

JAN NILSSON, SARA LINDER



Jan Nilsson, Sara Linder

Samverkan mellan mobila taktiska nät

Slutrapport

FOI-R--5066--SE

Titel	Samverkan mellan mobila taktiska nät – Slutrapport
Title	Internetworking between mobile tactical networks – Final report
Rapportnr / Report No.	FOI-R--5066--SE
Månad / Month	December / December
Utgivningsår / Year	2020
Antal sidor / Pages	24
ISSN	1650-1942
Kund / Customer	FM
Forskningsområde	4. Ledningsteknologi
FoT område	Ledning och MSI
Projektnr / Project No.	E72854
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

Militära kommunikationsnät ska vara robusta, redundanta och möjliggöra interoperabilitet. Projektet *Samverkan mellan mobila taktiska nät* är ett 3-årigt FoT-projekt som har undersökt kommunikationsarkitekturer som kan införliva olika typer av radionät av varierande storlek, samt använda det begränsade frekvensutrymmet effektivt. Målsättningen var att undersöka tekniker för att koppla ihop nät och skapa förbundenhet över ytan och som möjliggör samexistens av nät inom ett område och inom ett begränsat frekvensutrymme.

Olika metoder för att sammankoppla nät baserade på OLSR-routing på OSI lager 3 har studerats. Ansatsen var att begränsa mängden OLSR-kontrolltrafik utan att försämra tillförlitligheten. Ett antal ändringar jämfört med OLSR-standarden föreslås. Projektet har också deltagit i NATO-gruppen IST-161 (COM) *Efficient Group and Information Centric Communications in Mobile Military Heterogeneous Networks*, vars frågeställningar fallit väl samman med projektets.

Samlokalisering av nät och då främst av frekvenshoppande SKB-nät har också studerats inom projektet. Resultaten visade att även för svåra interferenssituationer kan trafiken levereras i näten med en hög sannolikhet, tack vare den inneboende robustheten i SKB. Men även SKB-nät påverkas negativt av interferenser från samlokalisering. Fördröjningarna ökar och nätet kan bli fragmenterat så vissa noder inte kan nås.

Nyckelord: Heterogena nät, samlokalisering, ad hoc-nät, OLSR, SKB

Abstract

Military communications networks must be robust, redundant and enable interoperability. The project *Samverkan mellan mobila taktiska nät* is a 3-year FoT-project that has investigated communication architectures that can incorporate different types of radio networks of varying sizes, and use the limited spectrum effectively. The aim has been to investigate techniques for connecting networks efficiently and enable networks to coexist within a limited frequency space.

Various methods for interconnecting networks based on OLSR routing on OSI layer 3 have been studied. The overall design goal was to keep the overhead generated by OLSR control traffic down while maintaining a high packet delivery ratio. By introducing a number of changes compared to the OLSR standard, a reasonable solution is obtained. The project has also participated in the NATO Group IST-161 (COM) *Efficient Group and Information Centric Communications in Mobile Military Heterogeneous Networks*. Many issues within the project coincide with those of the NATO group.

Co-location of networks and specifically frequency hopping SCB networks has also been studied within the project. The results showed that even for difficult interference situations, packets can be delivered in the networks with a high probability, thanks to the inherent robustness of the SCB networks. Nevertheless, SCB networks are also negatively affected due to the interferences from co-location, the delays increase and the networks can become fragmented so that some nodes cannot be reached.

Keywords: Heterogenous networks, inter-networking, ad hoc networks, OLSR, SCB

Innehållsförteckning

1	Introduktion	7
2	Bakgrund	9
2.1	Synkroniserad kooperativ broadcast	9
2.2	OLSR	10
3	Heterogena nät	11
3.1	Design av OLSR på flera lager	11
3.2	NATO-samarbete	13
4	Samlokalisering	15
5	Kommunikation av resultat	19
6	Slutsatser	21
	Referenser	24

FOI-R--5066--SE

1 Introduktion

Militära kommunikationsnät ska vara robusta, redundanta och möjliggöra interoperabilitet. Kraven på räckvidd och kapacitet varierar, men kraven på robusthet, tillgänglighet och störtålighet är i regel höga. Samtidigt är tillgången till frekvensspektrum begränsad. För att kunna uppfylla de militära kraven kommer heterogena nät bestående av olika typer av radionät att användas i framtiden.

FoT-projektet *Samverkan mellan mobila taktiska nät* har undersökt kommunikationsarkitekturer som kan införliva olika typer av radionät av varierande storlek, samt använda det begränsade frekvensutrymmet effektivt. Målsättningen var att undersöka tekniker för att koppla ihop nät och skapa förbundenhet över ytan och som gör att nät kan samexistera inom ett begränsat frekvensutrymme. I rapporten sammanfattas projektet och de resultat som tagits fram. Projektet har haft följande övergripande frågeställningar:

- Hur ser informationsbehovet och modeller för kommunikationen inom en brigad ut i framtiden?
- Hur skapas förbundenhet i heterogena nät?
- Hur kan frekvenshoppande nät samexistera på bästa sätt?
- Hur kontrolleras överlappande VHF- och UHF-nät för att nyttja frekvenser så effektivt som möjligt?

