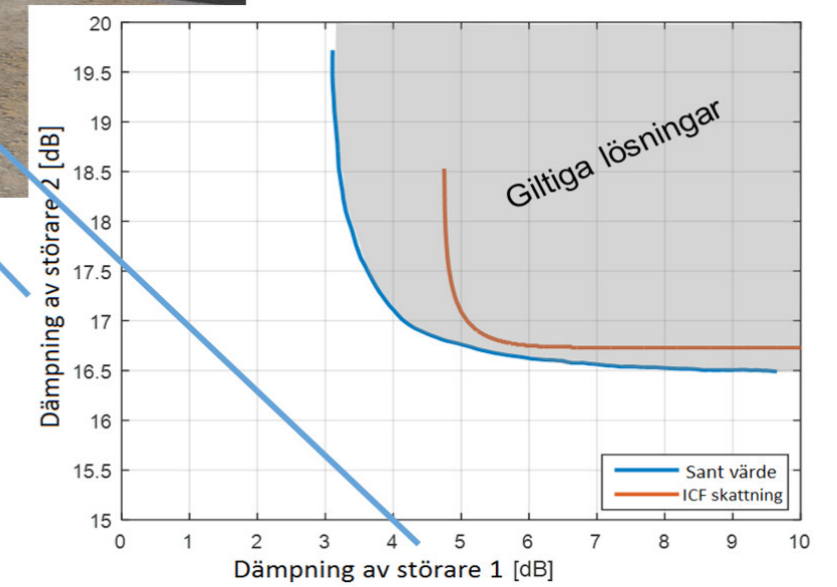
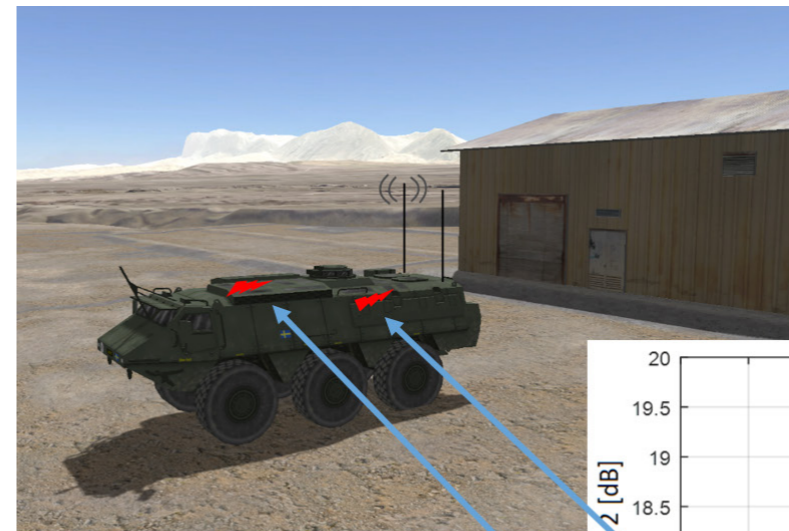


BÖRJE ASP, KIA WIKLUNDH, SARA ÖRN TENGSTRAND,
ERIK AXELL, PATRIK ELIARDSSON OCH BJÖRN JOHANSSON



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.

Börje Asp, Kia Wiklundh, Sara Örn Tengstrand,
Erik Axell, Patrik Eliardsson och Björn Johansson

RICOM Slutrapport

Titel	RICOM Slutrapport
Title	RICOM Final report
Rapportnr/Report no	FOI-R--4317--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2016
Antal sidor/Pages	35 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	Försvarsmakten
Forskningsområde	4. Informationssäkerhet och kommunikation
FoT-område	Ledning och MSI
Projektnr/Project no	E72633
Godkänd av/Approved by	Christian Jönsson
Ansvarig avdelning	Ledningssystem

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk, vilket bl.a. innebär att citering är tillåten i enlighet med vad som anges i 22 § i nämnd lag. För att använda verket på ett sätt som inte medges direkt av svensk lag krävs särskild överenskommelse.

This work is protected by the Swedish Act on Copyright in Literary and Artistic Works (1960:729). Citation is permitted in accordance with article 22 in said act. Any form of use that goes beyond what is permitted by Swedish copyright law, requires the written permission of FOI.

Sammanfattning

På militära plattformar finns det ofta många radiosystem på en liten yta. Detta leder till att radiosystemens prestanda kan påverkas negativt, på grund av elektromagnetiska interferenser från andra radiosystem och elektriska utrustningar på plattformen.

Dessa interferenser orsakar en försämrad förmåga hos sambandssystemen och kan i förlängningen påverka de militära förbandens förmåga till skydd, verkan och rörlighet.

Denna rapport sammanfattar de aktiviteter som genomförts i projekt *Robust Integration av Trådlösa Telekommunikationssystem* (RICOM) under perioden 2014-2016.

Projektet har haft som syfte att studera metoder för att förbättra systemintegrationen på plattformar avseende samlokalisering av flera sändare och mottagare. Projektet har bestått av tre delar: (1) Metoder och teknik för systemintegration på plattformar av trådlösa kommunikationssystem (huvuduppgift), (2) Robusthetsökande åtgärder för satellitkommunikation (satkom) och (3) Frekvensvalmetod för kortvåg (HF) baserat på lokal interferensmiljö.

Rapporten ger förslag på åtgärder för att förebygga och hantera kommunikationsproblem till följd av integrationsbrister. En övergripande slutsats är att integrationsbristerna bör hanteras både genom metod och teknik samt genom ett systematiskt angreppssätt där hela plattformen och dess system beaktas. Kommunikationssystemens funktionssäkerhet bör omhändertas under alla faser av plattformens livslängd, från kravställning tills att den tas ur bruk, och det är särskilt viktigt i tidiga stadier eftersom åtgärder i senare faser kan bli mycket kostsamma. Speciellt föreslår projektet att det ska finnas en samfunktionsansvarig för elmiljö och samband för varje plattform, som har ansvar för att bevaka och åtgärda problem som är relaterade till systemintegrationen. För att underlätta systemintegrationen på plattformar föreslås metodstöd i form av nya kontrollpunkter och designregler.

Slutligen presenteras en metod för hur störningar från radiosystem och plattformen kan hanteras för att åstadkomma tillräckligt god prestanda hos plattformars radiosystem. Metoden gör det möjligt att utvärdera och välja de tekniska åtgärder som är mest effektiva för att hantera elektromagnetiska störningsproblem vid integration av kommunikationssystem på militära plattformar.

Nyckelord: Systemintegration, samlokalisering, elektromagnetiska störningar, robust kommunikation, funktionssäkerhet

Summary

On military platforms, there are typically a number of radio systems located in a limited area. This may lead to reduced radio system performance, as the radio is affected by electromagnetic interference from other radio systems or from electrical equipment on the platform. This degradation of communication system performance can ultimately affect the protection, action and mobility of the military unit.

This report summarizes the activities in the project Robust Integration of Wireless Telecommunication Systems during 2014-2016. The aim of the project has been to study methods that improve the system integration on platforms, regarding co-localization of several receivers and transmitters. The project has consisted of three parts: (1) Methods and technology for system integration of wireless telecommunication systems on platforms (main task), (2) Methods to increase the robustness of satellite communication, (3) Frequency selection methods in High Frequency (HF) communication, based on the local interference environment.

The report suggests measures to prevent and handle communication problems caused by inadequate system integration. A general conclusion is that the deficiencies in integration should be handled both by method and technology, and by a systematic approach where the entire platform and its systems are considered. The functioning reliability of communication systems should be handled in all phases of the systems' life time, and is especially important in early phases, as problems might be very costly to handle later. The project suggests an overall responsible (for electronic environment and communication) for each platform. This overall responsible will monitor and handle problems related to system integration. The project also suggests that new checkpoints and design rules are adopted, in order to facilitate the work of the person responsible for system integration on a platform.

Finally, the project presents a method for handling interference from radio systems and the platform, in order to reach sufficient performance of the radio system on a platform. The method makes it possible to evaluate and choose the proper technical measures that are most efficient for handling electromagnetic interference problems during integration of communication systems on military platforms.

Keywords: System integration, co-location, electromagnetic interference, robust communication, functioning reliability

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
2	Systemintegration - problembeskrivning	8
3	Projektaktiviteter	10
3.1	Metodutveckling kring integrationsproblematik.....	10
3.1.1	Föreslagen metod.....	10
3.1.2	Exempel på tillämpning.....	12
3.1.3	Teknik för att hantera störningar.....	13
3.1.4	Slutsatser.....	13
3.1.5	Förslag på fortsatt verksamhet.....	14
3.2	Studie av robusthetsökande åtgärder för satkom.....	14
3.2.1	Slutsatser.....	16
3.2.2	Förslag på fortsatt verksamhet.....	16
3.3	Studie av interferensbaserat frekvensval på HF.....	16
3.3.1	Slutsatser.....	18
3.3.2	Förslag på fortsatt verksamhet.....	18
3.4	Workshop.....	18
4	Angränsande projekt	20
4.1	Spridning av plattformspositioner via satkom.....	20
4.2	Små satelliter för kommunikation.....	20
4.3	Mätmetod för radiostörningsmiljömätningar.....	20
4.4	Produktledarkurs.....	21
4.5	Antennstudier - Korvett Visby.....	21
5	Rekommendationer	22
5.1	Metod och organisation.....	22
5.2	Teknik.....	24
5.3	Utbildning.....	27
6	Slutsatser	29
7	Fortsatt arbete - KORINT	31
8	Referenser	32
9	Appendix 1 - Resultatproduktion inom RICOM	33
10	Appendix 2 - Definitioner	35

1 Inledning

Fungerande telekommunikationssystem är viktiga för att förband ska ha förmåga att lösa sina uppgifter. Bristande, eller degraderad, robusthet i militära radiosystem orsakad av brister i systemintegrationen är ett komplext och växande problem, särskilt för plattformar där flera system måste samlokaliseras med andra emitterande källor. Dagens plattformar är sammansatta av både militära och civila system och andelen civila system antas öka. Eftersom emissionskrav med mera är lägre för de civila systemen innebär denna utveckling ännu större utmaningar vid systemintegration.

Projektet *Robust Integration av Trådlösa Telekommunikationssystem* (RICOM) har haft som huvuduppgift att studera metoder för att förbättra systemintegrationen på plattformar avseende samlokalisering av flera sändare och mottagare. Projektet är ett forskningsprojekt inom Försvarmaktens samlingsbeställning till FOI och har genomförts under tre år med start 2014-01-01. Denna rapport sammanfattar de aktiviteter som genomförts inom projektet.

För plattformar som ska kommunicera över stora avstånd är satkom och HF i princip de enda möjliga alternativen. Satkom är idag det enda system som har tillräcklig kapacitet för att stötta flera av de militära stödsystemen samt welfare-trafik. På samma sätt är HF-kommunikation nödvändigt för operativ ledning på många plattformar. Dessa kritiska kommunikationssystemens prestanda kan dock försämrats avsevärt till följd av brister i systemintegrationen.

Utöver den ovan beskrivna huvuduppgiften har projektet därför omfattat ytterligare två aktiviteter. Den första av dessa innebar studier av robusthet och robusthetsökande åtgärder för satellitkommunikation (satkom). Den andra aktiviteten innebar en studie av utnyttjande av tillgängligt frekvensspektrum på kortvåg (HF), där hänsyn tagits till den lokala störningsmiljön på en plattform. De två senare delarna har utgjort en mindre del av projektet.

Sammanfattningsvis har projektet bestått av tre delar:

- Metoder och teknik för systemintegration av trådlösa kommunikationssystem på plattformar (huvuduppgift)
- Robusthetsökande åtgärder för satkom
- Frekvensval för HF baserat på lokal interferensmiljö

Såväl vetenskaplig publicering som kontinuerlig samverkan med kundrepresentanter i olika frågor har prioriterats i projektet. Kundrepresentanterna har bidragit till projektet genom att tydliggöra Försvarmaktens behov. Forskningsverksamheten har på så sätt inriktats mot aktuella frågeställningar beträffande systemintegration och systemutveckling.

