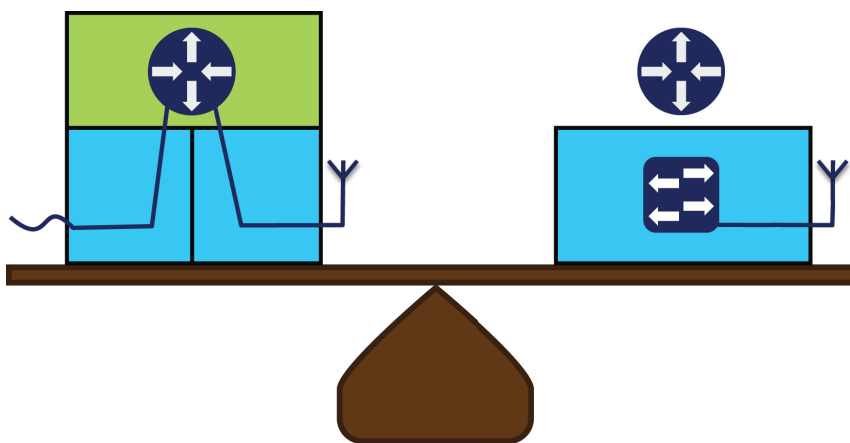


Radio med eller utan router?

ANDERS HANSSON, JIMMI GRÖNKVIST



Anders Hansson, Jimmi Grönkvist

Radio med eller utan router?

Titel	Radio med eller utan router?
Title	Radio with or without router?
Rapportnr/Report no	FOI-R--4568--SE
Månad/Month	Februari
Utgivningsår/Year	2018
Antal sidor/Pages	28
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	FMV
Forskningsområde	4. Informationssäkerhet och kommunikation
FoT-område	
Projektnr/Project no	E722103
Godkänd av/Approved by	Christian Jönsson
Ansvarig avdelning	Ledningssystem
Exportkontroll	Innehållet är granskat och omfattar ingen information som är underställd exportkontrollagstiftningen.

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

De flesta moderna taktiska radiosystem säljs med en inbyggd router, som dels hanterar trafik inom radionätet, dels hanterar trafik mot andra anslutna nät. I kommersiella civila system är det däremot brukligt att routrar anskaffas separat. Vi beskriver fördelar och nackdelar med dessa alternativ, både ur radiotillverkarnas och användarnas perspektiv. För stora mobila flerhoppsnät är den främsta fördelen med en inbyggd router att routing-signalerings kan anpassas för radionätet. Detta är nödvändigt eftersom standardprotokoll som OSPF har ger en stor overhead i radionätet. Dessutom ges en större möjlighet att krävställa stöd för tjänster vid upphandling av radio med inbyggd router. En stor fördel med radio utan inbyggd router är att nätansvariga kan välja routerlösningar på lager tre som fungerar bra tillsammans med det fasta nätets routrar och att radiotillverkare inte måste involveras vid uppgraderingar av protokoll på lager tre. Risken för kompatibilitetsproblem och felaktiga rutter är också lägre. En viktig aspekt vid analys av routingstrategier mellan olika system är hur näten används. För en mer detaljerad analys behövs bra scenarier lägst på brigadnivå.

Nyckelord: Taktiska flerhoppsnät, radionät, TCP, IP, inbyggd router, lager-tre-radio lager-två-radio

Summary

Most modern tactical radio systems are vended with a built-in router, which manages traffic in the radio network and to other connected networks. In commercial civilian systems, however, routers are traditionally purchased separately. We describe the advantages and disadvantages of these alternatives, both for the manufacturers of the radio and for the users. For large tactical mobile multi-hop networks, the main advantage of a built-in router is that the routing can be designed for the radio network. This is important because standard protocols such as OSPF causes a large overhead in tactical mobile radio networks with many nodes. In addition, it is easier to specify service requirements in procurement of radio systems with a built-in router. A major advantage of radios without a built-in router is that network administrators can choose router solutions that work well with the other routers and that radio manufacturers do not have to be involved in upgrades of protocols in layer three. The risk of compatibility problems and erroneous routes is also lower. An important aspect of analysing routing strategies, is how the networks are used. To perform a more detailed analysis, good scenarios are needed at the brigade level.

Keywords: Tactical multi-hop network, radio network, TCP, IP, built-in router, layer-three-radio layer-two-radio.

