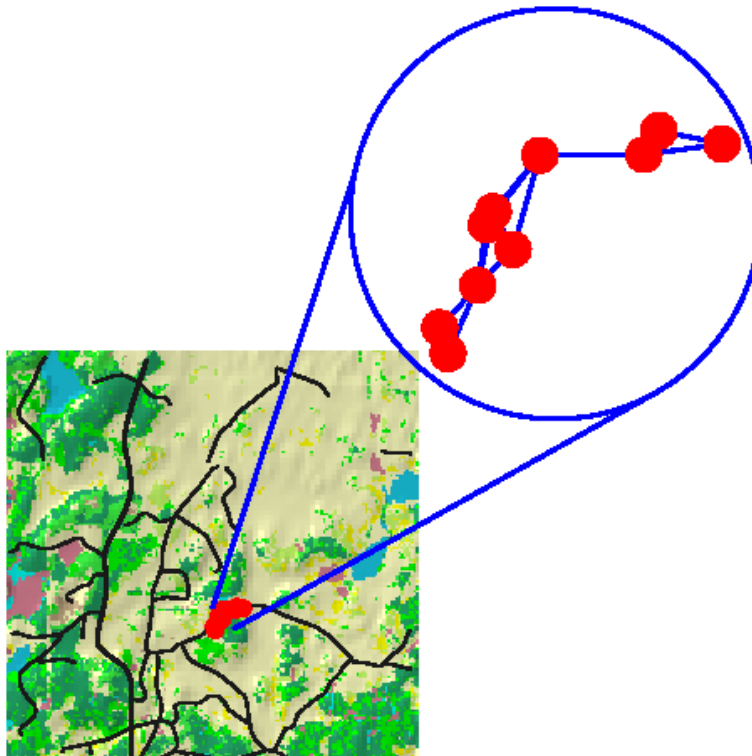


Linda Farman och Ulf Sterner
**En generell trafikmodell för
datafusion i trådlösa
marksensornät**