Under projektets första år genomfördes en rad intervjuer med personal från FM och FMV för att kartlägga hur FM arbetar med att integrera radiosystem på plattformar och flera studiebesök har genomförts. Informationen har gett en uppfattning om vad som ligger till grund för de integrationsproblem som förekommer. Underlaget har bidragit till att inrikta projektets forskning och till att hålla en hög relevans på genomförd verksamhet.

En viktig del i projektet är den workshop som genomförts årligen där aktuell forskning, med fokus på robust integration av trådlösa telekommunikationssystem, presenterats och diskuterats.

För att kvalitetssäkra resultaten har projektet publicerat ett antal artiklar och konferensbidrag. Dessa listas tillsammans med producerade rapporter i Appendix 1. Några begrepp som används i rapporten definieras i Appendix 2.

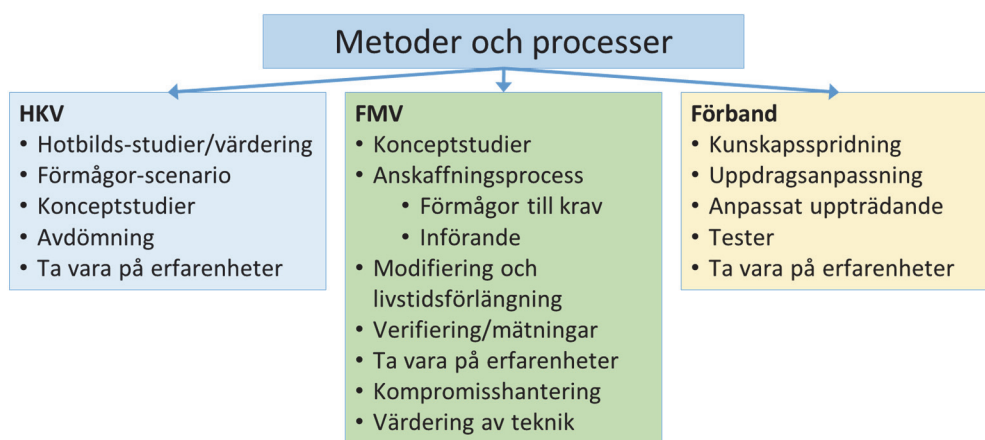
2 Systemintegration - problembeskrivning

På militära plattformar finns det ofta många radiosystem på en liten yta. Detta leder till att radiosystemens prestanda påverkas negativt, på grund av elektromagnetiska interferenser från andra radiosystem och elektriska utrustningar på plattformen. Dessa interferenser orsakar en försämrad förmåga hos sambandssystemen och kan i förlängningen påverka de militära förbandens förmåga till skydd, verkan och rörlighet.

Problem med interferens kan få som konsekvens att en del radiosystem inte får användas, får kraftigt begränsad räckvidd, får ökad känslighet för telekrigsinsatser, inte fungerar alls eller att vissa frekvenser inte får användas. Detta medför att införskaffade radiosystem inte kan användas som det var tänkt eller inte får den förmåga som de i grunden besitter. Brister i systemintegrationen påverkar således ytterst förbandens förmåga att genomföra sin uppgift. Detta gäller särskilt brister som påverkar trådlös teknik. Brister i systemintegrationen är ett komplext och växande problem, särskilt för plattformar där flera kommunikationssystem måste samlokaliseras med andra emitterande källor.

Om systemen inte kan samexistera krävs det att problemen åtgärdas, vilket förutsätter information om situationen. Detta inbegriper vilket eller vilka system som orsakar problemen, vilka åtgärder som är möjliga, och hur mycket situationen måste förbättras för att de önskade tjänsterna ska kunna användas.

Det finns en rad åtgärder som kan genomföras. En åtgärd kan vara teknisk, från hårdvara till mjukvara, men den kan också bestå av att införa en metod för att undvika eller hantera problem. I Figur 1 visas några av de metoder och processer hos olika aktörer som berör systemintegration. Detta illustrerar att systemintegration inte bara handlar om teknik. För en lyckad och hållbar systemintegration måste allt hänga ihop.



Figur 1. Systemintegration är inte bara teknik. I figuren ges exempel på metoder och processer som rör systemintegration, för några aktörer.

I bästa fall kan problematiska situationer lösas genom att en eller ett par åtgärder vidtas. Om plattformen har en liten fysisk yta på vilken flera system skall samsas kan det dock bli svårt att fullt ut lösa situationen, särskilt som en plattform ofta har ett begränsat antal möjliga antennplaceringar. Det kan därför bli nödvändigt att prioritera vilka system som är viktigast och ta till kompromisser. På små plattformar är antennplacering alltså en kompromiss där verkan och skydd i de flesta fall har företräde.

En komplicerande faktor är att genomförda åtgärder kan medföra nya problem. Detta kan exempelvis ske då en genomförd åtgärd består av att öka det fysiska avståndet mellan en störningskälla och antennen för den påverkade radiomottagaren. Om störningskällan flyttas kan det medföra att den istället hamnar för nära en annan radioantenn, vilket då orsakar nya interferensproblem. Om mottagarantennen eller en störande radiosändare

flyttas kan den nya antennplaceringen medföra försämrade strålningsegenskaper som påverkar räckvidden för systemet vars antenn flyttats.

För att säkerställa att åtgärderna verkligen löser problemen behöver effekterna av åtgärderna värderas. Det är viktigt att se till att åtgärderna ger en tillräcklig förbättring. Om de föreslagna åtgärderna bara ger en mindre förbättring på mottagningsförhållandena finns risken att de önskade tjänsterna eller den önskade förmågan ändå inte kan realiseras. I dessa fall är det onödigt att överhuvudtaget införa åtgärden. Det kan också finnas behov av att analysera om åtgärden är ”värd sitt pris”.

En värdering inte är något som enbart skall ske vid projektering och utformning av en plattform. Det är lika viktigt att värdera vad som hänt vid modifieringar av plattformen, vid allmänna översyner där någon komponent bytts eller om plattformens användning förändrats.

Problematiken som framgår av ovanstående beskrivning är både komplex och komplicerad. Det innebär att insatser krävs på en rad områden för att situationen skall förbättras men också att helheten måste hanteras med ett systematiskt angreppssätt. I det sammanhanget är det viktigt att påpeka att projekt RICOM bara kan hantera och lösa en del av de problem som föreligger.

3 Projektaktiviteter

I följande avsnitt behandlas de aktiviteter som har genomförts inom projekt RICOM. En sammanställning av samtliga publikationer som producerats inom ramen för RICOM finns i kapitel 9.

3.1 Metodutveckling kring integrationsproblematik

Metodutveckling för att hantera integrationsbrister har varit projektets huvudaktivitet. I följande avsnitt beskrivs de metoder för att värdera och välja tekniska åtgärder mot interferensproblem, som har utvecklats inom projektet. Mer detaljerad teknisk information om metoderna finns i [1]. Utgångspunkten för metodutvecklingen har varit att metoderna ska vara helt oberoende av de störande källornas karakteristik. Med andra ord skall de klara av att hantera störningar från alla typer av radiosystem, radarsystem, generatorer, datorer med mera. Vidare skall metoderna vara oberoende av om störningen är impulsaktig eller ej, samt helt oberoende av radiosystemets modulation.

I tillämpningsexemplet i kapitel 3.1.2 har vi dock avgränsat oss till impulsaktiga källor.

I arbetet har det föreslagits metoder för att utvärdera och välja de tekniska åtgärder som är mest effektiva för att hantera elektromagnetiska störningsproblem vid integration av kommunikationssystem på militära plattformar. Olika aspekter av att välja åtgärder som förbättrar störningssituationen på en enskild plattform, eller på flera samlokaliserade plattformar, har beaktats. Metoder har föreslagits för att göra en uppskattning av bitfelssannolikhet (BEP) för ett scenario med flera impulsiva störningskällor. De föreslagna metoderna används sedan för att beräkna krav på dämpning för varje enskild störningssignal, för att nå önskad systemprestanda.

3.1.1 Föreslagen metod

Syftet med denna aktivitet har varit att utveckla en systematisk metod för att uppnå tillräckligt bra integration av trådlösa kommunikationssystem. Målet är att kunna hantera alla system på en plattform, eller flera samgrupperade plattformar, och se till helheten. Den utvecklade metoden löser inte alla problem med systemintegration, men kan vara en viktig del av en helhetslösning.

Den föreslagna metoden består av två delar:

- 1) Uppskatta systemprestanda genom att beräkna approximativ bitfelssannolikhet för en mottagare som påverkas samtidigt av flera impulsiva störningssignaler.
- 2) Beräkna nödvändiga krav på dämpning av varje enskild interferenssignal för att uppnå önskad bitfelshalt.

Metoden kan användas för att utvärdera systemprestanda för en radiomottagare som är samlokaliserad med andra radiosystem och elektronisk utrustning, och därmed påverkas av elektromagnetisk interferens. Dessutom kan den användas för att utvärdera och välja lämpliga tekniska åtgärder för att uppnå tillräcklig systemprestanda. I de fall det inte går att utföra åtgärder som leder till att alla krav på systemprestanda uppfylls så kan det vara nödvändigt att göra kompromisser. Metoden kan också bistå med att analysera konsekvenserna av sådana kompromisser.

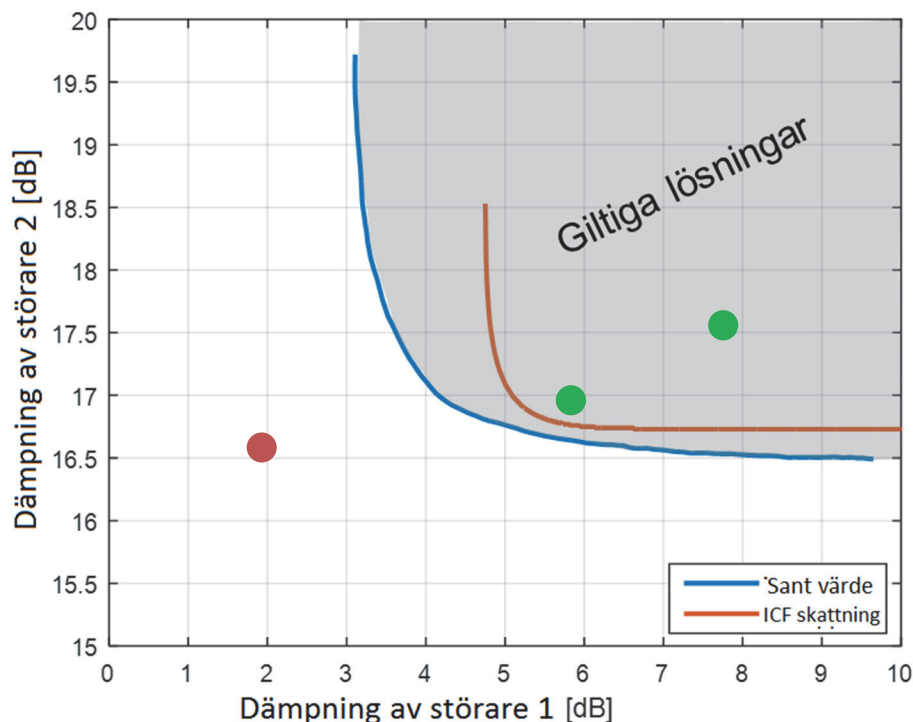
För att uppskatta bitfelshalt och beräkna nödvändig dämpning krävs kunskap om radiosystemet och interferenskällornas egenskaper. Information om radiosystemets vågform krävs för att uppskatta hur störningen påverkar systemets bitfelshalt. Kunskap om de krav tjänsten ställer på bitfelshalt krävs för att beräkna nödvändig dämpning av interferenser och därmed kunna välja lämpliga åtgärder.

