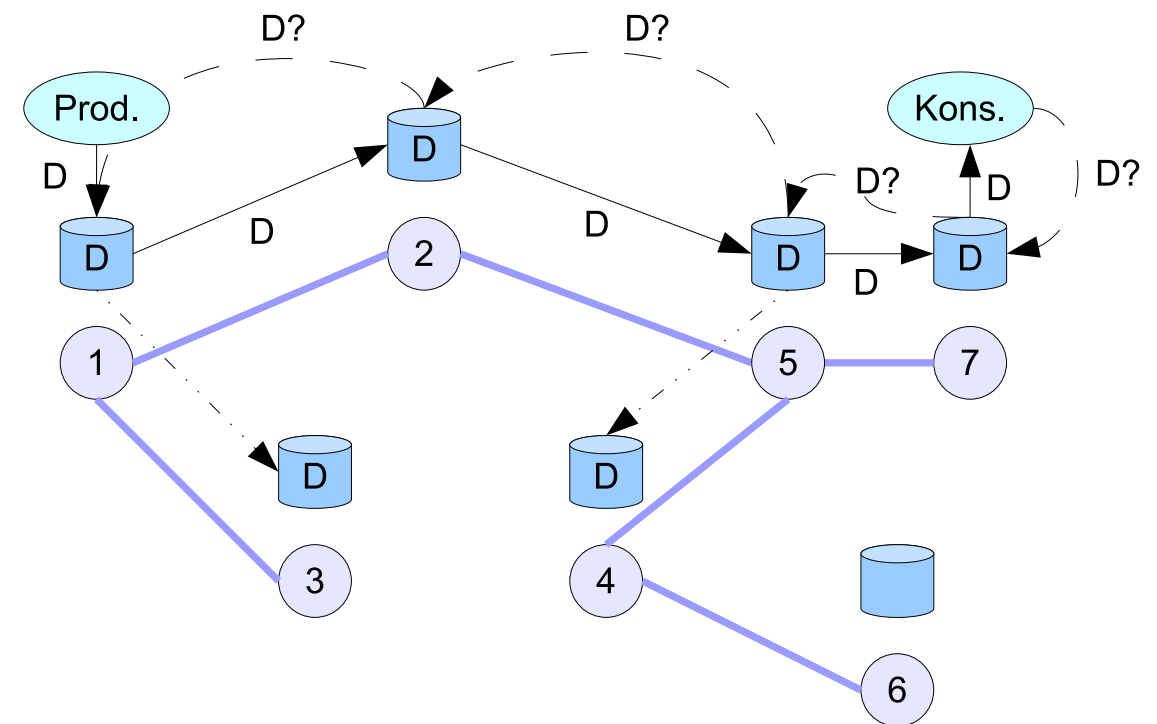


ULF STERNER, ANDERS HANSSON,
JAN NILSSON, JIMMY KARLSSON



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.

Ulf Sterner, Anders Hansson, Jan Nilsson,
Jimmy Karlsson

Databasreplikering i mobila ad hoc-nät

Titel	Databasreplikering i mobila ad hoc-nät
Title	Database Replication i Mobile Ad Hoc Networks
Rapportnr / Report No.	FOI-R--3144--SE
Rapporttyp	Användarrapport
Report Type	User Report
Månad / Month	December / December
Utgivningsår / Year	2010
Antal sidor / Pages	27
ISSN	1650-1942
Kund / Customer	FM
Projektnr / Project No.	E53056
Godkänd av / Approved by	Magnus Jändel

FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut	FOI, Swedish Defence Research Agency
Avdelningen för Informationssystem	Information Systems
Box 1165	P.O. Box 1165
581 11 LINKÖPING	SE-581 11 LINKÖPING

Sammanfattning

Många av de tjänster som är väsentliga i ett taktiskt mobilt ad hoc-nätverk kan dra nytta av en distribuerad databasstruktur som effektivt tillgängliggör data. I rapporten undersöks hur data effektivt kan replikeras från en av producentdatabaserna i en sådan struktur till konsumenternas databaser i ett mobilt ad hoc-nät, dvs ett nät där topologin ständigt ändras. Fyra tjänster behandlas; en stridsledningstjänst, en soldatstatusstjänst, en videodistributionstjänst och en positionsdistributionstjänst. Dessa klassificeras utifrån deras principiella egenskaper som sedan används för att bedöma vilken av dataspridningsmetoderna som är lämplig.

I rapporten jämförs två möjliga dataspridningsmetoder. En baserad på mellanlagring av tidigare efterfrågad data och en baserad på att data aktivt sprids till noder där den ofta är efterfrågad. Vi jämför även med två referensmetoder, en som bygger på att data alltid hämtas hos producenten och en som bygger på att all data sprids till alla. Metoderna jämförs utifrån deras kapacitetsbehov. Vilken av metoderna som fungerar bäst beror på tjänstens egenskaper, men i de flesta fallen bör metoden med mellanlagring användas.

Nyckelord: distribuerade databaser, dataspridning, mobila trådlösa nät, stridsledningstjänst, soldatstatus, videodistribution, positionsdistribution, mellanlagring, aktiv spridning

Abstract

Many of the services presumed to be vital in a mobile, tactical network can take advantage of a distributed database system with effective data dissemination. Investigated are methods for effective data replication from one of the producer databases in such a database system to the databases of the consumers in a mobile ad hoc network, i.e., a network with constantly changing topology. Four services are treated; a command and control service, a service for soldier status information, a service for video distribution, and a service for positioning distribution. These services are classified according to their principle properties in order to determine which of the data dissemination methods that is suitable.