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
2	Lager-modeller	9
2.1	Paketförmedling	10
3	L3-radio och L2-radio	11
4	Scenario	13
5	Standardprotokoll för routing	15
6	L3-radio i taktiska nät	17
7	L2-radio i taktiska nät	21
8	Slutsatser och kommentarer	25
8.1	Fortsatt arbete	25
9	Referenser	27

1 Inledning

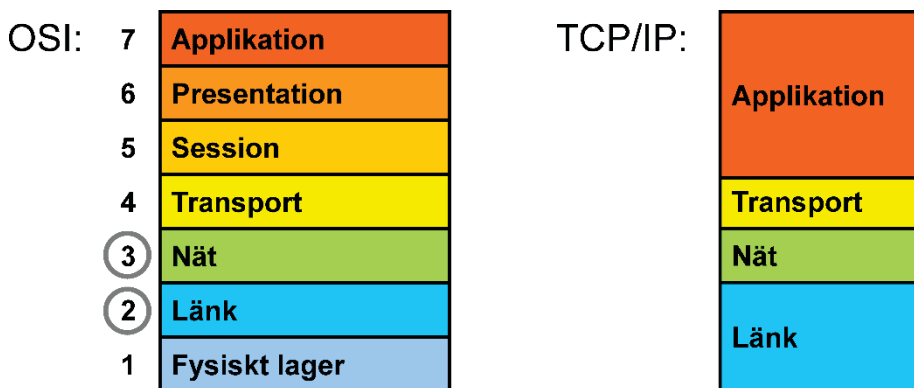
De flesta moderna taktiska radiosystem säljs med en inbyggd router, som dels hanterar trafik inom radionätet, dels hanterar trafik mot andra anslutna nät. I kommersiella civila system är det däremot brukligt att routrar köps från en separat tillverkare. I till exempel en persondator finns normalt endast en enklare inbyggd routingförmåga med fast väg till en separat router för vidare anslutningar ut mot Internet. Ett radiosystem med en inbyggd router brukar benämnas som *lager-3-radio*, eftersom funktionalitet på lager tre finns i radion. Ett system utan router kallas *lager-2-radio*. Vi beskriver fördelar och nackdelar med lager-3 radio och lager-2 radio, både ur radiotillverkarnas och användarnas perspektiv.

Kapitel 2 ger en introduktion till paketförmedling och lager enligt OSI-modellen och TCP/IP-modellen. I kapitel 3 definieras begreppen lager-2- och lager-3-radio. Kapitel 4 behandlar antaganden och scenario för utvärderingen. I kapitel 5 beskrivs status vad gäller standardprotokoll för taktiska radionät. I kapitel 6 och 7 beskrivs för och nackdelar med lager-2-radio och lager 3-radio. Slutligen ges i kapitel 8 slutsatser och förslag på vidare arbete.

2 Lager-modeller

TCP/IP består av en mängd protokoll som tillsammans möjliggör all kommunikation mellan applikationer (datorprogram) på Internet. TCP/IP-protokollen klassificeras i fyra lager vilka har sitt ursprung i OSI-modellens sju lager, se [1]. OSI-modellen *Open Systems Interconnection standard* [2] är en lite mer detaljerad uppdelning av protokollens funktion, men eftersom det i praktiken är svårt att separera funktionalitet på den detaljnivån så grupperas några av OSI-modellens lager samman till ett lager i TCP/IP-modellen, se Figur 1. När man pratar om nummer på lager så avses dock vanligen OSI-modellens lager. Vi följer här denna konvention, där de sju lagren i OSI-modellen numreras nedifrån. Med lager två avses alltså länklagret och med lager tre avses nätlagret. Nedan beskrivs kort varje lager i TCP/IP-stacken tillsammans med exempel på de protokoll som finns i de olika lagren.

Applikationslagret (OSI-lager 5-7): Här finns program eller processer som utnyttjar kommunikationen i nätet, exempelvis HTTP, DNS. Programmen i applikationslagret ligger närmast användaren. I jämförelse med OSI-modellen innehåller TCP/IP-stackens applikationslager även funktionalitet från sessions- och presentationslagret.



Figur 1 Schematisk bild av OSI-modellen till vänster och TCP/IP-stacken till höger.

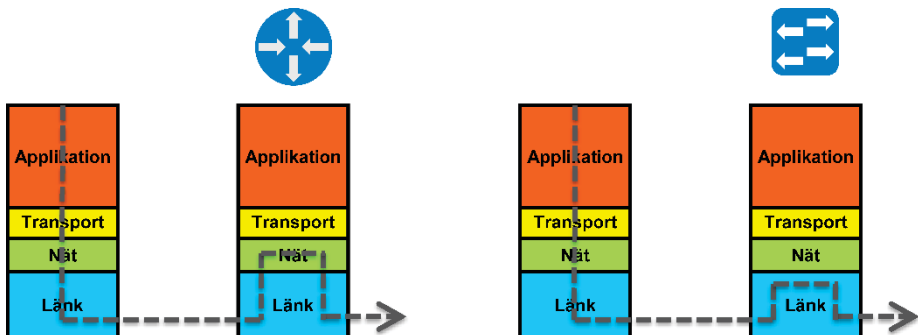
Transportlagret (OSI-lager 4): Innehåller protokoll i sändare och mottagare för att identifiera och binda samman applikationer hos slutanvändarsystemen (hosts), det vill säga det ser till att användardata som nått destinationen också når rätt applikation hos mottagaren. Förbindelsen kan också göras mer tillförlitlig genom detektering av paketfel och omsändning av tappade paket.