För att avgöra hur interferenserna påverkar radiosystemets bitfelshalt krävs dessutom kunskap om interferensernas egenskaper, till exempel effekt och impulskaraktär. Kunskap

om interferenskällorna fås exempelvis genom mätning på radiomottagarens antenningång. Ju bättre kunskap som finns om radiosystemet och alla interferensers egenskaper, desto noggrannare kan de nödvändiga åtgärderna beräknas och väljas.

I många fall när störningskällor identifieras och karakteriseras så mäts enbart störningskällans medeleffekt, och möjligen frekvensegenskaper, för att bedöma påverkan på ett radiosystem. Ofta har störningssignaler från olika typer av elektronisk utrustning eller från andra transmitterande system kraftig impulskaraktär, vilket kan ha stor inverkan på radiosystemets prestanda. Om det bara finns en störningskälla är det möjligt att ungefärligen beräkna vilken påverkan de har på systemets bitfelshalt genom att kompensera för dess impulskaraktär med hjälp av en så kallad *impulsiveness correction factor* (ICF). ICF kan beräknas baserat på mätningar av medeleffekt och maximal amplitud för varje störningssignal.

När det finns flera impulsaktiga störningskällor som samtidigt skapar interferens i en mottagare kan den totala påverkan däremot bli svår att analysera. I arbetet har därför metoder utvecklats för att beräkna den totala påverkan som flera störningskällor har på en mottagare. Detta görs genom att utnyttja kunskap om exempelvis störningskällornas individuella ICF. En enkel metod, som fungerar väl för impulsstörningar, är att approximera den totala bitfelshalten med summan av de individuella bitfelshalterna. Detta kan förstås genom följande resonemang. Lite förenklat så uppstår bitfel för en impulsstörning när impulserna inträffar. För impulsaktig störning sker impulser ganska sällan, och med flera oberoende störningskällor inträffar impulser därför nästan aldrig samtidigt. Det totala antalet bitfel som uppstår av flera störningskällor är därför ungefär lika med summan av antalet bitfel som orsakas av varje individuell störningskälla.



Figur 2. Kurvorna visar minsta nödvändig dämpning av två interferenskällor för att nå ett givet krav på bitfelshalt. Alla lösningar i det gråa området uppfyller kravet på dämpning för att få önskad prestanda. Prickarna är exempel på åtgärder, där gröna är tillräckliga och röda är otillräckliga åtgärder.

Baserat på metoden att uppskatta den totala bitfelshalten kan den dämpning av interferenser som är nödvändig för att nå önskad bitfelshalt beräknas. Det kan finnas många olika kombinationer av dämpning av interferenskällor som gör att kravet på bitfelshalt uppnås. Exempelvis, med två interferenskällor kan en lösning vara att helt

eliminera en av interferenskällorna, medan en annan lösning kan vara att dämpa båda källorna lika mycket. Med den föreslagna metoden beräknas alla kombinationer av dämpningar som uppnår kravet på bitfelhalt. Detta illustreras av kurvorna i Figur 2. De gröna punkterna i figuren illustrerar exempel på åtgärder som skulle lösa integrationsproblemet. Det kan även finnas åtgärder som inte hamnar inom det giltiga området, illustrerat av den röda punkten, och därmed inte löser problemet. Med kunskap om vilka kombinationer av dämpning som (minst) krävs, kan lämpliga tekniska åtgärder väljas för att uppnå dessa dämpningar.

Den föreslagna metoden för att uppskatta den totala bitfelssannolikheten är speciellt utvecklad för impulsaktig störning. Metoden fungerar bäst för ett fåtal impulsaktiga störningar. Detta behöver dock inte vara någon begränsning i praktiken, eftersom problemet är mindre komplext om störningarna inte är impulsaktiga. Bitfelssannolikheten kan då beräknas exakt.

3.1.2 Exempel på tillämpning

För att tydliggöra metoden att beräkna nödvändiga dämpningar av interferenskällor, och sedan välja tekniska åtgärder för att förbättra systemintegrationen, presenterar vi ett tillämpningsexempel. Anta att det på en plattform sitter en radiomottagare. Det finns också två olika typer av elektronisk utrustning som skapar elektromagnetisk interferens i det frekvensband där mottagaren arbetar. Denna situation visas i Figur 3. Mottagaren antas ta emot en BPSK-modulerad nyttsignal med -80 dBm effekt, och påverkas av termiskt brus i mottagaren med -110 dBm effekt. Störningskällornas medeleffekt på mottagarens antenningång har mätts till -96 dBm respektive -90 dBm. Dessutom har störningskällornas impulsaktighet bestämts genom mätningar, och deras ICF har beräknats till 12 dB respektive 18 dB.



Figur 3. Exempel med en radiomottagare, samt ytterligare två interferenskällor. Bild: Genesis.

Med dessa antaganden har radiosystemet en bitfelshalt som uppskattas med den föreslagna metoden till ca 10^{-2} . Anta att radiosystemet kräver en bitfelshalt på ca 10^{-5} för att fungera. Då måste någon åtgärd genomföras för att minska störningskällornas påverkan på mottagaren. Med den föreslagna metoden beräknas alla kombinationer av dämpningar av de två störningskällorna som skulle ge en bitfelshalt på 10^{-5} , (Figur 2). En ytterligare ökad

dämpning av någon av störningskällorna kommer naturligtvis också att medföra att radiokommunikationen fungerar. Detta illustreras av det gråmarkerade området i Figur 2. Bland tillgängliga tekniska åtgärder som är möjliga att utföra, kan de väljas som åstadkommer dämpningar inom det gråmarkerade området.

3.1.3 Teknik för att hantera störningar

Tekniska åtgärder i form av filter etcetera har inte explicit studerats i projektet och dessa åtgärder behandlas därför bara övergripande nedan.

Redan i radions barndom uppstod problem med interferenser och genom åren har därför tekniska lösningar tagits fram för att minimera inverkan från dem. Teknikutvecklingen har förfinat lösningarna och nya har tillkommit men i grunden är det fysikens lagar som gäller. På senare år har digitaliseringen av radiosystemen, d.v.s. att stor del av funktionaliteten realiserats i mjukvara, inneburit nya möjligheter till att reducera interferensernas inverkan. Ofta räcker det inte med en enda teknisk åtgärd för att lösa problemet och ofta kan åtgärder som i sig löser interferensproblemet skapa nya problem som påverkar kommunikationsprestanda. Därför är de flesta lyckade lösningar en kombination av olika tekniska åtgärder.

Många fenomen som skapar interferenser följer fysikens lagar och i de situationer de viktigaste egenskaperna hos systemen är kända, vilket oftast är fallet med militära system, kan många problem undvikas genom systematisk frekvens- och effektplanering. Frekvenser är dock en bristvara och alltför många system ska samsas i ett begränsat frekvensutrymme. Därför är enbart planering ofta inte tillräckligt utan kompletterande åtgärder behövs.

Filter är en väl beprövad teknik och en central komponent i radiosystem. När systemen inte klarar interferensproblematiken på egen hand är det därför naturligt att komplettera systemen med ytterligare filter. I många fall räcker sådana åtgärder till och många tillverkare av radiosystem erbjuder därför kompletterande filterlösningar som option. En mängd olika tekniker finns för att realisera filter, särskilt för mottagare där effekttålighet inte är ett problem. Tekniker för filter i sändare är färre då de ska hantera höga effekter. Det leder ofta till dyra, utrymmeskrävande och oflexibla lösningar.

Signalbehandling, både med analog teknik och i mjukvara, ger möjlighet att reducera interferenser på ett annat sätt än med passiva komponenter som exempelvis filter. I en del fall kan signalbehandling även ersätta passiva filter vilket ger smidigare lösningar. Området är under stark utveckling och förväntas ge nya tekniker för att hantera interferenser. Signalbehandling kan användas både för att minska interferenser från egen utrustning och för att reducera inverkan av interferenser. Ett exempel på det förstnämnda är slutsteg i sändare. Det är viktigt att de är linjära, vilket ger dyra, effektkrävande och otympliga slutsteg om stora effekter ska hanteras. Genom att införa en kompensering för bristerna i slutstegen redan i signalen till dem, med s.k. *pre-distorsion*, kan enklare, energieffektiva och billigare slutstegsteknik användas. Förmågan att minska interferensens inverkan beror på kunskapen om interferensen. Genom uppmätning av interferensens egenskaper kan lämplig teknik användas. Är interferensen helt känd, vilket kan vara fallet om den kommer från en sändare på den egna plattformen, kan påverkan från interferensen i teorin elimineras helt genom signalbehandling i mottagaren, så kallad interferenscancellering. Om det är genomförbart i praktiken skulle vinsterna vara stora och därför pågår ett flertal forsknings- och utvecklingsprojekt, främst inom 5G, kring tekniken. Utvecklingen har kommit relativt långt och tekniken har stor potential även för militära plattformar.

3.1.4 Slutsatser

- Alla störningskällor och radiosystem som påverkar varandra genom elektromagnetisk interferens bör beaktas samtidigt. Detta gäller både när ett

störningsproblem har inträffat och när nya system ska integreras på en existerande plattform.

- Den kunskap som krävs om störningskällorna kan inhämtas genom mätningar av varje individuell störningskälla. Ju mer information som kan inhämtas om störningskällorna, desto större är möjligheten att välja rätt åtgärder. För att göra rätt bedömning krävs därför inte bara att störningskällor identifieras och deras medeleffekt mäts, utan även att störningskällornas karaktär, exempelvis impulsaktighet, analyseras.

3.1.5 Förslag på fortsatt verksamhet

Arbetet med metodutveckling kring integrationsproblematik har påbörjats inom ramen för projekt RICOM, men det finns mycket arbete kvar att göra för att lösa alla problem med integration av trådlösa kommunikationssystem. Vidare arbete kommer att utföras exempelvis inom det kommande projektet KORINT, se kapitel 7. En ambition med fortsatt arbete är att utveckla de föreslagna metoderna ytterligare och hitta enklare tumregler för hur åtgärder ska prioriteras, vilka störningskällor som är viktigast att ta hänsyn till, och vilka som eventuellt kan bortses från. Detta är ett viktigt steg i att omsätta forskningsverksamheten till något som exempelvis kan användas av FMV i daglig verksamhet inom systemintegration- och samexistensområdet.

I RICOM har dämpning av interfererande signalers effekt behandlats, men inga andra typer av åtgärder. Beroende på interferensernas karaktär kan andra typer av åtgärder vara mer lämpliga. Detta har inte rymts inom ramen för RICOM, men kan vara en del i det fortsatta arbetet exempelvis inom det kommande projektet KORINT. Notera dock att för andra typer av åtgärder, som exempelvis interferenscancellering eller så kallade *notch-filter*, är det ännu viktigare att karakterisera interferensen för att kunna välja rätt åtgärd.

Inom detta arbete har enbart en enskild mottagare betraktats. För att ta ett helhetsgrepp om systemintegrationen bör arbetet utökas till att omfatta flera mottagare, med individuella systemkrav.

Prestanda i termer av bitfelshalt har enbart utvärderats för system utan felrättande kodning. Genom felrättande kodning kan vissa typer av störningar hanteras och prestanda kan skilja sig från det okodade fallet. Hur prestanda påverkas av att införa felrättande kodning bör analyseras vidare i framtida arbete.