FOI-R--5066--SE

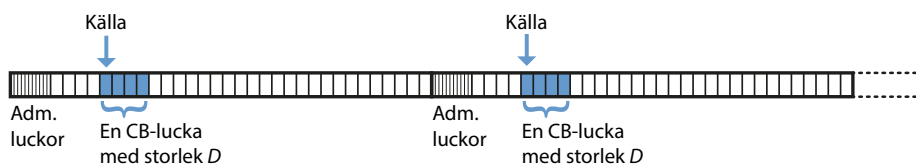
2 Bakgrund

Projektet har studerat militära mobila kommunikationsnät i vilka de enskilda näten varit mobila ad hoc-nät. Studierna är baserade på dessa nät, antingen som enskilda nät eller sammankopplade till ett heterogent nät. Olika vågformer kan användas. En relativ ny vågformsteknik som använts i flera av undersökningarna är synkroniserad kooperativ broadcast (SKB), som beskrivs i avsnitt 2.1. Den routing som används är baserad på protokollet OLSR, både för de enskilda näten och för att sammankoppla näten. De grundläggande egenskaperna hos OLSR beskrivs i avsnitt 2.2.

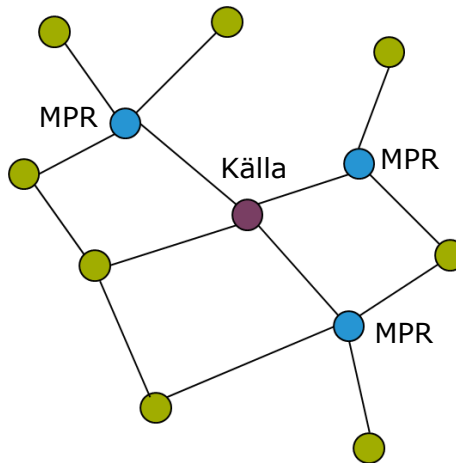
2.1 Synkroniserad kooperativ broadcast

Synkroniserad kooperativ broadcast (SKB) är utformad för robust kommunikation i mobila ad hoc-nät. En eller flera separata broadcast-strömmar hanteras med kooperativa sändningar och en underliggande TDMA-struktur där separata uppsättningar av tidsluckor är schemalagda för varje källa. Samtliga noder som tar emot ett nytt paket i en tidslucka återsänder det samtidigt i nästa tidslucka som är schemalagd till samma broadcast-ström. För varje broadcast-ström grupperar protokollet D tidsluckor till en enhet, som kallas för en kooperativ broadcast-lucka (CB-lucka) med storlek D . CB-luckorna grupperas i upprepade ramar, som visas i figur 2.1. CB-luckans storlek är fyra i exemplet i figuren. Observera att ett paket kan sändas D hopp från källan under en CB-lucka, men under nästa CB-lucka planerad för samma broadcast-ström, sprids den ytterligare D hopp längre ut i nätet och så vidare tills alla noder nås. Storleken D är också lika med återutsändningsavståndet, vilket beskriver det minsta antalet hopp mellan två noder som kan sända olika paket samtidigt.

I CB-luckorna som tilldelats en källa hanteras endast paket med ursprung från källan. När källan sänder ett nytt paket kommer den att göra det i sin CB-luckas första tidslucka. Alla noder som tar emot ett paket återsänder samtidigt paketet i följande tidslucka i samma eller efterföljande CB-lucka. Proceduren upprepas tills alla noder i nätet har återsänt paketet en gång. Mottagandet av flera kopior av ett paket i en tidslucka hanteras av mottagaren på samma sätt som flervägsutbredning.



Figur 2.1: Exempel på SKB med administrativa tidsluckor för att sända kontrollinformation.



Figur 2.2: Illustration av broadcasting med MPR.

2.2 OLSR

Optimized Link State Routing (OLSR) är ett proaktivt routing protokoll för mobila ad hoc-nät [1]. För broadcasttrafik används Multi-Point Relay (MPR) mekanismen hos OLSR. MPR-noderna ansvarar för att vidarebefordra broadcast trafiken. Genom att bara en delmängd av noderna i ett nät väljs som MPR kan trafiken reduceras. Ett exempel med tolv noder, varav tre är MPR, visas i figur 2.2. Genom att bara MPR-noderna behöver vidarebefordra trafiken från källan nås hela nätet med fyra sändningar istället för tolv sändningar.

Kontrolltrafiken i OLSR består huvudsakligen av två olika typer av meddelanden: HELLO och Topology Control (TC). HELLO-meddelanden utbyts regelbundet mellan grann noder för att upptäcka länkar till grannar och för att signalera MPR-val. TC-meddelanden sänds regelbundet till hela nätet för att sprida topologiinformation till alla noder. Endast noder som har valts som MPR genererar (och vidarebefordrar) TC-meddelanden.

3 Heterogena nät

Större militär förband använder sig av olika typer av radionät sammanfogade till ett heterogent nät. Generellt består det heterogena nätet av semi-statiska nät, ofta uppbyggt med hjälp av radiolänkar, och mera mobila stridstekniska nät. Fokus inom projektet har varit på de stridstekniska näten och det är dessa nät som avses med ett taktiskt heterogent nät i detta kapitel. Även de stridstekniska näten är heterogena eftersom det är svårt att lösa kommunikationen för en hel bataljon med bara ett radiosystem och nät.