Nätverkslagret (OSI-lager 3): Nätlagret sköter adressering av noder och metoder för att hitta de olika noderna. IP (Internet Protocol) är det protokoll som krävs för att vara del av Internet. Det finns i två versioner: IPv4 och IPv6, där den sistnämnda versionen är nyare och på väg att införas mer och mer.

Länklagret (OSI-lager 1-2): Innehåller protokoll som behövs för överföring över ett enskilt fysiskt medium, till exempel ethernet eller wifi. Här finns också funktioner som medium access control (MAC).

2.1 Paketförmedling

Vid informationsöverföring mellan applikationer går data genom alla lagren i ändnoderna, men i mellanliggande noder går paketen endast upp till det lager som hanterar vidareförmedlingen. Vid paketförmedling över olika typer av transmissionsmedium sker förmedlingen via nätlagret, där information om ruten till destinationen hanteras. Noder som vidareförmedlar paket på lager tre kallas *router* (till vänster i Figur 2). Men vidareförmedling av paket kan också hanteras inom ett transmissionsmedium (till höger i Figur 2), till exempel av en *switch*. En radiotillverkare kan på samma sätt välja att låta paketförmedlingen inom radionätet hanteras på lager två eller på lager tre, vilket får olika konsekvenser. Detta val ska dock inte förväxlas med begreppen lager-två-radio och lager-tre-radio som beskrivs i nästa kapitel.



Figur 2 Paketförmedling med router (till vänster) och med switch (till höger).

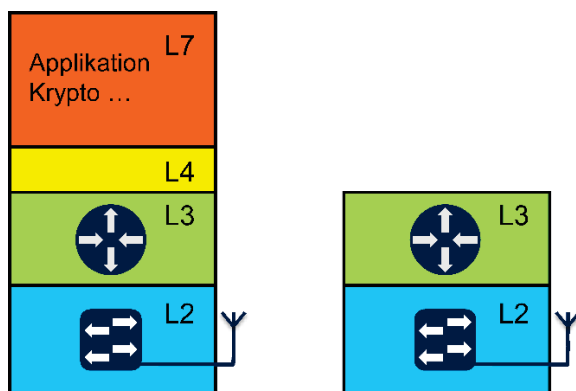
3 L3-radio och L2-radio

Vi definierar här vad som avses med lager-tre-radio och lager-två-radio.

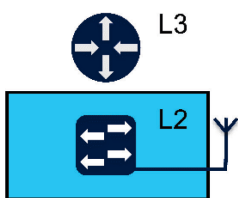
En **lager-tre-radio**, eller **L3-radio**, levereras med inbyggd router för uppkoppling mot externa nät utanför radionätet, se Figur 3. En router i en L3-radio kan vara anpassad till radiomediet och specifika användarbehov för radion, men behöver inte vara det. Man kan tänka sig att radiotillverkaren köper en standardrouter från en annan tillverkare (till exempel Cisco) och bygger in den i radion. Det relevanta är att underhåll och uppdatering av routern sköts av radiotillverkaren eller leverantören. En L3-radio kan också ha funktioner på högre lager, vilket illustreras till vänster i figuren.

Paketförmedling inom radionätet kan hanteras på lager två eller lager tre efter radiotillverkarens designprinciper. Därför är switch-symbolen inlagd på lager två i figuren. Routern kan anpassas efter radionätets interna karaktäristik, men måste också vara kompatibel med routrar i de yttre nät som radion ansluts till. Yttre routrar kommunicerar direkt med radions router som via andra radionoders routrar i radionätet sprider routing-signalering till andra yttre routrar.

En **lager-två-radio**, eller **L2-radio**, är en radio som saknar inbyggd router (Figur 4). Den kan jämföras med en Ethernet-länk eller med en WiFi-enhet. Paketförmedling utåt mot andra nät måste hanteras av en separat router. Radionätets interna paketförmedling kan hanteras av routern, men man kan även här tänka sig att den paketförmedlingen hanteras på lager två. Yttre routrar kommunicerar direkt med varandra över radionätet och radionätet kan inte påverka routingsignaleringen.