3.2 Studie av robusthetsökande åtgärder för satkom

Försvarmakten har använt och använder flera typer av satellitkommunikation (satkom), som alla bygger på kommersiella system. Det innebär att Försvarmakten använder system som inte nödvändigtvis är anpassade för militära förhållanden och krav, och där infrastrukturen är under någon annans kontroll. Syftet med denna projektuppgift har varit att studera robustheten hos de typer av satkom som kan vara aktuella för Försvarmakten inom en tioårsperiod, samt att analysera åtgärder som kan vidtas för att öka robustheten. Med *robusthet* avses i denna rapport att systemen ska vara tåliga mot exempelvis avsiktliga och oavsiktliga störningssignaler, ändrade vågutbredningsförhållanden inklusive väder och terräng, samt förändringar i tillgängligheten hos kommunikationsinfrastrukturen. Det ingick också att bedöma vilken effekt de möjliga åtgärderna skulle få på exempelvis tillgänglig kapacitet.

Fram till idag har satkom huvudsakligen använts för icke tidskritisk kommunikation, som welfare, logistik, personalhantering, underlag som väderprognoser och kartor, samt för ledning under lägre hotnivåer, huvudsakligen under utlandsmissioner. I takt med att satkom finns tillgängligt som en generell bärare av IP-data på allt fler plattformar finns det en risk att satkom börjar användas även för mer känslig kommunikation. Detta medför

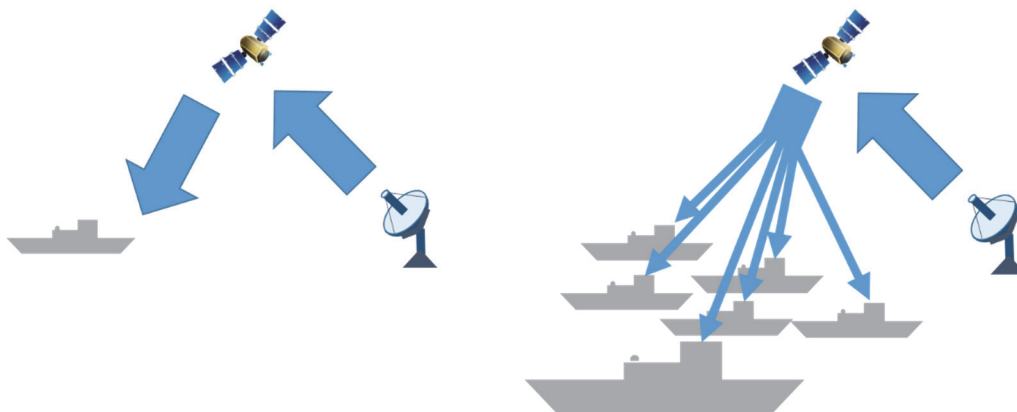
dock ökade krav på robusthet. Satkom har inom Sveriges närområde använts exempelvis under arméövning 2016.

Resultatet av studien redovisas i [2] och [3], och visar att det finns ett antal robusthetsbrister, varav vissa är svåra att åtgärda. Ett exempel är satkomsystemens krav på fri sikt, vilket innebär att antenner inte får placeras så att terrängen skymmer. Detta påverkar var antennerna kan placeras och på vilka platser satkomsamband kan fungera. Samtliga satkomsystem som används i Försvarmakten, utom Iridium, nyttjar en geostationär satellit. Det innebär att antennens vinkel över marken (elevationsvinkeln) blir låg på höga latituder i Sverige, ungefär 15-25 grader över marken. Följden blir att även till exempel granskog kan skymma sikten mot satelliten.

Envägskommunikation kan vara en möjlighet att ta emot underlag som exempelvis kartor och väderprognoser utan att riskera att sända sin position (se kapitel 4.1) eller upptäckas av signalspaning. Det finns modem för detta, men i dagsläget finns det inte kommersiellt tillgängliga modem som klarar både envägs- och tvåvägskommunikation.

Satkom är särskilt känsligt för aktiv störning som sker i upplänk mot satelliten, på grund av det stora avståndet och den upphöjda positionen. Störning mot satelliten kan ske från hela satellitens täckningsområde, vilket gör att störaren kan befinna sig i ett relativt stort område. Fasta störare med hög uteffekt kan därmed vara ett hot som är svårt att hantera. Det finns satkommodem med frekvenshopp, men för att fullt ut kunna nyttja det störskydd som dessa erbjuder krävs tillgång till en stor bandbredd att frekvenshoppa över. För mer information hänvisas till [3].

Det är även viktigt att notera att erfarenheter från satkom under internationella missioner inte nödvändigtvis kan tillämpas rakt av vid användning av satkom för nationellt bruk. Några skillnader är den högre latituden och därmed antennens låga elevationsvinkel, samt andra väderförhållanden. Ytterligare en skillnad är att det troligtvis blir fler användare vid nationellt bruk. Datakapaciteten för FM satkom VSAT, den satkomförbindelse som har högst datakapacitet, skalar i princip linjärt med antal användare (Figur 4). Det betyder att då antalet användare ökar, minskar datakapaciteten för varje användare. Därför blir det en markant skillnad mellan att ha exempelvis tio eller hundra användare på hemmaplan jämfört med att ha ett enda fartyg på internationell mission.



Figur 4: Kapaciteten för VSAT delas på antal användare. I bilden till vänster går all kapacitet till en enda användare, i bilden till höger måste alla användare dela på samma kapacitet.

Eftersom det finns robusthetsbrister som är svåra att hantera behöver det finnas alternativa (redundanta) system att kommunicera över om satkom ska användas för kritisk kommunikation. De redundanta systemen behöver vara väl fungerande, och personalen behöver ha övat på att växla över till och använda dessa system. Eftersom många system har lägre datakapacitet än satkom behövs dessutom rutiner och tekniker för att prioritera vilken typ av tjänster som ska hanteras, när överföringen växlar över till dessa system.

I dagsläget finns inget väl fungerande system för att automatiskt prioritera trafik. Applikationerna som används bör också vara anpassade till radiomediet, så att de inte sänder onödigt mycket data. Så är inte alltid fallet i dagsläget.

3.2.1 Slutsatser

- För att uppnå god robusthet behövs ett helhetsperspektiv, det räcker inte att bara beakta de tekniska egenskaperna hos en enskild länk. För detta behöver metod, teknik och kommersiella aspekter samspela.
- Kravet på fri sikt till satelliten får stor påverkan på hur satkomantenner kan grupperas, samt på möjligheterna att kommunicera från markfordon i kuperad eller skogbeväxt terräng.
- Fasta störare med hög uteffekt kan vara ett hot som är svårt att hantera.
- Om satkom ska användas för kritisk kommunikation måste det finnas redundanta system att kommunicera över. Personalen behöver öva i att använda dessa system, och rutiner behövs för att möjliggöra prioritering av vilken data som ska sändas.
- Stor försiktighet bör iaktas när erfarenheter från användning av satkom under internationella missioner ska översättas till krav på system för nationell användning, eftersom både användningssätt och yttre förhållanden kan skilja markant.

3.2.2 Förslag på fortsatt verksamhet

De satkomsystem som Försvarsmakten använder i dag är kommersiella och använder proprietära vågformer. Detta innebär att detaljerade beskrivningar av hur systemen fungerar omgärdas med sekretess och därmed inte finns öppet tillgängliga. Projektet har inte lyckats identifiera vem eller vilka som kan få fram denna information. Om sådan information kan göras tillgänglig bör följande frågor vara intressanta för Försvarsmakten att få besvarade:

- Hur fördelas kapaciteten mellan användare och hur snabbt kan systemet anpassa sig när användarnas behov varierar?
- Hur tåligt är systemet mot olika typer av interferenser, och hur stor risk är det att systemet utsätts för interferenser i olika miljöer?

3.3 Studie av interferensbaserat frekvensval på HF

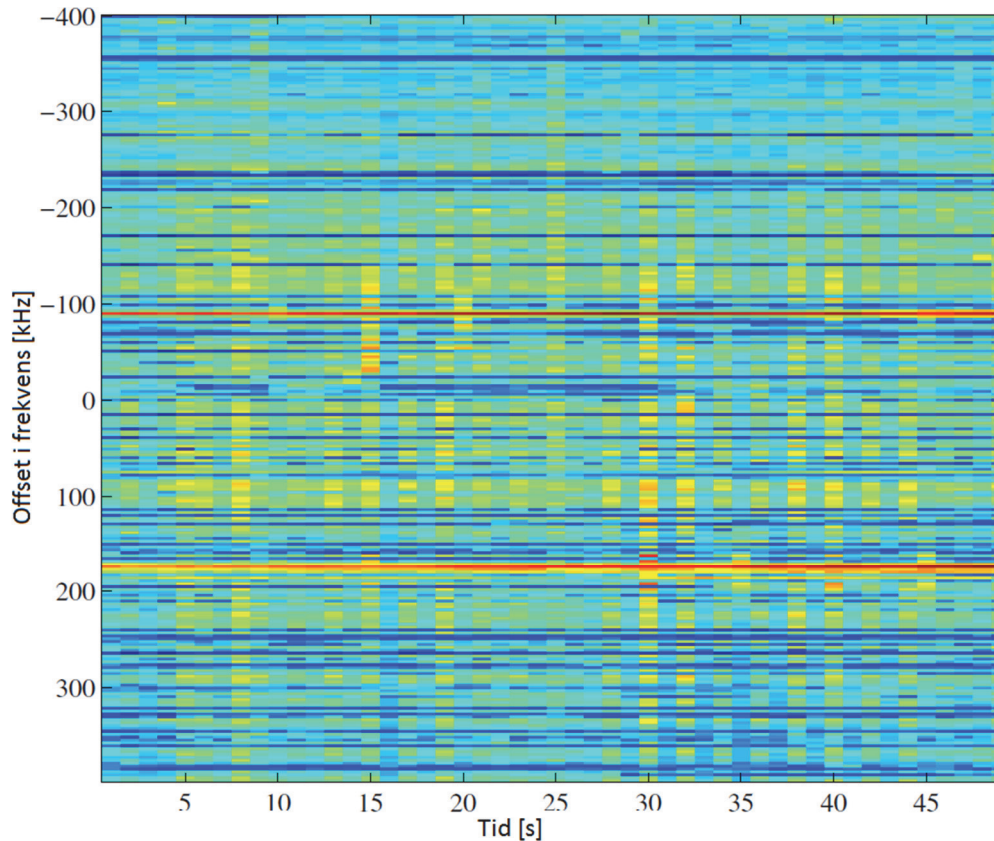
Syftet med studien av interferensbaserad frekvensval på HF var att undersöka om förbättrade frekvenshanteringsmetoder som hanterar den besvärliga interferensmiljön på plattformar kan appliceras på marin- och arméplattformar samt att beskriva hur metoderna påverkar robustheten (och kapaciteten).

Militära plattformar kan bestå av ett stort antal sändare och elektriska utrustningar som genererar störningssignaler. För de situationer där dessa störningssignaler inte kan elimineras är det önskvärt att radiosystemet kan agera på bästa möjliga sätt. Genom att beakta hur mottagningsförhållandena och störningsmiljön ser ut kan den mest lämpliga frekvensen väljas för transmissionen.

Inom projektet har arbetet med adaptivt frekvensval fortsatt från den utgångspunkt som skapades inom projektet ROAM¹ [4], med målet att utveckla metoder för att hantera dynamiskt varierande mottagningsförhållanden.

¹ ROAM=Robusta telekommunikationer för marina internationella operationer, FoT-projekt vid FOI 2011-2013.

För att göra ett adaptivt frekvensval krävs information om kanalen och mottagarens förhållanden (Figur 5). Att överföra denna information till sändaren innebär en overhead eller kostnad för radiosystemet. De förbättrade metoderna för adaptivt frekvensval kräver att ytterligare information om den lokala störingsmiljön på mottagarplattformarna överförs till sändaren. Kompromissen mellan vinsten av att ha mer information tillgänglig hos sändaren och kostnaden för att överföra denna information har studerats inom projektet. Sammantaget kan slutsatsen dras att det kan löna sig att överföra viss information, men att det finns en brytpunkt där det börjar kosta mer än det ger i form av dataakt. Var denna brytpunkt befinner sig, alltså hur mycket extra information som det lönar sig att överföra, varierar mellan olika scenarier och radiomiljöer.