Traditionellt har radiosystemen i de stridstekniska näten använt robusta vågformer i de lågfrekventa frekvensbanden (HF, VHF). Därefter har militära system med högre datahastigheter tillkommit i UHF-bandet. De stridstekniska näten kan använda olika tekniker, SKB-nät som använder kooperativ kommunikation är en lovande typ av ad hoc-nät som i många fall är att föredra framför klassiska ad-hoc-nät.

Olika typer av arkitekturer kan användas för att sätta ihop större taktiska nät. Eventuellt skulle det taktiska nätet kunna vara platt, det vill säga ett radiosystem och ett nät. För större taktiska nät behövs dock en annan arkitektur. I en hierarkisk arkitektur kan till exempel vissa nät ha lång räckvidd och användas för att binda ihop nät med kortare räckvidd.

3.1 Design av OLSR på flera lager

I större förband (t.ex. brigader eller bataljoner) är näten heterogena eftersom olika typer av nät behöver kopplas samman. Dessa sammankopplingar kan göras på många olika sätt. I projektet har studierna inriktats på att sammankoppla näten med routingprotokollet OLSR.

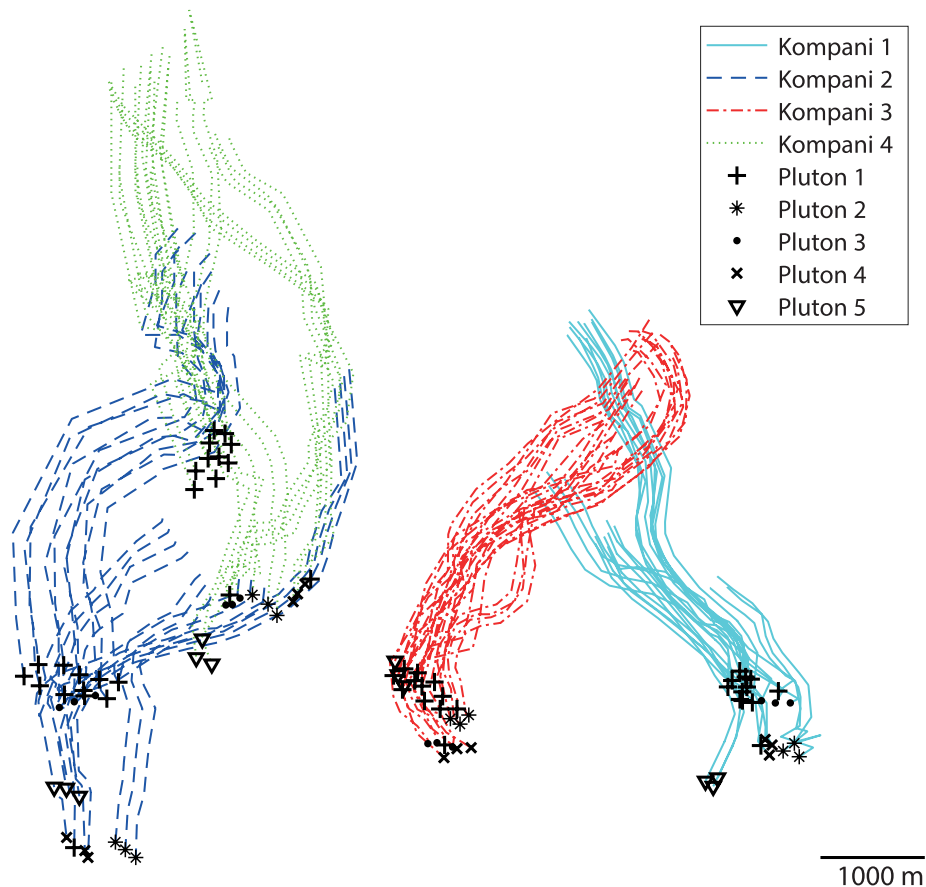
För att kunna sammankoppla många nät och där vissa nät har en låg kapacitet behöver routingprotokollet vara effektivt. Olika metoder för att sammankoppla nät baserade på OLSR-routing på OSI¹ lager 3 har undersökts. Målsättningen har varit att hålla overheaden som genereras av OLSR-kontrolltrafiken nere och samtidigt bibehålla en hög andel levererade paket. Resultaten från studierna är publicerade i [2] och [3]. I detta avsnitt sammanfattas studierna.

Undersökta fall

En delmängd av Anglova-scenario vignette 2 användes för utvärderingarna. Den bestod av två mekaniserade kompanier och två stridsvagnskompanier. Vidare fokuserades på framryckningen under scenariotid 5500 sekunder till 6501 sekunder (figur 3.1). Vid utvärderingen beaktades nät bestående av ett, två, tre eller alla fyra kompanier. Det innebär att de olika nätstorlekarna var 24, 48, 72 eller 96 noder.