Figur 3. Exempel på lager-tre-radio.



Figur 4. Exempel på lager-två-radio.

4 Scenario

Vi antar att IP-trafik inom en bataljon i huvudsak hanteras med en bredbandig vågform, medan användningen av en smalbandig vågform är begränsad till utvalda tjänster. Eftersom kapaciteten i smalbandiga vågformer är förhållandevis låg, så antas de bara förekomma i stubnät (utan transit-trafik). Därför baserar vi overhead-analyser på den bredbandiga vågformen, använd i ett nät motsvarande en mekaniserad bataljon med upp till 140 noder. Den bredbandiga vågformen behöver kopplas samman med andra radionät i flera punkter, dels inom en bataljon (IGR-näten), dels med uppkopplingar mot brigadnivå. IGR används i plutonsnät för avsutten kommunikation och i enskilda gruppnet.

En annan viktig fråga är behovet av dynamisk routing i en bataljon. En enkel lösning är att nöja sig med ett fåtal mer eller mindre statiska uppkopplingar ut mot andra nät. I rapporten antar vi att så inte är fallet, utan att dynamisk routing används, med många uppkopplingar mot andra nät och där den bredbandiga vågformen kan användas som transittät. Exempel på detta är uppkopplingar mot IGR-system (plutonsnät), länkar till UAVer eller när ett fragmenterat bataljonsnät binds samman via andra nät.

Om en fortsatt analys blir aktuell, så behöver behovsbilden för kommunikation ut ur radionäten utredas mer, exempelvis kommunikation mellan avsutten plutonchef och högre chef eller sensor-information. Samma sak gäller information ut ur bataljonen: vilken typ av information som behövs och vilka alternativa vägar som kan finnas.

5 Standardprotokoll för routing

Taktiska mobila nät har hög förändringstakt och förhållandevis låg kapacitet jämfört med fasta nät och det är därför osäkert hur bra de klarar signaleringsoverhead från standardprotokoll för routing. Standardprotokoll som kan användas för att koppla samman olika taktiska nät, till exempel L3-radio och mobilt kärnnät, är i första hand OSPF (Open Shortest Path First) [3] för unicast-trafik eller PIM-SM/DM för multicast-trafik [4]. OSPF är ett av de vanligaste routingprotokollen på Internet. Förenklat kan sägas att OSPF ser till att alla noder har en gemensam bild av hur hela topologin ser ut. Detta sker genom att olika typer av topologimeddelanden flödas ut till alla noder, både regelbundet med fasta tidsintervall och reaktivt vid länkförändringar. OSPF hanterar unicast-trafik och har utvecklats för fasta nät där förändringar sker förhållandevis sällan. Det finns dock tillägg till OSPF med anpassningar för ad hoc-nät (OSPF MANET extensions [5][6][7]), där signaleringen reduceras något. De overhead-analyser vi tar upp i rapporten baseras på OSPF. Anledningen är att en stor del av transit-trafiken i näten antagligen är unicast och standardprotokoll för multicast är beroende av topologi-information från unicast-routing.

Forskning och utveckling för routing i mobila flerhopsnät, både i civila och militära tillämpningar, inriktas idag i hög grad mot OLSR [8]. Anpassning och utveckling av OSPF för mobila flerhopsnät verkar ha stannat av, kanske på grund av att kommersiella drivkrafter saknas för att routertillverkare ska utveckla routingprotokoll för nät med hög mobilitet. Inte heller inom NATO finns någon sådan inriktning, men däremot pågår arbete med att ta fram rekommendationer för hur heterogena nät kan kopplas samman [9].

6 L3-radio i taktiska nät

Merparten av all taktisk radio som säljs idag är L3-radio. Det kan bero på att efterfrågan på funktionalitet är stor, samt att det är mer ekonomiskt fördelaktigt att sälja en radio med mycket funktionalitet till ett högt pris än att sälja en enklare radio till ett lågt pris. Men i en L3-radio finns också möjligheten att ha separata routingfunktioner, vilket möjliggör en anpassning till radionätet. En del av routingprotokollet måste vara kompatibel med routing mot andra nät (OSPF) och den andra delen kan optimeras för radionätets normala inre uppträdande vad gäller tjänster och topologiförändringar. Med en sådan anpassning finns det möjlighet att minska den overhead som orsakas av routingsignalerings genom radionätet och därmed erbjuda en högre kapacitet till användarna. Routingsignalerings från standardprotokoll för fasta nät kan utgöra en hög belastning i ett radionät, vilket beskrivs närmare i nästa kapitel.