Figur 5 Interferensnivåerna varierar både över frekvens och tid. Därför kan prestandavinster göras om frekvenser med så liten störning som möjligt används vid kortvägskommunikation.

Studier om att fördela en begränsad sändareffekt på flera parallella kanaler som utnyttjas samtidigt, för att maximera dataakt, påbörjades i projektet ROAM och avslutades inom detta projekt. Tekniken är tillämplig på exempelvis *wideband HF* där ett antal (upp till åtta) 3 kHz kanaler utnyttjas parallellt. Framförallt har impulsiva störningar som är vanligt förekommande på kortvägsbandet studerats. Traditionellt tas hänsyn enbart till störningarnas medeleffekt vid fördelning av sändareffekt. Slutsatsen av arbetet är att hänsyn bör tas även till störningarnas impulskaraktär för att fördela effekten på ett sätt som ger maximal dataakt. Samma slutsats gäller vid adaptivt frekvensval, vilket kan ses som ett specialfall då all effekt allokeras till en kanal i taget.

Främst är det för markvägsutbredning som *wideband HF* kan vara aktuellt för men även jonsfärsförbindelser har provats [5]. Standardiseringen kring tekniken har kommit en bit på väg och flera tillverkare har genomfört lyckade försök.

Studien av optimalt utnyttjande av tillgängligt frekvensspektrum på HF är tekniskt beskriven i FOI-rapporten *Robust channel selection and power control for HF communications* [6].

3.3.1 Slutsatser

- Prestandahöjningar i form av t.ex. högre dataakt eller färre felsändningar kan uppnås genom förbättrat frekvensval och effektallokering som nyttjar information om störningsmiljön på mottagarplattformen.
- Om störningarna på mottagarplattformen har kraftig impulskaraktär bör hänsyn tas till både störningens nivå (medeleffekt) och dess impulskaraktär, vid val av frekvens och allokering av effekt.
- Det kan löna sig att överföra information om den lokala störningsmiljön på mottagarplattformarna i syfte att göra ett adaptivt frekvensval, men det finns en brytpunkt där det börjar kosta mer än det ger i form av dataakt. Var denna brytpunkt befinner sig beror på scenario och radiomiljö.

3.3.2 Förslag på fortsatt verksamhet

Detta arbete är avslutat inom FoT-projekten från Försvarmakten. För att ta forskningsresultaten ytterligare ett steg behöver kunskapen omsättas till ett materielsystem. Aspekter som behöver studeras är:

- Kan befintliga protokoll användas för att utbyta information om den lokala interferensmiljön mellan noder i ett HF-nät?
- Är det möjligt att implementera föreslagna metoder i HF2000? Behöver ytterligare förenklingar göras för att implementera metoden?
- Vad händer i utvecklingen av 4G-ALE, och finns det möjligheter att denna generations länketablering kan nyttja interferensbaserat frekvensval?

3.4 Workshop

Projektet har haft som mål att genomföra en årlig workshop där aktuell forskning med fokus på robust integration av trådlösa telekommunikationssystem presenteras och diskuteras. Tanken är att skapa ett forum för kunskapsöverföring och erfarenhetsutbyte mellan forskning och marin- och markoperativa behov avseende transmissions- och kommunikationslösningar. Det finns flera syften med att anordna denna workshop, varav de viktigaste är att:

- Tydliggöra FOIs forskningsresultat
- Öka forskningens relevans genom dialog och återkoppling från huvudintressenter
- Skapa förståelse för integrationsproblematiken på plattformar
- Bidra till en ökad dialog om sambandsfrågor mellan personer inom armé och marin

Under oktober/november, 2014-2016, har projektet därför genomfört en tvådagars workshop vid Marinbasen i Karlskrona. Dessa tre workshops anordnades genom samarbete mellan HKV PROD ARME, HKV PROD MARIN och FOI. Även HKV PROD LED och Sjöstridsskolan (SSS) har bidragit med aktivt stöd.

Evenemanget har under åren samlat deltagare från bland annat HKV PROD MARIN, HKV PROD ARME, HKV PROD LEDUND, MUST, FMV, SSS, Markstridsskolan (MSS), Marinens radio (MaRa), Marinbasen, Livgardet, Luftvärnsregementet (LV6), Skaraborgs regemente (P4), LedR, I19, FM Militärregion Syd J2, Totalförsvarets

Signalskyddsskola, FMTM, FMTIS, FMTS, SWEDEC, tredje och fjärde Sjöstridsflottiljerna samt från första Ubåtsflottiljen, andra Amfibiebataljonen och FOI.

Den första workshopen 2014 samlade 65 personer och den andra 2015 samlade 73 deltagare. Projektets tredje och sista workshop genomfördes 2016-10-03--2016-10-04 och samlade totalt 56 deltagare. Deltagarna fick 2016 ta del av föredrag inom ett brett område som:

- Presentation av RICOM – Börje Asp, FOI
- Framtiden, visioner – HKV PROD MARIN
- Erfarenheter från internationell verksamhet – C G6, I19
- Samexistensaspekter för TGR (Tactical Ground Radio) – FMV
- Robust satkom – Sara Örn Tengstrand, FOI
- Teknik för samexistens radio – Björn Johansson, FOI
- Metod för radiostörningsmätningar – Patrik Eliardsson, FOI
- RICOM forskningsresultat – Erik Axell, FOI
- Hur går vi vidare med integrationsarbetet? – FOI/FMV

FOI har vid samtliga tillfällen fått positiva omdömen om workshopen från deltagarna, dels över att FOI arrangerat denna träff som fungerar som ett forum för informationsutbyte mellan operatörer/användare, beställare och FOI, och dels för att den visar vilken nytta FOIs forskning gör inom området.

Att workshopen dessutom även bidragit till en ökad dialog om sambandsfrågor mellan personer inom Försvarsmakten och stödmyndigheter är en viktig effekt. Projekt KORINT, se kapitel 7, kommer att driva workshopen vidare även när RICOM avslutats. Workshopen har sammanfattningsvis varit det främsta redskapet för resultatöverföring från projekt RICOM.

4 Angränsande projekt

Under projektets löptid har flera projekt startats som har sin upprinnelse i aktiviteter inom ROAM och RICOM. Några av dessa beskrivs kortfattat nedan. I huvudsak har dessa arbeten beställts av FMV. I ett fall, Små satelliter för kommunikation, är det en tillägsbeställning inom samlingsbeställningen inom FoT från HKV.

4.1 Spridning av plattformspositioner via satkom

Försvarmakten använder idag flera olika typer av system för satellitkommunikation (satkom). Dessa system används av många olika typer av grupperingar och i olika situationer, både på land och till sjöss. I flera av dessa satkomsystem skickar de kommunicerande noderna sin position i nätet på något sätt. För vissa typer av enheter kan det vara känslig information. Inom projektet ”Spridning av plattformspositioner via satkom” studerades den information som finns öppet tillgänglig om hur fem olika satkomsystem använder och sänder information om sin position. Gemensamt för alla system är att satellitoperatören alltid kommer att veta inom vilket täckningsområde (*spotbeam*) terminalen befinner sig. Samtliga fem studerade system har som standardinställning att de sänder sin position. Hur ofta, med vilken precision och hur skyddad positionen är när den sänds varierar mellan systemen. I exempelvis Iridium har det visats vara möjligt att avlyssna och tolka informationen. I både BGAN (och troligen FleetBroadband) och i iDirect-systemet i FM Satkom finns det möjlighet att stänga av positionsrapporteringen. I Thuraya och Iridium verkar detta inte vara möjligt. Arbetet redovisas i [7].

4.2 Små satelliter för kommunikation

I dagsläget är Försvarmakten beroende av kommersiella operatörers lösningar för sin satellitkommunikation, eftersom fullskaliga kommunikationssatelliter är mycket kostsamma. Det sker dock en snabb utveckling av små satelliter inom satkomområdet. Dessa små satelliter blir billigare än de stora, både att tillverka och att skjuta upp. Detta projekt ska svara på om små satelliter kan möta några av Försvarmaktens behov av satkom. Preliminära resultat visar att eftersom små satelliter har sådana banor att de snabbt rör sig över himlen krävs en större konstellation av satelliter för att få kontinuerlig täckning, vilket blir kostsamt. Satelliternas ringa storlek leder också till begränsad sändareffekt och begränsar vilka antenner som är möjliga. Ett system av en eller ett fåtal små satelliter är därför kanske snarare lämpade att erbjuda en ”brevlåde-liknande” funktion, där data laddas upp när satelliten passerar, och sedan laddas ner till mottagaren när satelliten passerar mottagaren.

4.3 Mätmetod för radiostörningsmiljömätningar

Under hösten 2015 skapades ett utkast för en metod för mätning och utvärdering av radiostörningar på en marin plattform. Den framtagna metoden bygger på delar ur olika militära EMC (*Electromagnetic Compatibility*) standarder så som MIL-STD-461, MIL-STD-464, DEF-STAN 59-411 och AECTP-500. Metoden beaktar valet av mätplats och plattformens driftfall eftersom de påverkar mätresultatet i stor utsträckning. Metoden måste också ta hänsyn till den begränsade tid som finns tillgänglig att utföra denna typ av mätningar. Mätningar sker i tre olika steg; först en funktionskontroll av kommunikationsmaterielen, därefter genomförs en översiktlig bruseffekt-mätning för alla kommunikationssystemens antenner. Om några problem identifierades i föregående fas genomförs sedan en djupanalys av dem. Den föreslagna metoden är ännu inte en färdig generisk mätmetod. Diskussioner förs med FMV om att vidareutveckla det framtagna utkastet till att i förlängningen leda till en generisk mätmetod för marina plattformar.

4.4 Produktledarkurs

Under hösten 2015 utvecklades en kurs för produktledare på FMV som behandlar de störningsproblem som kan uppstå vid systemintegration på plattformar.

Det framtagna utbildningsmaterialet syftar till att öka förståelsen för vilka problem elektromagnetiska störningar från elektronik kan skapa hos kommunikationssystem. I kursen ges ett flertal exempel där elektronik har stört ut kommunikationssystem och i vissa fall har det fått förödande konsekvenser. Kursen beskriver metodmässiga- och tekniska faktorer som bidrar till en ökad risk för radiostörningar, samlokaliseringsproblem på en plattform diskuteras, vidare beskrivs några olika tekniska lösningar för att minska samlokaliseringsproblem och problem med radiostörningar. Ett utbildningstillfälle genomfördes med detta material på FMV den 19 oktober 2015 för ca 20 produktledare.

4.5 Antennstudier - Korvett Visby

FOI har medverkat som stöd för att utvärdera en antenn på korvett typ Visby. Dessutom planeras för en fortsättning på arbetet.

5 Rekommendationer

Under projektets inledning genomfördes intervjuer med FM- och FMV-personal kring orsaker till egenstörningar och bristande samfunktionsegenskaper internt på FM:s plattformar för mark och sjö. Intervjuerna pekade ut en rad orsaker som var relaterade till brister i metod, teknik eller utbildning.

Sammanfattningsvis har orsakerna identifierats till [8]:

- Att skriftliga riktlinjer och rekommendationer inte alltid är tillräckligt kommunicerade och implementerade,
- Att befintliga riktlinjer inte är tillräckliga för att säkerställa funktionssäkerhet eftersom de i första hand fokuserar på systemsäkerhet,
- Att det inte alltid görs en slutlig verifiering på plattformsnivå av att åtgärder enligt FMV:s elmiljöhandbok EMMA fått avsedd effekt,
- En otydlighet om vem som har det övergripande integrationsansvaret på mark- och sjöplattformar,
- Oklarheter när det gäller kvantifiering av den nytta kontra kostnad som en teknisk åtgärd ger när störningsproblem ska lösas eller förebyggas,
- Att framtaget integrationsunderlag inte alltid följs vid praktisk installation av system och systemkomponenter.

