

# Multicast över MPLS-nät

## Abstract

This thesis concerns multicast in MPLS networks. MPLS, Multi-Protocol Label Switching, is a new technique that have been developed within the IETF and is not yet standardised. The idea of MPLS is to combine layer 2 switching together with layer 3 routing.

Unicast traffic runs between one sender and one receiver. In multicast there is instead one or more senders and a group of receivers. With multicast the network will then be more efficiently used which makes it possible to develop new services for an Internet Service Provider.

In the thesis different kinds of multicast routing protocols are analysed, and the conclusion is that PIM-SM is the protocol to use within an intra-domain. The problems that arises when multicast is combined with MPLS are analysed and discussed in the report. The report ends with some suggestions on how Telia technically can realise multicast in a MPLS network.

Examensarbete gjort av

**ANNICA EDLUND**  
annica\_edlund@home.se

i samarbete med



Stockholm, februari 2000

---

Handledare, Telia Research AB:  
Henrik Villför, Henrik.J.Villfor@telia.se  
Olle Pers, Olle.K.Pers@telia.se

Examinator, IT-KTH:  
Gunnar Karlsson, gk@it.kth.se

---

# Innehållsförteckning

<b>1 Inledning</b> .....	<b>3</b>
1.1 Bakgrund .....	3
1.2 Mål.....	3
1.3 Examensarbetets upplägg .....	3
<b>2 IP-väggval</b> .....	<b>4</b>
2.1 Internet Protocol (IP).....	4
2.2 Internet Control Message Protocol (ICMP) .....	5
2.3 Routing Information Protocol (RIP).....	6
2.4 Open Shortest Path First (OSPF).....	6
2.5 Intermediate System to Intermediate System (IS-IS).....	6
2.6 Border Gateway Protocol (BGP).....	6
<b>3 Multicast</b> .....	<b>7</b>
3.1 IP-multicast .....	8
3.2 Internet Group Management Protocol (IGMP) .....	8
3.3 Väggvalsprotokoll för multicast.....	8
3.4 Algoritmer till väggvalsprotokoll för multicast.....	9
3.5 Väggvalsprotokoll för multicast.....	10
3.6 Kostnadsanalys .....	15
3.7 Multicaststamnät över Internet (MBONE).....	17
3.8 Avgränsningar inom multicastområdet .....	18
<b>4 Multi-Protocol Label Switching (MPLS)</b> .....	<b>19</b>
4.1 Arkitektur .....	20
4.2 Exempel på ett MPLS-nät .....	21
4.3 MPLS-huvudet .....	22
4.4 Label Distribution Protocol (LDP).....	22
<b>5 IETF:s arbetsgrupp för multicast över MPLS-nät</b> .....	<b>24</b>
5.1 Ramverk för multicast i MPLS-nät .....	24
5.2 Multicastsupport i MPLS-nät .....	28
<b>6 En företagspecifik lösning för multicast över MPLS-nät</b> .....	<b>33</b>
6.1 Ascend Communications.....	33
6.2 Andra produkter .....	35
<b>7 Analys</b> .....	<b>36</b>
7.1 Frågeställning, krav och problem.....	36
7.2 Jämförelse av leverantörernas och IETF:s lösningar .....	37
7.3 Utvärdering av de olika väggvalsprotokollen i MPLS-nät.....	37
7.4 MPLS för Telia som operatör.....	39
7.5 Multicast för Telia som operatör .....	39
7.6 Förslag till lösningar.....	40

---

---

7.7 Slutsats.....	42
7.8 Fortsatt arbete .....	42
<b>8 Avslutning.....</b>	<b>43</b>
<b>Appendix A: Förkortningar .....</b>	<b>44</b>
<b>Appendix B: Ordlista.....</b>	<b>47</b>
<b>Appendix C: E-post från Nortel.....</b>	<b>48</b>
<b>Appendix D: E-post från Ericsson.....</b>	<b>50</b>
<b>Appendix E: Sammanställning av figurer .....</b>	<b>52</b>
<b>Appendix F: Sammanställning av tabeller .....</b>	<b>53</b>
<b>Referenser.....</b>	<b>54</b>

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Multicast gör det möjligt att effektivt kunna överföra mycket information från en källa till flera mottagare över Internet. Informationen utgörs t.ex. av multimedia, ljud- och videokonferenser eller programvarudistribution. Dagens Internet förmedlar endast unicasttrafik och därför arbetar IETF med att få multicast att fungera på samma globala sätt som unicast. Det som måste tillföras för att IP-nät ska kunna stödja multicasttrafik är: adresser för IP-multicast, dynamisk registrering av medlemskap till multicastgrupper och vägvalsprotokoll för multicast.

Multi-Protocol Label Switching (MPLS) är en ny teknik som arbetas fram av IETF och olika företag. Tekniken är ännu inte standardiserad men det finns ett stort intresse för att kombinera ihop IP-väljare med ATM-växlar. Detta ska ge ett snabbare och effektivare nät som kommer att behövas eftersom Internet-användningen ökar. MPLS är oberoende av vilket nätverksprotokoll och vilken datalänk som används. Framtidens trafik kommer att domineras av IP-trafik eftersom de kommunikationstjänster som utvecklas idag använder IP som nätverksprotokoll. ATM-nät behöver anpassas mer till IP-trafik och eftersom MPLS är oberoende av vilken datalänk som används kan man med hjälp av MPLS använda ATM-växlar och IP-väljare i ett homogent nät.

## 1.2 Mål

Examensarbetet är en rent teoretisk uppgift och består av två delar. Den första delen innebär en kartläggning av utvecklingen inom multicastområdet. Kritiska funktioner ska identifieras för Telia som operatör och en anpassning till Telias nät ska göras. Den andra delen består av att sätta sig in i MPLS-teknikens grunder och specificera de olika alternativen som finns för att realisera multicast i MPLS-nät. Huvudmålet med examensarbetet är att komma fram till förslag på hur Telia tekniskt sett kan realisera multicast i MPLS-nät.

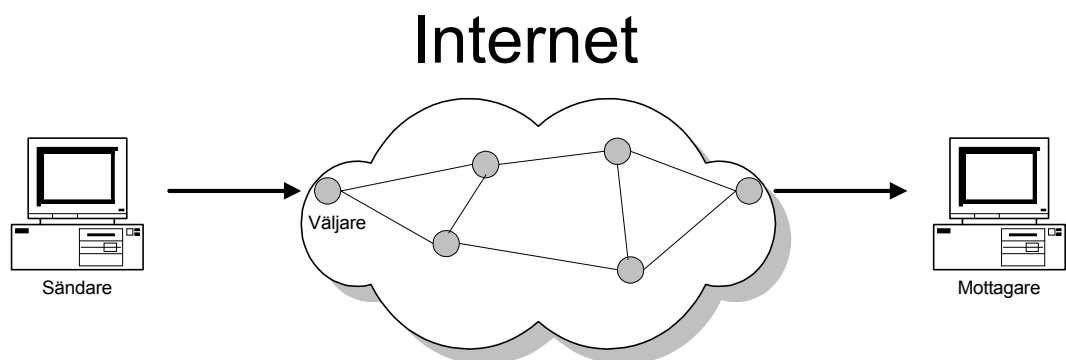
## 1.3 Examensarbetets upplägg

Rapporten tar i de första kapitlen upp IP-vägval, IP-multicast och MPLS. Dessa kapitel är inriktade mot att skapa vägar inom en domän. I de nästkommande kapitlen diskuteras olika förslag till lösningar och problemen analyseras. Det avslutande kapitlet sammanfattar hela examensarbetet.

## 2 IP-vägval

Detta kapitel behandlar IP-vägval för att läsaren ska få bakgrundsfakta. För mer ingående information se referens [9].

Internet är en sammankoppling av ett stort antal nätverk. Varje nätverk består av ett antal väljare som kopplar samman länkar. Vägarna genom nätet bestäms med hjälp av vägvalstabeller. Vägvalstabeller beskriver vart ett paket ska skickas i sitt nästa hopp. IP-vägval beskriver alltså hur IP-paket transporteras i, och mellan IP-nätverk.



Figur 1 Exempel på kommunikation över Internet

En sändare vill skicka ett meddelande genom nätverket till en mottagare, se figur 1. Meddelandet delas upp i ett antal paket beroende på storlek. Varje paket innehåller en destinationsadress. I nätet finns det väljare som bestämmer vägen med hjälp av en vägvalstabell, som uppdateras vid förändringar av nätet. Efter att paketet har transporterats över ett antal väljare når det fram till mottagaren.

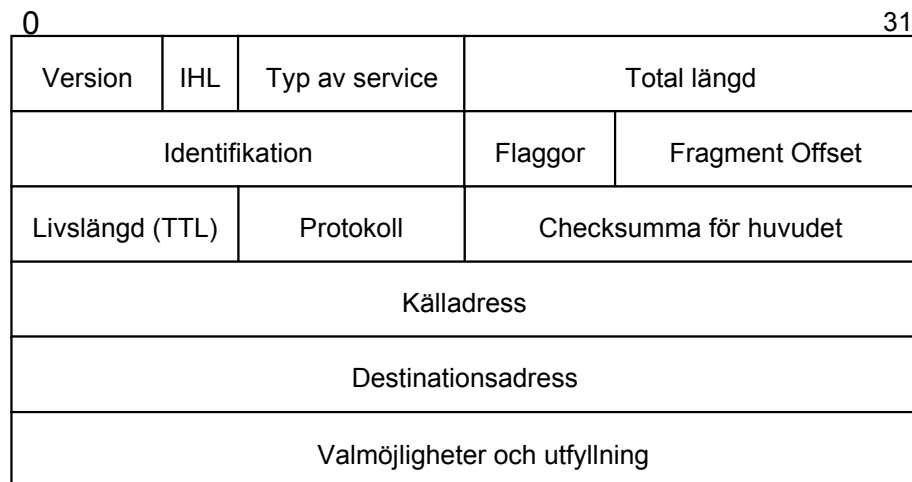
Väljarna i ett nätverk använder sig av ett vägvalsprotokoll för att bestämma hur ett paket ska transporteras över ett nät. Exempel på de vanligaste vägvalsprotokollen är: Routing Information Protocol (RIP) avsnitt 2.3, Open Shortest Path First (OSPF) avsnitt 2.4, Intermediate System to Intermediate System (IS-IS) avsnitt 2.5 och Border Gateway Protocol (BGP) avsnitt 2.6.

### 2.1 Internet Protocol (IP)

IP är det protokoll som används för att skicka meddelande från en dator till en annan över Internet. Varje dator som är kopplad till Internet har en specifik IP-adress. Paketet som sänds och mottages innehåller både sändarens och mottagarens adresser.

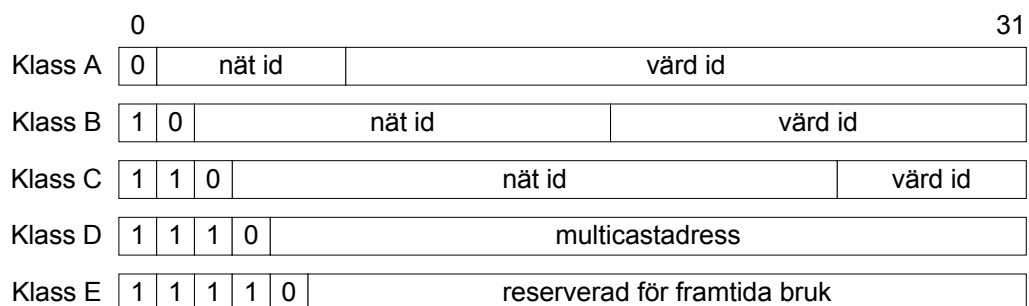
IP är ett förbindelseöst protokoll, vilket betyder att paket som skickas mellan två datorer inte följer någon fastlagd väg genom Internet. Som jämförelse skickas paket genom ett ATM-nät med hjälp av ett förbindelseorienterat protokoll, vilket innebär att det finns en förutbestämd väg genom nätet där paket transporteras.

Ett IP-paket består av ett huvud och datainformation till mottagaren. I huvudet finns bl.a. destinations- och källadresser, ett s.k. "time to live"-fält (TTL) som begränsar paketets livslängd, information om det protokoll som ska användas samt hur stort IP-paketet är. Figur 2 visar hur ett IP-huvud ser ut.



Figur 2 IP-huvud

IP-adressen har två olika delar. Den första delen visar nätverksadressen och den andra delen visar värdadressen. Från början fanns det fem olika adressklasser för att kunna ha olika längd på nätverks- och värdadresserna. Klasserna A, B och C används för vanliga IP-adresser, Klass D är för multicastadresser och Klass E är reserverad för framtida bruk. Figur 3 visar hur klasserna är uppbyggda och hur de skiljer sig från varandra. Numera finns det även klasslösa adresser som har valfri längd på adresserna, s.k. Classless Inter-Domain Routing (CIDR).



Figur 3 IP-adressklasser

## 2.2 Internet Control Message Protocol (ICMP)

Ett ICMP-meddelande skickas mellan väljarna för att informera om t.ex. fel i nätet. De kan även användas till att skicka ekomeddelanden mellan olika väljare för att testa näten. ICMP-meddelande skickas inuti vanliga IP-paket.

### **2.3 Routing Information Protocol (RIP)**

Vägvalsprotokollet RIP är ett s.k. distansvektorprotokoll, där den kortaste vägen beräknas genom Bellman-Ford algoritmen. Distansen är antalet länkar som måste passeras för att nå destinationen.

### **2.4 Open Shortest Path First (OSPF)**

OSPF är ett så kallat länktillståndsprotokoll som bygger på att alla väljare har en karta över hur nätet ser ut. Denna karta uppdateras kontinuerligt. Väljarna har samma databas och använder samma algoritm, vilket gör att vägarna är desamma. Det ska därför inte uppkomma några slingor.

Bellman-Ford algoritmen som används i RIP är inte lika effektiv i stora nätverk, därför används Dijkstra algoritmen som kallas kortaste vägen först.

### **2.5 Intermediate System to Intermediate System (IS-IS)**

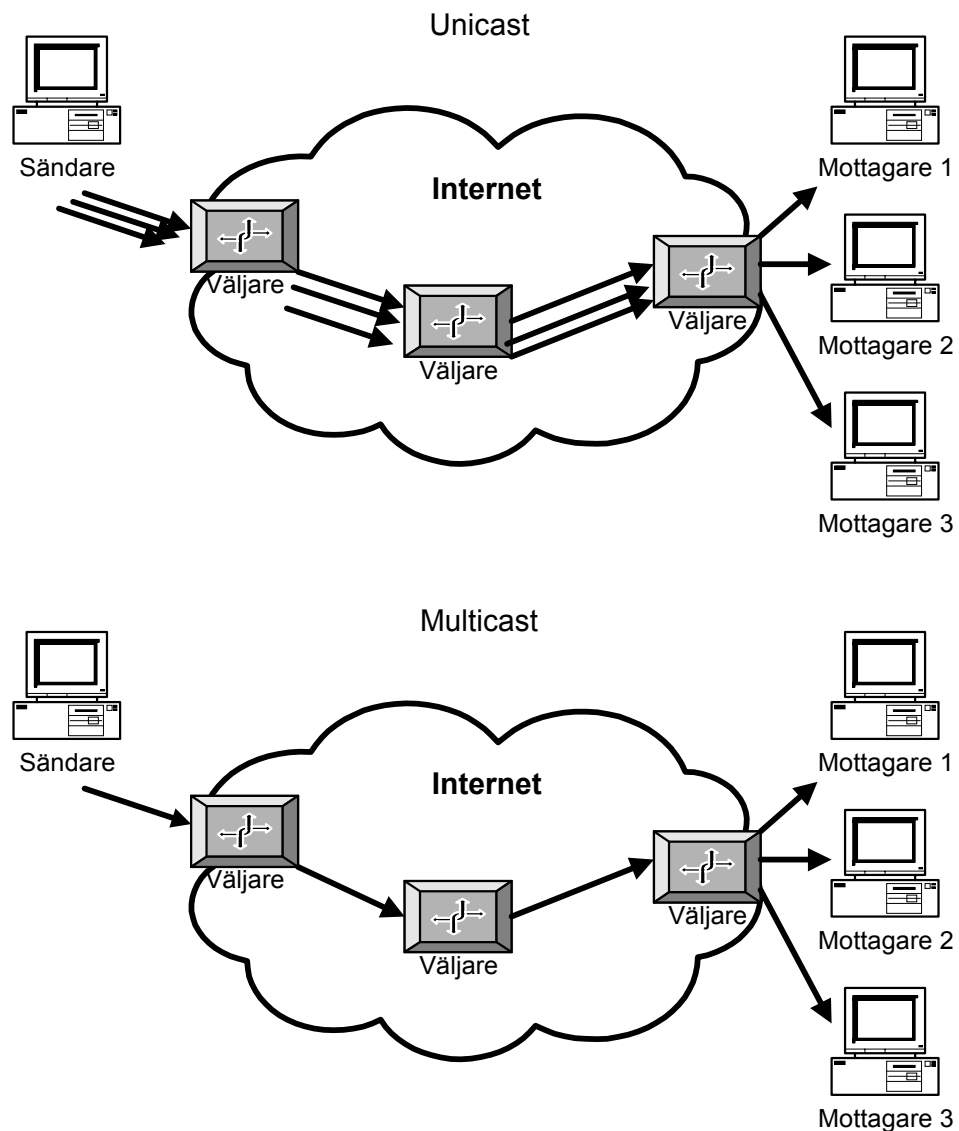
IS-IS-protokollet är ett länktillståndsprotokoll som påminner om OSPF. Vägvalsprotokollet är definierat enligt ISO 10589.