Vid anskaffning så kan krav på stöd för tjänster specificeras mer noggrant för en L3-radio. Eftersom radiotillverkaren har möjlighet att anpassa lager tre för de tjänster som krävs så kan köparen ställa mer detaljerade krav än vad som är möjligt för en L2-radio, där radiotillverkaren inte kan ha samma kontroll över trafiken i radionätet.

Risk för kompatibilitetsbrister är en nackdel med lager-tre-radio. Med många upphandlingar över tid, så är det sannolikt att radiosystem från olika tillverkare kan finnas i nätet. Om produkter från olika tillverkare kopplas ihop, så är det inte säkert att de är fullt ut kompatibla vad gäller routing. Routingimplementationer från radiotillverkare kan vara begränsade jämfört med implementationer från tillverkare som är specialiserade på routrar. Protokollen är komplexa och det är inte säkert att alla delar i en standard är obligatoriska att implementera. Därför kan kompatibilitetsproblem uppstå mellan produkter från olika tillverkare. Ytterligare en nackdel är att router-uppgradering inte kan göras lika enkelt som i fasta nät, eftersom radiotillverkarna måste anlitas till förändringar i radions routingprotokoll.

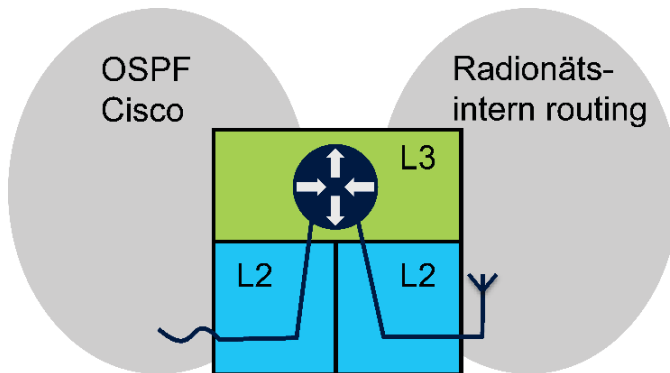
Som nämndes tidigare, så kan routingsignalerings anpassas till radionätet för att reducera overhead. En möjlig metod är att komprimera sådan data som upprepas på ett förutsägbart sätt i de OSPF-meddelanden som sänds i radionätet (jämför med *IP header compression* [10]). Det innebär att man följer protokollets meddelandesignalerings, men reducerar meddelandenas storlek. Vi har inte sett några studier med den inriktningen och kan därför inte avgöra om en sådan metod är effektiv. OSPF är dock till största delen reaktivt, vilket innebär att många meddelanden sänds vid topologiska

förändringar och få meddelanden sänds i perioder däremellan. Detta beteende förändras inte på grund av komprimering.

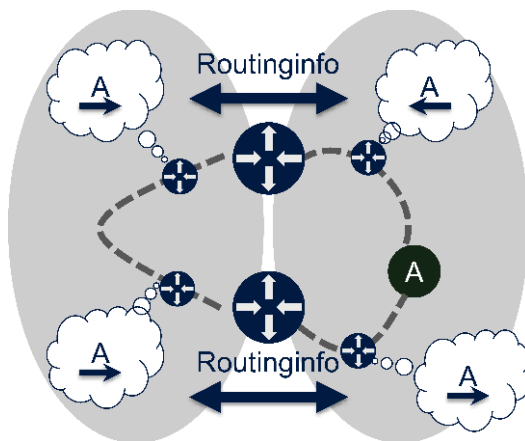
Ett annat alternativ är att använda ett anpassat routingprotokoll internt i radionätet och översätta topologi-informationen mellan det yttre protokollet (OSPF) och det interna, se Figur 5. Exakt hur ett sådant internt protokoll utformas kan variera efter radionätets egenskaper. I taktiska nät kan ett sådant inre protokoll vara utvecklat av radiotillverkaren, men man kan också tänka sig öppna protokoll för ad hoc-nät, såsom OLSR [11]. Som exempel på översättning kan nämnas HNA-meddelanden i OLSR. HNA beskriver vilka externa nät som kan nås av varje nod och den informationen kan översättas till LSA-meddelanden i OSPF.

Att översätta topologi-information mellan två olika routingprotokoll kallas ibland route redistribution. Det är en vanligt förekommande teknik som används till exempel vid sammanslagning av företagsnät med olika protokoll eller för nät som har blivit för stora att hantera. Router-leverantörer har olika metoder för route redistribution och det finns ingen gemensam standard för tekniken.