TOTALFÖRSVAREST FORSKNING SINSTITUT-FOI
Ledningssystem
Box 1165
581 11 LINKÖPING

FOI-R--1470--SE
December 2004
ISSN 1650-1492
Teknisk rapport

Linda Farman och Ulf Sterner

En generell trafikmodell för datafusion i trådlösa marksensornät

Utgivare Totalförsvarest Forskningsinstitut-FOI Ledningssystem Box 1165 581 11 LINKÖPING	Rapportnummer, ISRN FOI-R- -1470- -SE	Klassificering Teknisk rapport
	Forskningsområde 4. Ledning, inforamtionsteknik och sensorer	
	Månad, år December 2004	Projektnummer E7036
	Delområde 42. Spaningssensorer	
	Delområde 2	
Författare Linda Farman och Ulf Sterner	Projektledare Martin Holmberg	
	Godkänd av Lars Bohman	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning FM - Forsvarsmakten	
	Teknisk och/eller vetenskapligt ansvarig Martin Holmberg	
Rapportens titel En generell trafikmodell för datafusion i trådlösa marksensornät		
Sammanfattning <p>För att kunna designa ett lämpligt kommunikationssystem för marksensornät är det viktigt att känna till hur trafiken som sensorerna och datafusionsystemet genererar ser ut. För forskning inom sensornät är det därför värdefullt att ha en realistisk trafikmodell för utvärdering av olika protokoll.</p> <p>Syftet med rapporten är att beskriva en generell trafikmodell för datafusion i marksensornät som återspeglar dataflöden i nätet. För att göra detta används data från marksensornätsdemonstratorn som utvecklats inom projektet Interaktiva Adaptiva Marksensornät (IAM). Datafusionsystemet är tänkt att bestå av ett antal funktioner för att bl. a. kunna följa och klassificera ett objekt samt möjliggöra så att användaren av nätet kan hämta ut informationen. Dessa funktioner skapar olika dataflöden i nätet med olika kommunikationsbehov. Det är dessa flöden, med t ex varierande datamängd, som utgör trafikmodellen för datafusion i sensornät.</p>		
Nyckelord marksensornät, trafikmodell, sensordatafusion		
Övriga bibliografiska uppgifter Sve	Språk Swedish	
ISSN 1650-1492	Antal sidor: 25 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI- Swedish Defence Research Agency Command and Control Systems P.O. Box 1165 SE-581 11 LINKÖPING SWEDEN	Report number, ISRN FOI-R- -1470- -SE	Report type Technical Report
	Programme areas 4. C4ISTAR	
	Month year December 2004	Project No. E7036
	Subcategories 42. Above water Surveillance, Target acquisition and Reconnaissance	
	Subcategories 2	
Author/s Linda Farman and Ulf Sterner	Project manager Martin Holmberg	
	Approved by Lars Bohman	
	Sponsoring agency Swedish Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible Martin Holmberg	
Report title A general traffic model for data fusion in ground sensor networks		
Abstract <p>When designing an appropriate communication system for a ground sensor network it is important to know how the traffic is generated from the sensors and the data fusion system. When evaluating different protocols for sensor networks it is therefore valuable to have a realistic traffic model.</p> <p>The purpose with this report is to describe a general traffic model for the data fusion in a ground sensor network which reflect the data streams. For this we use data from the ground sensor network demonstrator developed within the project Interactive Adaptive Ground Sensor Network. The data fusion system is intended to consist of a number of functions to be able to for example track and classify an object and enable the user to access the information in the network. These functions produce different data flows in the network with different requirements on the communication. These flows, with for example a varying amount of data, constitute the traffic model of data fusion in a ground sensor network.</p>		
Keywords sensor networks, traffic model, sensor data fusion		
Further bibliographic information Swe	Language Swedish	
ISSN 1650-1492	Pages 25 p.	
Price acc. to pricelist		

Innehåll

1	Inledning	9
2	Demonstratorn	13
2.1	Datafusion med verklig sensordata	13
2.2	Kommunikationssystemet	14
3	Trafikmodellen	17
3.1	Ny agent och lokal uppslagning	17
3.2	Flytt av agent	20
3.3	Avgränsning av antalet sensorkällor	20
3.4	Global uppslagning	21
4	Framtida Arbete	23
4.1	Påverkan på informationssystemet	23
4.2	Implementation av modellen	24

Kapitel 1

Inledning

I framtida militära operationer förutspås ett ökande behov av att snabbt kunna samla in och fusionera information så att en korrekt lägesbild kan skapas. Denna lägesbilden antas vara tillgänglig i olika form på alla beslutsnivåer från högrestaber till den enskilda soldaten så att alla kan fatta välunderbyggda beslut.

En viktig komponent för att kunna skapa en korrekt och relevant lägesbild är sensornät som kan samla in information med hjälp av sensorer och sedan fusionera informationen innan den presenteras för användare. För att sensornät ska vara användbara i större skala är det viktigt att de är självupprättande samt kan uppträda autonomt. För att uppfylla dessa krav måste sensorerna och datafusionssystemet ha tillgång till ett kommunikationssystem så att information från olika sensorer kan fusioneras samman.

För att kunna designa ett lämpligt kommunikationssystem för marksensornätet är det viktigt att känna till hur trafiken ser ut som sensorerna och datafusionssystemet genererar. Det är även viktigt att känna till vilka krav på t ex fördröjning, paketförlust och genomströmning som applikationerna har, samt vad effekten blir om kommunikationssystemet inte till fullo kan uppfylla dessa krav. För framtida forskning inom sensornät är det därför värdefullt att ha en realistisk applikationsmodell för utvärdering av olika protokoll.

Inom projektet Interaktiva Adaptiva Marksensornät (IAM) har en marksensornätsdemonstrator utvecklats. Demonstratorn består av tre huvuddelar, ett sensor-system, ett informationssystem samt ett kommunikationssystem. Själva demonstratorn är helt mjukvarubaserad men data från sensorerna baseras på riktig sensordata från fältmätningar.