Inom kompanierna användes en bredbandig vågform *Wide Band* (WB) med bandbredd 1 MHz och datatakt 745 kbit/s på frekvensbandet 300 MHz. För att sammankoppla kompanierna användes en vågform med medelbandbredd *Medium Band* (MB)

¹The Open Systems Interconnection model (OSI model) är en konceptuell modell bestående av sju lager som standardiserar funktionerna hos ett telekommunikationssystem

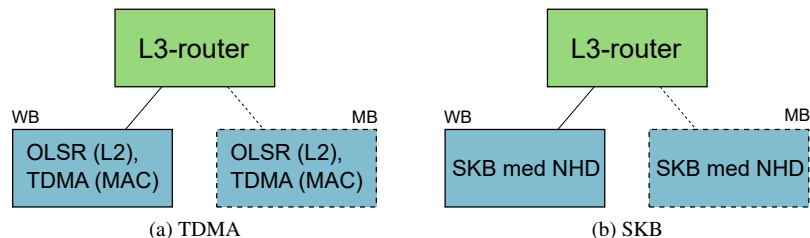


Figur 3.1: Rörelsemönstren för noderna från Anglova Vignette 2 som användes i simuleringarna.

250 kHz och dataakt 151 Kbit/s på frekvensbandet 50 MHz. Sex noder i varje kompani hade båda vågformerna som kopplades samman med en OLSR-router på lager 3 (L3). I ena nätkonfiguration använde båda vågformerna TDMA på MAC-lagret och OLSR på lager 2 (L2), se figur 3.2a. I den andra nätkonfiguration använde båda vågformerna SKB ihop med en metod för att skapa information om nätets topologi benämnd *NeighborHood Discovery* (NHD), se 3.2b. NHD används för att kunna leverera topologi information till lager 3.

Flera olika routerlösningar på lager 3 baserade på OLSR jämförs med OLSR enligt RFC 3626 [1]. Modifieringar jämfört med OLSR enligt RFC 3626 som undersökts:

- paketkomprimering av kontrolltrafiken; adresserna i HELLO och TC meddelandena komprimeras.
- dämpad OLSR; en MPR-nod återsänder inte ett paket på det gränssnitt där det har mottagits.



Figur 3.2: De två olika nätkonfigurationerna, i vilka MB-vågformen bara finns i en delmängd av noderna.

- L2-information; topologi information från delnäten levereras till OLSR på L3 vilket minskar behovet av regelbunden sändning av kontrollinformation.
- reaktiv kontroll; HELLO- och TC-meddelanden sänds bara vid behov, i princip bara vid uppstart av nätet och när topologi informationen från lager 2 ändras.

Generellt är inte L2-information om nätets topologi tillgängligt på lager 3, speciellt vid användande av existerande radiosystem. Paketkomprimering och dämpad OLSR kräver dock inte tillgång till L2-information vilket är en fördel. Dessa två modifieringar minskar overheaden en del men ytterligare undersökningar behövs för att bedöma om det är tillräckligt för smalbandiga nät med låg kapacitet. I en version (som kallas OLSR-XL2 i [3]) som utnyttjar alla modifieringar ovan erhålls däremot en betydande minskning av kontrolltrafiken samtidigt som andelen levererade paket knappt försämras jämfört med OLSR enligt RFC 3626. Den versionen erbjuder en effektiv lösning och kan också användas ihop med smalbandiga nät. Generellt fungerar de heterogena näten bättre med vågformer baserade på SKB än med vågformer baserade på OLSR/TDMA eftersom SKB är robustare och ger högre nätdiversitet. Routerlösningarna är visserligen hittills bara testade för ett militärt heterogent nät bestående av 96 noder, men planeras att utvärderas för större militära heterogena nät då målet på sikt är att ta fram en bra arkitektur för en hel brigad.

3.2 NATO-samarbete

Projektet har deltagit i NATO-gruppen NATO-STO IST-161 (COM) *Efficient Group and Information Centric Communications in Mobile Military Heterogeneous Networks*, NATO-gruppen startades våren 2018 och planeras att avslutas våren 2022. IST-161 är en fortsättning på NATO-gruppen *IST-124-RTG-061 Heterogeneous Networks - improving connectivity and network efficiency*. Resultaten från IST-124 är publicerade i [4]. Deltagande nationer inom IST-161 är Norge, Sverige, Tyskland, USA, Holland, Italien, Finland och England.

För att kunna analysera heterogena nät har NATO-gruppen tagit fram ett scenario kallat Anglova och byggt en emuleringsmiljö för att kunna utföra experiment. Vi har bidragit med en vinjett till Anglovascenariot som har använts flitigt under arbetet. Vinjetten är baserad på det tidigare framtagna Lomben-scenariot [5] som modellerar ett

dynamiskt händelseförlopp bestående av 157 noder. För emuleringarna används *Extendable Mobile Ad-hoc Networking Emulator* (EMANE).

Det nätverksbaserade försvaret har behov av metoder för effektiv spridning av information på slagfältet, till exempel för positionsförmedling och spridning av lednings-systemdata. Sådan informationsspridning är ett av fokusområdena för IST-161 och flera informationsspridningsprotokoll har utvärderats för scenariet Anglova [6, 7]. Några av dessa protokoll har visserligen en omfattande funktionalitet men det leder också till ökad trafik i näten. De är därför olämpliga att använda i de stridstekniska näten. Det är viktigt att förstå behov och krav på informationsspridningen för att inte överbelasta näten i onödan. Olika metoder för att sprida information i taktiska nät har också presenterats på två tekniska paneler på MILCOM [8, 9]. Vidare har vi haft ett intresse av att använda SKB vid utvärderingarna och därför har olika sätt att inkludera SKB i EMANE undersökts [10].