Översättning mellan routingprotokoll innebär en risk, särskilt om det finns flera anslutningspunkter mellan näten. Vanliga problem är framför allt dåliga rutter och routing-loopar (rutten blir en loop som bara skickar runt trafiken så den aldrig når destinationen och lastar ner nätet). Detta beror på att informationen som överförs mellan protokollen inte är fullständig. Även värderingen av rutterna kan misstolkas vid översättningen. Ett exempel illustreras i Figur 6, där de två översta routrarna (på grund av översättningsproblem) prioriterar vägen genom det andra nätet för att nå noden A. Resultatet blir att paketet studsar fram och tillbaka mellan de två routrarna. Routingprotokoll brukar utformas för att vara loop-fria, men detta garanteras bara om de har full information om den existerande topologin. Så är vanligtvis inte fallet vid *route redistribution*.



Figur 5. Topologi-information måste överföras och översättas mellan olika typer av routingprotokoll.



Figur 6. Exempel där två routrar (överst) väljer vägen genom det andra nätet för att nå noden A.

Två enkla regler för att undvika routingproblem vid *route redistribution* är: (1) prioritera alltid intern topologi-information om rutter inom ett nät högst och (2) återför aldrig topologi-information om ett nät tillbaka till samma nät igen. Dessa regler begränsar dock kraftigt antalet möjliga vägar genom näten. Ett fragmenterat nät kan då inte bindas samman via ett annat nät om regel (2) följs. Om till exempel det högra nätet i Figur 6 är fragmenterat så att den övre högra routern inte kan nå A, så måste den routern få information om att A kan nås via det andra nätet. Om regel (1) följs, så är det inte heller möjligt att använda en högdatataktslänk för att ta en "genväg" om det finns en rutt (som kanske är långsammare) genom det egna nätet.

Sammanfattningsvis har vi dessa för- och nackdelar med en L3-radio:

Fördelar:

- Med ett anpassat routingprotokoll har radiotillverkaren möjlighet att reducera routingsignaleringen i radionätet.
- Radiotillverkarens kontroll över trafiken i radionätet gör att kravställning av stöd för tjänster är möjligt.

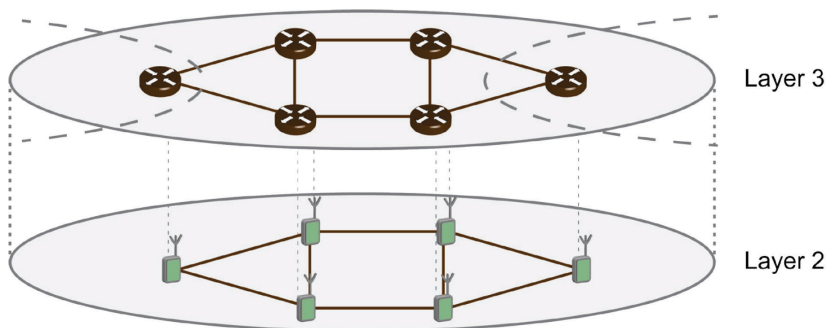
Nackdelar:

- Uppdateringar av routingprotokoll i anslutna nät involverar radionätets leverantör.
- Begränsade implementationer utgör en risk för kompatibilitetsproblem.
- Risk för felaktiga rutter och loopar vid översättning av metriker mellan olika routingprotokoll.

7 L2-radio i taktiska nät

En L2-radio kan jämföras med en Ethernet-länk eller med en WiFi-enhet. Eftersom lager-två-radio saknar inbyggd router så kan nätansvariga välja routrar som är helt kompatibla med fasta nätets routrar och ge bättre möjligheter till nätunderhåll jämfört med L3-radionätets inbyggda routrar från radiotillverkaren. Radiotillverkaren behöver inte heller involveras vid routing-uppgraderingar på lager tre. Men med yttre routrar har inte radiotillverkaren kontroll över radionätets trafikklaster vilket innebär nackdelar. Dels är det svårt att vid upphandling ställa krav på stöd för tjänster, dels är standardprotokoll för unicast och multicast inte anpassade för stora mobila taktiska radionät.

