriktning har funnits i detta uppdrag förutom att forskningen skulle syfta till att kunna stödja framtida utveckling av beräkningsverktyg för telekonfliktanalys. En sådan utveckling var sedan tidigare planerad att genomföras av Försvarets Materielverk (FMV).

Forskningsinriktningen för FOIs telekonfliktforskning lades fast efter en omfattande kartläggning av var forskningsfronten låg nationellt och internationellt. Med bakgrund av denna kartläggning kom forskningen att fokusera på analysmetoder för störningspåverkan av digitala kommunikationssystem vid samlokalisering både med militära system och med COTS.

Under hela projektperioden har en tät samverkan bedrivits med FMV KC Sensor & Telekom. Projektets forskare har även vid ett flertal tillfällen tagits i anspråk som tekniska konsulter åt svensk industri för olika tillämpade problemställningar. Vidare har projektets forskare deltagit i den utbildningssatsning som FOI gör på uppdrag av Försvarshögskolan (FHS). Kunskaper om telekonflikter har där successivt förts in i kursprogrammet.

Forskningssamarbete har även bedrivits med professor Jens Zander på Kungliga tekniska högskolan i Stockholm samt professor Arne Svensson på Chalmers tekniska högskola. Båda dessa samarbeten har skett som doktorandutbildning.

De sista åren har projektets resultat blivit uppmärksammade internationellt bland annat av det europeiska standardiseringsorganet CISPR. Projektets resultat har här kommit att påverka utvecklingen av internationella standarder för begränsning av strålad elektromagnetisk emission från elektronisk utrustning.

Forskningsbehovet inom telekonfliktområdet kommer att vara stort i framtiden. Ökad användning av civil teknik med höga störningsnivåer kommer att kräva stor kunskap för att undvika att samlokaliserade militära kommunikationssystem utsätts för oacceptabel störningspåverkan. Internationella operationer innebär alltid samlokalisering med andra nationers system vilket erfarenhetsmässigt alltid innebär risker för telekonflikter. Utvecklingen mot ett nätverksbaserat försvar (NBF) kommer att innebära att en stor mängd civil elektronisk utrustning för informationsbehandling kommer att samlokaliseras med militära kommunikationssystem. Här krävs spetskunskaper inom telekonfliktområdet för att förhindra allvarliga funktionsnedsättningar för de framtida ledningssystemen.

Referenser

- [1] Sandy Woodward, *100 dagar – striden om Falklandsöarna*,
Marinlitteraturföreningen 1994.
- [2] Sara Linder, Marcus Rundgren, *Taktiska konsekvenser av telekonflikter*,
FOA-R—00-01704-504—SE, December 2000.
- [3] Kia Wiklundh, ”Generell modell av störningskällor för bestämning av dess påverkan på
ett WCDMA-system”,
FOI MEMO Juni 2001 Dnr 01-2442
- [4] Mario Lucchese, C. Leslie Golliday jr, Anil N. Joglekar, ”Operational Evaluation of
Electromagnetic Environmental Effects (E3), Institute for Defense Analyses,
PM: May – June 2000.