### **2.6 Border Gateway Protocol (BGP)**

Väljare inuti ett nätverk använder interna vägvalsprotokoll som t.ex. RIP, OSPF och IS-IS. Väljarna på kanten av nätet utbyter information med hjälp av det externa vägvalsprotokollet BGP. Att befinna sig på kanten av ett nät betyder även att väljaren är en sammankoppling mellan två olika nät. Vägvalsprotokollet BGP talar om att en destination är tillgängligt över ett visst nätverk.

### 3 Multicast

Dagens Internet bygger på unicast, medan TV- och radiosändningar bygger på broadcast. Unicast betyder att det är en sändare som skickar information till en mottagare. Med broadcast är det en sändare som skickar information till alla mottagare. Multicast däremot har en sändare som skickar information till en specifik grupp som vill ha informationen. Medlemmarna anmäler att de vill delta i gruppen. Sändaren som använder multicast behöver endast skicka iväg ett paket och låter nätverket skicka vidare paketet till alla mottagare som vill ha det. På så sätt används nätverket effektivare, vilket illustreras i figur 4. Multicast ställer större krav på att nätet tar hand om paketet, men en sändare behöver inte ha samma kapacitet för att t.ex. göra en massdistribuering.



Figur 4 Skillnaden i trafiken mellan unicast och multicast



En av fördelarna med multicast är att man sparar bandbredd i nätet. IP-multicast används till multimedia, ljud- och videokonferenser och programvarudistribution.

Det som måste tillföras för att ett IP-nät ska kunna stödja multicastrofik är:

- adresser för IP-multicast
- dynamisk registrering av medlemskap till multicastgrupper
- vägvalsprotokoll för multicast

I referens [4] [10] [11] [12] [13] [14] kan man läsa om multicast i allmänhet.

### 3.1 IP-multicast

IP-multicast är en utveckling av IP. IP-multicast är förbindelseöst precis som IP. Det enda som skiljer ett multicastpaket från ett vanligt IP-paket är adressen.

Medlemskapet i en IP-multicastgrupp är dynamiskt, d.v.s. man kan gå med eller lämna gruppen när man vill. Varje multicastgrupp har en specifik multicastadress och den adressen kan endast användas som en destinationsadress. Den som sänder data till en multicastgrupp kan själv vara medlem i gruppen, men behöver inte vara det.

Klass D används till multicastadressen och den skiljer sig ifrån klass A, B och C. De 28 bitarna som identifierar multicastgruppens adress är ingen fysisk destinationsadress som i unicast. Det skapas däremot något typ av träd där medlemmarna finns och tar emot paket som innehåller multicastgruppens adress.

### 3.2 Internet Group Management Protocol (IGMP)

IGMP används på det lokala nätet mellan medlemmar och väljare. IGMP är ett informationsprotokoll för att uppdatera gruppen. IGMP-meddelanden skickas inuti ett vanligt IP-paket. Det finns två olika operationer:

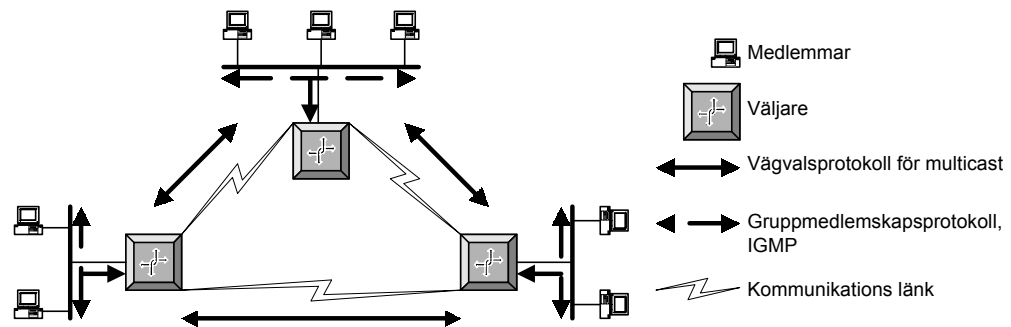
- När man går med i en ny multicastgrupp skickar man ett IGMP-meddelande för att anmäla sig som medlem. Detta gäller även för att avsäga sig sitt medlemskap.
- Eftersom medlemskapet är dynamiskt så skickar den lokala multicastväljaren en förfrågan till gruppen för att se om det fortfarande finns medlemmar. Det är bara en medlem i gruppen som behöver svara på förfrågan.

### 3.3 Vägvalsprotokoll för multicast

IGMP skickar endast multicastmeddelande på det lokala nätet. För att kunna ansluta det till Internet måste man ha ett vägvalsprotokoll för multicast. Figur 5 på nästa sida visar var de olika protokollen arbetar.

Multicastväljarna har som uppgift att med hjälp av vägvalsprotokollet bestämma vilken väg paketen ska ta genom nätverket. För att trafiken ska vara så optimal som möjligt används olika trädstrukturer, vilka beskrivs i nästa avsnitt.

---



Figur 5 Vägvalsprotokoll för multicast

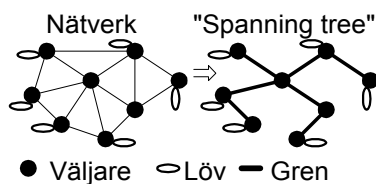
### 3.4 Algoritmer till vägvalsprotokoll för multicast

Tabell 1 beskriver de olika trädstrukturerna.

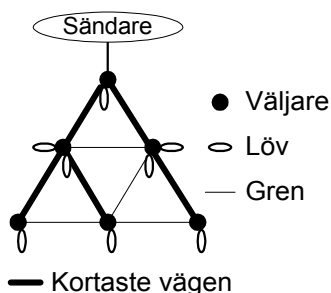
Tabell 1 Olika trädstrukturer

”Flooding”:  
är en enkel teknik för att skicka multicastpaket till alla väljare i nätet. Väljarna tar emot ett paket och ser efter i en databas om paketet tidigare har ankommit eller är nytt. Om paketet är nytt läggs det till i databasen och skickas vidare ett hopp till nästa väljare för samma behandling. I det fallet att paketet har mottagits tidigare, kastas det.

”Spanning Trees”:  
skapar ett gemensamt träd för alla väljare. I detta träd finns det endast en väg mellan två väljare. När trädet är skapat kan multicastväljaren skicka vidare varje paket. Detta träd ska garantera att det inte finns några slingor och att paketet ska komma fram till rätt mottagare. Det kan däremot bidra till att ett multicastpaket transporteras på en omväg.



Reverse Path Broadcasting (RPB):

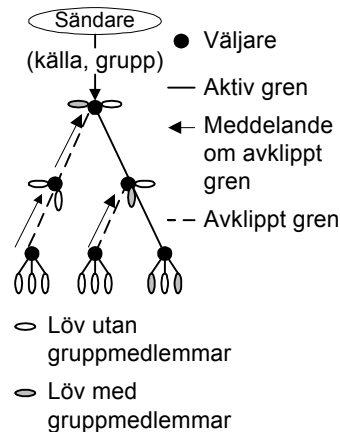


är effektivare än ”Spanning Tree” därför att den även tar hänsyn till den kortaste vägen. Den information som behövs för att beräkna den kortaste vägen får man från ett länktillståndsprotokoll där en karta över nät ingår. Problemet med RPB-algoritmen är att det inte tas någon hänsyn till informationen om gruppmedlemmarna. Det leder till att paket kan skickas i onödan till olika nät som inte har några gruppmedlemmar. Ett träd som består av en källa och en grupp kallas för ett källbaserat träd eller (källa, grupp) par.

Truncated RPB (TRPB):

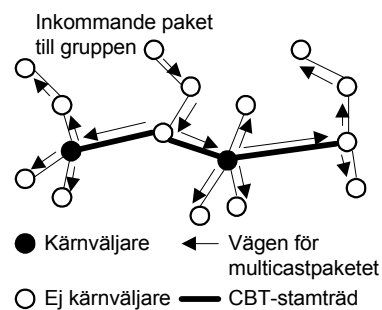
fungerar som RPB men tar hänsyn till om det finns gruppmedlemmarna på ett löv eller inte. Ett löv utan medlemmar får inga paket.

Reverse Path Multicasting (RPM):



är en utveckling av RPB och TRPB. Detta källbaserade "spanning" trädet tillåter att man kapar av de delar som inte har några medlemmar. När en multicastväljare mottager ett paket för ett (källa, grupp) par skickas paketet vidare genom nätet m.h.a. TRPB-algoritmen. Denna algoritm garanterar att alla väljare får det första paketet. Om en väljare inte har några gruppmedlemmar skickar den ett meddelande, till väljaren som finns ett steg tillbaka mot källan, för att kapa av denna del av trädet. Trädet måste omstruktureras vid varje topologisk- eller medlemskapsförändring. För att ta hänsyn till förändringarna återställs hela trädet med dess grenar periodiskt. Det första paketet måste återigen skickas vidare med TRPB-algoritmen till alla väljare.

Core-Based Trees (CBT):



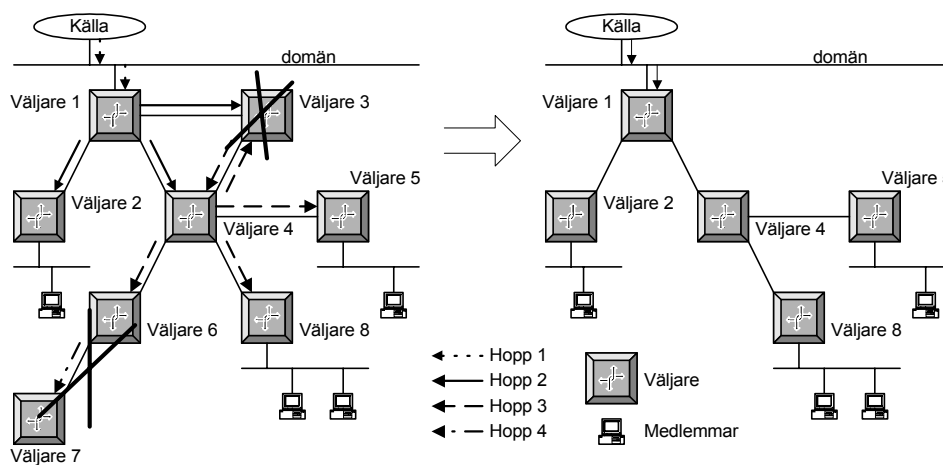
konstruerar ett träd som alla medlemmar i en grupp delar på. Källan skickar ett paket som når en kärnväljare. Kärnväljaren sprider ut paketet till alla sina grenar i trädet, förutom i den riktning paketet kom ifrån. All multicasttrafik skickas och mottages över samma träd, oavsett källa. Fördelar med detta är att en väljare endast behöver ha information om varje grupp och inte varje (källa, grupp) par. Trädet behöver inte heller återskapas periodiskt, vilket leder till att bandbredd sparas. En nackdel är att trafiken kan bli koncentrerad kring en viss väljare (kärnväljaren) eftersom mycket trafik sker över samma länkar.

### 3.5 Vägvalsprotokoll för multicast

Det finns två olika typer av vägvalsprotokoll för IP-multicast, vilken typ som passar bäst beror på hur spridningen av multicastgrupperna är i nätverket. Den första bygger på att gruppmedlemmarna är kompakt placerade i nätet, d.v.s. att nästan alla i nätet är medlemmar i gruppen, och bandbredden är hög. Den andra bygger på att medlemmarna är väl utspridda och bandbredden kan vara låg. Exempel på de kompakta vägvalsprotokollen är DVMRP, MOSPF och PIM-DM och de kallas ibland med ett gemensamt namn för DM (dense mode). Exempel på de utspridda är CBT och PIM-SM, tillsammans även kallad SM (sparse mode). Referens [5], [11] och [24] tar upp de olika vägvalsprotokollen som beskrivs i detta avsnitt.

## Distance Vector Multicast Routing Protocol (DVMRP)

DVMRP konstruerar ett källbaserat träd med hjälp av RPM-algoritmen, se beskrivning i tabell 1. Enligt RPM skickas det första paketet från ett (källa, grupp) par till alla väljare i en domän. De som inte har några medlemmar skickar tillbaka meddelande om att kapa av grenen. Om en lokal väljare upptäcker en ny medlem skickar den ett meddelande till den närmaste väljaren som befinner sig ett steg tillbaka mot källan. Detta upprepas tills meddelandet når multicastträdet och på så sätt skapas en ny gren.



Figur 6 Skapandet av ett DVMRP-träd

Vägen för meddelanden visas som ett hopp per tidsenhet i figur 6:

1. Vid första hoppet når meddelandet väljare 1.
2. Vid andra hoppet når meddelandet väljare 2, 3 och 4.
3. Vid tredje hoppet utbyter väljare 3 och 4 meddelanden med varandra som bidrar till att de kastar bort meddelandet för att denna väg inte är den kortaste vägen. Meddelandet når även väljare 5, 6 och 8.
4. Vid fjärde hoppet når meddelandet väljare 7 som inte har någon medlem och skickar därför tillbaka ett meddelande för att väljare 6 ska kapa av denna gren. Väljare 6 i sin tur skickar tillbaka ett meddelande om att väljare 4 ska kapa av denna gren. Väljare 3 gör motsvarande till väljare 1.

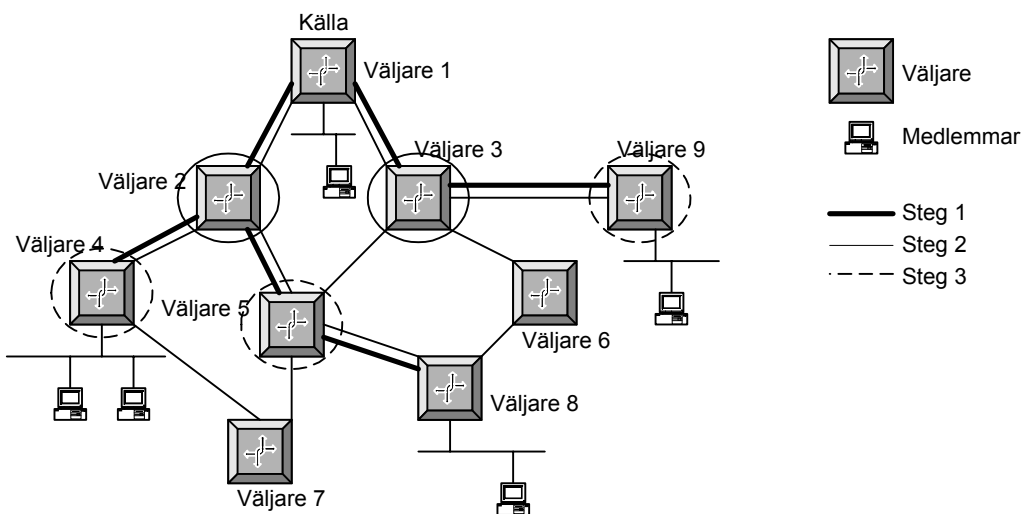
DVMRP skapades för att kunna skicka multicast och inte unicast, därför måste en väljare ha en vägvalstabell för både unicast och multicast. I DVMRP uppdateras vägvalstabellen periodiskt med meddelanden från multicastkapabla grannar. Information om vägval för unicasttrafik fås från ett protokoll som påminner om RIP. Uppdateringarna för multicast och unicast sker oberoende av varandra och det bidrar till att trafik kan transporteras på olika vägar för multicast och unicast.