För att underlätta resultatöverföringen från IAM projektet till framtida kommunikationsprojekt som studerar marksensornät har vi tagit fram en förenklad modell av informationssystemet. Denna modell kan användas som en vanlig applikation i simulatoren för kommunikationssystemet och kräver ingen koppling till vare sig sensorsystemet eller datafusionssystemet i demonstratorn för IAM-projektet.

I tidigare studier har behovet av realistiska trafikmodeller för marksensornäts belysts, se exempelvis [5]. Befintliga applikationsmodeller för marksensornät kan grovt delas in i två grupper. Dels modeller av den typ som sensorsystemet och datafusionssystemet utgör i IAM projektets demonstrator, dels mycket förenklade applikationsmodeller. Den första kategorin erbjuder modeller med mycket hög grad av verklighetsanknytning, se [4]. Modellerna tenderar dock att vara komplexa att använda samt relativt beräkningskrävande. De lämpar sig därför bättre för att utvärdera om ett system kommer att fungera än att studera frågeställningar av mera principiell art som t ex lämpliga kanaltilldelnings- och trafikstyrningsalgoritmer för sensornät.

Typiska modeller av den andra kategorin är likformiga trafikmodeller och delvis likformiga modeller, d.v.s. modeller där alla noder sänder lika mycket trafik till alla samt modeller där de flesta sänder trafik till några få noder. Exempel på denna typ av modell finns i [5] där ett sensornät ska detektera gasutsläpp. Så fort en sensor detekterar gasen börjar den sända sensordata till en kontrollenhet. Överföringen mellan källa och sänka är konstant med en paketstorlek på 256B som sänds med 1 paket per sekund. Då de noder som observerar gasutsläppet troligen ligger i samma geografiska område uppstår mycket olika trafikbelastning i olika områden med denna modell. En brist med denna typ av modell är dock att de enbart modellerar trafiken som sensorerna genererar. I många fall kommer dock datafusionssystemet att generera så pass mycket trafik att den inte kan försummas. Den trafik som datafusionssystemet genererar tenderar också att kräva annan typ av trafikstyrning då den är ofta är mer global till sin karaktär.

I denna rapport beskriver vi en applikationsmodell som är ett mellanting mellan de två kategorierna ovan. Modellen inkluderar trafik mellan sensorer och datafusionssystemet, trafik mellan olika delar av datafusionssystemet samt trafik som genereras då användaren vill söka efter information. Då de bakomliggande algoritimerna som informationssystemet använder inte modelleras har trafikmängden satts så att den överensstämmer med den trafikmängd demonstratorn genererar.

Rapporten är organiserad enligt följande. I kapitel 2 beskriver vi den demonstrator som utvecklats inom IAM projektet. I kapitel 3 beskriver vi den generella trafikmodellen som modellerar de trafikflöden som informationssystemet belastar nätet med. Slutligen i kapitel 4 ger vi några förslag på framtida arbete.

Kapitel 2

Demonstratorn

Inom projektet Interaktiva Adaptiva Marksensornät (IAM) har en marksensornätsdemonstrator utvecklats. Demonstratorn består av tre huvuddelar, ett sensorsystem, ett informationssystem samt ett kommunikationssystem. För att få tillgång till visualiseringsstöd samt stöd för att generera scenarion har demonstratorn kopplats samman med Mosart, ett ramverk för att demonstrera forskningsresultat.

Målsättningen med demonstratorn är dels att studera effekterna av att sätta samman sensorer, datafusion och kommunikation i ett system och dels att belysa möjliga framtida forskningsutmaningar. I denna rapport finns enbart en översiktlig beskrivning av demonstratorns uppbyggnad. För en utförligare beskrivning av informationssystemet i demonstrator se [2].