In this report we compare two possible methods for data dissemination. One design utilizes caching of requested data along the transmission path and the other pre-emptively disseminates data to the units where it's in highest demand. Furthermore, we also compare with two reference methods; one where no data is transmitted unless a specific request from a unit has occurred and one with total data dissemination, i.e. all data is relayed to all units. The methods are compared with respect to their capacity demands. The properties of the service determine which of the methods that works best. However, in most cases is the best method the one with caching.

Keywords: distributed database, data dissemination, mobile wireless networks, ad-hoc networks, command and control service, soldier status information, video distribution, positioning distribution, caching, replication

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
2	Tjänster	9
2.1	Ledningstjänst (SLB)	9
2.2	Soldatstatustjänster	9
2.3	Videodistribution	9
2.4	Positionsdistribution	10
2.5	Sammanfattning av tjänsternas egenskaper	10
3	Utvärderade metoder	13
3.1	Producentförfrågning	13
3.2	Fullständig spridning	13
3.3	Mellanlagring av data	15
3.4	Partiell spridning	16
4	Simuleringsresultat	19
4.1	Kommunikationssystem	19
4.2	Scenarier	19
4.3	Variation av antalet konsumenter	20
4.4	Partiell spridning vs. mellanlagring	21
4.5	Effekter av kapacitetsbegränsningar	23
4.6	Lämplig design för användarscenarion	23
5	Slutsatser	25
	Referenser	27

1 Inledning

Detta är en slutrapport för projektet Distribuerade databaser för trådlösa mobila nät, som finansierats av FOI:s Strategiska forskningskärnor. Projektets mål har varit att ta fram lösningar för distribuerade databaser som fungerar i de mobila trådlösa nät, mobila ad hoc-nät, som erbjuder taktisk kommunikation för rörliga förband. Den främsta nyttan för Försvarsmakten är att FOI bygger kompetens för att stödja Försvarsmakten med kompetens vid kravställning av kommande ledningssystem. Tidigare publicerade rapporter i projektet är [1, 2].

För att kunna uppfylla målbilden i FMLS finns ett stort behov av en distribuerad databasstruktur som stödjer både katalogtjänster så som Domain Name System (DNS) och rena användartjänster så som gemensam lägesbild. Den stora utmaningen vid designen av dessa databaser är att få dem att fungera i de mobila trådlösa nät som erbjuder taktisk kommunikation för de rörliga förbanden. I dessa nät varierar de tillgängliga kommunikationsresurserna kraftigt både i tid och rum från relativt goda till helt obefintliga.

Många av de tjänster som är väsentliga i ett taktiskt mobilt nät innebär att data genereras, lagras och hämtas i nätet under ett uppdrag. Vi kallar de noder som genererar data för producenter och de noder som efterfrågar data för konsumenter. Gemensamt för många forskningsinriktningar inom området distribuerade databaser i mobila nät är antagandet om att kommunikationsresurserna är tillräckliga när de är tillgängliga. Ett antagande som knappast gäller för tillämpningar i taktiska radionät. Som komplement till dagens system behöver därför nya metoder för databaser utvecklas för rörliga förband, med fokus på ett effektivt resursutnyttjande av den begränsade kommunikationsresursen.

Projektet fokuserar på dataspridning, eftersom det antagligen är den största utmaningen för att hantera de taktiska tjänster som vi utvärderar. Data uppdateras oftast inte, vilket är vanligt i till exempel bank-databaser, utan ny data produceras ständigt i nätet och har en bestämd livslängd. En stor del av forskningen om dataspridning i mobila ad hoc-nät baseras på civila system och ett vanligt antagande är att datalagringskapacitet är den mest begränsade resursen. Eftersom analysen baseras på taktiska mobila ad hoc-nät med förhållandevis låg dataakt (jämfört med civila system), så antar vi i detta arbete att det snarare är kommunikationsresurserna som är mest begränsande för tjänsternas prestanda. Detta tillsammans med krav på hög flexibilitet innebär att distribuerade lösningar utan centrala noder kan vara att föredra.

För att värdera olika metoder för dataspridning analyserar vi fyra olika taktiska tjänster, varav tre beskrevs i projektets förra rapport [2]: stridsledning (SLB), soldatstatusdistribution, videodistribution och positionsdistribution. Gemensamt för tjänsterna är att producerad data inte förändras men att ny, mer

aktuell, information ständigt produceras i nätet. Dessa tjänster har olika egenskaper vad gäller till exempel producenter, konsumenter, andel dataobjekt som konsumeras och dataobjektens storlek.

Vi utvärderar fyra möjliga metoder för att hantera databaser i taktiska mobila nät, varav två kan ses som referensmetoder. Den grundläggande funktionen hos de fyra metoderna är:

- tidigare efterfrågad data mellanlagras,
- data sprids i förväg till noder där informationen ofta efterfrågas,
- data hämtas alltid hos producenten (referensmetod),
- all data sprids till alla (referensmetod).

I kapitel 2 jämför vi principiella egenskaper hos de fyra tjänsterna som ligger till grund för utvärderingen. Kapitel 3 beskriver de fyra metoder för dataspridning som har analyserats. Kapitel 4 innehåller förutsättningarna för det kommunikationssystem som har simulerats samt resultaten av simuleringarna. De parametrar som har studerats är: antal konsumenter, dataobjektstorlek samt andelen efterfrågade dataobjekt av de dataobjekt som produceras. I kapitel 5 sammanfattas slutsatserna från utvärderingen.