MAENA

Projektet har också medfinansierat och deltagit i EDA-projektet *Multi band Efficient Networks for Ad hoc communications* (MAENA). Inom ramen för MAENA utförs en studie av nya koncept för dynamisk spektrumhantering (dynamic spectrum management, DSM), med syfte att effektivare utnyttja frekvensutrymmet för radiokommunikation. De nya koncepten syftar till ett bättre utnyttjande av radiospektrumet genom återanvändning av frekvenser i de två militära frekvensbanden VHF (30-88 MHz) och UHF (225-400 MHz). MAENA tar fram förslag på hur algoritmer kan implementeras i taktiska ad hoc-nät och hur dessa ska implementeras i den lagerstruktur som finns för ett radiosystem. Ytterligare en målsättning i MAENA är en avancerad nätverkssimulator som tar hänsyn till småskalig och storskalig färdning baserad på terrängdata, och som kan användas för utvärdering av nät upp till en brigads storlek. Ett bidrag från FOI är en nät-plan för ett bataljonsscenario med vågformer på VHF och UHF. FoT-projektets främsta intresse inom MAENA gäller MAENAs kommunikationsarkitektur avseende de heterogena nätens uppbyggnad och prestanda samt hur överlappande VHF- och UHF-nät kan nyttja frekvenser så effektivt som möjligt.

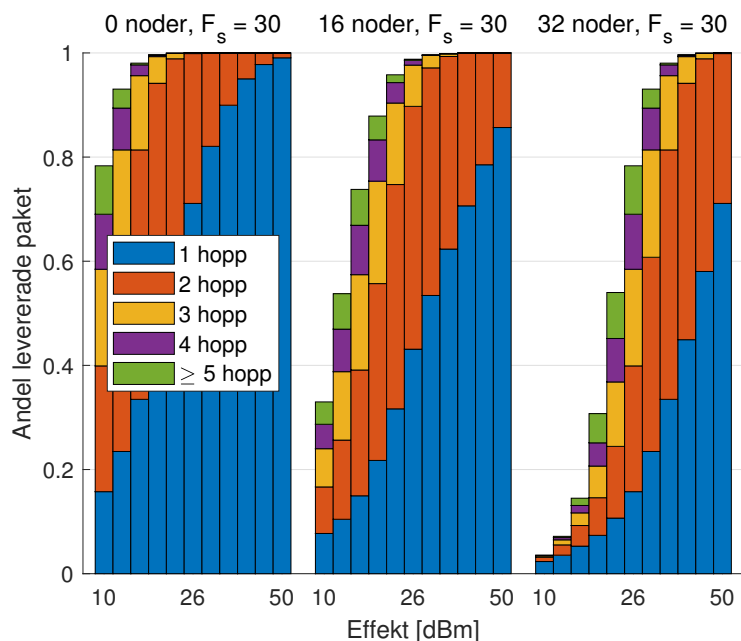
4 Samlokalisering

Militära radiomottagares mottagningsmiljö karaktäriseras ofta av olika typer av störningar, som bakgrundsbrus, plattformsstörningar, interferenser från andra radiosändare och i vissa fall även avsiktlig störning. För att skydda radiomottagare från elektromagnetiska störningar bedrivs ofta omfattande EMC-arbete med militära plattformar för att minska problematiken. Det finns ett antal civila och militära EMC-standarder för såväl elektrisk utrustning, plattformar och radiosystem för att minska risken för störningsproblematik. Dessa krav är dock inte alltid tillräckliga för att skydda känsliga mottagarsystem. Speciellt utmanande kan arbetet vara på små plattformar där många system ska integreras, exempelvis flera radiosystem som tillhör olika radionät. En annan utmaning är den begränsade frekvenstillgången för militära radiosystem som gör det svårt att separera olika system i frekvens, vilket leder till att flera radiosystem ska operera inom ett begränsat frekvensområde. Ett typiskt exempel är det militära UHF-bandet där många militära system ska samexistera, exempel är Saturn, HQII, Marlin, Ra1570, Ra460 och TGR.

Vid samlokalisering av flera radiosystem på en plattform finns en risk att sändande system stör mottagande system. Eftersom mottagande system ofta ska ta emot en relativt svag signal kan även sändarens utombandsegenskaper påverka mottagaren negativt. Även om sidbanden är dämpade relativt nyttosignalen kan de vara starka för en närbelägen mottagare som då blir störd. På militära plattformar samlokaliseras ett antal olika system som riskerar att störa varandra, med nedsatt kommunikationsförmåga som följd.

I ett tidigare FoT-projekt, *Bataljonens radiokommunikation*, påbörjades ett arbete med att analysera störningar mellan olika kommunikationsnäts påverkan på prestanda i näten. En analys av hur utombandsegenskaper, frekvenshoppsmönster och antenninstallation påverkar störningars påverkan på ett samlokaliserat kommunikationssystem finns i [11]. Sedan analyserades påverkan av störningar mellan klassiska ad hoc-nät [12]. Resultaten visade att även för svåra interferenssituationer kunde trafiken levereras i näten med en hög sannolikhet, tack vare den inneboende robustheten i näten som beror på att trafiken ofta kan ta olika vägar. Däremot ledde interferenserna till minskad kapacitet eftersom antalet omsändningar ökade.