2.1 Datafusion med verklig sensordata

Den sensordata som används i demonstratorn kommer från riktiga marksensorer och är uppmätt vid ett fältförsök genomfört på FOI [3]. Marksensornätet som används vid fältförsöket bestod av 10 sensornoder, fem akustiska och fem seismiska, med 3 sensorer i varje nod. Mätningarna gjordes utmed en smal skogsväg i en skog utanför Linköping. Sensorerna var utplacerade utmed en sträcka på 500 meter utefter vägen, med avståndet 20 till 50 meter från vägen. De objekt som ingick i fältförsöket var sex olika fordon med antingen hjul eller larvband och med olika vikt. Mätningar gjordes separat på varje fordon som körde åt båda

riktningarna på vägen med olika hastigheter.

För att få ut relevant information och försöka minimera eventuella felkällor så fusioneras data från olika sensorer. I demonstratorn används en distribuerad fusionsarkitektur [1]. En fördel med en distribuerad arkitektur är att nätet har förmåga att hantera att sensorer faller bort eller tillkommer. Nedan följer en övergripande beskrivning av datafusionen i demonstratorn. En utförligare beskrivning av datafusionen med koppling till kommunikationen i nätet finns i kapitel 4.

En så kallade spåragent används för att följa ett objekt i sensornätet. Agenten har möjlighet att välja vilka sensorer den ska samla in data ifrån. Agentens uppgift är alltså att fusionera data från sensorerna och den är unik för respektive objekt som registrerats i nätet. För att hålla ner trafiken i nätet flyttar sig agenten mellan sensorerna för att befinna sig så nära som möjligt till objektet den följer.

Sensorerna har möjlighet att ta reda på vilken agent i deras lokala närhet som följer ett visst objekt så att de kan sända sin normalt preprocessed sensor-data dit. En sensor kan även skapa en ny agent ifall ett nytt objekt dyker upp. Systemet tillåter även att användaren söker efter information samt prenumererar på information från systemet, t. ex. existerande objekt.

2.2 Kommunikationssystemet

Det simuleringsverktyg, Aquarius, skrivet i C++, som används för att modellera kommunikationsnätet i demonstratorn är utvecklat på institutionen för Informationsöverföring vid FOI. Programmet speglar i princip de olika lagren i protokollstacken med applikations-, transport-, nät- och länklagret, dock utan någon fullständig implementering av TCP/IP. Simuleringsverktyget låter användaren göra aktiva val på respektive lager, t. ex. typ av trafikstyrningsprotokoll. Det tillåter även användaren att välja hur nätets topologi ska se ut så att olika scenarier kan studeras. Eftersom programmen för datafusionen och kommunikationssystemet är utvecklade i olika språk är dessa sammanlänkade via rmi/jni (remote interface/java native interface).

Tanken i projektet har inte varit att ta fram nya protokoll som är specifika för just sensornät utan istället använda de som finns implementerade i Aquarius, vilka är mer anpassade för mobila ad hoc-nät än sensornät. Målsättningen har i stället varit att studera vilka effekter kommunikationen kan ha på datafusionen.

Data kan t. ex. bli fördröjd p g a för dålig kapacitet på länkar eller att det finns flaskhalsar i nätet. Flaskhalsar kan uppstå om nätet är dåligt förbundet eller om sensorerna helt enkelt ligger placerade på ett olämpligt sätt. Fördröjning kan även bero på att kanaltilldelningsprotokollet inte kan fördela resurserna på ett rättvist sätt. Paket kan även försvinna p g a att kanalen är för dålig eller att trafikstyrningen är felaktig. Dessa faktorer påverkar i sin tur datafusionen i nätet.

Kapitel 3

Trafikmodellen

I detta kapitel beskriver vi hur trafikmodellen fungerar samt vilka parametervärden som är lämpliga att välja. Till skillnad mot många andra trafikmodeller för sensornät modellerar modellen inte enbart trafiken från sensorerna utan även trafiken som datafusionssystemet genererar.