DVMRP har använts för att bygga upp ett multicaststamnät (MBONE) över Internet.

## Multicast Extensions to OSPF (MOSPF)

MOSPF är en utveckling av OSPF. OSPF är ett unicastvägvalsprotokoll som ser till att alla väljare i ett autonomt system (AS) vet vilka vägar som är tillgängliga. Ett AS är ett nätverk som administreras av ett företag, universitet eller liknande. Varje OSPF-väljare beräknar vägar från sig själv till möjliga destinationer. MOSPF-väljare beräknar vägen för varje (källa, grupp) par. Det görs när väljaren får paket som ska till den gruppen. Om topologin förändras måste väljaren beräkna nya vägar. Vljare som använder MOSPF kan samarbeta med väljare som använder OSPF och kan därför skicka unicastpaket vidare.

MOSPF fungerar bara i nätverk som använder OSPF. I ett OSPF/MOSPF-nätverk har varje väljare en karta över topologin som används för att konstruera multicasträdet. En lokal MOSPF-väljare använder IGMP-meddelanden för att konstatera vilka grupper som har lokala medlemmar. Information om gruppmedlemmar sänds m.h.a. "flooding" till alla väljare i ett AS. När en källa sänder information eller paket till destinationer i ett annat AS, används en speciell väljare. Det tas inte upp här.



Figur 7 Skapandet av ett MOSPF-träd

De olika stegen i figur 7:

1. Väljare 1 skapar ett träd. Den vet att det finns gruppmedlemmar hos väljare 4 och 8. Gruppmedlemmarna nås genom att ta vägen förbi väljare 2 och vägen förbi väljare 5. På samma sätt för medlemmar hos väljare 9.
2. Väljare 2 skapar ett träd och ser att vägen till väljare 4 är direkt och vägen till väljare 8 går via väljare 5. Väljare 3 skapar också ett träd och ser att vägen till väljare 9 är direkt.
3. Väljare 5 skapar ett träd och ser att vägen till väljare 8 är direkt.

När första paketet når rotnoden skapas ett källbaserat träd som med hjälp av Dijkstras-algoritm även ger den kortaste vägen till destinationerna. Trädet måste konstrueras om när det sker förändringar i OSPF-topologin eller i multicastgruppen.

Det kan uppkomma problem när man kombinerar OSPF och MOSPF. MOSPF-väljare måste utesluta alla OSPF-väljare som inte stödjer multicast när den skapar sitt distributionsträd. Det kan leda till att multicastpaket skickas på omvägar eller att en grupp endast har unicast konnektivitet.

### **Core-Based Trees (CBT)**

CBT är tidigare omnämnt i denna rapport. CBT är både en trädstruktur och ett protokoll. CBT-protokollet används när en viss applikation för multicast behöver ett delat träd med många aktiva sändare i gruppen, t.ex. för konferenser. Multicasttrafiken skickas och tas emot över samma träd oavsett var källan är. CBT-trädet har en kärnväljare som är roten till trädet. Väljare deltar i trädet efter att kärnväljaren eller den närmaste väljare som redan deltar i trädet får ett deltagandemeddelande.

### **Protocol-Independent Multicasting (PIM)**

PIM är inte knutet till något speciellt unicastvägvalsprotokoll, men behöver ha tillgång till ett vägvalsprotokoll för att få information från vägvalstabellen och för att kunna anpassa sig vid topologiska förändringar. Det finns två olika varianter av PIM. Gruppmedlemmar som är tätt anslutna (DM) eller väl utspridda över nätet (SM). Detta kommer att diskuteras här nedan.

#### **PIM-dense mode (PIM-DM)**

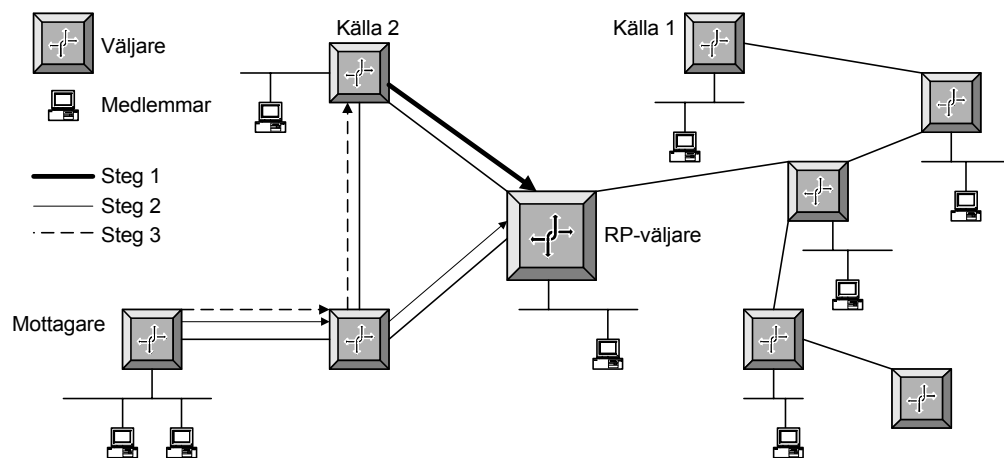
PIM-DM bygger på att det finns relativt många gruppmedlemmar anslutna, att de finns i närheten av varandra och dessutom att det finns mycket bandbredd. PIM-DM använder RPM-algoritmen precis som DVMRP. Det finns dock några skillnader mellan PIM-DM och DVMRP. Det är framför allt att PIM-DM använder den information som fås från existerande unicastvägvalsprotokoll, men är oberoende av vilket unicastvägvalsprotokoll som används. DVMRP måste få sin information från ett RIP liknande protokoll och MOSPF från OSPF.

#### **PIM-sparse mode (PIM-SM)**

PIM-SM kan ha många medlemmar men de är utspridda över ett stort nätverk och tillgången till bandbredd behöver inte var stor. PIM-SM ska användas vid stora nätverk för att minska risken att nätet blir överbelastat. SM-distributionsträdet påminner om CBT. Väljare anmäler sig att man vill vara med i trädet. Det finns en mötespunkt där mottagare och sändare möts, s.k. rendezvous point (RP).

---

När det finns flera PIM-väljare på ett LAN blir den väljaren med högst IP-adress utsedd till att ansvarar för IGMP-förfrågningar, deltagande- och uppsägningsmeddelande till RP och informera lokal multicastsändare om RP till en multicastgrupp. Trädet från RP ger konnektivitet till gruppmedlemmarna, men optimerar inte vägen genom nätverket. Denna typ av träd kallas för ett delat träd. En PIM-väljare kan byta väg till den kortaste vägen genom att skicka ett deltagandemeddelande till källan för att tala om detta. Det skapas då ett källbaserat träd som betyder att väljaren närmast sändaren är roten till trädet. Figur 8 beskriver stegvis hur man går från ett delat träd till en källbaserat träd.



**Figur 8** Samverkan mellan ett källbaserat träd och ett delat träd i PIM-SM

De olika stegen i figur 8:

1. Sändaren vid källa 2 registrerar sig hos RP-väljaren.
2. En mottagare ansluter sig hos RP-väljaren och det blir därför ett större gemensamt träd.
3. Mottagaren får mycket data från källa 2. Mottagaren skickar ett speciellt meddelande till källa 2 för att etablera en förbindelse den kortaste vägen.

I figur 8 visas hur ett delat träd kan samverka med ett källbaserat träd. Trafiken från källa 1 går som tidigare via RP-väljaren till mottagarna på det delade trädet. Däremot skickar källa 2 trafik på det källbaserade trädet, men det skickas även trafik via RP-väljarna till de mottagare som fortfarande deltar i det delade trädet. Mottagarna på det källbaserade trädet får endast trafik direkt från källa 2, d.v.s. det kommer ingen trafik via RP-väljaren.

## Multicast Internet Protocol (MIP)

MIP är ett vägvalsprotokoll för multicast som till skillnad från andra garanterar att vägarna är slingfria [18]. Protokollet skapar både källbaserade träd och delade träd, och dessutom kan sändaren och/eller mottagaren vara initiativtagare till att ett träd skapas. Det innebär att protokollet anpassas till en applikations gruppdynamik och storlek. MIP är oberoende av vilka underliggande unicastalgoritmer som används. Trots att ett underliggande unicastvägvalsprotokoll kan innehålla slingor skapar MIP aldrig slingor. Detta är väldigt viktigt i multicast för att en slinga bidrar till att flera kopior av samma paket skapas och skickas vidare när de är i en slinga.

I referens [18] beskrivs hur MIP är en förbättring av den tidigare nämnda protokollen DVMRP, MOSPF, PIM och CBT. MIP är uppbyggt på ungefär samma sätt som PIM och CBT.

Däremot har MIP följande fördelar:

- har inga slingor.
- har snabbare reaktions tid vid förändringar för att man inte behöver ha en timer för att skicka medlemskapsinformation periodiskt.
- skickar inga kontrollmeddelanden när ett träd är stabilt.

## Simple Multicast (SM)

SM är ett vägvalsprotokoll för multicast som bygger på CBT, PIM-SM och BGMP, där BGMP är ett externt multicastvägvalsprotokoll [19]. SM-protokollet är en förenkling av dessa protokoll och även en sammanslagning så att den arbetar både inuti domäner och mellan domäner. Idéen som ska förenkla multicast är att en grupp ska identifieras som en kombination av en kärnnod och en multicastadress. Multicastadressen behöver därför inte vara unik genom Internet utan bara per kärnnod. En annan egenhet är att bygga ett dubbelriktat träd som i CBT och BGMP, istället för att ha ett enkelriktat träd från varje sändare som PIM-SM har.

## 3.6 Kostnadsanalys

En kostnad i detta avsnitt handlar inte om pengar, utan en kostnadsmetrik sätts av vägvalsprotokollet för varje länk mellan två väljare. Denna länk har en fast kostnad och en flödeskostnad som beror på hur mycket trafik som skickas.

För att kunna mäta kostnadseffektiviteten mellan olika multicastprotokoll används här en kostnadsanalys som är presenterad i rapporten *"Cost Analysis of Multicast Transport Architectures in Multiservice Networks"* [20]. I denna rapport illustreras, med både empiriska och simulerade studier, en kostnadsmodell för att analysera multicastroffik i ett delat träd och i ett källbaserat träd. Kostnadsanalysen är oberoende av vilket nät som transporterar multicastroffiken.



När en vägvalsalgoritm sätter upp vägarna har varje länk en fast kostnad. Kostnaden för att kombinera ett trafikflöde över en länk kan vara lägre än kostnaden för varje individuellt flöde. Detta på grund av att länken har en fast kostnad. Kostnaden över en länk kan alltså sänkas om man ökar antalet flöden som delar på denna länk. Kostnaden för multicasttrafik beror på data hastigheten, placering av källor och destinationer i nätet, samt möjligheten att dela vägar.

Tabell 2 beskriver hur strukturer kan delas upp i källbaserade träd och i delade träd för de olika protokollen. Arkitekturer visar på skillnaderna mellan de olika protokollen. I DVMRP, MOSPF och PIM-DM finns roten i sändarnoden. Det betyder att trädet börjar från själva sändaren. I PIM-SM och CBT kan det finnas en bestämd central nod i nätet som utgör roten till trädet. Det kan även finnas flera noder i nätet där varje nod utgör en rot till ett träd. Dessa noder kallas för RP. Data från en källa skickas till en RP genom en punkt-till-punkt väg. I RP kombineras de olika flödena ihop och skickas genom trädet mot destinationerna.

**Tabell 2 Skillnad i struktur och arkitektur mellan olika vägvalsprotokoll för multicast**

Protokoll	DVMRP	MOSPF	PIM-DM	PIM-SM	CBT
Struktur	källbaserat träd	källbaserat träd	källbaserat träd	delat träd	delat träd
Arkitektur	källbaserat träd	källbaserat träd	källbaserat träd	delat träd med en eller flera RP	delat träd med en eller flera RP

Här diskuteras inte att PIM-SM både kan vara ett källbaserat och/eller delat träd.

Dessa slutsatser kan dras från denna kostnadsmodell:

- En källbaserad struktur är mer kostnadseffektiv när varje källa når destinationen på färre hopp jämfört med ett delat träd.
- Ett delat träd har en struktur som är mer kostnadseffektiv när flera flöden delar på kostnaden över en länk.

I referens [20] görs även en simulering av de olika arkitekturerna. De använder en "random graph" teknik som genererar en fysikalisk topologi med 25-100 olika noder och innehåller en källa/destinations konfiguration. Parametrarna i simuleringen är: antalet noder, placeringen av källor och destinationer, placering av RP och datahastigheten. De använder två olika algoritmer för att sätta upp de olika multicastvägarna för de olika arkitekturerna, detta p.g.a. att resultaten inte ska vara algoritmberoende.

Följande resultat togs fram ur graferna:

- När antalet destinationer ökar, ökar även kostnaderna. Det är p.g.a. att både den fasta kostnaden och flödeskostnaden ökar. Ökningen är ungefär linjär.
- När datahastigheten är högre, ökar flödeskostnaden påtagligt. Det gör att ökningen i totala kostnaden blir mer signifikant.

Jämförelse mellan multicastarkitekturerna när antalet destinationer är fler än fem ger följande:

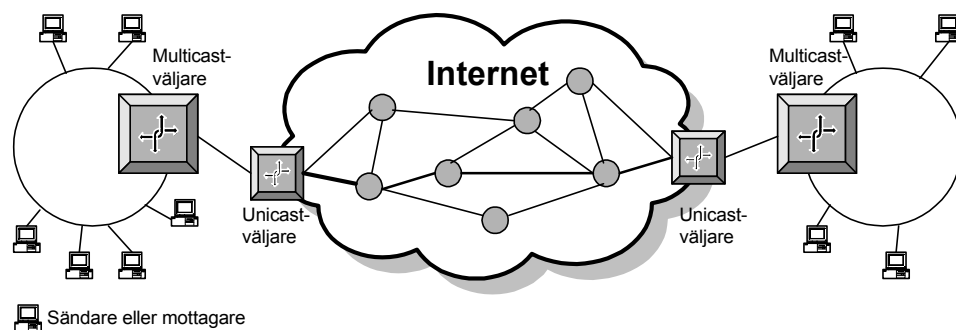
- När antalet destinationer ökar bidrar det till att den totala kostnaden ökar snabbast i en källbaserad arkitektur. Det är p.g.a. att man inte kan ha en fast kostnad för olika dataflöden i ett källbaserat träd. När datahastigheten är låg växer kostnaden för en källbaserad arkitektur mycket snabbare än för en delat träd arkitektur. Med en högre datahastighet är inte skillnaden så stor, men kostnaden är ändå högre för den källbaserade arkitekturen än för den andra arkitekturen för ett stort antal destinationer.
- Den totala kostnaden för ett delat träd med en fixerad central rotnod är den lägsta av arkitekturerna.

Slutsatsen är att ett delat träd med en fixerad central rotnod är mest kostnadseffektiv, vilket ger att PIM-SM eller liknande protokoll blir de bästa vägvalsprotokollen för multicast.

### 3.7 Multicaststamnät över Internet (MBONE)

Multicaststamnät över Internet är en sammanslagning av olika nätverk där vissa väljare stödjer IP-multicasttrafik. Stamnätet är ett virtuellt nätverk. Med hjälp av tunnlar tillåts multicasttrafik att passera över delar av Internet som inte kan hantera multicast. En tunnel skapas genom att ett multicastpaket kapslas in i ett vanligt IP-paket där adressen är till den multicastväljaren som finns på andra sidan av Internet. När paketet har passerat tunneln tas IP-huvudet bort och multicastväljaren analyserar multicastpaketet.

Eftersom multicaststamnätet och Internet inte har samma topologi måste multicastväljarna använda ett separat vägvalsprotokoll för att kunna skicka multicasttrafik. Vägvalsprotokollet som används idag är DVMRP. Figur 9 visar hur multicaststamnätet arbetar över Internet [6].