Av resultaten går det att dra många slutsatser. En är att det i många fall handlar om metoder och inte teknik. Därför behövs det nya (eller förändrade) arbetsmetoder för att komma tillrätta med problemen. Metoderna omfattar dessutom hela kedjan från behovsanalys, kravställning och design till anskaffning, verifiering, drift och förvaltning, mm. En förutsättning för att nya metoder och arbetssätt ska göra nytta är dock att de är tillräckligt generella, lättanvända, naturliga att nyttja (bygger på sunt förnuft) samt att de kommuniceras på ett bra sätt.

Dessutom är det sannolikt att en övertro på att tekniken löser alla problem har präglat utvecklingen under en längre tid, vilket på intet sätt är unikt för Sverige eller för militär verksamhet.

Vad är då teknik respektive metod? Under projektets gång har det ofta hänt att det som från början uppfattats som teknik i första hand ändå är metod med ett litet teknikinslag. Vi har ändå valt att dela upp följande avsnitt i metod och teknik.

Slutligen kommenteras utbildning som medel för att hantera och undvika kommunikationsproblem till följd av integrationsbrister.

5.1 Metod och organisation

För att säkerställa att systemintegrationen inte orsakar någon prestandanedläggning av kommunikationssystemen krävs att arbetet med systemintegrationen övervakas av någon med ett övergripande samfunktionsansvar kopplat till elmiljö och trådlös kommunikation. Arbetet bör starta redan då ett radiosystem eller en plattform kravställs.

I Figur 1 i kapitel 2 visas exempel på metoder och processer hos några aktörer för att säkerställa god systemintegration av allt i plattform. Systemintegrationen behöver sedan fortsatt bevakas under plattformens hela livslängd, från kravställning, upphandling, leverans, installationer och modifieringar av plattformen, till dess att den tas ur bruk.

Det finns idag flera typer av tekniska lösningar för att hantera samexistensproblem på en plattform. Trots det existerar denna typ av problem med konsekvensen att radiosystemens prestanda degraderas. Anledningen är i många fall inte att de tekniska lösningarna saknas,

utan att en felaktig metod har använts vid integrationsarbetet. För stort fokus har legat på enskilda system och inte på samverkan mellan alla system på en plattform. Därför föreslås att det ska finnas en samfunktionsansvarig för en plattform (elmiljö och samband). Den ansvariga personen ska hela tiden bevaka de modifieringar i plattformens konfiguration som genomförs, för att säkerställa att de inte påverkar något radiosystems funktionssäkerhet negativt.

Genom att omhänderta problematiken i tidiga skeden kan många potentiella problem förhindras. Detta bör vara en uppgift för den samfunktionsansvariga för en plattform. Den ansvariga behöver också ha god samverkan över organisationsgränser. Det kan exempelvis gälla samverkan mellan

En samfunktionsansvarig för varje plattform behövs för att övervaka integrationsarbetet

FM och FMV redan innan FMV

lämnar över materiel till FM eller mellan olika plattformsansvariga för plattformar som är bestyckade med samma radiosystem. Den ansvariga bör vara delaktig vid planering och införande av system på en plattform och bör ha befogenheten att neka införandet av system som kan orsaka försämring av prestanda hos något radiosystem.

Inför kommande anskaffning och modernisering av t.ex. marina plattformar behöver befintliga rutiner och metoder, såsom mätmetoder, verifiering och validering m.m.

Kontrollpunkter ska säkerställa att projekt begär en avdömning från samfunktionsansvarig

vidareutvecklas för att säkerställa kommunikationssystemens funktionssäkerhet. Genom att införa kontrollpunkter i strategiskt valda skeden och anpassa kravställningen kan integrationsproblem och kostsamma åtgärder undvikas.

Kontrollpunkterna ska sträcka sig över hela kedjan från kravställning av förmågor till verifiering av funktionssäkerhet samt vidmakthållande av materiel. Kontrollpunkterna ska bestå av förslag på insatser och kontroller. Innan kontrollpunkter och insatser enligt ovan införs är det viktigt att de dialogiseras och lämplighetsprövas med berörd personal vid FM och FMV.

Strukturer bör också finnas för att säkerställa grundläggande EMC-arbete på plattformen. EMMA-handboken bör tillämpas av fler inom t.ex. FMV och hos tillverkare. EMMA-handboken är ett omfattande verk som väl beskriver hur tillverkare av utrustning och

EMMA-handboken bör tillämpas för att säkerställa ett gott EMC-arbete

systemintegratörer ska gå till väga för att uppfylla ställda krav och normer. Den djupa tekniska nivån gör det dock svårt för kravställare och projektledning att förstå vilka delar av EMMA som ska nyttjas och under vilka faser i projektet det ska ske. Följden har blivit att viktiga krav inte ställts och att verifieringar inte gjorts, vilket i en del projekt skapat allvarliga problem som hade undvikits om EMMA-handboken hade följts. Dessutom krävs det för en fullgod integration att hänsyn tas till störningsproblem orsakade av avsiktliga sändare, något som inte omhändertas av EMMA-handboken. Påverkan från dessa kan starkt försämra radiosystemens kommunikationsförmåga och problemet förstärks av ett ständigt ökande antal sändare på plattformar.

FOI rekommenderar därför att övergripande designregler tas fram som komplement till EMMA-handboken. Designreglerna ska ha tydlig koppling till EMMA-handboken och hantera telekonfliktsproblem samt kunna användas både vid nybyggnationer och vidmakthållande. Designreglerna ska också fungera som en inkörsport till EMMA-handbokens olika delar så att projekten enklare hittar till de, för projektet, relevanta

Övergripande designregler behövs som komplement till EMMA-handboken

delarna. Designreglerna skall även vara ett stöd för produktledarna i arbetet med att följa upp och inrikta projekten, så att ett sammanhållet integrationsarbete kan genomföras.

Designreglerna ska vara utformade så att de enkelt kan användas även i projekt där påverkan på radiosystem inte är uppenbar, t.ex. radar, IT-installationer och kraftförsörjning. Designreglerna måste fungera i FMV:s interna processer och förankras på flera nivåer inom organisationen (exempelvis projektledare, produktledare och teknisk chef) för att de ska vara tillämpbara och få effekt inom olika typer av projekt. Designreglerna bör ta höjd för uppdateringar av EMMA-handboken, t.ex. för ”EMMA taktiska system”. Dessutom bör det ingå beskrivningar av hur den färdiga designen ska verifieras, exempelvis i form av granskning, provning och mätmetod.

En väl fungerande process för att omhänderta erfarenheter från övningar är viktig för att upptäcka integrationsbrister

Processer för att omhänderta erfarenheter är en viktig del för att utveckla en organisations verksamhet. Det är speciellt erfarenheterna av användning av system som utgör viktig information för att snabbt kunna åtgärda felaktigheter och utveckla metodstöd. Från sådana erfarenheter kan exempelvis erhållas kunskap om ifall plattformen i

grunden är dåligt planerad, med exempelvis för tätt placerade antenner, dåliga antennlösningar, dåligt EMC-arbete eller annat som orsakar en dålig störningsmiljö.

Övningar är en viktig del i FMs verksamhet, men övningar kan också ge återkoppling kring om en plattform lider av integrationsbrister. Reducerad räckvidd, tillfälliga kommunikationsbortfall, tappade datapaket eller reducerad datatakt kan vara indikationer på grundläggande integrationsbrister. Det är därför viktigt att genomföra övningar med realistiska, kravställda kommunikationsavstånd för att upptäcka eventuella kommunikationsproblem. Övningar där kommunikationsproblem uppstår ger också en vana för signalister att upptäcka problem med exempelvis telekonflikter och att hantera dessa.

Designregler som beskrivs ovan kan ge stöd till produktledare, men metodstöd kan också behöva utvecklas till slutanvändarna. Förutom att direkt kunna hantera de system som finns på en plattform är det bra om en signalist eller sambandsofficer har stöd och enkla verktyg för att identifiera problem som uppstår och hantera dem med lämplig åtgärd. För att öka robustheten hos kommunikationslösningarna behövs också metodstöd för att hantera redundanta system att kommunicera över. Personalen behöver öva på att använda dessa system, och metodstöd behövs för att växla mellan de alternativa systemen och för att prioritera vilken information som ska sändas om detta behövs.

Metodstöd till användarna behövs för att de ska kunna identifiera kommunikationsproblem och kunna prioritera mellan radiosystem

5.2 Teknik

Kravställning av system och plattformar

Att genomföra ett gott kravställningsarbete av system och plattformar är grunden för att säkerställa att systemintegrationen inte orsakar någon prestandaförlust hos radiosystemen. Problemen kan till viss del förebyggas i ett tidigt skede, vilket gör att kostnader för sena

åtgärder kan hållas nere och att radiosystemen fungerar bättre. Vid inköp av elektriska utrustningar behöver inköpare ställa relevanta krav på emission på samma sätt som andra krav relaterade till system-säkerhet (temperatur, elsäkerhet, etcetera).

Då radiosystem ska upphandlas behöver emissionskrav, utombandsegenskaper, robusthet och störskydd för radiosystemet speciellt beaktas, men även den miljö och plattform som radiosystemet ska fungera ihop med måste beaktas.

Relevant kravställning förebygger kommunikationsproblem

Planering av placering av radiosystem, antenner och elektriska utrustningar

Telekonfliktanalyser är ett måste

Då radiosystem, antenner och elektriska utrustningar ska placeras och installeras på en plattform är det viktigt att i förhand utvärdera hur systemen kommer att fungera tillsammans.

Samfunktion mellan radiosystem kan analyseras genom en telekonfliktanalys av systemen. Telekonfliktanalysen innefattar information om vilka frekvenser som systemen använder, uteffekt, kopplingen mellan antennerna och information om systemens utombandsegenskaper. Antenners egenskaper kan ändras av en olämplig placering på plattformen, vilket kan göra system mer känsliga för telekonflikter, så även antennplaceringens påverkan på antennens prestanda bör analyseras. För både telekonflikt- och antennanalysen kan stöttande mätningar behövas för att ge visst underlag men också för att bekräfta resultaten.

Gott EMC-arbete vid installationer

EMC-arbetet på plattformen är en viktig grund för att undvika sambandsproblem. Detta kan säkerställas genom en god kravställning av plattformen. All installation behöver sedan ske i enlighet med gällande EMC-standarder och helt enligt framtaget installationsunderlag. Flera exempel på att detta inte har skett har uppdagats.

Konsekvensen av ett bristande EMC-arbete är att störningskällor skapas vilket gör att plattformen får onödigt höga störningsnivåer eller att nya kopplingsvägar skapas.

Val av tekniska åtgärder

Då en telekonfliktanalys har bekräftat att situationen behöver förbättras eller då en plattform visat sig ha kommunikationsproblem på grund av integrationsbrister, behöver åtgärder vidtas. Valet av åtgärd i detta fall är ofta en kompromiss. Om det är en eller flera tekniska åtgärder som ska vidtas behöver effekten av åtgärderna kunna värderas.

Effekten av en åtgärd bör värderas med en relevant metod innan den införs

Inom projektet har en metod för att omhänderta denna komplexa uppgift utvecklats. Metoden gör det möjligt att välja vilken eller vilka störningskällor som bör åtgärdas (och hur mycket) för att uppnå förväntad kommunikationsförmåga. Störningssignalens karaktär (främst impulsaktigheten), radiosystemets egenskaper samt krav på systemets kommunikationsförmåga måste ingå i analysen. Vi rekommenderar att denna metod vidareutvecklas för att på sikt bli ett naturligt stöd för FMV's integrationsarbete.