För att skapa en trafikmodell som speglar datafusionen i sensornätet måste de olika kommunikationsbehoven för respektive del i datafusionen identifieras. Nedan följer de behov som finns för att fusionen ska fungera och vad detta innebär rent kommunikationsmässigt. Relevant ur kommunikationssynpunkt är vem som är källa respektive sänka, hur stor datamängd som skickas, storlek på paketen som skickas och om data skickas via unicast eller multicast. Syftet är alltså att identifiera de olika trafikflöden som uppstår i nätet till följd av fusionen och förstå förhållandet mellan dessa.

3.1 Ny agent och lokal uppslagning

Varje objekt som sensorerna registrerar motsvaras av en agent i nätet som hanterar fusionen av data från de sensorer som detekterar objektet. När en sensor registrerar ett nytt objekt i nätet genomför sensorn en så kallad lokal uppslagning för att se om det redan existerar en agent för objektet i fråga. Om en sådan existerar sänder sensorn sin data till agenten, i annat fall skapar sensorn en ny agent.

Då en sensor söker efter en agent med lokal uppslagning skickar sensorn

Segment	Datamängd (bitar)	Hitta agent	Agent finns	Sensorinf. till agent	Flytt av agent	Allmänt paket	Trafikst. vid flytt	Global registrering	Global efterfrågan	Inf. till användaren
Adress	32	x	x				x	x	x	
Position	64	x		x	*10			x	x	x
Tillståndsinf.	704				x					
Riktning	32	x		x	*10					
Agent ID	16	x	*2	x	*10	x	x	x		
Objekt typ	48*10	x			x			x	Obs 16	x
Paket typ	12	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Time stamp	16							x		x
Fel est.	32			x	*10					
Avstånd	32			x	*10					x
Klassning	48*10			x	*10					
Area of interest	4*32								x	
Summa	–	636	76	668	7756	28	609	620	252	572

Tabell 3.1: Trafikflöde för de olika funktionerna.

en förfrågan med unicast till sensorer i den riktning som målet tycks vara. Förfrågan innehåller estimat av objektets typ och position. Förfrågan propageras så länge som avståndet till ursprungsnoden är mindre än sensorns räckvidd. Om någon sensor som mottar förfrågan känner till en agent som kan vara av intresse sänder denna sensor vidare förfrågan till sensorn med agenten. Om agenten anser att den följer samma mål sänds ett svar med unicast till sensorn som frågade. Om inget sådant svar har kommit fram inom 5 sekunder antas den lokala uppslagning ha misslyckats och en ny agent skapas. Se Tabell 3.1 för storlekar på de respektive paketen samt Tabell 3.2 för information om hur de routas. Observeras bör att för alla fall där en explicit paket typ saknas används paket av typen *allmänt paket*.

3.1. Ny agent och lokal uppslagning

Kommunikationssätt	Hitta agent	Agent finns	Sensorinf. till agent	Flytt av agent	Allmänt paket	Trafikst. vid flytt	Global registrering	Global efterfrågan	Inf. till användaren
unicast	x	x	x	x	x		x	x	x
multicast						x			

Tabell 3.2: Kommunikationssätt för de olika funktionerna.

För att öka sannolikheten att nya sensorer som detekterar objektet ska kunna hitta en befintlig agent registreras alla agenter globalt i nätet. Detta sker genom att n stycken registreringspaket sänds ut åt olika håll i nätet. Dessa paket innehåller position, typ, agent-ID, samt ett timestamp. Alla sensorer som mottar ett sådant paket behåller informationen rörande agenten under 60 sekunder. Om agenten fortfarande är aktiv efter denna tid får den registrera sig på nytt i nätet. Behöver någon sensor leta reda på en agent räcker det därmed att träffa på något av dessa spår för att hitta den. Då ett spår påträffas sänds förfrågan vidare till agenten som avgör om det är samma objekt.