2 Tjänster

För att kunna värdera olika distribuerade dataspridningsmetoder behöver scenarier med tillhörande tjänster definieras. Det som behöver beskrivas är vilka enheter/noder som ingår samt hur dataflödena mellan noderna ser ut. Framför allt måste sceneriet definiera vilka som är konsumenter och producenter, dvs. vilka som genererar data och vilka som har behov av data. Storleken på data som ska spridas och hur ofta konsumenterna efterfrågar data behöver också definieras.

I den tidigare rapporten [2] fokuserade vi på de tre tjänster; stridsledningstjänst (SLB), soldatstatus- och videodistributionstjänst. Dessutom beskrevs översiktligt också några andra tjänster i [2]. Vi beskriver nedan kortfattat de tre tjänsterna igen plus positionsdistribution och dess egenskaper.

2.1 Ledningstjänst (SLB)

I SLB-systemet sprids information med hjälp av olika oleat. I första hand är det som sprids planer och mer strategisk information, t.ex. vad eget förband skall uppnå, målbild, hur planerad verksamhet ska genomföras mm. Oleaten produceras företrädesvis uppifrån och ner, dvs. av bataljonschefer och kompanichefer och sprids ner till lägsta nivå utrustad med SLB-system. Relevant för vårt scenario är de oleat som kompanichefen producerar och som sprids ner till plutonerna.

2.2 Soldatstatus-tjänster

Denna tjänst är kanske framförallt av intresse i övningsverksamhet eftersom det är tveksamt om soldaterna vill sprida sin statusinformation i ett skarpt läge. Varje soldat är utrustad med sensorer som registrerar position, puls, förbrukad ammunition mm. Soldaterna skickar sedan sin statusinformation till en fusionsnod som sammanställer och analyserar soldatstatusinformationen. På så sätt kan en lägesbild för lämpliga delar, eller hela förbandets status skapas.

2.3 Videodistribution

För övervakning och för att kunna skapa en lägesbild är transmission av video/videoklipp och bildsegment en efterfrågad tjänst. Ett sätt att spara kapacitet

är att inte sända video kontinuerlig när inget händer utan bara sända videoklipp av händelser. Men även sådana videoklipp är stora, jämfört med de dataobjekt som ska sändas i de andra scenarierna. Detta samt att det kan förväntas vara relativt få konsumenter skiljer videoscenariot från de övriga scenarierna. De noder/enheter som genererar videoklipp/bilder kan vara av olika typer, t ex, soldater, fordon, sensorer, UGVer och UAVer. Videoklippen sammanställs i en fusionsnod, t ex lokaliserad i ledningsvagnar. Soldater eller noder som har behov av att undersöka ett visst område kan sedan göra en förfrågan hos fusionsnoden efter relevanta videoklipp.

2.4 Positionsdistribution

På grund av positionsdistributionstjänstens centrala betydelse för att skapa en gemensam lägesbild samt att dess trafikmodell skiljer sig från övriga ledningstjänster tas den med som en separat tjänst fast den egentligen kan ses som en del av ledningstjänsten. Tjänsten kan realiserars på många olika sätt men den principiellt enkla varianten vi antar är att alla noder skickar sina positioner till alla andra noder i förbandet med vissa intervall. Det innebär att alla noder är producenter och alla är konsumenter. Vidare antar vi att man vill skicka positionsuppdateringarna ofta. Det finns förstås många andra varianter, t.ex. att positionerna bara sprids till de närmast berörda noderna som ligger t ex max två hopp bort. Sedan kan det också vara fördelaktigt att aggregera positionsinformation som ska skickas.

2.5 Sammanfattning av tjänsternas egenskaper

Det finns ett antal principiella egenskaper hos tjänsterna som är viktiga att ta hänsyn till vid val av databaslösning. Vi har gjort en grov indelning av egenskaperna i Tabell 2.1. Antal konsumenter är grovt klassificerade som få, mellan och många. På samma sätt klassificeras andel dataobjekt som konsumeras, t.ex. med många menas att konsumenterna är intresserade av alla, eller nästan alla dataobjekt en producent genererar. Storleken av ett dataobjekt grupperas i små, mellan och stora. Med storleken små menas ett dataobjekt i samma storleksordning som storleken på en fråga, max några hundra bitar. Bara videoklippen betraktas som stora, från 500 Kbitar och uppåt. Vi gör ingen skillnad rörande antalet producenter mellan tjänsterna. Det som händer när antalet producenter ökar är att trafiklasten ökar med samma faktor som antal producenter för de olika dataspridningsmetoderna som undersöks.

	Producent	Konsument	Antal konsumenter	Andel dataobjekt som konsumeras	Dataobjekt storlek
Lednings-tjänst	ledningsfordon	underställda	många	mellan	mellan
Video	UAV/senor → databas	gruppchef/ soldater	få	få	stora
Soldatstatus	alla/stridande → databas	stab/lednings- fordon	mellan	många	små
Positions-distribution	alla/stridande	alla/stridande	många	många	små

Tabell 2.1: Principiella egenskaper hos tjänsterna

3 Utvärderade metoder

I detta kapitel ger vi en övergripande beskrivning av de fyra metoderna för dataspridning som vi har studerat inom ramen för detta projekt. Vi börjar med att beskriva metoden som bygger på att data hämtas då den behövs, vi går sedan vidare och beskriver en metod där data sprids i förväg till alla noder. Båda är etablerade metoder för dataspridning som vi här främst ser som referensmetoder vid utvärderingen.

Vi presenterar sedan de designförslag som tagits fram inom ramen för detta projekt. Det ena förslaget bygger på mellanlagring av tidigare efterfrågad data medan den andra bygger på att data sprids i förväg till noder där det ofta är efterfrågad. Båda algoritmerna har likheter med tidigare beskrivna algoritmerna men en del anpassningar har gjorts till våra antaganden rörande kommunikationsresurser och minnestillgång. För en mera utförlig beskrivning av algoritmerna se [2].