Figur 9 Multicaststamnät över Internet (MBONE)

Multicaststamnät över Internet används till att bära ljud och video till bl.a. IETF möten, NASA rymdskeppsuppdrag och för att visa realtidsbilder från vädersatellit.

### 3.8 Avgränsningar inom multicastområdet

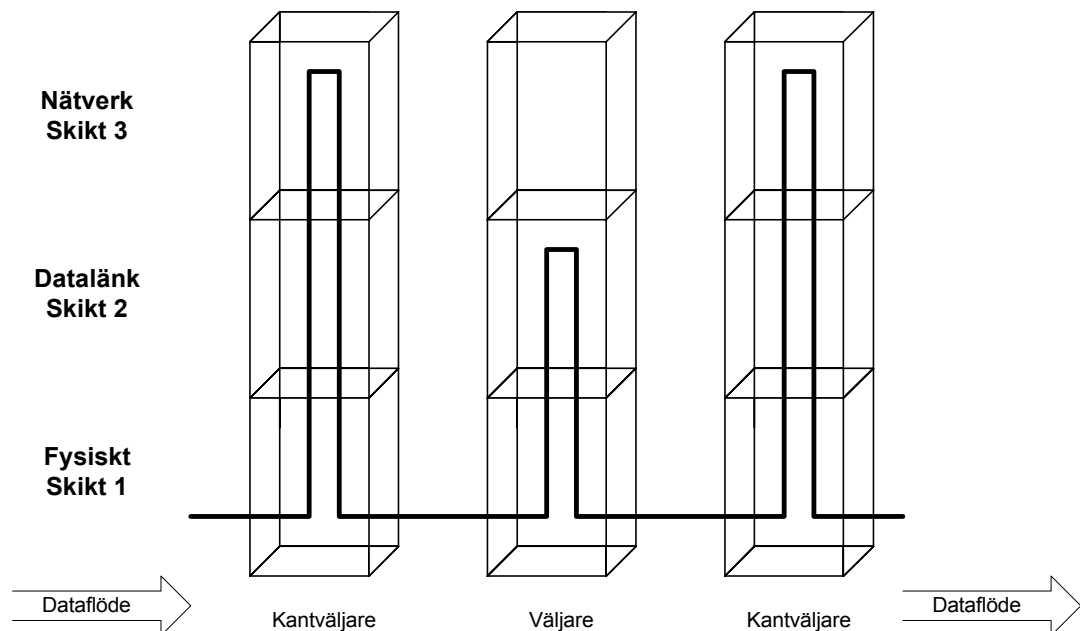
Multicast är ett stort område med många intressanta och viktiga delar. För att avgränsa rapporten måste vissa områden väljas bort. De områden som jag inte går in på är:

- Tillförlitlig multicast [22]  
I rapporten utgår jag ifrån att alla paket som skickas med multicast kommer fram till mottagarna. Det försvinner således inga paket på vägen. Tillförlitlig multicast ska dessutom hanteras på sessions nivå.
- Reservering av bandbredd [21]  
Det förutsätts i rapporten att det finns tillräckligt mycket bandbredd för att skicka paket.
- Tjänstekvalitet och differentierade tjänster  
Jag går inte heller in på hur man kan garantera en viss kvalitet eller prioritet.

Vid fortsatta studier kan det dock vara intressant att gå vidare med dessa delar.

## 4 Multi-Protocol Label Switching (MPLS)

OSI-modellen består av sju skikt som går från applikationsnivå ner till fysisk nivå. Här diskuteras endast skikt två och tre. Skikt tre kallas för nätverk. IP och alla vägvalsprotokollen arbetar på denna nivå. Det är här trädstrukturerna för IP-multicast byggs upp. Skikt två kallas för datalänk. Det finns cellbaserade och paketbaserade datalänktekniker.



Figur 10 Skikt 1, 2 och 3 i OSI-modellen

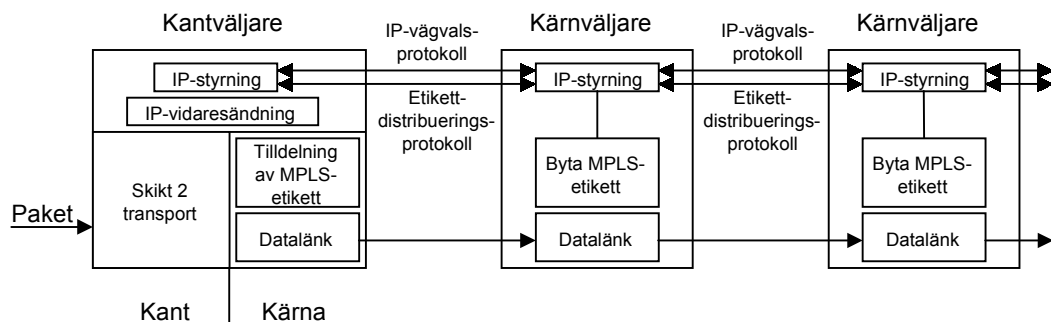
Multiprotokoll i MPLS står för att tekniken är oberoende både av vilket nätverksprotokoll och datalänksprotokoll som används. Det som är intressant i dagens läge som skikt-tre-teknik är IP. Det som oftast används som skikt-två-teknik är ATM men det går även att ha paketbaserat nät. MPLS arbetar mellan skikt två och skikt tre i OSI-modellen, alltså tillsammans med skikt två och dess växelteknik kombinerad med vägvalsteknik för skikt tre. Detta ska göra att nätet blir effektivare eftersom det ska gå snabbare och lättare för väljarna att hitta vägvalsinformation för att kunna byta etikett och skicka vidare, se figur 10. Alla väljarna kan arbeta i skikt två och tre, men när vägar är skapade arbetar kärnväljare endast i skikt två [8] [23] [25].

I MPLS finns det möjlighet att inkludera funktioner som bl.a. reservering, tjänsteklass och prioritet. De drivande MPLS-applikationerna idag är IP- och ATM-integrationen, IP-VPN (virtuella privata nät) och trafikstyrning i IP-nät.

## 4.1 Arkitektur

MPLS är uppdelad i två olika komponenter: styrning och vidareledning. Det ska kunna gå att byta ut delar i en av komponenterna utan att den andra komponenten påverkas. Styrkomponenten använder sig av standardiserade vägvalsprotokoll som t.ex. OSPF, IS-IS och BGP-4 för att utbyta information mellan väljare som skapar och uppdaterar vägvalstabellerna. Styrkomponenten i MPLS innehåller även ett nytt signalerings- och etikettdistribueringsprotokoll.

Vidareledningskomponenten söker i vägvalstabellen efter vilken väg paketet ska ta. Informationen får den från paketets huvud. Figur 11 beskriver hur arkitekturen är uppbyggd.

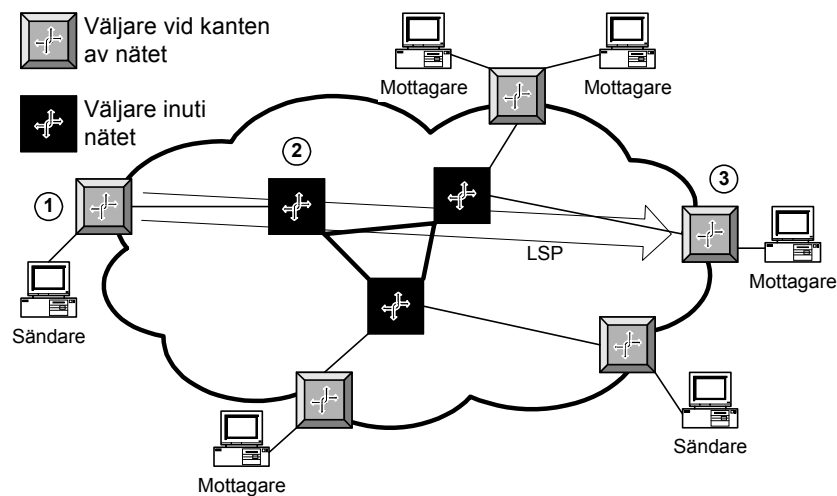


Figur 11 Arkitektur

MPLS kan användas med olika länktekniker men är inte bunden till någon speciell. Ofta integrerar man MPLS med ATM. I ett sådant nätverk används ATM:s virtuella vägidentifierare (VPI) och virtuella kanalidentifierare (VCI) som MPLS-etikett.

## 4.2 Exempel på ett MPLS-nät

Ett MPLS-nätverk består av: kantväljare, väljare inuti nätet, vägar mellan väljarna och Label Switched Path (LSP).



Figur 12 Exempel på ett MPLS-nät

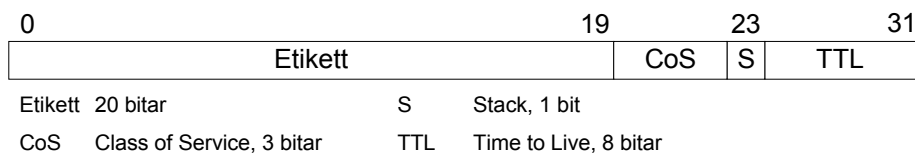
Enligt figur 12 sker vägval genom ett MPLS-nätverk på följande sätt:

1. När ett paket anländer vid den första väljaren på kanten av nätet läses IP-destinationsadressen av. En redan förutbestämd etikett läggs framför IP-paketet som på så sätt kapslar in paketet. Därefter skickas paketet vidare till nästa väljare på vägen.
2. Hos väljare inuti nätet läses etiketten av, en ny etikett letas upp, etiketterna byts ut och paketet skickas vidare ett hopp.
3. Den sista väljaren i nätverket avlägsnar etiketten, analyserar IP-destinationsadressen och skickar paketet mot sin destination.

Etikettbindningar skapas på två sätt, antingen med en kontrolldriven modell eller med en trafikdriven modell. Vid den kontrolldrivna modellen skapas etiketter när kontrollinformation anländer till en väljare. Fördelen med detta är att etiketten är skapad och distribuerad innan datapaketet kommer. Vid den trafikdrivna modellen skapas således etiketten när datapaketet anländer, det krävs då att etikettdistributionen sker snabbt.

### 4.3 MPLS-huvudet

MPLS använder ett 32 bitars långt huvud som bl.a. innehåller en 20 bitars etikett, se figur 13. MPLS-huvudet läggs till IP-paketet när det passerar en kantväljare vid ett MPLS-nät. Var huvudet placeras beror på vilken länkteknik som används till MPLS. Om länktekniken har ett eget huvud som t.ex. i ATM-fallet används detta som MPLS-huvud. I annat fall placeras MPLS-huvudet mellan IP-huvudet och huvudet för den länkteknik som används.



Figur 13 MPLS-huvud

Efter att en etikett har lagts på ett paket vid första kantväljaren behövs inte IP-destinationsadressen läsas förrän paketet lämnar MPLS-nätet. All information som behövs för att göra vägval finns i MPLS-huvudet. De paket som ska skickas på samma sätt, t.ex. över samma väg eller med samma typ av behandling, identifieras med en Forwarding Equivalence Class (FEC). Man använder FEC för att minska antalet etiketter för en ström av paket som ändå ska transporteras på samma sätt.

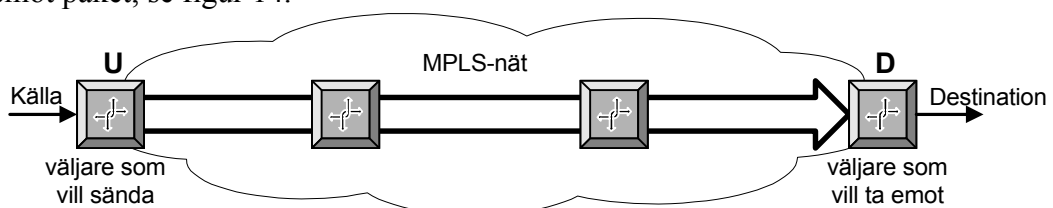
Ett MPLS-huvud kan innehålla flera etiketter som representerar en etikettstack. Stacken är organiserad så att etiketten som är sist in även är först ut. En stack av etiketter används vid mer komplicerade nät som bygger på flera nivåer.

### 4.4 Label Distribution Protocol (LDP)

LDP är ett signaliserings- och etikettdistribueringsprotokoll för MPLS. Det är inte det enda etikettdistribueringsprotokollet som kan användas, men är det vanligaste i MPLS när unicasttrafik sänds över nätet.

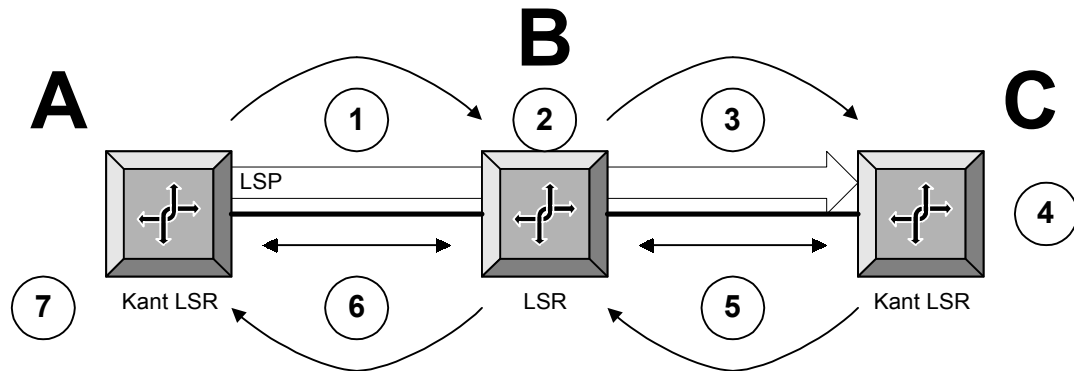
LDP beskriver hur en väljare, Label Switching Router (LSR), tilldelar etiketter, skapar vägar, Label Switched Paths (LSP), och associerar en FEC till varje väg.

En väljare är uppströms (U) eller nedströms (D) i förhållande till riktningen som paketet ska skickas över nätet. En U-väljare sänder iväg paket och en D-väljare tar emot paket, se figur 14.



Figur 14 U- och D-väljare i ett MPLS-nät

Ett paket har en etikett som är bunden till en FEC och ska skickas från U-väljaren till D-väljaren. Etiketten är enligt LDP tilldelad från D-väljaren. Etikettbindningar tilldelas och distribueras från D-väljaren till U-väljaren, enligt "Downstream on demand" i figur 15. Denna tilldelning används vid unicasttrafik och med den kontrolldrivna modellen.



Figur 15 "Downstream on demand"

Antag att LSR A och C är MPLS-kantväljare och att LSR B är en väljare inuti nätet.

På följande sätt sker etiketttilldelningen i figur 15:

1. LSR A hittar ett nätverk i sin vägvalstabell som inte har någon direkt väg (LSP) till C. Den skickar en förfrågan till den väljaren som är närmast, i det här fallet LSR B.
2. LSR B förbereder för en etikett.
3. LSR B skickar vidare en förfrågan till LSR C angående en etikett för den här vägen.
4. LSR C är en kantväljare och kan därför allokera en etikett för den här vägen.
5. LSR C svarar på förfrågan från LSR B och skickar med en etikett som gäller mellan LSR B och C.
6. LSR B svarar på förfrågan från LSR A och skickar med en etikett som gäller mellan LSR B och A.
7. LSR A har nu en etikett för denna väg i sin vägvalstabell.

Det har föreslagits i IETF:s arbetsgrupp att etikettbindningar ska tilldelas och distribueras från U-väljaren till D-väljaren för att optimera multicasttrafik. Denna tilldelning är trafikdriven. Detta kommer att tas upp i nästa kapitel [16].



## 5 IETF:s arbetsgrupp för multicast över MPLS-nät

IETF har en arbetsgrupp som diskuterar MPLS, men det finns ingen standard för MPLS ännu. MPLS beskrivs idag för att sända unicasttrafik. De vägvalsprotokoll som kan användas är t.ex. RIP och OSPF. I arbetsgruppen har man även diskuterat multicast över MPLS-nät. IETF har inte kommit fram till några lösningsförslag utan har arbetat fram ett ramverk för multicasttrafik över ett MPLS-nät [16]. Det innebär att de tittar på de delar som måste förändras och vad som saknas för att göra det möjligt att skicka multicast över MPLS-nät.