Vidare antas att om en agent saknas för ett objekt samtidigt som flera sensorer söker efter agenten så kommer sensorn med lägst adress att skapa agenten. För att underlätta denna process antas de förfrågningar som används vid lokal uppslagning generera en preliminär registrering av en agent i de sensorer som passerar. Denna registrering är dock bara giltig i 5 sekunder varefter den måste ersättas av en riktig registrering om noden verkligen skapar en agent.

Om en sensor mottar två eller flera sådana preliminära registreringar och saknar en riktig registrering sänder sensorn ett meddelande till alla sensorer utom den med lägst adress om att de inte ska skapa en ny agent samt att information om agenten kan fås från sensorn med lägst adress.

3.2 Flytt av agent

Med jämna mellanrum kommer agenten att undersöka vilken sensor som ligger närmast objektet som följs. För att agenten ska kunna göra detta måste det finnas uppgifter om sensorernas position i det lokala området kring sensorn. Om agenten kommer fram till att en annan sensor befinner sig närmare objektet kommer den att flytta över från den nuvarande sensorn till den nya mera närliggande sensorn. Förflyttningen kommer ske genom att agenten skickas via unicast till den nya sensorn. Datamängden som skickas över består av hela agentens tillstånd, så som bl.a. ett unikt ID-nummer (globalt), tillståndsinformation för målspårningen och typ information. Även meddelande om förändring av vägar i nätet, d.v.s. att agenten har flyttat på sig, kommer skickas ut från den gamla sensorn till de sensorer som försett agenten med sensordata. Det kommer också att finnas en vägvisare i den gamla sensorn som hänvisar till den nya sensorn så att sensordata inte försvinner.

3.3 Avgränsning av antalet sensorkällor

Vid fusion är det bra om så många sensorer som möjligt bidrar med sensordata till agenten, men ju fler sensorer som deltar desto mer används nätets resurser i form av bandbredd och energi. Därför måste en avvägning göras mellan kvalitet och resurs. För en enkel modell är det tillräckligt att använda två till tre sensorer för fusionen. Om det är fler sensorer än så undertrycks de genom att deras sensordata inte skickas vidare samt att de inte utför en del av sin signalbehandling. Rent kommunikationsmässigt innebär det att agenten, efter beräkningar, skickar meddelande via unicast till de sensorer som inte ska skicka sensordata. Meddelandet innehåller ID-numret på agenten och en flagga som talar om att sensorn inte ska skicka sensordata.

För att åter aktivera en sensor som är undertryckt skickas ett nytt meddelande till sensorn via unicast. Meddelandet innehåller ID-numret på agenten och en flagga som talar om att sensorn ska börja skicka sensordata. För att genomföra avgränsning/aktivering används paket av typen *allmänt paket*.

Den paketetyp som används för att avgränss antalet sensorkällor är

3.4 Global uppslagning

Lokal uppslagning hanterar bara själva informationshanteringen mellan sensorerna och agenterna i nätet. För att sensornätet ska fylla sin funktion måste informationen från sensornätet nå användaren. Detta sker genom så kallad global uppslagning.

Vid global uppslagning används den information som agenten har registrerat globalt i nätet. När en användare söker efter information i nätet sänder den ut meddelande åt n olika håll via unicast. När ett meddelande når en sensor som nyligen fått ett registreringsmeddelande från en agent om ett objekt som matchar användarens förfrågan så skickar sensorn svar via unicast till användaren. Svaret innehåller endast information om adressen till den sensor som har den efterfrågade informationen. Användaren kan sedan kommunicera direkt med agenten. Se Tabell 3.1 för storlekar på paketen samt Tabell 3.2 för information om hur de skickas. För att denna metod för global och lokal uppslagning ska fungera måste alla korsande länkar tas bort ur nätet när valet görs till vilka sensorer som förfrågan ska sändas vidare till, d.v.s. en så kallad Gabriel graf måste skapas. För att göra detta antar vi att information från trafikstyrningsnivån kan användas, d.v.s. ingen extra trafik behöver sändas.