Samtliga metoder här förutsätter att den data som hanteras har en överlevnadstid. När denna har gått ut antas data vara oanvändbar. Vidare har vi antagit att alla noder har ett tjänsteregister där alla dataproducenter är registrerade. En nod som vill ha viss data behöver således inte leta efter var data finns utan kan fråga producenten direkt.

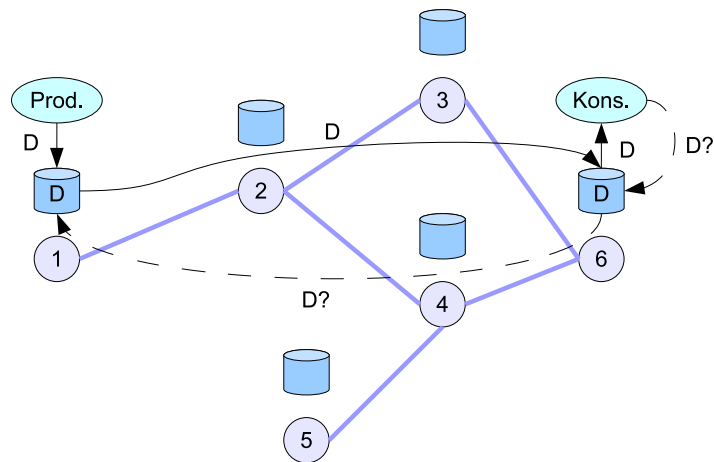
3.1 Producentförfrågning

I ett nät där producentförfrågning används skickas inget data förrän den efterfrågas. Utöver tjänsteregistret förutsätter inte metoden någon sidoinformation så som kunskap om vem som utnyttjar en viss tjänst.

Om en nod behöver ett viss data och inte själv har det skickas en förfrågan till den nod som producerar efterfrågad data varpå denna skickar objektet till konsumenten. I Figur 3.1 vill nod 6 ha tillgång till data producerat i nod 1. Nod 6 sänder då en fråga till nod 1 som svarar nod 6 med efterfrågad data.

3.2 Fullständig spridning

För att på ett effektivt sätt sprida information till en grupp av noder i ett ad hoc-nät utnyttjas normalt någon form av multicast-metod. Dessa baseras ofta på att ett multicast-träd skapas. Trädet innehåller alla noder som ska ha meddelandet samt eventuellt några extra som behövs för att meddelandet ska nå hela gruppen.



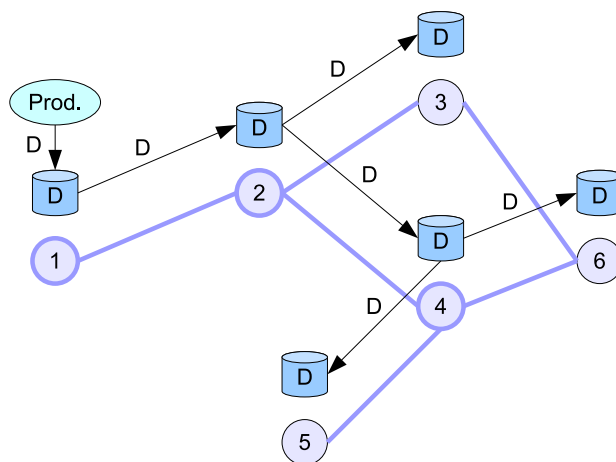
Figur 3.1: Nät utan distribuerad databas. Eftersökt data hämtas alltid hos producentnoden om den inte finns i den lokala databasen hos konsumenten.

Den stora utmaningen ligger i att på ett kostnadseffektivt sätt skapa och underhålla ett multicast-träd för olika grupper av noder. Att generera optimala träd i nät som förändras över tiden är knappast realistiskt. I stället gäller det att hitta algoritmer som kan generera och underhålla tillräckligt bra träd till en rimlig kostnad. Vi väljer här att fokusera på multicast-träd som når alla noder i nätet.

En metod för att skapa multicast-träd är att skapa lokala träd som är bra och sedan kombinera dessa till globala träd. Det globala trädet blir visserligen inte optimalt, men ofta blir det tillräckligt bra. Denna teknik används av exempelvis routingprotokollet Optimized Link State Routing Protocol (OLSR) [3] för att sprida information.

Alla noder antas i OLSR känna till alla sina enhopps- och tvåhoppsgrannar samt alla länkar mellan dessa noder. Noder utser ett antal av sina enhoppsgrannar till så kallade MultiPoint Relays (MPR). MPR-noderna väljs så att om alla MPR-noder återutsänder ett meddelande från noden som valde dem så skall alla tvåhoppsgrannar till ursprungsnoden få meddelandet.

Vid valet av MPR-noder försöker noden normalt att minimera antalet återutsändningar, dvs. välja så få MPR-noder som möjligt. Vill vi sprida ett meddelande längre än två hopp så låter vi först ursprungsnodens MPR:er sprida meddelandet till alla tvåhoppsgrannar. De tvåhoppsgrannar som är valda till MPR-noder av ursprungsnodens MPR-noder sänder sedan meddelandet till alla trehoppsgrannar och så vidare. För att undvika återutsändning av redan sända meddelanden antas noderna hålla koll på vilka paket de har sänt vidare. I Figur



Figur 3.2: Nät där all data sprids till alla noder i nätet med hjälp av ett multicast-träd.