Införande av radiosystem

Trenden under senare år har varit att behovet av trådlös kommunikation för militära tillämpningar ökar på samma sätt som det gör civilt. En konsekvens av det är till exempel att fler system tillkommer på plattformarna.

Generellt när det gäller införande av nya radiosystem på en plattform finns det dock två mycket viktiga begränsningar. Den ena är bristen på bra platser att placera antennerna, eller ytterligare antenner, på. Den andra rör det begränsade frekvensutrymmet för militär kommunikation. Situationen blir inte bättre av att fler och fler system som emitterar elektromagnetisk energi tillkommer efter hand och samexistensproblemen förstärks därmed ytterligare.

Militär tillgång till frekvenser är ständigt hotad på grund av den kraftigt ökande efterfrågan på frekvenser för exempelvis mobilt bredband och *Internet of Things* (IoT). Inom detta område är det marknadskrafterna som styr tillgången till frekvenser och trenden har under flera år varit (och är) att det militära frekvensutrymmet krymper.

Det har resulterat i besvärlig frekvensplanering och ökade interferensnivåer på de militära plattformarna.

Frekvensfrågor bör prioriteras högt inom Försvarmakten

Vi närmar oss därför snabbt den gräns då interferensproblemen blir så stora att funktionssäkerheten hos sambandsystemen kraftigt sjunker och att de därmed inte kan leverera önskad förmåga. Frekvensfrågor bör därför prioriteras högt inom Försvarmakten för att kunna bevara, och helst öka, robust sambandsförmåga i framtiden.

I situationer då vissa system inte fungerar tillsammans, står Försvarmakten inför flera knepiga val. En väg kan vara att prioritera vilka system och tjänster som är nödvändiga. En annan väg är att satsa på mer avancerade (och dyra) antennlösningar samt att fördjupa och följa upp integrationsarbetet. En helt annan väg är att acceptera faktum och anpassa förmågor och taktik därefter.

Verifieringsmätningar

Idag görs inga kontroller för att verifiera att radiosystemens interferensmiljö inte har försämrats efter en modifiering av en plattform. Byte av motor för vindrutetorkare, nya eller utbytta batteriladdare eller omplacering av befintliga antenner är exempel på små, men ur störningssynpunkt kritiska, åtgärder som i hög grad kan påverka störningsmiljön. Det kan därför gå lång tid innan problem med att exempelvis en motor för vindrutetorkare kraftigt stör ett kommunikationssystem upptäcks och omhändertas. Med verifieringsmätningar före och efter modifieringar går det att visa att en modifiering inte har försämrat interferenssituationen.

Verifieringsmätningar på en plattform är ett viktigt verktyg för att upptäcka integrationsproblem

Denna typ av verifieringsmätningar kräver att en väl definierad mätmetod används för att uppnå repeterbara resultat. Mätmetoden måste därmed vara utformad på ett sådant sätt att metoden i sig ger små avvikelser i mätresultaten. Därför är valet av

mätplats och driftfall för plattformen viktiga. För mindre plattformar, exempelvis fordon, finns internationella standarder för hur verifieringsmätningar ska genomföras men för marina plattformar är de befintliga standarderna inte lika kompletta. En väsentlig skillnad mellan fordon och fartyg i denna aspekt är att fordon kan placeras i en dedikerad mätthall, men så är inte fallet med fartyg. En annan aspekt är också att tillgången till en plattform för denna typ av verifieringsmätningar är kraftigt begränsad då plattformen används operativt. Därför behöver mätningarna kunna genomföras på några få dagar.

Vi rekommenderar att en mätmetod utvecklas, testas och införs som standardmetod både för armé- och marinplattformar.

Förutom att verifiera att plattformsmiljön inte har försämrats till följd av en modifiering bör verifiering även ske av radiosystemens förmåga då dessa har installerats på en plattform. Det kan utföras antingen genom att mäta upplevd störningsmiljö (på radiosystemets antenningång) för att sedan estimeras möjlig räckvidd eller genom att direkt mäta upp faktiska räckvidder.

Övriga teknikrelaterade rekommendationer

- Vi uppfattar det som att det saknas en strategi för införande och nyttjande av samtliga radiosystem på en plattform och för planering av talgrupper i radionät. Vissa plattformar utrustas för både nationell och internationell samverkan, vilket får till följd att plattformen utrustas med ett stort antal system. Det är viktigt att antalet radiosystem hålls på en restriktiv nivå. Antalet radiosystem på en plattform och antal samtidiga talgrupper i samma område har en stor påverkan på hur väl systemen kommer att samexistera och eventuellt störa varandra.
- Teknik med beprövad robusthet bör användas före teknik som inte uppnått tillräcklig mognadsgrad ur ett robusthetsperspektiv.
- Införandet av flera tekniksprång på en enda gång bör undvikas eftersom komplexitetsökningen påverkar möjligheten att verifiera funktionssäkerheten på ett betryggande sätt.
- Vi bedömer att bakåtkompatibilitet i viss mån har hämmat uppnåbara resultat ur ett samexistensperspektiv. Dock är vi väl medvetna om att interoperabilitetskrav i hög grad medför behov av bakåtkompatibilitet.
- Samutnyttjandet mellan olika radiosystem bör förbättras för att utnyttja tillgängliga resurser, exempelvis kapacitet, i högre grad än idag. Dock bygger effekten av detta i hög grad på att sambandspersonalen får relevant och tillräcklig utbildning.

5.3 Utbildning

Utbildning behövs, bland annat, för produktledare och för användare som exempelvis signalister. Produktledare behöver kunskap om vilka konsekvenser som bristfällig systemintegration kan leda till samt mer handfasta rekommendationer som innefattar funktionssäkerhet och EMC-aspekter.

Utbildning kring EMMA-handboken ger en god förståelse och instruktioner i det som rör EMC-arbete men detta är inte tillräckligt när det gäller att, i ett integrations- och samexistensperspektiv, uppnå önskad funktionssäkerhet. Under hösten 2015 utvecklades och genomfördes en kurs på FMV med marin inriktning för produktledare i syfte att höja kunskapen kring system-integration och de konsekvenser det kan medföra, se kapitel 4.4. FOI föreslår att kursen uppdateras och genomförs regelbundet både med marin- och arméinriktning.

Kunskapen om konsekvenserna av bristande systemintegration behöver spridas inom FM och FMV

Det är viktigt att också slutanvändarna utbildas i vad som händer om en bra system-integration åsidosätts. Ett tydligt exempel gavs av C G6 I19 under 2016 års workshop, se även kapitel 3.4. I Figur 6 visas ett exempel från verkligheten. Antennen är nedböjd mot fordonet för att den annars uppfattades vara i vägen. Resultatet blir att antennen inte alls fungerar som det är tänkt, och kommunikationssystemet får stora prestandaförluster. I detta fall räcker det inte med att utbilda sambandspersonalen, även fordonsförare m.m.

måste få förståelse för vad som händer med sambandsförmågan om sambandsmateriel hanteras på fel sätt.



Figur 6 Ett exempel på hur en antens förmåga kan förstöras genom okunnigt handhavande (antennen är i praktiken kortsluten). Denna situation, som inte är ovanlig, hade kunnat undvikas med en liten utbildningsinsats. Bild: Försvarmakten.

De tre fordonen i Figur 7 visar tydligt skillnaden mellan de som utbildats i och de som inte utbildats i handhavande av sambandsmaterielen. I fordonet längst till höger i bild är antennen mycket hårt nedböjd, och besättningen lyckades inte upprätta en förbindelse på HF. Det mittersta fordonets besättning lyckades nästan. Det vänstra fordonet hade rätt utbildad personal och lyckades etablera samband. Skillnaden låg i handhavandet av antennen, i fallet med det högra fordonet var antennen i praktiken kortsluten.

Dessa två metodexempel visar med all önskvärd tydlighet att helheten är avgörande, metod och teknik i hela kedjan måste gå hand i hand.



Figur 7 Tre försök att upprätta samband på HF. Bild: Försvarmakten.

6 Slutsatser

I detta kapitel besvaras de frågeställningar som RICOM-projektet arbetat med. De definierade frågeställningarna har under projektets gång styrts inriktningen av arbetet, vilket är redovisat i tidigare kapitel. I detta kapitel kommer därför frågorna att besvaras övergripande baserat på de erfarenheter som skapats under projektets gång.

- Vilka metoder och tekniker bör tillämpas för att säkerställa att systemintegrationen, både vid nybyggnation och modifiering av en plattform, inte orsakar prestandanedsättning på grund av egenstörningar eller samlokalisering?

För att säkerställa att systemintegrationen inte orsakar någon prestandaförlust hos kommunikationssystemen krävs en helhetssyn både kring metod och teknik samt att detta omhändertas under hela plattformens livscykel. Problemen kan till viss del förebyggas i ett tidigt skede, vilket gör att kostnader för sena åtgärder kan hållas nere och att radiosystemen fungerar bättre.

Kommunikationssystemens funktionssäkerhet behöver säkerställas i ett tidigt skede genom ändamålsenlig kravställning, och allteftersom nya system införs på plattformar måste funktionssäkerheten fortsatt bevakas. För att säkerställa fortsatt samexistens behöver kontrollmätningar genomföras vid modifieringar av plattformar. Stöttande mätningar baserat på en generisk och praktiskt användbar mätmetod bör införas för att, bland annat, upptäcka problem i ett tidigt skede.

FOI föreslår att en samfunktionsansvarig för elmiljö och samband utses för varje plattform, som har till ansvar att bevaka och åtgärda problem som är relaterade till systemintegrationen.

För att underlätta systemintegrationen på en plattform föreslås att nya kontrollpunkter införs. Kontrollpunkterna ska säkerställa att projekt får en avdömning från samfunktionsansvariga innan projektet kan gå vidare. Kontrollpunkterna ska löpa från kravställning till integration på plattform samt modifieringar.

Samexistensen bör analyseras genom telekonfliktanalys (beakta både elektriska utrustningar och sändande system) och antennberäkningar, då system och antenner planeras och placeras på plattformen. Även vid telekonfliktanalysen är det viktigt att ha en helhetssyn över de olika systemen eftersom dessa kan påverka varandra på ett negativt sätt. Åtgärder för att hantera integrationsbrister skall värderas med en adekvat metod innan de införs, exempelvis med den metod som utvecklats vid FOI. I kapitel 3.1 presenteras hur störningar från radiosystem och plattformen med denna metod kan hanteras för att åstadkomma tillräckligt god prestanda hos en plattformens radiosystem.

Ett gott EMC-arbete bör också ligga till grund för installationerna på plattformen. I EMMA-handboken finns både praktiska rekommendationer av olika elmiljöåtgärder samt tydliga riktlinjer om hur själva processen bör gå till. Materielprojekten kan stöttas ytterligare ur integrations- och samexistensaspekter genom att införa övergripande designregler så att störningsproblematiken omhändertas i ett tidigt skede. Designreglerna ska ses som ett komplement till dagens EMMA-handbok eftersom samexistensaspekter inte hanteras i nuvarande version.

- Vilka realiserbara tekniska lösningar finns det som ökar robustheten på inhyrda satellitresurser och vad får de för effekt på tillgänglig kapacitet?

Många robusthetsbrister inom satkom är svåra att åtgärda med tekniska lösningar. I den mån lösningar finns handlar de ofta om helhetsgrepp på kommunikationen, till exempel att se till att alla applikationer är anpassade för radiomediet och att det finns redundanta

transmissionssystem som fungerar i praktiken. Det finns satkommodem med frekvenshopp, men för att fullt ut kunna nyttja det störskydd som dessa erbjuder krävs tillgång till en stor bandbredd att frekvenshoppa över. De åtgärder som fungerar bör i de flesta fall ha liten påverkan på tillgänglig kapacitet. Däremot påverkas tillgänglig kapacitet kraftigt av hur många samtidiga användare som finns.