Arbetet har fortsatt i detta projekt med att analysera påverkan i SKB-nät. Störningar mellan två frekvenshoppande nät som båda använder SKB analyserades i [13]. Eftersom grunden i SKB är att alla noder som tar emot ett paket i sin tur skickar det vidare så är SKB robust mot olika typer av störningar. Så länge som det finns en väg till alla noder i nätet finns förutsättningar för att paket kan levereras. Störningar mellan frekvenshoppande system varierar över tiden. Till exempel kan båda näten använda samma frekvens samtidigt vilket medför att mottagare nära den störande sändaren har svårt att ta emot under det frekvenshoppet. Ofta används felrättande koder för att systemet ska vara robust mot förlust av enstaka frekvenshopp, men blir det för mycket störningar räcker inte kodens prestanda. I SKB finns även möjligheten att en mottagare kan ta emot samma information i ett annat frekvenshopp när en annan nod gör sin återutsändning. Eftersom omsändningar sker samtidigt från flera noder sker återutsändning effektivt i nätet och SKB-nät är robusta mot störningar både i form av andelen



Figur 4.1: Andel levererade paket för olika antal noder med plattformsstörningar.

levererade paket, men också på så sätt att totala mängden paket som kan skickas i nätet inte påverkas. Den sista slutsatsen skiljer SKB-nät från mer klassiska ad hoc-nät som analyserats tidigare och en jämförelse finns i [14].

Förutom störningar från ett annat nät kan den egna plattformen och system ombord orsaka störningar av kommunikationen. Sådana plattformsstörningar kan påverka förmågan att ta emot kommunikationssignaler och räckvidden för systemet. I ett radionät kan olika fordon ha olika elektromagnetisk miljö beroende på vilken utrustning som finns ombord, exempelvis kan ledningsfordon vara utrustade med fler datorer eller annan extrautrustning.

Ett SKB-näts prestanda har simulerats med olika nivåer av plattformsbuss och även med olika antal noder som har högre brusnivå. Även störningar från radioapparater som ingår i ett annat frekvenshoppande SKB-nät ingick i analysen. Det konstaterades att även om endast några noder hade förhöjd brusnivå kan det påverka hela nätet eftersom trafiken sprids med flerhopp. I Figur 4.1 illustrerar de olika färgerna för vilken (om)sändning som ett paket når noderna i nätet. I den vänstra bilden har ingen nod högre plattformsbuss, i mittenbilden har hälften det och i högra bilden har alla noder högre brus. Figuren illustrerar att både andelen levererade paket sjunker när fler noder har högre brus, men också att omsändningarna får en viktigare roll för att leverera paket. SKB är dock relativt robust mot plattformsstörningar och så länge alla noder har kontakt med nätet kan meddelanden levereras med hög tillförlitlighet. Resultaten har sammanfattats i en tidskriftsartikel [15] som skickats till *IEEE Transactions of Electromagnetic Compatibility*. I artikeln ges också förslag på åtgärder för att mins-

ka risken för störningsproblem vid integration av kommunikationssystem på militära plattformar. Beroende på om störningarna kommer från elektriska system på samma plattform eller ett samlokaliserat radiosystem behövs olika åtgärder för att minska risken för störningsproblem. Risken för störningar från den egna plattformen hanteras med klassiska EMC-tekniker som att

- använda utrustning som uppfyller militära EMC-krav
- designa plattformen med hänsyn till EMC inklusive skärmning
- skydda känsliga mottagare genom noggrant val av antenner, antenntplacering och filtrering i mottagaren
- öka mottagen signaleffekt genom att använda riktantenner eller öka utsänd effekt.

I situationer med starka interferenser från plattformen är det inte radiomottagarens brusfaktor som avgör prestanda, utan förmågan hos mottagaren begränsas av omgivningen. I sådana situationer kan det vara bortkastat att investera i en dyr mottagare med lågt brus.

När det gäller interferenser från ett annat frekvenshoppande nät behövs andra typer av åtgärder för att minska störningar. Ortogonalt frekvenshopp är ett effektivt sätt att minska risken för störningar mellan näten, eftersom frekvenshoppsekvenserna planeras och synkroniseras så att samma frekvens inte används i två nät samtidigt. Om möjligt kan även separeringen i frekvens ökas för att förhindra att sändarnas sidband stör det andra nätet. Exempel på metoder för att minska risken för störningar mellan frekvenshoppande nät är

- noggrann frekvensplanering med separata frekvensband för olika nät, eller användandet av ortogonalt frekvenshopp
- ökad isolation mellan antenner på samma plattform, genom ökat fysiskt avstånd, cirkulator och/eller antennval (antennendiagram)
- filtrering i sändare och mottagare
- signalbehandling i sändare och mottagare, som pre-distortion, interferensundertryckning av egna signaler.

Alla metoderna är associerade med en kostnad, antingen i tid/arbete, systemkomplexitet eller pengar. Därför är det viktigt att välja lämpliga åtgärder och hitta en kompromiss mellan systemprestanda och kostnad. En annan viktig sak är att även om utrustning uppfyller EMC-standarder så innebär det inte en garanti för att radiosystem inte störs. För att verifiera en plattformens EMC-miljö uppfyller uppsatta krav är mätningar en viktig del.