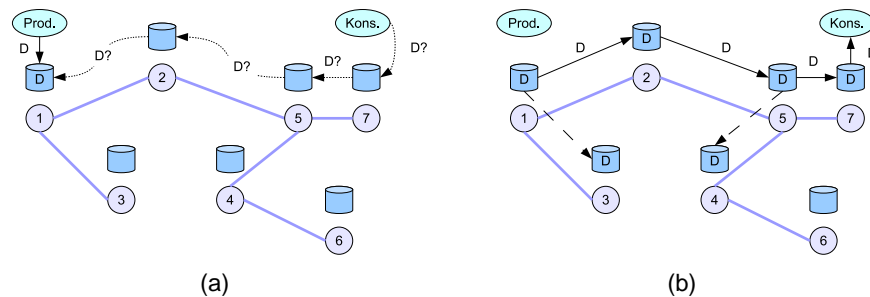
3.2 visas ett exempel på ett multicast-träd med nod 1 som startnod. Nod 2 är här en MPR för nod 1 medan nod 2 har valt nod 4 som MPR.

3.3 Mellanlagring av data

Att mellanlagra tidigare efterfrågad data (s k caching) och låta nya förfrågningar använda sådan data är idag en vanlig metod för att minska trafiken i fasta IP-nät. För att mellanlagring av data ska vara effektivt krävs att många användare vill komma åt samma data. Sannolikheten för detta ökar givetvis om många användares förfrågningar passerar genom samma mellanlagringsplats. Vanligen sker därför lagringen på platser i nätet där mycket trafik passerar.

Att införa tekniken i ad hoc-nät introducerar ett antal nya utmaningar då topologin och trafikflödena ständigt förändras. Möjligheten att använda mellanlagring i mobila ad hoc-nät har studerats. Normalt antas alla noder ha förmåga att lagra data som passerar dem. Minnet antas dock vara begränsat så frågan vad som ska lagras är central. För en beskrivning av några existerande metoder se [2]. De i detta arbete gjorda antagandena om att minnestillgången är god men kommunikationsresurserna är begränsade leder till lite annorlunda konstruerade algoritmer.

I stället för att utse vissa noder som ansvariga för mellanlagringen av data antar vi här att alla noder är ansvariga, givet att de har förmågan. Ad hoc-nätets inneboende brist på struktur gör dock att risken är stor att förfrågningar efter



Figur 3.3: Nät med reaktiv mellanlagring. Nod 7 söker efter objektet D publicerat i nod 1. Eftersom ingen nod längs vägen har objektet svarar nod 1.

data inte passerar noder med mellanlagrad data utan i stället hamnar hos källan.

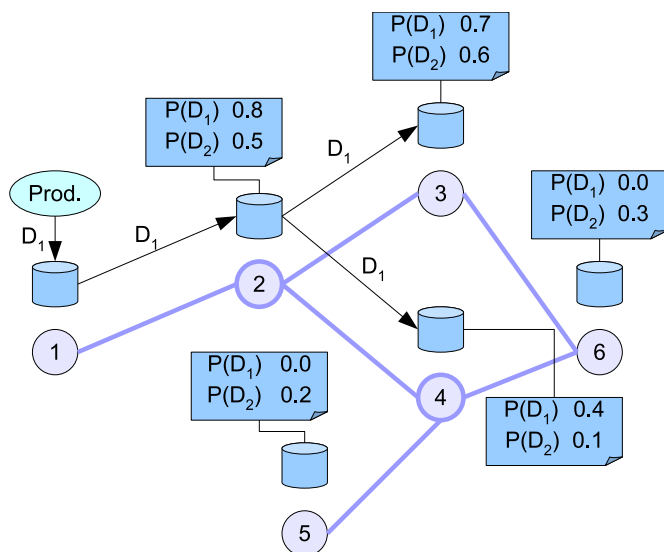
I Figur 3.3(a) och 3.3(b) visas ett exempel på hur den använda algoritmen för mellanlagring av data fungerar. I Figur 3.3(a) ska nod 7 ha tillgång till objektet D som produceras i nod 1. Nod 7 sänder då en fråga till nod 1 via nod 5 och 2. Varken nod 2 eller nod 5 har det eftersökta objektet utan frågan hamnar hos nod 1. I 3.3(b) svarar nod 1 nod 7 med objektet D. Svaret sänds via nod 2 och 5. Vi antar här att alla enhopps-grannar till de noder som reläerar svaret kan höra svaret samt att de lagrar svaret i sina respektive databaser. Genom detta förfarande uppnås en klart bättre spridning än om enbart de reläande noderna hade lagrat data.

När nod 6 i Figur 3.3(a) efterfrågar samma data sänder noden även här en fråga till nod 1. När förfrågan når nod 4 har denna nod redan efterfrågad data i sin databas och svarar nod 6 direkt utan att sända vidare förfrågan.

3.4 Partiell spridning

Det finns idag gott om algoritmer som aktivt sprider data till de noder som bäst behöver den. De allra flesta bygger dock på grundantagandena att lagringskapaciteten utgör den största begränsningen medan kommunikationsresursen är tillräcklig. Våra grundantaganden att minnet är tillräckligt medan kommunikationsresursen begränsad gör därför att algoritmerna behöver anpassas för att fungera väl.