Det finns ett dokument av några aktiva deltagare i IETF:s arbetsgrupp för MPLS [2]. Detta dokument beskriver olika lösningsförslag för multicast på MPLS-nät. Dessa lösningsförslag kan komma att ändras om MPLS förändras.

Hela detta kapitel bygger på IETF:s dokument [16] och [2].

### 5.1 Ramverk för multicast i MPLS-nät

I IETF:s dokument [16] diskuteras ramverket för multicast i ett MPLS-nät. I dokumentet diskuteras endast interna multicastvägvalsprotokoll, vilket innebär att vägval sker inom en domän. Vägval mellan domäner tas därför inte upp.

I ett MPLS-nät bestäms vägar med hjälp av vägvalsprotokoll i skikt tre. Vägar som ska transportera multicasttrafik är uppbyggda i en trädstruktur. Det är för att optimera trafiken i nätet. Detta skikt-tre-träd görs om till LSP-vägar i skikt två.

#### Skikt två och tre karaktäristik

MPLS kan använda sig av flera skikt-två-teknologier, t.ex. PPP/Sonet, Ethernet, ATM och Frame Relay (FR).

Det finns några begränsningar vid etikettväxling när ATM och FR används som skikt-två-teknik. De är:

- Mer begränsad etikettillgång för antalet LSP-vägar som ska skapas än när andra länktekniker används.
- Några skikt-två-tekniker eller deras implementationer stödjer inte kombinationen multipunkt till en punkt och multipunkt till multipunkt kopplingar.
- TTL-funktionen existerar inte i skikt två.

## Multicastvägvalsprotokoll i samband med MPLS

Det finns många vägvalsprotokoll för multicast som alla har olika karaktärisk t.ex. storlek, komplexitet, kontrollmeddelande och trädtyper. Det är möjligt att olika vägvalsprotokoll kommer att användas på olika ställen över Internet. Jämförelsen i tabell 3 visar skillnaderna på de olika vägvalsprotokollen. Utvärdering av de olika vägvalsprotokollen i MPLS-nät genomförs i kapitel 7.3.

Tabell 3 Vägvalsprotokoll för multicast över MPLS-nät

	DVMRP	MOSPF	PIM-DM	PIM-SM	CBT	MIP	SM
Aggregation	nej	nej	nej	nej	nej	nej	nej
Skapa och kapa av	ja	nej	ja	nej	nej	nej	valfri
Trädtyp	källa	källa	källa	båda	delad	båda	delad
Samverkan	nej	nej	nej	ja	nej	ja	nej
Enkel/dubbelriktad	-	-	-	enkel	dubbel	båda	dubbel
Inkapsling	nej	nej	nej	ja	ja	ja	ja
Slingfri	nej	nej	nej	nej	nej	ja	nej
RPF-kontroll	ja	ja	ja	ja	nej	nej	nej

Denna tabell är från IETF:s dokument.

Beskrivning av de olika delarna i tabell 3:

- **Aggregation**  
En vägvalstabell för unicasttrafik skapas genom att titta på destinationsadressen och koppla samman den med en FEC och en LSP.  
Det finns ännu inte utrett hur man kan skapa ett multicastrod med olika destinationsadresser över en LSP.
- **Skapa och kapa av grenar i ett träd**  
Ett multicastrod skapas genom att skicka meddelande periodiskt till alla väljare om vilka grenar som ska vara med i trädet och vilka som ska kapas av.  
Vägvalsprotokoll för multicast skiljer sig från unicast i snabbhet att göra om skikt-tre-träd till LSP-vägar och även hur LSP-vägar skapas när trafik anländer. Det som är önskvärt i multicastfallet är att det snabbt ska skapas vägar när paket anländer, om de inte kan skapas i förväg. Det är då upp till U-väljaren att ta initiativet för att vägarna skapas.
- **Källbaserat och delat träd**  
Vägvalsprotokoll för multicast kan antingen skapa ett källbaserat träd eller ett delat träd. Ett källbaserat träd skapar ett träd per källa och grupp, medan ett delat träd skapar ett träd per grupp. Ett delat träd behöver inte lika många etiketter när det finns ett flertal sändare jämfört med ett källbaserat träd. Ett delat träd har en etikett för varje länk och grupp, och ett källbaserat träd har en etikett för varje länk per källa och grupp. Vid delade träd bör vägarna däremot vara multipunkt till multipunkt vägar, men det kan uppstå problem när LSP-

vägar måste kombineras ihop för att vissa skikt-två-tekniker inte stödjer detta.

- **Samverkan mellan källbaserat och delat träd**

Vissa vägvalsprotokoll t.ex. PIM-SM hanterar både källbaserade träd och delade träd. Detta kräver att det går att samverka mellan det källbaserade trädet och det delade trädet. Det finns två olika samverkningsfunktioner. Det ena är möjligheten att byta från ett delat träd till ett källbaserat träd. Det andra är att ett delat träd samverkar med ett källbaserat träd.

Det finns två olika fall av samverkan. I det ena fallet har det källbaserade och det delade trädet olika inkommande gränssnitt, men vissa av de utgående gränssnitten är samma. I det andra fallet har trädet samma inkommande gränssnitt. När de senare är fallet måste det källbaserade trädets trafik fås ur dataströmmen från det delade trädet. Det finns fyra olika sätt att hantera samverkningsproblemet då inkommande gränssnittet är samma:

- 1) Stänga av LSP-vägar och skicka all trafik till gruppen på skikt tre.
- 2) Tildela källspecifika etiketter till väljarna på det delade trädet.
- 3) Bara källbaserade trädet är etiketttildelade och trafik på det delade trädet skickas på skikt tre.
- 4) En D-väljare rekommenderar en etikett till U-väljaren som i sin tur skickar vidare en etikett tills den når RP. Detta försäkrar att ett källbaserat paket skickas på ett delat träd utan att någon väljare har kapat av källväljaren.

- **Enkel- och dubbelriktat delat träd**

CBT är ett exempel på ett dubbelriktat delat träd. IETF menar att MPLS har svårt att slå samman trafik från olika sändare i noderna på ett delat träd. I ett enkelriktat delat träd skickas data genom en tunnel.

- **Inkapsling av multicastpaket**

Källor från ett enkelriktat delat träd och icke-medlemmar av en dubbelriktat delat träd kapslar in data till rotnoden, där den kapslas upp. Inkapsling och uppkapsling av multicastdata sker i skikt tre. Vid inkapsling och uppkapsling av data kan trafiken inte skickas vidare på skikt två igenom RP-noden. Det kan däremot sättas upp en LSP från sändaren till RP. I RP bearbetas trafiken i skikt tre och det kan skapas LSP-vägar från RP genom hela trädstrukturen tills data når mottagarna.

- **Undvikande av slingor**

Vägvalsprotokollen för multicast som beror på vägvalsprotokollen för unicast har samma slingor. Effekterna är däremot värre i multicast, för att om ett paket går runt i en slinga kan kopior av paketet slås ur från slingan om grenar

existerar i slingan.

- **RPF-kontroll**

Vissa protokoll utför en Reverse Path Forwarding (RPF) kontroll på det mottagna multicastpaketet. RPF ser efter om ett paket är mottaget på gränssnittet som är den kortaste vägen från en källa eller rot.

### Mixade skikt två och tre vidaresändningar

Unicasttrafik har ett inkommande och ett utgående gränssnitt där trafiken kan skickas vidare antingen på skikt två eller skikt tre.

Multicasttrafik kan skickas vidare till flera utgående gränssnitt, där en gren ligger på skikt två och en annan gren ligger på skikt tre. De noder som stödjer blandade skikt två och tre vidaresändningar tillåter att multicastträd delas upp i grenar som skickar på antingen skikt två eller tre. Den nod som skickar vidare i skikt tre måste hålla reda på att samma gren inte får trafik på skikt två också. Det kan göras genom att lägga till en extra bit i vägvalstabellen för multicast.

### Multicast LSP-vägar

För att skapa LSP-vägar för multicasttrafik måste man bestämma hur etikettallokeringen ska gå till och vad som aktiverar själva skapandet. Enligt referens [16] finns det tre olika varianter på aktivering och de skapas genom:

- att en väljare sänder eller tar emot kontrollmeddelande. Etikettallokeringen är kontrolldriven.
- att skikt-tre-träd som finns i vägvalstabellen görs om till ett skikt-två-träd. Etikettallokeringen är topologidriven.
- att skikt-tre-träd görs om till skikt-två-träd när trafik ankommer. Etikettallokeringen är trafikdriven.

Beroende på om etikettallokeringen är kontroll-, topologi- eller trafikdriven så skapas etiketterna enligt nedströms (D) eller uppströms (U).

Fördelarna med att ha D-etikettallokering är att:

1. Samma LDP används som för unicast. LDP behöver därför inte förändras.
2. Samma etikett kan behållas även när en U-väljare ändras p.g.a. att vägar förändras.
3. Den är förenlig med ”piggy-backing”, vilket förklaras i nästa avsnitt.

Fördelarna med att ha U-etikettallokering är att:

1. Det är enklare att allokera etiketter i multiaccess nätverk.
2. Samma etikett kan behållas även när en D-väljare lämnar gruppen.
3. Det går snabbare att sätta upp LSP-vägar när allokeringen är trafikdriven.

För multicasttrafik är det enligt referens [16] enklare att använda U-etikettallokering som är trafikdriven.

### ”Piggy-backing”

Istället för att skicka två separata meddelanden kan etiketttilldelningen skickas tillbaka ”piggy-backed” med ett existerande styrmeddelande. Det finns två typer: vägvalsmeddelande för multicast och RSVP-reserveringsmeddelande. ”Piggy-backing” är bara en möjlig komponent i en MPLS multicastlösning.

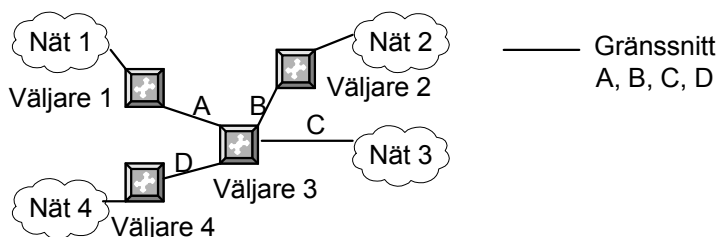
## 5.2 Multicastsupport i MPLS-nät

I detta avsnitt förslås några lösningar på hur multicasttrafik ska skickas i ett MPLS-nät. Dessa lösningsförslag bygger på dokument [2] som är ett initiativ från några aktiva personer i IETF:s arbetsgrupp för MPLS.

De vill komma fram till vilken typ av etikettallokering som ska användas för att kunna stödja alla tre typer av multicastträd i ett MPLS-nät, d.v.s. DM, SM delat träd, SM källbaserat träd.

### DM-multicast

För unicasttrafik används en kontrolldriven etikettbindning och D-etiketttilldelning. Detta passar inte för DM-multicast, vilket ska förklaras genom att göra en jämförelse mellan unicast och multicast. Antag att väljare 3 i figur 16 antingen är en paketbaserad väljare eller en ATM-väljare.



Figur 16 Jämförelse av unicast och multicast i ett MPLS-nät

- Vidaresändning för unicast MPLS:  
Det sker först en uppdatering av vägvalstabellen där etikettbindningar skapas eller tas bort enligt LDP. Alla paket som har nät 2 som destination kommer ifrån väljare 3 i figur 16. De skickas till väljare 2 på gränssnitt B och använder den gemensamma etiketten I2, se tabell 4.

Tabell 4 Unicastvägvalstabellen för väljare 3

Nästa hopp	Inkommande gränssnitt	Ingående etikett	Utgående gränssnitt	Utgående etikett
Väljare 2	A	I1	B	I2

Väljare 2	C	13	B	12
Väljare 2	D	13	B	12

- Vidaresändning för multicast MPLS:  
Antag att en multicastgrupp G har medlemmar i nät 2 och 4 i figur 16. Källan S1 finns i nät 1. Enligt PIM-DM mottager väljare 3 paket till gruppen på gränssnitt A och skickar vidare paketen på utgående gränssnitten B, C och D, steg 1 i tabell 5. Paket skickas vidare på skikt tre för att det inte har tilldelats någon etikett till (S1, G). Ett avskalningsmeddelande mottages från gränssnitt C eftersom nät 3 inte har några medlemmar, steg 2 i tabell 5.

Tabell 5 Multicastvägvalstabell för väljare 3

Steg	(Källa, Grupp)	Inkommande gränssnitt	Utgående gränssnitt	avskalningsmeddelande
1	(S1, G)	A	B, C, D	
2	(S1, G)	A	B, D	C

Gränssnitt C återskapas efter att tiden för avskalningen tar slut.

Följande gäller för multicast:

1. Det finns inga värden i vägvalstabellen för (S1, G) innan data anländer till väljare 3.
2. Det är inte möjligt att använda redan existerande värden för ett (källa, grupp) par till ett annat (källa, grupp) par för multicastvägval i DM eftersom ingående och utgående gränssnitten är olika för olika källor.
3. Värdena i en vägvalstabell ändras dynamiskt p.g.a. periodiska avskalningsmeddelande om vilka grenar som tillkommer och/eller vilka nya medlemmar som ansluter sig.
4. Alla paket skickas på skikt tre tills ingående och utgående etiketter tilldelats för (S1, G) i tabellen.

Punkt 1 och 3 leder till att etiketttilldelning för DM måste ske när trafik anländer. Punkt 2 visar att varje (källa, grupp) par måste tilldelas separata ingående och utgående etiketter. Punkt 4 betyder att alla paket skickas hopp för hopp tills tabellen med dess etiketter är klar.

### SM-multicast

- Existerande förslag för PIM-SM i MPLS:  
Referens [7] föreslår en ”piggy-backing” metod som tilldelar och distribuerar etiketter för multicastrotrafik för SM-träd. Idéen är att deltagandemeddelande även ska bära etiketter. Detta kräver förändringar i formatet för PIM-meddelande. I referens [16] finns det andra nackdelar med att använda ”piggy-backing”. Det är inte möjligt att tilldela en enda etikett till alla källor för SM delade träd. I referens [17] tas problemet med samverkan mellan delade träd

och källbaserade träd upp, men föreslår bara att använda skikt tre för vidareändning.

- Problemet med samverkan mellan delade och källbaserade trädet: PIM-SM tillåter att mottagare deltar i ett delat träd med en kärna/RP som rot eller i ett kortaste-väg-träd med rot i källan. En mottagare kan få trafik från en källa genom det källbaserade trädet och från andra källor genom det delade trädet. Problem uppkommer då en väljare på ett delat träd måste skicka data olika beroende på källa, t.ex. när medlemmar har gått med i ett specifikt källträd. För PIM-SM blir datatransporten felaktig då etiketttilldelningen är topologidriven.
- Etiketttilldelning för varje källa: PIM-SM kortaste-väg-träd fungerar som PIM-DM träd: en etikett tilldelas på ett hopp till hopp trafikdrivet sätt för varje (källa, grupp). För att lösa samverkningsproblemet utan att ändra IP-vidaresändning, tilldelas källspecifika etiketter hos kärnväljare för det delade trädet.

### Byggblock för multicast över MPLS-nät

Referens [2] förslag till lösning baseras på följande antaganden:

- För varje multicastkapabel väljare finns det en etiketttabell som associeras till varje gränssnitt.
- På en multiaccess länk måste multicast kapabla väljare använda etiketter som är till för att binda etiketter till FEC.

En oanvänd etikett, Unused Label (UL), är en etikett som för tillfället inte är bunden. Man har diskuterat två olika sätt hur man binder etiketter och i båda fallen initieras det när trafik ankommer.

#### 1. U-allokering

Ytterligare antagande: när en multicastväljare tar emot ett paket med en etikett som inte är bunden till något gränssnitt, sker etiketttilldelningen i skikt tre.

För varje utgående gränssnitt sätts en UL till motsvarande träd. Paketerna skickas därefter mot D-väljaren. D-väljaren mottager ett paket som har en obunden etikett och i skikt tre bestäms en ny UL för varje utgående gränssnitt. Slutligen kan trafik skickas på skikt två över multicastträdet där de bundna etiketterna används.