FOI-R--5066--SE

5 Kommunikation av resultat

Resultat från projektet har redovisats i ett antal rapporter och konferensbidrag vilka redovisas i detta kapitel.

Publikationer

Rapporter

De FOI-rapporter som skrivits inom projektet listas nedan. Dessutom inkluderas en NATO-rapport där vi också deltagit.

- Interferenser mellan frekvenshoppande mobila kommunikationsnät. Författare: Karin Fors, Sara Linder, Jan Nilsson, Ulf Sterner. År: 2018. FOI-R--4671--SE, [14]
- Heterogeneous tactical networks - improving connectivity and network efficiency Författare: M. Hauge and et.al År: 2020. STO-TR-IST-124, [4]
- Evaluation of a multi-layer OLSR design for heterogenous networks. Författare: Anders Hansson, Jan Nilsson, Ulf Sterner. År: 2019. FOI-R--4879--SE, [2]
- Routing designs for tactical heterogenous networks. Författare: Sofia Bergström, Jan Nilsson, Ulf Sterner, Ulrika Uppman. År: 2020. FOI-R--5061--SE, [3]

Konferensbidrag

Arbetet i projektet har resulterat i en artikel och ett flertal bidrag till vetenskapliga konferenser.

- Emulating Synchronized Cooperative Broadcast in the Anglova Scenario and EMANE. Författare: K. Marcus and J. Nilsson and N. Suri and A. Hansson and M. Breedy and R. Fronteddu and E. Cramer. År: 2020. *2020 Military Communications and Information Systems Conference (MilCIS) IEEE Stream*, [10].
- Experimental Evaluation of Group Communications Protocols for Data Dissemination at the Tactical Edge. Författare: N. Suri and M. Breedy and K. Marcus and R. Fronteddu and E. Cramer and A. Morelli and L. Campioni and M. Provosty and C. Enders and M. Tortonesi and R. Velt and J. Nilsson and M. Hauge. År: 2019. *2019 International Conference on Military Communications and Information Systems (ICMCIS)*, [7].
- Experimental Evaluation of Group Communications Protocols for Tactical Data Dissemination. Författare: N. Suri and R. Fronteddu and E. Cramer and M. Breedy and K. Marcus and R. Velt, J. Nilsson and M. Mantovani and L. Campioni. År: 2018 *Proceedings of IEEE Military Communications Conference (MILCOM)*, [6].

- Inter-network interference in synchronized cooperative broadcast systems. Författare: U. Sterner, S. Linder, J. Nilsson and K. Fors. År: 2018. *IEEE Military Communications Conference (MILCOM)*, [13].
- Effects of platform EMI in synchronized cooperative broadcast systems . Författare: K. Fors, S. Linder, J. Nilsson and U. Sterner. År: 2020. *Submitted to IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, [15].

Paneler

Projektet har deltagit i NATO-gruppen IST-161 (COM) *Efficient Group and Information Centric Communications in Mobile Military Heterogeneous Networks*, se stycke 3.2. Genom NATO-gruppen har två tekniska paneler på *Military Communication Conference (MILCOM)* med FOI-deltagande organiserats.

- Technical Panel: Information-Centric Networking for Tactical Data Dissemination - Benefits and Challenges. Deltagare: N. Suri and D. Cansever and L. Landmark and J. Nilsson and B. Wissingh and L. Zhang. År: 2018. *2018 IEEE Military Communications Conference (MILCOM)*, [8].
- Technical Panel: Emulation-Based Experimentation for Tactical Edge Network Protocols and System. Deltagare: N. Suri and R. Chadha and C. Danilov and S. Galgano and J. Nilsson and M. Tortonesi. År: 2020. *2020 IEEE Military Communications Conference (MILCOM)*, [9].

6 Slutsatser

I projektet har frågeställningar rörande sammankoppling av nät till ett heterogena nät, informationsspridning och samlokalisering undersökts. Metoder för att sammankoppla nät baserade på OLSR-routing på OSI-lager 3 har studerats och jämförts med att använda OLSR enligt RFC 3626. De enskilda näten använde OLSR på OSI-lager 2 och TDMA på MAC-lagret alternativt SKB ihop med en framtagen metod för att skapa information om nätets topologi. Därmed kan topologi information om delnäten användas på lager 3 vilket förbättrar effektiviteten. Studierna visade att i synnerhet följande modifieringar av OLSR enligt RFC 3626 är viktiga: (1) återsänd inte ett paket på nytt på mottagargränssnittet, (2) leverera information om nätets topologi till lager 3, (3) upp-rätta stöd för reaktiva kontrollmeddelanden och använd paketkomprimering för kontrolltrafiken. Det finns utrymme för ytterligare förbättringar, men genom att utnyttja föreslagna modifieringarna ovan erhålls en version av OLSR som erbjuder en effektiv lösning, i vilken overheaden är låg med en hög andel levererade paket. Lösningen fungerar också då smalbandiga vågformer används. Generellt fungerade det heterogena nätet bättre med vågformer baserade på SKB än med vågformer baserade på OLSR och TDMA. Detta beror på att SKB är robustare, men också på att färre förändringar av topologin behöver hanteras på lager 3.