Vi väljer här att utnyttja samma grundmetod som vid fullständig spridning. Det vill säga vi bygger inget specifikt träd utan utnyttjar MPR-noderna för att sprida data. För att reducera antalet noder som får data som de inte har något behov av väljer vi att enbart låta MPR-noder som bedömer att deras egen medverkan i spridningen leder till ett tillräckligt högt mervärde delta. För att



Figur 3.4: Nät med partiell spridning av data. Nod 1 har producerat ett objekt av typen D_1 . Objektet sprids till de noder som har uppgett att de har intresse för objekt av typen D_1 dvs. nod 2 3 och 4.

uppskatta mervärdet undersöker en MPR-nod vilka tvåhopsgrannar till noden som valde den som den kommer att nå om den reläer ett paket. Noden undersöker sedan om det finns router till de noder som nyttjar data som går via dessa noder. Om så är fallet väljer noden att relä paketet.

För att metoden ska fungera krävs att noderna har en uppfattning om vilka noder som är intresserade av viss data. Av de utvärderade metoderna är denna den enda med sådana krav.

I Figur 3.4 kan vi se ett exempel där nod 1 producerat data av typ D_1 . De olika nodernas estimerade användningsfrekvens av D_1 betecknar vi med $P(D_1)$. Vi har här valt nod 2 och 4 som MPR-noder. Nod 1 kommer här att sända D_1 till nod 2. Eftersom både nod 3 och 4 har ett intresse av objektet kommer nod 2 att relä det vidare till nod 3 och 4. Nod 4 kommer dock inte att relä vidare trots att den är en MPR-nod då varken nod 5 eller 6 har något intresse av objekt av typen D_1 .

Situationen förändras om nod 1 producerar ett objekt av typen D_2 . I detta fall kommer både nod 2 och 4 att relä objektet då nod 5 och 6 är intresserade av objekt av typen D_2 .

4 Simuleringsresultat

För att utvärdera hur de i kapitel 3 beskrivna metoderna fungerar har vi genomfört simuleringar. Vi presenterar resultatet av dessa i detta kapitel. Vi börjar med att kort beskriva hur själva kommunikationssystemet är modellerat samt de använda scenarierna innan vi presenterar simuleringsresultaten.

4.1 Kommunikationssystem

För att kunna utvärdera hur de studerade algoritmerna fungerar i ett mobilt ad hoc-nät har vi använt oss av en relativt idealiserad modell av ett ad hoc-nät. För att avgöra vilken väg trafiken ska ta genom nätet använder vi för unicasttrafiken ett idealiserat routingprotokoll som beräknar router utifrån kortaste vägen mätt i antal hopp. Vidare antar vi att routingprotokollet kan beräkna vilka noder som är lämplig som MPR noder, se avsnitt 3.2.

För att fördela radioresursen mellan de olika noderna använder vi ett idealiserat trafikadaptiv TDMA-protokoll. Genom att använda ett TDMA-protokoll kan vi åstadkomma radiomässig broadcast, dvs en nod kan via en sändning nå alla sina enhoppsgrannar. Detta är väsentligt för alla de utvärderade metoderna förutom metoden användarförfrågan vilken enbart sänder unicasttrafik.

Det är här viktigt att observera att målsättningen med utvärdering är att, för ett givet scenario, avgöra vilken databasmetod som är att föredra. Vår bedömning är därför att de idealiseringar som det använda kommunikationssystemet medför inte nämnvärt påverkar resultaten.

4.2 Scenarier

Vid utvärderingen av databaserna har vi valt att betrakta ett stort antal principiella scenarion. Några av dessa kan anses representera de i kapitel 2 beskrivna användarscenariona. Flertalet har dock ingen direkt koppling till ett användarscenario utan utvärderas främst för att skapa en helhetsbild av effekten av olika parametrar.

Antalet parametrar som skulle kunna vara av intresse att studera är i det generella fallet omfattande. Vi har här valt att fokusera på parametrar som leder till olika uppföranden hos de studerade metoderna. Parametrar som främst leder till en skalning av exempelvis systemets trafiklast som är likvärdig för de olika metoderna väljer vi däremot bort.

Två parametrar som faller under den senare kategorin är antalet producenter

och hur ofta producenterna producerar data. Att öka antalet producenter samtidigt som varje konsument konsumerar lika mycket data från varje producent kommer att leda till att samtliga metoders trafiklast ökar med i princip samma faktor. Observeras bör här att detta antagande gäller under förutsättning att data från olika producenter inte läggs samman vid spridning, vilket vi här har valt att inte göra.

På samma sätt innebär en ökning av produktionstakten av ny data, givet att andelen data som konsumeras är konstant, att metoderna skalar likvärdigt. Vi väljer därför att studera följande parametrar:

- Antal konsumenter
- Storleken på dataobjekten
- Andelen av producerad data som efterfrågas

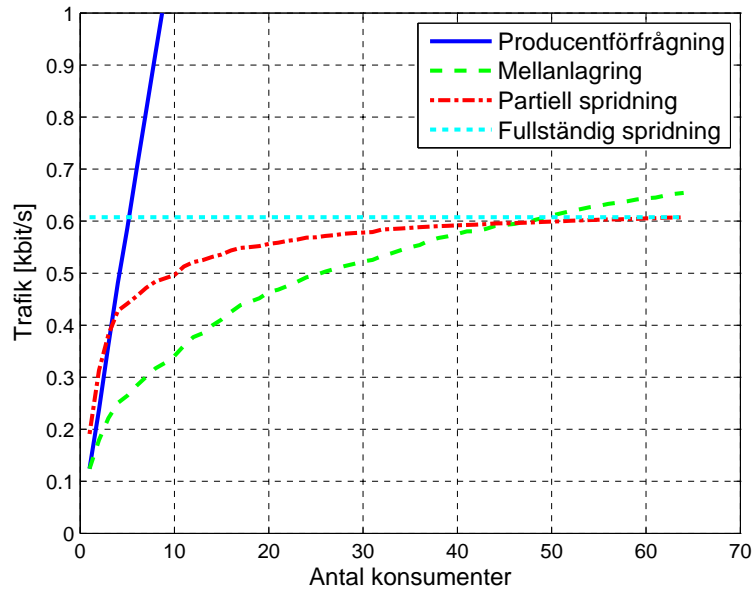
Vid utvärderingen har vi studerat ett helt mobilt ad hoc-nät på 64 noder som rör sig med en hastighet av 72 km/h över ett fyrkantigt område på 8×8 km. För att avgöra vilka noder som kan kommunicera med varandra har vi beräknat länkdämpningen mellan noderna med vågutbredningsberäkningsprogrammet Detvag90[®] [4, 5]. Vi har därefter valt uteffekten i sändarna så att sannolikheten att två godtyckliga noder kan kommunicera vid en godtycklig tidpunkt är 0.95.