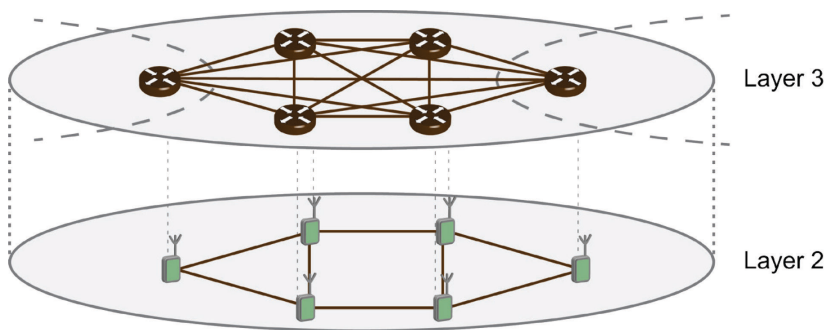
Här kan man tänka sig två typer av radiolösningar: (1) vägval och paketförmedling hanteras av den yttre routern och (2) paketförmedling och vägvals inom radionätet hanteras på radions lager två. I fall (1), vilket illustreras i Figur 7, måste det yttre routingprotokollet hantera alla länkförändringar i radionätet. Tyvärr så saknas standardlösningar för fasta nät som kan hantera förändringstakten i stora mobila flerhoppsnät. De modifieringar som har gjorts i OSPF MANET extension är snarare anpassat för WiFi-nät med högre kapacitet än vad som är fallet i mobila taktiska nät. I [9] (Annex G) konstaterar vi att OSPF MANET extensions är olämpligt att använda i stora taktiska mobila nät eftersom signaleringsoverheaden är hög för den snabba förändringstakten som förekommer där. Det finns publicerat arbete med simuleringar som visar på för hög overhead för stora mobila nät (med över 140 noder), se Annex G i [9].



Figur 7. All routing och paketförmedling hanteras på lager tre.

I fall (2) hanteras radionätets interna paketförmedling och vägval på lager två, ungefär som switchar fungerar för ethernet. För routingprotokollet på lager tre ser ett förbundet radionät ut som ett enhoppsnät, och nästa hopp på lager tre är i detta fall exitpunkten i radionätet, se Figur 8. De flesta länkförändringar blir i detta fall osynliga för lager tre, dock kan kostnaden för rutten behöva förmedlas upp till lager tre. Att sända trafik över en radionätsrutt som är ett hopp eller fem hopp kan innebära stor skillnad i hur nätets resurser utnyttjas och hur tillförlitlig rutten är. En liknande idé är *composite routing* [12], där OLSR flyttas ned till lager två och OSPF används på lager tre.

Fall (2) innebär att så länge radionätet är förbundet syns inga länkförändringar på lager tre. Först om radionätet fragmenteras upptäcks detta på lager tre, eftersom paket mellan de fragmenterade delarna inte når fram. Även i detta fall kan OSPF-signaleringen bli för stor [9] (Annex G). Det är framför allt acknowledgment-meddelanden för link-state advertisement (LSA) vid radionäts-fragmentering som är ett problem. LSA förmedlar routerns lokala topologi-information till andra OSPF-routrar.



Figur 8. Paketförmedling och vägval inom radionätet hanteras i radions lager två. Radionätets topologi är inte synligt på lager tre.

Här kan nämnas att jämfört med routingsignaleringen så har ofta accessprotokollet en större inverkan på radionätets kapacitet. Stora taktiska mobila flerhoppssnät med CSMA kan ha en maximal genomströmning som är mycket låg. Det finns exempel där maximala genomströmningen ligger kring tio procent av länkkapaciteten för broadcast-trafik och kommunikationen riskerar att haverera vid högre belastningar [13]. Även om TDMA-protokoll fungerar bättre än så vid låg mobilitet [14], så krävs trafikadaptivitet (att tidluckorna fördelas i proportion till lasten) vilket inte är så effektivt under hög mobilitet. Synkroniserad kooperativ broadcast (SKB)

[15] är ett accessprotokoll som kan hantera hög mobilitet med bra multicast-kapacitet. I SKB sker radionätets paketförmedling nära det fysiska lagret, vilket gör att det kan ses som ett exempel på fall (2) ovan. SKB är inte beroende av topologi-information utan levererar alla paket till alla radionätsnoder. Detta innebär dock inte att alla mottagna paket förs upp till lager tre, utan det styrs av adresseringen i paketet. En intressant egenskap hos SKB är att nätkapaciteten är konstant och oberoende av topologi i nätet.

En scenariofråga som kan vara värd att utreda närmare är om det räcker att ett fåtal noder har transitfunktionalitet. I så fall behöver kanske inte OSPF användas i alla noder och routingsignaleringen kan reduceras för L2-radio. Sammanfattningsvis sammanställer vi följande för- och nackdelar med L2-radio.

Fördelar:

- Nätansvariga kan välja routerlösningar på lager tre som fungerar bra med det fasta nätets routrar och är därför lättare att underhålla än vad som är fallet med L3-radio.
- Radiotillverkare behöver inte involveras vid uppgraderingar på lager tre.

Nackdelar:

- Med yttre routrar har inte radiotillverkaren kontroll över radionätets trafiklast och därmed är det svårt att ställa krav på stöd för tjänster vid upphandling.
- Standardprotokollet OSPF är inte anpassat för stora mobila taktiska radionät.
- Bra standardprotokoll för multicast saknas för taktiska tillämpningar.