Kapitel 4

Framtida Arbete

I detta kapitel beskriver vi de framtida aktiviteter som avses att genomföras för att skapa en djupare förståelse av de forskningsutmaningar som finns inom området kommunikation i marksensornät. Fokus för denna verksamhet är dels en ökad förståelse för hur kommunikationssystemet påverkar informationssystemet samt dels att skapa en implementation av den i rapporten beskrivna modellen.

4.1 Påverkan på informationssystemet

För att kunna designa och utvärdera kommunikationssystem för marksensornät behövs en ökad förståelse för hur kommunikationssystemet påverkar informationssystemet. Viktiga frågor att utreda här är hur informationssystemet påverkas av höga fördröjningar och paketförluster hos kommunikationssystemet.

För att utreda denna fråga närmare behövs ytterligare testkörningar av demonstratorn genomföras. Vid dessa testkörningar bör olika konfigurationer hos kommunikationssystemet utvärderas med hjälp av prestandamått för informationssystemet. Fokus vid val av lämpliga konfigurationer hos kommunikationssystemet bör främst fokus ligga på parametrar med en tydlig koppling till fördröjningar och paketförluster. Exempel på sådana parametrar kan var kapaciteten på länkarna och buffertstorlekar i noderna. En utvärdering av kommunikationssystemets påverkan på informationssystemet avses att genomföras under 2005.

4.2 Implementation av modellen

För att öka relevansen hos framtida studier av kommunikationssystemet för marksensornät är det viktigt att trafikmodellen implementeras så att den kan användas. Den beskrivna modellen passar för att implementera i den befintliga simuleringsmiljön för kommunikationssystemet, Aquarius. Vissa förändringar i befintliga moduler behöver dock ske. Dessa förändringar berör främst det transportprotokollet som finns implementerat i Aquarius samt möjligheten att hantera de koordinaterna för de objekt som triggar sensorerna i Aquarius.

Det nuvarande transportprotokollet i Aquarius tillåter inte att kommunikation mellan portar med olika nummer. För att trafikmodellen ska kunna implementeras på ett logiskt sätt behöver transportprotokollet generaliseras så att det tillåter kommunikation mellan olika portnummer.

Vidare är den modul som hanterar nätets topologi i Aquarius konstruerad under antagande att alla noder som vi har koordinater för är med i kommunikationssystemet. För att kunna trigga sensorerna behöver vi dock införa ytterligare objekt i systemet. För att kunna hantera dessa objekt behöver vissa förändringar i topologimodulen genomföras. En implementering av trafikmodellen avses att genomföras under 2005.

Litteraturförteckning

- [1] Mikael Brännström, Ron Lennartsson, Andris Lauberts, Hans Habberstad, Erland Jungert och Martin Holmberg. Distributed data fusion in a ground sensor network. I Per Svensson och Johan Schubert, redaktörer, *Proceedings of the Seventh International Conference on Information Fusion*, årgång II, sida 1096–1103, Mountain View, CA, Jun 2004. International Society of Information Fusion.
- [2] Mikael Brännström. En arkitektur för ett autonomt marksensornät. Teknisk rapport FOI-R-0500-SE, Div. of Command and Control Systems, FOI, Swedish Defence Research Agency, Linköping, 2002.
- [3] Habberstad Hans. Fältförsök med akustiska och seismiska givare i nätverk. Metodrapport FOI-R-1087-SE, Div. of Command and Control Systems, FOI, Swedish Defence Research Agency, Linköping, 2003.
- [4] John Heidemann, Fabio Silva och Deborah Estrin. Matching data dissemination algorithms to application requirements. I *Proceedings of the ACM SenSys Conference*, sida 218–229, Los Angeles, California, USA, November 2003. ACM.
- [5] Maneesh Varshney och Rajive Bagrodia. Detailed models for sensor network simulations and their impact on network performance. I *Proceedings of the Seventh ACM/IEEE International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM 2004)*, Venice, Italy, Oct 2004.