4.3 Variation av antalet konsumenter

Vi börjar vår analys av databaserna med att studera hur antalet konsumenter påverkar den trafik som de olika designerna genererar. Vi antar här att vi enbart har en producent av data samt att alla data som produceras konsumeras av konsumenterna. Resultaten från dessa simuleringar presenterar vi Figur 4.1 där vi plottat trafiken som funktion av antal konsumenter för de fyra designerna.

Jämför vi metoderna fullständig spridning och partiell spridning så ser vi att partiell spridning är bättre än fullständig spridning för alla fall förutom när alla noder är konsumenter. Att så är fallet är väntat då partiell spring i fallet att alla är konsumenter fungerar på samma sätt som fullständig spridning. Vidare kan vi konstatera att skillnaden mellan metoderna är relativt liten där mer än hälften av noderna är konsumenter.

Går vi vidare och jämför metoderna producentförfrågning och mellanlagring av data ser vi att mellanlagringsmetoden är bättre än producentförfrågningsmetoden för alla fall förutom när det bara finns en konsument då meto-



Figur 4.1: Genomsnittlig trafiklast för de fyra metoderna som funktion av antalet konsumenter. Konsumenterna efterfrågar 128 bitar stora objekt i genomsnitt var 10 sekund.

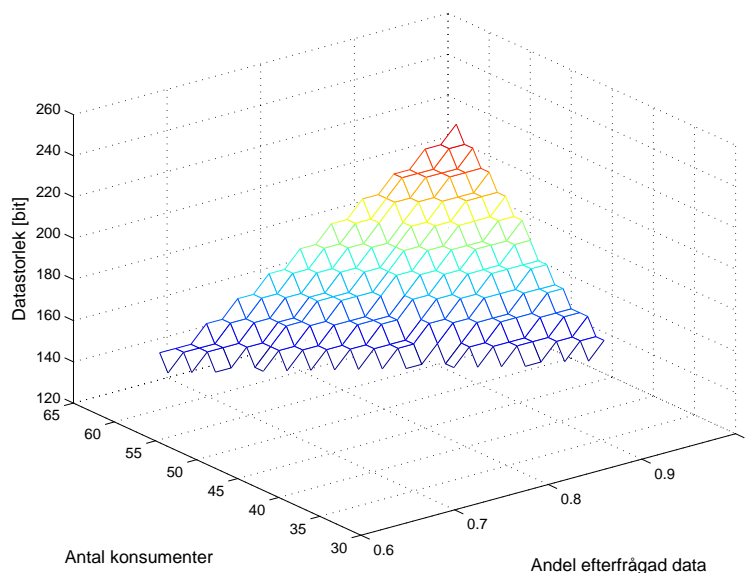
derna ger likvärdiga resultat. Även detta får betraktas som väntat då mellanlagringsmetoden i fallet med en konsument kommer att fungera på samma sätt som producentförfrågningsmetoden. Vidare kan vi konstatera att skillnaden mellan metoderna ökar snabbt då antalet noder ökar i nätet.

En tredje intressant punkt i Figur 4.1 är den där metoderna mellanlagring och partiell spridning skär varandra. Till vänster om den punkten är metoden mellanlagring att föredra. Till höger om punkten är däremot metoden partiell spridning att föredra.

4.4 Partiell spridning vs. mellanlagring

Under förutsättning att vi har tillräckligt med kapacitet för databaserna tycks de tre observationer i avsnitt 4.3 gälla för samtliga scenarier vi har studerat. Vid den fortsatta utvärderingen av databaserna väljer vi därför att studera var skärningspunkten mellan partiellspridningsmetoden och mellanlagringsmetoden ligger istället för att studera den egentliga trafiklasten så som i Figur 4.1.

Detta innebär dock inte att vi anser att de två övriga metoderna inte kan vara lämpliga val. I vissa fall, exempelvis vid väldigt få eller väldigt många



Figur 4.2: I scenarion med parametrar som ligger ovan ytan är metoden som bygger på mellanlagring billigast. För scenarion som ligger under ytan är partiell spridning billigast.

konsumenter, kan dessa metoder vara aktuella då de ger likvärdiga resultat som de andra metoderna samtidigt som de erbjuder en lägre systemkomplexitet.

I Figur 4.2 har vi plottat skärningspunkten mellan partiellspridningsmetoden och mellanlagringsmetoden som funktion av antalet konsumenter, den intensitet som konsumenten konsumerar data med samt storleken hos de dataobjekt som konsumeras. Över ytan är metoden med partiellspridning att föredra medan under ytan är metoden med mellanlagring att föredra. Observera dock att den minsta objektstorlek som vi har simulerat för är 128 bitar.