8 Slutsatser och kommentarer

Det går inte att ge en generell enkel rekommendation för om man bör använda L2-radio eller L3-radio, eftersom för- och nackdelar får olika konsekvenser beroende på hur näten används. Fördelarna med en L3-radio är att routing kan anpassas och optimeras för radionätet, vilket också möjliggör kravställning av stöd för tjänster vid upphandling. Overhead-reduktion är centralt för stora taktiska mobila flerhopsnät där kapaciteten är förhållandevis låg, även för en bredbandig vågform. Dessutom upptar signalering från standardprotokoll som OSPF den största delen av tillgänglig kapacitet i dessa nät (baserat på analyser för en mekaniserad bataljon). Fördelen med L2-radio är främst att nätansvariga kan välja routerlösningar på lager tre som fungerar bra tillsammans med det fasta nätets routrar och radiotillverkare behöver inte involveras vid uppgraderingar på lager tre. Risken för kompatibilitetsproblem är också lägre jämfört med L3-radionät med olika routing-implementationer som ska fungera ihop. Med L2-radio minskar också risken för felaktiga rutter och loopar eftersom översättning av metriker mellan olika routingprotokoll inte behövs.

8.1 Fortsatt arbete

En viktig aspekt vid analys av routingstrategier mellan olika system är hur näten används: vilka nät som kan behöva kopplas samman, hur många anslutningspunkter som behövs och hur ofta de ändras. Här saknas bra scenarier att utgå från, vilket behövs för fortsatt analys. Scenariot bör minst omfatta en brigad. En scenariofråga som kan vara värd att utreda närmare är hur många noder som behöver ha möjlighet att ansluta till flera olika nät, eftersom detta påverkar mängden routingsignalering.

9 Referenser

- [1] K. R. Fall, W. R. Stevens, TCP/IP Illustrated, Volume 1, second edition, the protocol, Addison Wesley, 2012.
- [2] "Information technology -- Open Systems Interconnection -- Basic Reference Model: The Basic Model", ISO/IEC 7498-1:1994.
- [3] J. T. Moy, "OSPF Anatomy of an Internet Routing Protocol", Addison Wesley, 1998.
- [4] B. Fenner, m.fl., Protocol independent multicast - sparse mode (PIM-SM): protocol specification (revised), Request for Comments 7761, mars 2016.
- [5] E. Baccelli, P. Jaquet, D. Nguyen, and T. Clausen, "OSPF Multipoint Relay (MPR) Extension for Ad Hoc Networks", RFC5449, IETF, 2009, <http://www.ietf.org>.
- [6] R. Ogier, P. Spagnolo. "Mobile Ad Hoc Network (MANET) Extension of OSPF Using Connected Dominating Set (CDS) Flooding", RFC5614, IETF, augusti 2009, <http://www.ietf.org>.
- [7] A. Roy, M. Chandra, "Extensions to OSPF to Support Mobile Ad Hoc Networking", RFC5820, IETF, 2010, <http://www.ietf.org>.
- [8] T. Clausen m.fl., "The Optimized Link State Routing Protocol Version 2", RFC7181, IETF, 2014, <http://www.ietf.org>.
- [9] M. Hauge m.fl., "Heterogeneous tactical networks - improving connectivity and network efficiency," NATO RTO, Technical report STO-TR-IST-124, 2018
- [10] C. Bormann m.fl., "RObust Header Compression (ROHC): Framework and four profiles: RTP, UDP, ESP, and uncompressed", RFC3095, IETF, juli 2001, <http://www.ietf.org>.
- [11] T. Clausen, P. Jacquet, "Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)", RFC3626, IETF, oktober 2003, <http://www.ietf.org>.
- [12] J. Fang, T. Goff, G. Pei, "Comparison Studies of OSPF-MDR, OLSR and Composite Routing", Military Communications Conference (MILCOM), 2010, San Jose.
- [13] A. Komulainen, U. Sterner, "Analysis of CSMA broadcast performance in tactical ad hoc networks", FOI-R--4219--SE, FOI, 2016.

- [14] A. Komulainen, J. Grönkvist, J. Nilsson, "Comparing the Capacity of Cooperative Broadcast to Spatial Reuse TDMA in Ad Hoc Networks", International Conference on Military Communications and Information Systems (ICMCIS), 2016, Bryssel.
- [15] Jimmi Grönkvist m.fl., "Tillförlitlig informationsöverföring i mobila radionät -- Slutrapport", FOI-R--4475--SE, FOI, december 2017.

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