- Vilka möjligheter finns att med bibehållen eller ökad robusthet höja kapaciteten för HF-kommunikation i plattformintegrerade system?

På militära plattformar är störningsmiljön ofta betydande och besvärligare än vad systemet är designat och kravställt för. Genom att ta hänsyn till den faktiska störningsmiljön där HF-mottagarna är placerade kan fördröjningar reduceras och en högre datatakt medges. Med mer flexibla radiosystem kan detta vara en funktion som kan implementeras i framtida HF-system, se kapitel 3.3. Dessutom bör möjligheten till så kallad *wideband HF* beaktas.

- Hur mycket och under vilka omständigheter kan robustheten i transmissionen förbättras med en kombination av HF och Satkom och med stöd av andra system och tekniker?

Att den totala robustheten kan förbättras avsevärt med en väl fungerande kombination av HF och satkom på militära plattformar är uppenbart. Dock är det mycket svårt att kvantifiera förbättringen eftersom det beror på många saker där teknik, arbetsmetoder etcetera måste samverka. På en internationell mission kan detta uppnås genom att nyttja olika typer av satkomsystem och även genom HF. För ett fartyg som är nära svenska kusten kan förutom HF även mobiltelefoni och VHF/UHF, till exempel MARLIN, användas. På land, mellan grupperade förband, kan även troposcatter vara ett alternativ givet att avstånden inte är för långa. Oavsett teknik måste det gå att automatiskt styra trafiken mellan system med mycket stora skillnader i datakapacitet. En stor svårighet är att få en situationsanpassad prioritering av tjänster att fungera och att hantera trafik med varierande grad av säkerhetsklassning av tjänsterna.

En fungerande redundans mellan satkom och andra radiosystem kräver därför en väl genomtänkt metod och framförallt kunnig och övad personal.

7 Fortsatt arbete - KORINT

I januari 2017 startar ett nytt FoT-projekt sprunget ur projektet RICOM och dess föregångare ROAM. Projektets syfte är att förbättra möjligheterna för FM att hantera integrationsproblem med koppling till samlokalisering och telekonflikt/elmiljö och särskilt då de kompromisser som måste hanteras. Detta avser både befintliga problem såväl som att i tidiga skeden på ett systematiskt sätt hantera och undvika dessa problem.

Projektet skall utveckla metoder för att hantera ovanstående kompromisser och studera tekniska åtgärder. Metoderna skall baseras på resultat och erfarenheter från projekt RICOM. Av särskild vikt är att metoderna kan hantera de oförutsägbara grupperingssituationer som är typiska för arméfordon, se även kapitel 3.1.5.

Bakgrunden till projektet är att dagens kompakta plattformar har en stor mängd tekniska system. Dessa skapar omfattande egenstörningar och samlokaliseringsproblem (både inom och mellan plattformarna), vilket i sin tur påverkar den trådlösa kommunikationen och minskar dess robusthet och möjlighet att leverera avsedd förmåga till bland annat ledningssystem.

Frågeställningen som projektet skall försöka besvara är:

Hur ska funktionssäkerheten hos kommunikationssystemen på militära plattformar garanteras när nödvändiga kompromisser i systemintegrationen måste göras för att plattformens huvuduppgifter (skydd, verkan och rörlighet) inte ska försämrats?

Slutår för projektet är 2019. Projektets slutleverans skall vara förslag på metoder för värdering av åtgärder av samlokaliseringsproblem samt förslag på tekniska åtgärder för både armé- och marin-plattformar. En årlig workshop genomförs för intressenter inom hela Försvarmakten, där pågående metod- och teknikforskning inom området presenteras och diskuteras.

Projektet är under 2017 uppdelat i fyra arbetspaket.

- AP 1: Studie av interferensmiljön på enskilda plattformar
- AP 2: Metodutveckling kring tekniska åtgärder samt kompromisshantering relaterat till integrationsproblematik
- AP 3: Omvärldsanalys
- AP 4: Workshop

8 Referenser

- [1] S. Örn Tengstrand, P. Eliardsson, E. Axell, B. Johansson och K. Wiklundh, "Methods for Valuation of Measures that Increase Robustness in the Integration of Wireless Communication Systems," FOI-R--4302--SE, Linköping, 2016.
- [2] E. Axell, S. Örn Tengstrand och B. Johansson, "Behövs robustare satellitkommunikation? Om brister och skyddsåtgärder i satellitkommunikationssystem.," FOI-R--4102--SE, 2015.
- [3] E. Axell och S. Örn Tengstrand, "Robusthetsökande åtgärder för satellitkommunikation," FOI-RH--1745--SE, Linköping, 2016.
- [4] B. Asp, K. Wiklundh, P. Stenumgaard, P. Eliardsson, B. Johansson och E. Axell, "ROAM Slutrapport," FOI-R---3790--SE, Linköping, 2013.
- [5] V. Jodalen och T. Mjelde, "HF-Kommunikasjon i Arktis basert på målinger," FFI-Rapport 16/00576, 2016.
- [6] P. Eliardsson, K. Wiklundh, E. Axell och P. Stenumgaard, "Robust channel selection and power control for HF communications," FOI-R--4120--SE, Linköping, 2015.
- [7] E. Axell och S. Örn Tengstrand, "Spridning av plattformspositioner via satkom," FOI Memo 5620, Linköping, 2016.
- [8] B. Asp, P. Eliardsson, B. Johansson, P. Stenumgaard, K. Wiklundh och S. Örn Tengstrand, "Orsaker till ökad risk för egenstörningar och bristande samfunktionsegenskaper för mark- och sjöplattformar," FOI-R--4093--SE, Linköping, 2015.
- [9] "Elektromagnetisk miljö användarhandbok – EMMA," Försvarets Materielverk M7773-000750.

9 Appendix 1 - Resultatproduktion inom RICOM

Under projekttiden har följande tidskriftsartiklar, konferensbidrag och rapporter producerats inom ramen för RICOM.

Publikationer relaterade till metodutveckling

- B. Asp, ”Orsaker till ökad risk för bristande samfunktionsegenskaper för mark- och sjöplattformar”, FOI Memo 5477, Linköping, 2015.
- B. Asp, P. Eliardsson, B. Johansson, P. Stenumgaard, K. Wiklundh, S. Örn Tengstrand, ”Orsaker till ökad risk för egenstörningar och bristande samfunktionsegenskaper för mark- och sjöplattformar”, FOI-R--4093--SE, Linköping, 2015.
- S. Örn Tengstrand, P. Eliardsson, E. Axell, B. Johansson, K. Wiklundh, ”Methods for Valuation of Measures that Increase Robustness in the Integration of Wireless Communication Systems”, FOI-R--4302--SE, Linköping, 2016.
- S. Örn Tengstrand, E. Axell, P. Eliardsson, “Approximations of BEP for Multiple Impulse Noise Sources”, Proc. EMC Europe, Wroclaw, Polen, Sep. 5-9 2016.
- S. Örn Tengstrand, P. Eliardsson, E. Axell, “Mitigation of Multiple Impulse Noise Sources Through Selective Attenuation”, Proc. MILCOM, Baltimore, MD, Nov. 1-3 2016. Bidraget fick *Best Paper Award*.
- E. Axell, P. Eliardsson, S. Örn Tengstrand, K. Wiklundh, “Power Control in Interference Channels with Class A Impulse Noise”, IEEE Wireless Communications Letters, inskickad.

Publikationer relaterade till satkom

- E. Axell, S. Örn Tengstrand, B. Johansson, ”Behövs robustare satellitkommunikation? Om brister och skyddsåtgärder i satellitkommunikationssystem”, FOI-R--4102--SE, 2015.
- B. Asp, ”Behövs robustare satellitkommunikation?”, FOI Memo 5462, Linköping, 2015.
- E. Axell, S. Örn Tengstrand, ”Robusthetsökande åtgärder för satellitkommunikation” FOI-RH--1745--SE, Linköping, 2016.

Publikationer relaterade till interferensbaserat frekvensval HF

- P. Eliardsson, “Interference based frequency selection”, *BLOS meeting*, September, 2015.
- P. Eliardsson, K. Wiklundh, E. Axell, P. Stenumgaard, “Mitigation of Co-Channel Interference by Transmit Power Control”, *International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2015)*, Dresden, Germany, August, 2015.
- P. Eliardsson, E. Axell, P. Stenumgaard, K. Wiklundh, B. Johansson, B. Asp, “Military HF Communications Considering Unintentional Platform-Generated

Electromagnetic Interference”, *International Conference on Military Communications and Information Systems (ICMCIS)*, May 18-19, 2015.

- E. Axell, K. Wiklundh, P. Stenumgaard, “Optimal Power Allocation for Parallel Two-State Gaussian Mixture Impulse Noise Channels”, *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 4, no. 2, pp. 177-180, April 2015.
- P. Eliardsson, K. Wiklundh, E. Axell, P. Stenumgaard, ”Robust channel selection and power control for HF communications” FOI-R--4120-SE, Linköping, 2015.
- B. Asp, “Robust frekvensval för kortvågskommunikation i marin miljö”, FOI Memo 5461, Linköping, 2015.
- P. Eliardsson, E. Axell, K. Wiklundh, P. Stenumgaard, “Channel Selection that Considers the Impulse Characteristics of the Local Interference”, *Proc. of the 2014 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2014)*, Gothenburg, Sweden, September 1-4, 2014.

Övergripande publikationer

- B. Asp, P. Eliardsson, “Erfarenheter från RICOM workshop 2016”, FOI Memo 5849, Linköping, 2016.
- B. Asp, P. Eliardsson, “Erfarenheter från RICOM workshop 2015”, FOI Memo 5487, Linköping, 2015.
- B. Asp, P. Eliardsson, “Erfarenheter från RICOM workshop 2014”, FOI Memo 5113, Linköping, 2014.
- B. Asp, K. Wiklundh, P. Stenumgaard, P. Eliardsson, S. Örn Tengstrand, B. Johansson, E. Axell, ”RICOM Årsrapport 2014”, FOI-R--3968--SE, Linköping, 2014.
- B. Asp, ”Robust Integration av Trådlösa Telekommunikationssystem – Statusrapport Q2 2014”, FOI Memo 4962, Linköping, 2014.

10 Appendix 2 - Definitioner

En del begrepp som används i denna rapport behöver förtydligas eftersom det i vissa fall förekommer olika definitioner eller helt enkelt att begreppet är generellt otydligt. I detta kapitel definieras några sådana begrepp.

Robusthet

I denna rapport används begreppet robusthet för radiokommunikationssystem i betydelsen tålighet mot exempelvis:

- Avsiktliga och oavsiktliga elektromagnetiska störningssignaler,
- Förändringar av vågutbredningsförhållanden för radiokommunikation,
- Förändringar av tillgängligheten hos olika delar av infrastrukturen för radiokommunikation.

Egenstörning

Med egenstörning avses elektromagnetiska störningar som alstras av den egna plattformen eller dess närmiljö och där störningarna kopplar elektromagnetiskt via egna antensystem.

Systemintegration

Med systemintegration avses att olika fristående system kopplas ihop för att fungera tillsammans på en plattform.

Samfunktion

Samfunktion innebär att flera fristående system kopplas ihop och fungerar tillsammans utan att det leder till några begränsningar i funktionalitet hos något av systemen. I detta arbete är det samfunktion mellan radiokommunikationssystem och andra utrustningar som avses och det är funktionaliteten hos radiokommunikationssystemet som inte får begränsas.

EMC – Electromagnetic compatibility

Begreppet är definierat i [9]: ”Elektromagnetisk kompatibilitet är en apparats, utrustnings eller systems egenskap att fungera tillfredsställande i sin elektromagnetiska miljö utan att oacceptabelt påverka någonting i denna miljö.”