#### 2. D-allokering

En U-väljare mottager paket som hör till en FEC utan någon etikettbindning. Det finns två varianter på hur en etikett kan tilldelas med hjälp av LDP-styrmeddelanden:

- 1) När en U-väljare upptäcker en ny multicast FEC skickas ett etikettförfrågningsmeddelande till alla väljarna i nästa hopp och de tilldelar en etikett för motsvarande gränssnitt. Ett meddelande till U-väljaren kan skickas tillbaka för att tala om detta.
- 2) Det skickas inget etikettförfrågningsmeddelande av U-väljaren. Istället ankommer paket till D-väljarna och de skickar LDP-meddelande till U-väljaren om vilken etikett som har tilldelats för denna länk. Paketet skickas på skikt tre tills etiketter har tilldelats.

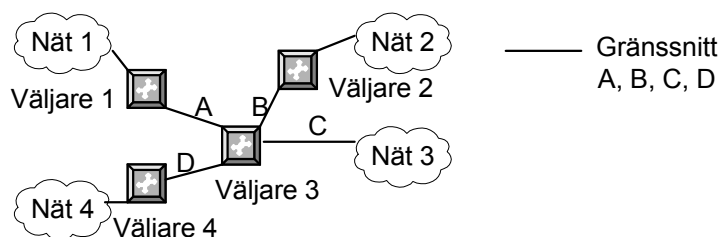
I referens [2] hävdar de följande om distribueringsprocedurerna: För multicastrotrafik är U-etiketttilldelning enklare för att det endast kan bli en U-väljare per länk på en multiaccess länk och det ger att en etikett blir bunden till denna länk. En trafikdriven modell passar bättre med U-allokering eftersom etikettbindningar och således skikt två växling sker tidigare jämfört med om D-allokering används.

### Förslag till lösning för PIM-DM i MPLS

I PIM-DM sker det en avbildning mellan ett multicastvägval och en LSP. Den enda FEC som behandlas är (källa, grupp) FEC. Det första paketet skickas på skikt tre och det initierar att en LSP sätts upp. De nästkommande paketen skickas vidare på skikt två. Styrmeddelande som används i PIM-DM skickas på skikt tre och bearbetas hos varje väljare den kommer till.

Exempel:

Antag att en multicastgrupp G har medlemmar i nät 2 och 4, se figur 17. Källan S1 finns i nät 1. Enligt PIM-DM mottager väljare 3 paket till gruppen på gränssnitt A och skickar vidare paketen på utgående gränssnitten B, C och D, steg 1 i tabell 6. Paket skickas vidare på skikt tre för att det inte har tilldelats någon etikett till (S1, G). Ett avkapningsmeddelande mottages från gränssnitt C eftersom nät 3 inte har några medlemmar, steg 2 i tabell 6.



Figur 17 PIM-DM i ett MPLS-nät

Tabell 6 Multicastvägvalstabell för väljare 3

Steg	(Källa, Grupp)	Inkommande gränssnitt och etikett	Utgående gränssnitt och etikett	avskalningsmeddelande
1	(S1, G)	A – I1	B – I2	



---

			C – 13 D – 14	
2	(S1, G)	A- 11	B – 12 D – 14	C

#### Förslag till lösning för PIM-SM i MPLS

Till skillnad från PIM-DM finns redan en multicastvägvalstabell i SM-trädet innan paketet anländer, p.g.a. att medlemmarna är aktiva. De anmäler att de vill delta i gruppen. Tabellen till SM-trädet skapas och uppdateras m.h.a. periodiska deltagandemeddelande. Det finns två typer av SM-träd:

- Källbaserat träd/kortaste-väg-träd  
Denna lösning av etiketttilldelning fungerar på samma sätt som för PIM-DM. En etikett tilldelas på ett trafikdrivet sätt och använder U-allokering.
- Delat träd  
Även på det delade trädet tilldelas en etikett när trafik anländer på det inkommande gränssnittet hos en väljare och metoden är U-allokering. En etikett associeras till paketet m.h.a. vägval i skikt tre. Etiketten kan antingen matcha ett (källa, grupp) par i tabellen eller ett (alla källor, grupp) par. Det första fallet är enligt ovan. Om det däremot gäller ett delat träd måste en LSP skapas för varje aktiv källa. Ett paket skickas från en sändare till RP. Från RP finns det delade trädet som når medlemmarna i gruppen. Paketet kan inte skickas på skikt två igenom RP-noden. Det kan däremot sättas upp en LSP från sändaren till RP. I RP bearbetas paketet på skikt tre och det kan skapas LSP-vägar från RP genom hela trädstrukturen tills paketet når mottagarna.

#### Förslag till lösning för DVMRP och MOSPF i MPLS

DVMRP fungerar på liknade sätt som PIM-DM. När det första paketet anländer skapas ett (källa, grupp) par i vägvalstabellen. Skillnader finns i skikt tre. DVMRP använder RIP specifik information för att beräkna kostnader för vägen. PIM-DM använder PIM-meddelande. Lösningen för PIM-DM kan sätta upp LSP även om protokollet i skikt tre är DVMRP.

MOSPF använder länktillstånd för att sprida information om vilka som är gruppens medlemmar till alla väljare i området. När det första paketet anländer skapas den kortaste vägen för det källbaserade trädet och vägvalstabellen uppdateras. Lösningen för PIM-DM kan sätta upp LSP även om protokollet i skikt tre är MOSPF.

## 6 En företagsspecifik lösning för multicast över MPLS-nät

Eftersom MPLS ännu inte är standardiserat finns inte multicaststödet färdigdefinierat. Det finns däremot ett flertal förslag på hur man kan lösa de problem som tillkommer med multicast över MPLS-nät. Dessa lösningar är företagsspecifika och behöver inte följa MPLS-standardiseringsarbetet.

I Appendix C och D har representanter från Ericsson och Nortel diskuterat situationen som råder idag. Det finns några bristfälliga lösningar, t.ex.:

- En lösning bygger på ”piggy-backing” på PIM-meddelanden. Detta kräver tillägg och förändringar i PIM-SM och PIM-DM.
- En annan lösning är att använda en etikett för alla som ingår i en multicastgrupp. Detta strider mot PIM-principen där ett källbaserat träd ska samverka med ett delat träd.
- En tredje lösning är att etikettdistribueringen sker m.h.a. LDP, där en multicasttabell i skikt tre sätter upp LSP-vägar i skikt två.

De menar även att multicast över MPLS är otestat utanför laborationsverksamheten och befinner sig på prototyp stadiet. Det som rekommenderas är att först ha unicast över MPLS-nät i drift under en längre tid för att få det att fungera på önskvärt sätt i ett publikt nät. Därefter realisera multicast i ett MPLS-nät.

Exempel på de problem som återstår att lösa enligt Appendix C och D:

- Hur ska etiketterna transporteras i multicastfallet?
- Vilken metod för etikettallokering och etikettavallokering bör användas?
- Hur ska en trädstruktur byggas för att spegla multicastträdet?
- Hur kan en RP flyttas dynamiskt under pågående session?
- Hur löser man komplexiteten när PIM-SM använder både källbaserat och delat träd?
- Hur kan man undvika slingor i multicastträd?

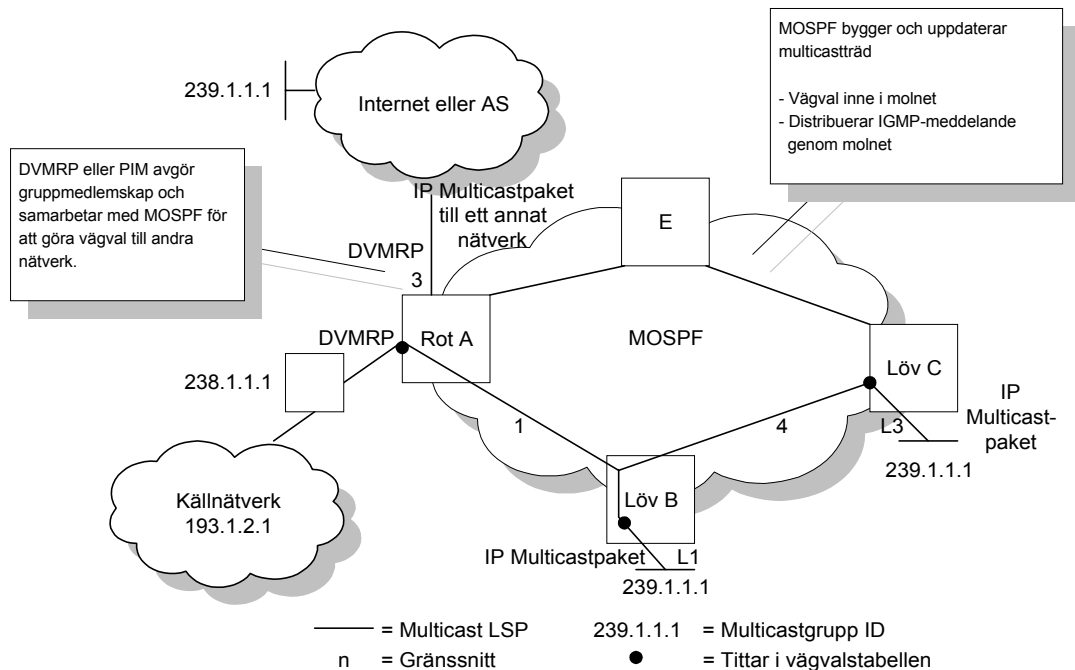
Ascend är exempel på ett företag som har kommit fram med en egen lösning på multicast över MPLS-nät.

### 6.1 Ascend Communications

”IP Navigator MPLS” är en MPLS-produkt från Ascend (numera Lucent) [1]. Den slår samman förbindelseorienterad ATM och Frame Relay tjänster med förbindelselös IP. Protokollen som används i IP Navigator MPLS är: OSPF, IS-IS, BGP-4, RIP-4, MOSPF, DVMRP och PIM.

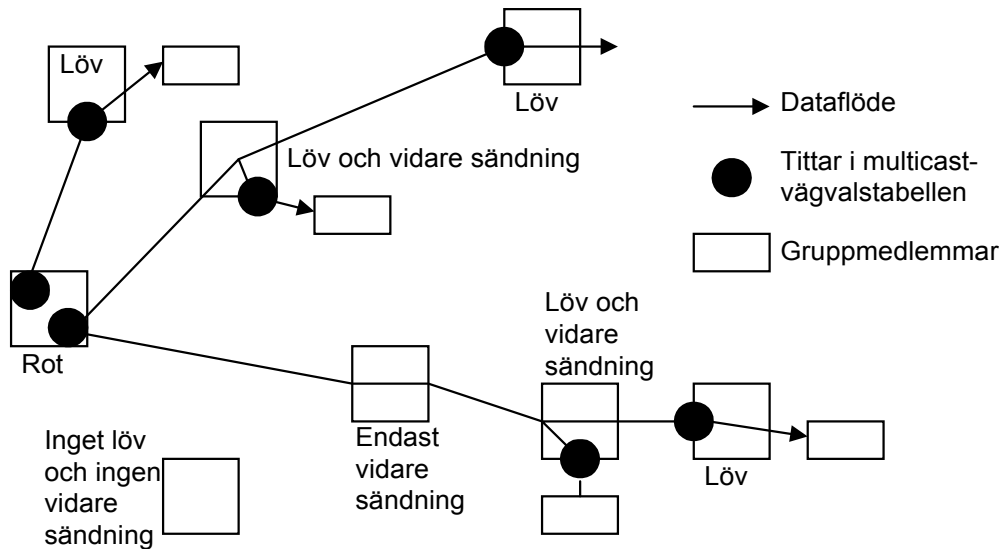
---

Enligt figur 18 används MOSPF för vägval inuti molnet. DVMRP eller PIM används på kanten av ett nätverk för att göra vägval till andra autonoma system. IP Navigator MPLS stödjer således DVMRP-tunnlar på samma sätt som Internets multicaststamnät.



Figur 18 Multicastprotokoll i IP Navigator MPLS

Vägvalsprotokollen DVMRP, MOSPF och PIM delar på samma multicasttabell. Varje vägval i huvudtabellen har en pekare till motsvarande vägval i multicasttabellen. För att bygga multicast LSP-vägar vid roten används MOSPF-vägval inuti molnet. Det skapas en separat LSP för varje källa och grupp. Multicast LSP-vägar är inte skapade innan multicastpaket anländer, d.v.s. etikettallokeringen är trafikdriven. Den första kantväljaren som får ett paket ses som roten och skapar en multicasttabell för att kunna skicka vidare paketet. Roten undersöker paketets IP-huvud som innehåller källadressen och multicastadressen. Multicast LSP-vägarna har en trädstruktur med en rot och ett antal löv, enligt figur 19 på nästa sida. Roten skapar ett träd till alla löv. Tills LSP-vägarna är byggda skickas paketen vidare hopp för hopp på skikt tre.



Figur 19 Multicast LSP

En väljare kan både vara ett löv och en vidare-sändningsnod. För att tala om för väljaren att titta i vägvalstabellen eller inte, har LSP-tabellen en flagga som indikerar detta. När en väljare är en vidare-sändningsnod skickas paketet endast vidare på skikt två där etikettbyte sker.

Två eller flera olika multicastflöden kan använda samma multicast LSP, till skillnad från andra lösningar som bl.a. presenterades i referens [2] och [16]. Om det inte finns något multicastflöde över en viss multicast LSP läggs den ned efter en bestämd tid och etiketten återtas.

Skulle nätverkstopologin ändras måste en ny multicasttabell skapas. Multicastpaketen skickas då hopp för hopp vidare tills en ny multicast LSP är uppbyggd.

## 6.2 Andra produkter

Det finns ett antal olika produkter på marknaden idag som stödjer MPLS. Leverantörerna till dessa produkter är bl.a.: Cisco Systems, Ericsson, Nortel Networks och Juniper Networks. Stöd för multicast i dessa MPLS-produkter är inte så omtalat idag. Många menar på att deras produkt är multicastkapabla, men jag har inte fått någon utförlig information om hur det är tänkt att fungera. Det kan däremot komma leverantörsspecifika lösningar under årets lopp och det är därför intressant att följa utvecklingen hos dessa leverantörer.

## 7 Analys

I detta kapitel ska jag analysera multicast över MPLS-nät. Jag ska göra några jämförelser och utvärderingar. Utgående från dessa utvärderingarna, utvecklingen på marknaden och de tidigare kapitlerna ska jag presentera olika förslag till lösningar och hur man kan gå vidare när standardiseringsarbetet av MPLS har kommit längre.

### 7.1 Frågeställning, krav och problem

Detta examensarbete är en utredning av multicast över MPLS-nät. En del av utredningen är att jämföra olika leverantörers och IETF:s förslag till lösningar. Det innebär att man jämför fördelar och nackdelar, effektivitet mot komplexitet, olika problem vid olika lösningar och hur långt utvecklingen av produkterna har kommit i dagens läge. Den andra delen av utredningen är att jämföra de vägvalsprotokoll för multicast som finns idag och deras fördelar och nackdelar.

Det finns vissa krav som man måste utgå ifrån. Paket som skickas med multicastrofik ska nå alla medlemmarna i en grupp och ingen ska få samma paket två gånger. Vägvalsprotokollen för multicast skapar ett träd för att paketen ska transporteras effektivt över nätet. Dessa protokoll är helt oberoende av underliggande skikt, d.v.s. existerande protokoll i underliggande skikt ska inte behöva förändras. Varje gång topologin och gruppens sammansättning förändras måste vägvalstabellerna uppdateras. Gruppen har en specifik multicastadress som är destinationsadressen i IP-huvudet. Denna adress ska ligga till grund för uppbyggandet av trädstrukturen och på så sätt visa vägen för paketen genom trädet. Gentemot högre skikt ska ett MPLS-nät se likadant ut, oberoende av vilken teknik som används i skikt två. Det ska kunna vara både paketbaserat eller ATM-baserat.

De grundläggande problemen som finns idag är:

- Hur görs skikt-tre-träd om till skikt två LSP-vägar?  
Det gäller att återspegla det träd som har skapats i skikt tre till vägar i skikt två. Här finns det problem med att vissa vägvalsprotokoll kan samverka mellan delade träd och källbaserade träd. En annan fråga är hur skapandet av vägar ska gå till, d.v.s. ska det vara kontroll-, topologi- eller trafikdrivet.
- Hur tilldelas och distribueras etiketterna?  
I unicast är etiketterna D-tilldelade men LDP stödjer inte idag att man gör på samma sätt för multicast. Därför måste man lösa detta genom att hitta på andra protokoll som löser problemet med tilldelning och distribuering av etiketter i multicast.