Inom ramen för arbete inom NATO-gruppen IST-161 undersöktes frågeställningar relaterade till nätarkitekturer och informationsspridning av till exempel positionsinformation och ledningssystemdata. Flera av de undersökta protokollen för informations-spridning har en omfattande funktionalitet, men de leder också till ökad trafik i näten. Det är därför viktigt att förstå behov och krav på informationsspridningen för att inte överbelasta näten.

Påverkan från olika typer av störningar har analyserats för frekvenshoppande SKB-nät. Eftersom omsändningar sker samtidigt från flera noder sprids trafiken effektivt i nätet och SKB-nät är robusta mot störningar. Den totala mängden paket som kan skickas i nätet påverkas inte, vilket skiljer SKB-nät från de mer klassiska ad hoc-nät som analyserats tidigare. Men även SKB-nät påverkas negativt av interferenser. Fördröjningar ökar och nätet kan fragmenteras så att noder inte nås. Beroende på om störningarna kommer från elektriska system på samma plattform eller ett samlokaliserat radiosystem behövs olika åtgärder för att minska risken för störningsproblem. Störningar från den egna plattformen hanteras med klassiska EMC-tekniker, medan störningar från samlokaliserade radiosystem kräver andra typer av åtgärder som exempelvis frekvensplanering eller ortogonalt frekvenshopp.

Resultaten av arbetet visar att vågformer baserade på SKB har fördelar gentemot traditionella ad hoc vågformer. SKB är relativt robust mot olika former av interferenser vid samlokalisering och har även fördelar vid hopkoppling av flera SKB-nät till ett heterogent nät.

FOI-R--5066--SE

Referenser

- [1] T. Clausen and P. Jacquet. Optimized link state routing protocol(OLSR). RFC 3626, IETF, Network Working Group, oktober 2003.
- [2] A. Hansson, J. Nilsson, and S. Sterner. Evaluation of a multi-layer OLSR design for heterogeneous networks. Rapport FOI-R--4879--SE, Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI), Linköping, Sverige, november 2019.
- [3] S. Bergström, J. Nilsson, S. Sterner, and U. Uppman. Routing designs for tactical heterogeneous networks. Rapport FOI-R--5061--SE, Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI), Linköping, Sverige, november 2020.
- [4] M. Hauge and et. al. Heterogeneous tactical networks - improving connectivity and network efficiency. Technical report STO-TR-IST-124, NATO RTO, 2018.
- [5] F. Eklöf and B. Johansson. Positionsförmedlingstjänst för mekaniserade förband. Technical Report FOA-R--00-01734--SE, Försvarets Forskningsanstalt (FOA), december 2000.
- [6] N. Suri, R. Fronteddu, E. Cramer, M. Breedy, K. Marcus, J. Nilsson R. Velt, M. Mantovani, L. Campioni, F. Poltronieri, K. G. Benincasa, B. Ordway, M. Peuhkuri, and M. Rautenberg. Experimental evaluation of group communications protocols for tactical data dissemination. In *Proceedings of IEEE Military Communications Conference (MILCOM)*, november 2018.
- [7] N. Suri, M. Breedy, K. Marcus, R. Fronteddu, E. Cramer, A. Morelli, L. Campioni, M. Provosty, C. Enders, M. Tortonesi, R. Velt, J. Nilsson, and M. Hauge. Experimental evaluation of group communications protocols for data dissemination at the tactical edge. In *International Conference on Military Communications and Information Systems (ICMCIS)*, maj 2019.
- [8] N. Suri, D. Cansever, L. Landmark, J. Nilsson, B. Wissingh, and L. Zhang. Technical panel: Information-centric networking for tactical data dissemination - Benefits and challenges. In *2018 IEEE Military Communications Conference (MILCOM)*, oktober 2018.
- [9] N. Suri, R. Chadha, C. Danilov, S. Galgano, J. Nilsson, and M. Tortonesi. Technical panel: Emulation-based experimentation for tactical edge network protocols and system. In *2019 IEEE Military Communications Conference (MILCOM)*, november 2019.
- [10] K. Marcus, J. Nilsson, N. Suri, A. Hansson, M. Breedy, R. Fronteddu, and E. Cramer. Emulating synchronized cooperative broadcast in the Anglova scenario and EMANE. In *2020 Military Communications and Information Systems Conference (MilCIS) IEEE Stream*, november 2020.

- [11] Karina Fors and Sara Linder. Konsekvenser av interferensmiljön vid samgruppering av frekvenshoppande radiosystem. Rapport FOI-R--4318--SE, Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI), Linköping, Sverige, december 2016.
- [12] K. Fors, S. Linder, J. Nilsson, and U. Sterner. Effects of interference between co-located frequency-hopping ad hoc networks. In *Proceedings of 2017 IEEE Military Communications Conference (MILCOM)*, oktober 2017.
- [13] U. Sterner, S. Linder, J. Nilsson, and K. Fors. Inter-network interference in synchronized cooperative broadcast systems. In *IEEE Military Communications Conference (MILCOM)*, oktober 2018.
- [14] K. Fors, S. Linder, J. Nilsson, and S. Sterner. Interferenser mellan frekvenshoppande mobila kommunikationsnät. Rapport FOI-R--4671--SE, Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI), Linköping, Sverige, december 2018.
- [15] K. Fors, S. Linder, J. Nilsson, and U. Sterner. Effects of platform EMI in synchronized cooperative broadcast systems. *Submitted to IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, juni 2020.

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



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

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

www.foi.se