Av Figur 4.2 framgår att, för de alla flesta fall metoden med mellanlagring är att föredra före metoden med partiellspridning. Ett fall då partiellspridning är bättre är när dataobjekten är av samma storleksordning som frågorna som sänds för att få data och huvuddelen av alla noder vill ha varje producerat objekt. Vi bör dock observera att då antalet konsumenter blir stort är skillnaden mellan partiellspridning och fullständigspredning relativt lågt samtidigt som metoden fullständigspredning är mindre komplex. Metodvalet är därför inte givet för dessa fall.

4.5 Effekter av kapacitetsbegränsningar

I de tidigare presenterade resultaten har den kapacitet som finns tillgänglig varit tillräcklig för de olika designerna. Sannolikheten att en konsument får tillgång till efterfrågat data beror då främst på hur väl nätet är förbundet. Givet vårt antagande om 95% konnektivitet i avsnitt 4.2 fås därför att ungefär 95% av alla sökningar lyckas. Väljer vi att begränsa de tillgängliga resurserna sjunker sannolikheten för de metoder som går i taket kapacitetsmässigt.

En första åtgärd för att hantera kapacitetsproblem är givetvis att försöka välja en metod som kräver så lite kapacitet som möjligt. Räcker inte kapaciteten till, trots en i grunden effektiv metod, är det viktigt att systemet som helhet kan hantera situationen på ett bra sätt.

Vad som är en lämplig åtgärd beror mycket på vilken typ av data som hanteras. Består data exempelvis av positionsinformation är en sänkning av uppdateringstakten troligen mer hanterbar än om den består av nya ordrar. Samtidigt är det viktigt att kapacitetsproblem inte leder till att algoritmerna, i sin jakt på data, genererar mer trafik. Istället bör de detektera kapacitetsproblemen och om möjligt begränsa sitt utnyttjade av kommunikationsresursen.

4.6 Lämplig design för användarscenarion

De i kapitel 2 beskrivna användarscenarierna har relativt olika karaktär sett till de i avsnitt 4.4 analyserade parametrarna. Resultaten i avsnitt 4.4 visar dock att för de flesta parameterkombinationer är mellanlagringsmetoden att föredra. Ska metoden med partiell spridning vara mer fördelaktig krävs att relativt många användare vill ha en stor andel av producerad data samtidigt som dataobjekten är små.

I tabell 4.1 har vi sammanfattat karaktären hos de i kapitel 2 beskrivna tjänsterna sett ur de i avsnitt 4.4 analyserade parametrarna. För varje tjänst har vi även förordat en metod för dataspridning baserat på resultaten i Figur 4.2.

	Antal konsumenter	Dataobjektens storlek	Andel dataobjekt som konsumeras	Lämplig metod
Lednings-tjänst	många	mellan	hög	mellanlagring
Video	få	stor	låg	mellanlagring
Soldatstatus	mellan	liten	hög	partiell spridning
Positions-distribution	många	liten	hög	partiell spridning

Tabell 4.1: Lämplig metod att sprida data för de analyserade tjänsterna.

5 Slutsatser

Utvärderingen av de föreslagna metoderna för dataspridning i mobila ad hoc-nät visar att under förutsättning att data kan associeras med en livslängd är metoden med mellanlagring av data den effektivaste för de flesta scenarion.

Det finns dock fall då andra metoder kan vara lämpliga att använda. Ett viktig sådant fall är då flertalet av noderna vill ha all producerad data samtidigt som storleken hos data är av samma storleksordning som de frågor som används för att hitta data i mellanlagringsmetoden. I sådana fall kan metoden med partiell spridning med fördel användas. Ökar antalet noder i fallet ovan ytterligare kan det även vara intressant att använda fullständig spridning då denna metod är mindre komplex än partiella spridningsmetoden. Särskilt gäller detta om kunskap om användarmönstren saknas.

Det är viktigt att betona att slutsatserna ovan gäller mobila nät där topologin ständigt förändras. För statiska nät går det att upprätthålla bättre multicast-träd som genereras utifrån producenten. Detta gör metoderna fullständig spridning respektive partiell spridning mera effektiva. Dessa metoder blir därför bättre än metoden med mellanlagring i fler fall för statiska nät än för mobila nät. För mobila nät bör träden som bestämmer hur data sprids istället genereras utifrån konsumenten i de flesta fallen, vilket egentligen är vad som sker för metoden med mellanlagring.

Referenser

- [1] Ulf Sterner, Anders Hansson och Jan Nilsson. Distribuerade databaser i mobil trådlösa nät - problemställningar. Teknisk rapport FOI-R-2566-SE, FOI Ledningssystem, Linköping, september 2008.
- [2] Anders Hansson, Erika Johansson, Jan Nilsson, Ulf Sterner, and Åsa Waern. Distribuerade databaser i mobila trådlösa nät, del 2 – scenario-baserade designförslag. Tekniska rapport FOI-R-2922-SE, FOI Ledningssystem, Linköping, December 2009.
- [3] Thomas Clausen, Christopher Dearlove, and Philippe Jacquet. The optimized link state routing protocol version 2-ietf-manet-olsrv2-10. <http://ietfreport.isoc.org/all-ids/draft-ietf-manet-olsrv2-10.txt>, September 2009.
- [4] B. Asp, G. Eriksson, and P. Holm. Detvag-90[®] — Final Report. Vetenskaplig Rapport FOA-R-97-00566-504-SE, Försvarets Forskningsanstalt, Avdelningen för ledningssystemteknik, Linköping, september 1997.
- [5] Peter D. Holm. UTD-diffraction coefficients for higher order wedge diffracted fields. *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, AP-44(6):879–888, June 1996.