## 7.2 Jämförelse av leverantörernas och IETF:s lösningar

Enligt kommentarer från några leverantörer ser det ut som att multicast i MPLS-nät är intressant att installera när MPLS är färdigstandardiserat och testat i stora nät. I dagens läge är det för tidigt att implementera multicast i MPLS-nät, men inom ett år lär det komma olika leverantörsspecifika lösningar som kanske inte stödjer IETF:s standarder. Det är ändå ett steg i rätt riktning när man testar olika lösningar och bygger ihop det till en standard i ett senare läge.

Det som verkar vara intressantast som lösning både hos leverantörer och IETF är att använda PIM-SM som vägvalsprotokoll. Anledningen är att detta protokoll är dynamiskt och lättast tar hand om förändringar i nätet. Det kan däremot vara intressant med andra vägvalsprotokoll i andra delar av nätet, t.ex. när många i en domän vill vara med i en multicastgrupp kan det vara effektivare att använda PIM-DM.

Ascend visade en helt annan lösning mot vad IETF presenterade. Den är mer anpassad mot hur dagens struktur ser ut. D.v.s. inte så många som använder multicast utan vissa nät stödjer det och mellan dessa nät tunnlar man trafiken genom Internet. Det påminner mer om det försöksnät som finns idag över Internet det s.k. multicaststamnätet. Ascend har till skillnad från multicaststamnätet MPLS integrerat i sin lösning. Denna lösning är ett steg i rätt riktning när det gäller multicast över ett MPLS-nät.

Hur man ska lösa problemen med etikettallokeringen och distribueringen av etiketter kommer nog att diskuteras mycket innan det blir någon standardiserad lösning. Det som rekommenderas idag är att ha U-allokering som är trafikdriven. IETF måste utveckla LDP eller komma fram till ett nytt protokoll som stödjer multicast. Det kan då bli en lösning där man använder D-allokering på ett kontrolldrivet sätt istället.

## 7.3 Utvärdering av de olika vägvalsprotokollen i MPLS-nät

I kapitel 5.1 beskrivs skillnaderna mellan de olika vägvalsprotokollen för multicast över MPLS-nät. Tabell 7 är samma som tabell 3 i kapitel 5.1, men här jämförs och utvärderas endast utvalda delar.

Tabell 7 Vägvalsprotokoll för multicast över MPLS-nät

	DVMRP	MOSPF	PIM-DM	PIM-SM	CBT	MIP	SM
Aggregation	nej	nej	nej	nej	nej	nej	nej
Skapa och kapa av	ja	nej	ja	nej	nej	nej	valfri
Trädtyp	källa	källa	källa	båda	delad	båda	delad
Samverkan	nej	nej	nej	ja	nej	ja	nej
Enkel/dubbelriktad	-	-	-	enkel	dubbel	båda	dubbel
Inkapsling	nej	nej	nej	ja	ja	ja	ja
Slingfri	nej	nej	nej	nej	nej	ja	nej
RPF-kontroll	ja	ja	ja	ja	nej	nej	nej

- Skapa och kapa av grenar i ett träd görs av DVMRP och PIM-DM. Det innebär att många etiketter går åt när skikt-tre-trädet ska bli till skikt-två-vägar. Anledningen till att det går åt många etiketter är för att trädet återkommande måste skapa och kapa av grenar i trädet och för varje gång behövs etiketter. Etiketterna återtas visserligen men sprids ut över hela domänen för att sedan kapa av vissa grenar. De andra protokollen som inte behöver göra detta bygger upp sitt träd genom att rapportera vilka medlemmar som finns. Vid förändringar av nätet behöver inte hela trädet göras om, utan vissa grenar läggs till eller tas bort.
- Vilken typ av träd som används har stor betydelse. I ett källbaserat träd finns det en sändare och en grupp. För varje ny sändare måste ett nytt träd skapas. Fördelen med källbaserat är att det är mer sannolikt att ett källbaserat träd har kortaste vägen från en sändare till en mottagare. I ett delat träd kan RP vara placerad så att sändaren måste skicka paketet via en omväg. I bland annat PIM-SM samverkar både källbaserat och delat träd. Det innebär att ett delat träd kan göras om till ett källbaserat träd för en specifik gren. På så sätt får denna gren den kortaste vägen mellan sändaren och mottagaren. Att de båda träden kan samverka bidrar däremot till att flera kontrollmeddelanden måste skickas för att övergången ska gå bra utan paketförluster. I kapitel 5.1 nämns fyra olika alternativ på hur man löser samverkningsproblemet. Vilket som är bäst är svårt att avgöra, men det som påminner mest om IETF:s D-allokering är alternativ fyra och borde därför likna en eventuell standardiserad lösning. Ett annat sätt är att ta det alternativ som passar bäst med den multicastapplikation som ska använda trädet.
- Det är endast MIP som är slingfri av de presenterade vägvalsprotokollen för multicast. Det beror på att de andra protokollen är beroende av de existerande unicastvägvalsprotokollen som i vissa sällfall kan skapa slingor. Det har kommit fram ett förslag som på MPLS-nivå ska undvika att slingor skapas. I dokument [15] beskrivs hur man kan upptäcka slingor och korrigera dem. Detta dokument gäller än så länge bara för unicast, men multicast stöd kan komma senare. När korrigering av slingor sker på MPLS-nivå är det inte lika viktigt att vägvalsprotokollen för multicast är slingfria.
- Vilken av de olika vägvalsprotokollen är bäst att använda? De flesta som arbetar med frågor om olika vägvalsprotokoll anser att PIM-SM är det bästa protokollet för multicast. Det är intressant att diskutera varför. PIM-SM är ett dynamiskt protokoll som kan hantera stora nätverk. Det finns möjlighet att samverka mellan delat träd och källbaserat träd. Det är många som vill använda detta protokoll, vilket leder till att protokollet kommer att förbättras och utvecklas. Kostnadsanalysen i kapitel 3.6 visade att ett PIM-SM liknande protokoll är det mest effektiva vid stora nätverk när man har en fast RP centralt placerat i nätet. Protokoll som MIP och SM påminner om PIM-SM på många sätt. Dessa protokoll kommer kanske i framtiden att bli mer populära, men idag finns det inget konkret exempel på när de används i ett nät.

## 7.4 MPLS för Telia som operatör

MPLS testas i dagens läge i laborationsverksamhet och det finns ännu inget beslut på om det är en teknik som ska användas i Telias nät.

## 7.5 Multicast för Telia som operatör

Telia vill införa multicasttjänster för att tillfredställa efterfrågan från stora företagskunder, universitet och kommuner [3]. När IP-multicast blir allmänt tillgängligt öppnas möjligheter att införa nya applikationer som annars skulle bli för kostsamma. T.ex. att distribuera multimedia, elektroniska möten, synkronisering av databaser över nätet och virtuella spel i mycket stora grupper.

Den starka kommersiella utvecklingen av bredband leder till nya krav på IP-nät för att vara konkurrenskraftiga. De nya accessnäten erbjuder ständig uppkoppling, vilket är en nog så viktig egenskap som bredbandigheten. För företag öppnar detta nya affärsmöjligheter, särskilt nya former av media och tjänster för att mötas virtuellt över nätet. Denna massmarknad kommer att ställa krav på prestanda, tillgänglighet och skalbarhet. Dessa egenskaper har IP-multicast inbyggt från början.

Parallellt med forskning och standardisering har man på experimentbasis drivit multicaststamnät som ett överliggande nät på Internet. Multicaststamnät har en platt struktur där hela nätet utgör en enda domän. För att åstadkomma global multicast konnektivitet krävs ett väl fungerande interdomän-vägval. Internet är helt uppbyggt i två hierarkiska nivåer inom vilka vägvalen sker på olika sätt. På den högsta nivån sker vägval mellan domäner med BGP-4. Inom varje domän är det sen upp till den som administrerar domänen att välja vilken typ av vägval som ska användas. En domän kan i sin tur bestå av flera hierarkiska nivåer av domäner. Utöver de krav på interdomän-vägval som ärvs från unicast tillkommer multicasts specifika krav. Vägvalsprotokoll som DVMRP och PIM-DM skickar med jämna mellanrum broadcasttrafik i form av "flooding" för att uppdatera multicastgrupperna. Detta beteende måste begränsas till domäner. Idag finns det en interimslösning som bygger på protokollen MSDP, PIM-SM och MBGP. I ett första steg vill man testa detta inom Telias domän för att sedan bygga vidare på global multicast konnektivitet.

Problem och lösningar som inte direkt har med vägval att göra, men som tillkommer när multicasttrafik ska skickas på Telias nät:

- Nätlast och säkerhet  
Undvika överbelastningar av nätet, förhindra avlyssning och skydda mot att någon användare saboterar för en grupp genom att skicka massa data till gruppen. Detta kan lösas genom att noga planera och följa upp ett stegvis införande av multicast. Utveckla IGMP för att kunna specificera vilken sändare man vill lyssna på. Dessutom kan man vilja ha en dynamisk filtrering i accesserna.



- Adressallokering  
Problemen med multicastadresserna är dels att adressrymden innehåller ett ganska litet antal adresser, 168 miljoner adresser, och att tilldelningen är dynamisk vilket gör det svårkontrollerat. IETF arbetar med en arkitektur för allokering av multicastadresser som heter MALLOC.
- Stödsystem  
System för övervakning, felisolering och felavhjälpning krävs för storskalig drift av alla typer av nät. En del av problemet är hantering av multicast. En mottagare ska med IGMP meddela första väljaren att man vill delta. Denna väljaren måste t.ex. i PIM-SM skicka ett meddelande till mötespunkten (RP) för att RP-väljaren ska lägga till den nya grenen till sitt träd. Det finns några verktyg för övervakning och felisolering, t.ex. mtrace, mhealth, mlisten.
- Multicast i LAN  
Dagens installerade LAN är inte väl förberedda för multicast. Detta beror på att LAN-växlar som arbetar på skikt två inte kan lyssna till IGMP-meddelanden som kommer på skikt tre. Nyare växlar har stöd för multicast. Ett annat sätt är att växlarerna "tjuvlyssnar" på IGMP-trafiken.

Sammanfattningsvis ska införandet av multicast ske stegvis för att ha kontroll över de problem som kan utstå.

## 7.6 Förslag till lösningar

Multicastvägvalsprotokoll som kan användas till olika typer av nät:

1. I ett första läge kan en lösning vara att installera MPLS på sitt nät och använda MPLS enbart för unicasttrafik. Den trafik som är multicast skickas på skikt tre tills utvecklingen av multicast över MPLS har kommit längre. I detta fall bör man använda ett multicastvägvalsprotokoll som passar bäst tillsammans med existerande unicastvägvalsprotokoll. T.ex. om nätet använder OSPF för unicast är det enklast att utveckla nätet med MOSPF.
2. En alternativ lösning är att ett MPLS-nät består av kantväljare som är multicastkapabla med MOSPF och kärnväljare som är unicastkapabla med OSPF. Protokollen kan bytas ut mot DVMRP resp. RIP eller PIM-SM resp. PIM-DM. Denna typ av lösning ger att kantväljarna kapslar in ett multicastpaket och kärnväljarna skickar vidare ett unicastpaket genom LSP-vägar till den kantväljaren som paketet ska till. MPLS-nätet behöver på så sätt inte hantera multicastträd, vilket gör att många problem försvinner. Det multicaststamnät som används idag över Internet bygger på samma idé, men i den här förslaget blir även MPLS integrerat.

3. När multicastgrupperna endast består av en sändare och av de mottagarna som finns i nätet deltar nästan alla i gruppen för att ta emot multicastsändningar. I detta fall sker inte förändring så ofta, d.v.s. det tillkommer eller bortfaller inte medlemmar hela tiden. Det leder till att trädet inte måste omstruktureras speciellt ofta, att etikettförbrukningen är låg och att det sällan skickas kontrollmeddelanden. Det bästa vägvalsprotokollen för multicast över MPLS-nät är då DVMRP, MOSPF eller PIM-DM.
4. Multicastgrupperna har en eller flera sändare. Mottagarna kan delta och lämna gruppen när de vill och hur ofta de vill. Detta träd som består av en eller flera RP måste ofta omstruktureras och de sker m.h.a. att kontrollmeddelanden skickas till RP som lägger till eller tar bort grenar. Det bästa vägvalsprotokollet här är PIM-SM och verkar vara det protokollet som kommer att användas i praktiken för att det är så dynamiskt vid stora nät.

I PIM-SM kan vissa grenar göras om till ett källbaserat träd för att få den kortaste vägen. Detta innebär att ett källbaserat träd måste samverka med ett delat träd. Det bidrar till hanteringsproblem för att kunna samverka. Ett förslag är att man enbart får ha ett delat träd, det kan därför inte uppstå några samverkningsproblem. Andra alternativ på hur man kan lösa samverkningsproblemet finns i kapitel 5.1.

Det är även intressant att undersöka hur många RP som ska användas per MPLS-domän. Ett alternativ är att ha en RP per MPLS-domän som ger ett träd och koppla samman denna domän med flera liknande domäner. Det innebär att alla kantväljarna och RP ska arbeta på både skikt två och tre, medan kärnväljare endast vid etikettallokeringen behöver arbeta i skikt två och tre. Det andra alternativet är att ha ett MPLS-nät där det finns flera RP som var och en har ett träd. I figur 20 visar exempel på när ett nätverk har en eller flera RP.



**Figur 20 Domän med en eller flera RP**

5. Ett sista förslag till lösning är att förenkla så mycket som möjligt. D.v.s. att sätta upp regler för hur många som får sända multicast, om man har en RP så får den inte flyttas dynamiskt och ingen samverkan är tillåten mellan delat träd och källbaserat träd. Om man t.ex. endast tillåter en sändare behövs det bara skapas ett källbaserat träd.

## 7.7 Slutsats

När man väljer vilket multicastprotokoll som ska användas vid olika typer av nät, måste storleken och antalet medlemmar först och främst tas hänsyn till. Ska det sedan vara ett dynamiskt nät innebär det att nätet blir komplext. Det kan leda till att ett nät som inte behöver vara dynamiskt kan bli ineffektivt, däremot kan nät som är stora med många utspridda medlemmar bli effektiva. Vilken typ av multicastapplikation som ska användas är också aspekt som man ska ta hänsyn till.

Ett problem med multicast över ett MPLS-nät är att LSP-vägar skapas först när trafik anländer till MPLS-nätet. Ett annat problem är att man helst vill använda en U-tilldelad etikett på ett trafikdrivet sätt. Transport av etiketterna kan göras med LDP, ”piggy-backing” och andra leverantörsspecifika lösningar. En första lösning på dessa problem är att skicka multicasttrafik på skikt tre så att inga etiketter behöver tilldelas eller transporteras. MPLS kommer i detta fall endast att användas för unicast, vilket idag verkar ha störst prioritet i IETF.

En fråga som bör ställas är om man vinner något på att köra multicasttrafik på ett MPLS-nät istället för använda Telias existerande nät. Svaret på det är inte trivialt. Jag tror inte att man vinner något på att införa multicast på ett MPLS-nät i dagens läge, men när MPLS är färdig utvecklat och i full drift är det vettigt att även kunna använda MPLS-nätet för multicasttrafik. Anledningen är att man då får ett homogent MPLS-nät där man kan ha ett flertal olika nättjänster som t.ex. IP-VPN, trafikstyrning och multicast.

## 7.8 Fortsatt arbete

För fortsatt arbete inom detta område måste en undersökning på laborationsnivå ske. Det första är att installera MPLS i en liten del av Telias nät så att de problem som kan uppkomma får undersökas. Nästa steg är att testa de olika lösningsförslag som finns med multicast över MPLS-nät och eventuellt testa egna lösningar på de problem som finns idag. Ett stegvis införande av multicast MPLS i Telias nät måste sedan göras för att kunna korrigera problem som kan uppstå.

Det krävs också att man kontinuerligt följer standardiseringsarbetet på IETF, men även tittar på kommande leverantörsspecifika lösningar.

## 8 Avslutning

Detta examensarbete är en utredning av multicast över MPLS-nät. De grundläggande frågorna och problemen som skulle analyseras är:

- Vad finns det för multicastvägvalsprotokoll?
- Vilket protokoll ska användas i olika typer av nät?
- Hur fungerar MPLS och hur långt har utvecklingen av MPLS kommit?
- Vilka problem tillkommer när multicast används över ett MPLS-nät?
- Vilka förslag till lösningar finns det?

Jag har tagit upp och diskuterat olika vägvalsprotokoll för multicast som är aktuella att använda. Det som främst har ansetts som optimala lösningen är PIM-SM. Det har jag visat med en analys, men även kommentarer från olika företag tyder på detta. PIM-SM är däremot ett väldigt komplext protokoll, bl.a. är det möjligt att ha både källbaserade träd och delade träd.

MPLS är fortfarande på utvecklingsstadiet och många företag anser att det är för tidigt att införa multicast över MPLS i ett nät som Telias. Det som först krävs är att få MPLS att fungera i Telias nät. Om man i detta läge redan har multicasttjänster att erbjuda, rekommenderas att köra multicast separat från MPLS. Det innebär att man använder MPLS till unicast och de nättjänster som eventuellt är utvecklade, t.ex. VPN, trafikstyrning och tjänsteklasser. Multicast läggs i detta läge direkt på existerande nät och trafiken bearbetas endast i skikt tre.

För att kunna integrera multicast i ett MPLS-nät finns det förslag på att etiketttilldelningen ska ske när trafik anländer hos en U-väljare. Det är U-väljaren som skapar etiketten för länken mot D-väljaren. Trafiken skickas vidare på skikt tre tills etikettallokeringen är genomförd för detta träd. Etiketterna ska i unicast distribueras och tilldelas av LDP, men detta protokoll har inget multicaststöd. Att utveckla LDP eller något liknande protokoll skulle bidra till att MPLS har både unicaststöd och multicaststöd.

Sammanfattningsvis vill jag påpeka att MPLS i sin helhet har mycket att bidra med för att göra Telias nät mer homogent. MPLS läggs på som ett skikt ovanpå både paketbaserade nät och cellbaserade nät. Det ger att från MPLS-nivå syns inte underliggande teknik. De IP-tjänster som håller på att utvecklas idag kräver att nätet används effektivare. Multicast är en mycket bra lösning på detta för att i nätet transporteras endast ett paket som kopieras i de noder som har flera grenarna. Det krävs mindre kapacitet av sändaren för att t.ex. göra ett massutskick, men det gör att nätet måste hantera trädstrukturer för att kunna leverera paket till gruppen av mottagare.

Det som är viktigt är att man är med i utvecklingen i ett tidigt stadium för att kunna erbjuda nya tjänster till Telias kunder.

---

## Appendix A: Förkortningar

AS	Autonomous System Ett nätverk som administreras av ett företag, universitet eller liknande. Kan även kallas domän.
ATM	Asynchronous Transfer Mode En förbindelseorienterad teknik.
BGP	Border Gateway Protocol Används för unicast inter-domän vägval.
BGMP	Border Gateway Multicast Protocol Används för multicast inter-domän vägval.
CBT	Core-Based Trees Vägvalsalgoritm
CIDR	Classless Inter-Domain Routing Klasslös vägvals adressering.
D	Downstream Väljare som tar emot data.
DVMRP	Distance Vector Multicast Routing Protocol Ett vägvalsprotokoll för intra-domän multicast.
FEC	Forwarding Equivalence Class Identifierar paket för att de ska skickas på samma sätt.
ICMP	Internet Control Message Protocol Protokoll som hanterar kontrollmeddelanden.
IETF	Internet Engineering Task Force Utför standardiseringsarbete för Internet.
IGMP	Internet Group Management Protocol Protokoll som hanterar gruppmedlemskap.
IGP	Interior Gateway Protocol Används för unicast intra-domän vägval.
IP	Internet Protocol Protokoll för trafik över Internet.

---

IS-IS	Intermediate System to Intermediate System Ett vägvalsprotokoll för intra-domän unicast.
LAN	Local Area Network Ett lokalt nätverk.
LDP	Label Distribution Protocol Ett protokoll som distribuerar etiketter.
LSP	Label Switched Path Etikettväxlingsväg
LSR	Label Switching Router Etikettväxlingsväljare
MBGP	Multiprotocol BGP Utökad variant av BGP som medger distribution av multicastvägar.
MBONE	Multicast Backbone Multicaststamnät
MIP	Multicast Internet Protokoll Ett vägvalsprotokoll för intra-domän multicast.
MOSPF	Multicast OSPF Ett vägvalsprotokoll för intra-domän multicast.
MPLS	Multi-Protocol Label Switching Ett protokoll som samverkar med skikt två och tre.
MSDP	Multicast Source Discovery Protocol Ett protokoll som distribuerar information om aktiva källor.
OSI	Open System Interconnection Rekommendation i sju skikt för datautbyte mellan olika datorsystem.
OSPF	Open Shortest Path First Ett vägvalsprotokoll för intra-domän unicast.
PIM-DM, PIM-SM	Protocol Independent Multicast-Dense Mode, Protocol Independent Multicast-Sparse Mode Ett vägvalsprotokoll för intra-domän multicast, i två varianter.
PPP	Point to Point Protocol Länkprotokoll för väljare. Internet protokoll.

---

RIP	Routing Information Protocol Ett vägvalsprotokoll för intra-domän unicast.
RP	Rendezvous Point Mötespunkt för sändare och mottagare.
RPB, TRPB	Reverse Path Broadcasting, Truncated RPB Vägvalsalgoritm
RPM	Reverse Path Multicasting Vägvalsalgoritm
SM	Simple Multicast Ett vägvalsprotokoll för intra-domän multicast.
TTL	Time To Live Livstid för ett paket.
U	Upstream Väljare som sänder data.
UL	Unused Label Oanvänd etikett
VPI/VCI	Virtual Path Identifier/Virtual Circuit Identifier En etikett som används i ATM-nät för att identifiera vägar och kanaler.
VPN	Virtual Private Network Virtuellt privat nät

## Appendix B: Ordlista

Broadcast	En sänder och alla mottager data.
Förbindelseorienterat	En fast förbindelse existerar.
Kärna	eng. core, inre del av någonting.
Multicast	En eller flera sänder data till medlemmar i grupper.
Multicaststamnät	eng. multicast backbone, ett nät där man kan sända och ta emot multicastpaket.
Kapa av	eng. prune, att ansa, trimma, ta bort grenar i ett träd.
Unicast	En sänder och en mottager data.
Vägval	eng. routing, att dirigera data i ett nätverk.
Väljare	eng. router, dator som väljer väg för att vidarebefordra data i ett nätverk.
Växel	eng. switch, skikt-två-tekniken i OSI-modellen.



## Appendix C: E-post från Nortel

**From:** Kenneth Sundell [ksundell@nortelnetworks.com]  
**Sent:** den 23 november 1999 14:26  
**To:** Henrik Villför  
**Cc:** Annica Edlund; Olle Pers  
**Subject:** Re: Multicast över MPLS nät

Hej Henrik,  
Loa brukar hänvisa multicast frågor till mig...:-)  
Multicast är faktiskt något som ligger mig varmt om hjärtat även om det inte används kommersiellt så mycket ännu. Jag ska göra ett försök att svara på dina frågor, svaren ligger inflätade mellan dina frågor och reflekterar mina egna åsikter.

Henrik Villför wrote:

> Hej Kenneth.  
> Olle berättade att Loa hänvisat denna fråga till dig. Saken är  
> den att Annica håller på att utreda hur Telia på bästa sätt bör  
> köra multicast på MPLS-nät.  
> Som en del i uppdraget ligger att försöka skapa sig en bild av  
> den tekniska mognaden, dvs vad håller ni, leverantörer, på med i  
> detta område. Vad vi skulle vilja fråga dig om är alltså dels  
> vilken är Nortels hållning. Finns det något implementerat och  
> vilka planer har Nortel på att implementera detta?

Vad jag vet så finns det inget spikat i Nortels produkter, men jag har inte kollat, det är bara en generell känsla som jag har. Jag har inte hört något annat företag som har något i "pipen". "Vissa" företag kan möjligen hävda att de har MPLS multicast a' la piggy-backing PIM-SM, men jag skulle inte rekommendera detta i ett publikt nät, eftersom det är extremt otestat utanför labben. På prototyp stadiet, har säkert de största företagen något som snurrar (vilket jag själv hade för ett antal år sedan) men det är som sagt ljusår mellan dessa aktiviteter och produkter. Enligt min mening så kommer Multicast att realiseras i MPLS nät i en senare fas, när best-effort/QoS unicast MPLS nät varit driftsatta under en tid.

> Den andra delen av frågan är vad är den personliga  
> bedömning av implementerings- och standardiseringsläget  
> generellt?

Multicast i MPLS sammanhang har debaterats under en längre tid. Gruppen (MPLS WG) har inte lyckats enas om den ena eller den andra filosofin. IP Multicast i sig, är också mycket omoget även om det är över tio år sedan det första protokollet (DVMRP) publicerades som RFC (1075). Vad vill man åstadkomma med multicast i sitt nät? Hur klarar man övervakningen? Säkerhet? Traffic Engineering? QoS? Robusthet (loopar i Mcast träd är förödande)? Single-point-of-failure (core/RP noder)? Det är några frågor som man måste ta i beaktande när man planerar att implementera multicast i sitt MPLS nät. Många av dessa frågor är obesvarade ännu.

---

Vad MPLS gruppen lyckats åstadkomma (snarare kommit överens om) än så länge är ett framework för IP multicast i MPLS, dvs inte tagit ställning ännu, men tagit upp problemställningar. Två huvudspår existerar; 1. Label distribution med hjälp av e.g. LDP eller TE-RSVP. Dvs, man använder MRT (L3) för att sätta upp L2 LSP'erna. 2. Piggy-backing. Man låter existerande L3 mcast routing protocol (e.g. PIM) göra label mappningarna. Sedan finns det förstås varianter på de ovan nämnda. Endast detta document <draft-ietf-mppls-multicast-00.txt> har accepterats av MPLS WG som ett arbetsgruppsdokument (ett måste om det ska kunna bli en standard). Dokumentet är resultatet av en "merge" mellan två document presenterade tidigare i MPLS WG. Det finns dock andra draftar som skrivits som dock ej godkänts (eller velat bli godkända) av MPLS WG. Ett exempel är "Using PIM to Distribute MPLS Labels for Multicast Routes", D. Farinacci et al. June 1999. Jag tror att det kommer så småningom att dyka upp företags specifika lösningar med tiden, men inget i närtid som stödjer MPLS standard.

> Tja, jag tror det räcker med frågor för ett e-brev. :-)

Hoppas jag belyst problemet någorlunda, synpunkterna får tolkas som mina egna eftersom jag inte stämt av med Nortels multicast experter. Jag har dock rätt god insikt i egenskap som standards person eftersom jag själv varit engagerad i frågan i över tre år. Jag ber att få återkomma när jag vet mer om Nortels strategi i frågan. Om du eller Annika har fler frågor så hör gärna av er till mig.

Med vänlig hälsning,  
Kenneth

> Vi ses,  
> Henrik.

--  
Kenneth Sundell  
Nortel Networks  
Routing Architecture Lab  
S:t Eriksgatan 115 A, PO Box 6701  
113 85 Stockholm, Sweden  
phone: +46 8 5088-3538, mobile +46 70 665-7838  
e-mail: ksundell@nortelnetworks.com

## Appendix D: E-post från Ericsson

**From:** Nail Kavak(ETX) [Nail.Kavak@etx.ericsson.se]  
**Sent:** den 3 november 1999 14:25  
**To:** 'Henrik.J.Villfor@telia.se'  
**Cc:** 'Annica.Xx.Edlund@trab.se'; Hans Sjöstrand (ETX); Göran Hågård (ETX)  
**Subject:** MPLS multicast

Henrik,

Jag ska försöka svara din fråga på Hans begäran. Det är nämligen så att vi har varken skrivit en white-paper eller har planer på att implementera multicast i MPLS nät förrän i slutet av nästa år. Detsamma gäller för merparten av andra leverantörer bortsett från några enstaka som har leverantörspecifika och bristfälliga lösningar (mer detaljer om detta härnedan). Detta därför att det inte finns någon etablerat metod och IETF konsensus inom området än så länge. Vårt ställningstagande kan naturligtvis ändras ifall någon kund specifik frågar efter multicast funktionalitet i MPLS.

Bakgrunden är följande: Det har producerats ett par antal drafts inom IETF/MPLS som syftar till att definiera en framework och en del andra arbetsgruppdokument som beskriver multicast support för DVMRP, MOSPF, PIM-DM, PIM-SM source tree och PIM-SM shared tree. Grundläggande problemet är att hitta en label allokering/avallokerings protokoll/metod och ett sett att bygga en trädstruktur som speglar underliggande multicaträdet. Problemet oftast kompliceras pga en multicast grupp kan ha blandning av två olika PIM-SM moder samtidigt. Om man lägger till ATM specifika hinder, en mängd av olika label allokeringsmekanismer i MPLS samt möjligheten att dynamisk flytta en RP (Rendezvous-point) under en pågående session så förstår man problemets omfattning.

En del leverantörer har specificerat egna (icke IETF accepterat) lösningar som bygger på piggybacking på std-PIM meddelanden, vilket kräver omfattande tillägg/förändringar till PIM-SM/DM std. Än värre i den lösningen är att det bygger på att använda en label för alla som ingår i en mcast grupp. Detta strider PIM principen där en source tree och shared tree kan samexistera.

Sammanfattningsvis kan jag säga att vi följer utvecklingen noga i och med vår ordförande post i MPLS/IETF. Våra planer nu pekar på att vi ska ta fram MPLS/Mcast lösning i vår router någon gång i slutet av nästa år. Vi deltar dock gärna i diskussioner kring utvärdering av Annicas studier/lösningar.

Mvh

/Nail

-----  
Hej Hans.

Som du ser arbetar jag på Telia Research. Jag ställde en

---

fråga till Fiffi Hellstrand och hon rekommenderade att jag tog kontakt med dig. Vi har en exjobbare hos oss, Annica Edlund, som har till uppgift att studera IP-multicast på MPLS-nät. Detta innebär att identifiera eventuella problem och speciella hänsyn som måste tas (och gärna föreslå lösningar). En del av arbetet är också att bedöma läget vad gäller standardisering och implementering. Frågan är alltså när och hur Ericssons MPLS kommer att stödja IP-multicast? Det vore också intressant med mer allmän information i ämnet i whitepaper- eller produktinfo-format.

Hälsningar,  
Henrik Villför.

---

## Appendix E: Sammanställning av figurer

Figur 1 Exempel på kommunikation över Internet.....	4
Figur 2 IP-huvud.....	5
Figur 3 IP-adressklasser.....	5
Figur 4 Skillnaden i trafiken mellan unicast och multicast .....	7
Figur 5 Vägvalsprotokoll för multicast.....	9
Figur 6 Skapandet av ett DVMRP-träd.....	11
Figur 7 Skapandet av ett MOSPF-träd .....	12
Figur 8 Samverkan mellan ett källbaserat träd och ett delat träd i PIM-SM .	14
Figur 9 Multicaststamnät över Internet (MBONE) .....	17
Figur 10 Skikt 1, 2 och 3 i OSI-modellen.....	19
Figur 11 Arkitektur .....	20
Figur 12 Exempel på ett MPLS-nät .....	21
Figur 13 MPLS-huvud .....	22
Figur 14 U- och D-väljare i ett MPLS-nät.....	22
Figur 15 ”Downstream on demand” .....	23
Figur 16 Jämförelse av unicast och multicast i ett MPLS-nät.....	28
Figur 17 PIM-DM i ett MPLS-nät .....	31
Figur 18 Multicastprotokoll i IP Navigator MPLS .....	34
Figur 19 Multicast LSP .....	35
Figur 20 Domän med en eller flera RP .....	41

## Appendix F: Sammanställning av tabeller

Tabell 1 Olika trädstrukturer.....	9
Tabell 2 Skillnad i struktur och arkitektur mellan olika vägvalsprotokoll för multicast.....	16
Tabell 3 Vägvalsprotokoll för multicast över MPLS-nät.....	25
Tabell 4 Unicastvägvalstabellen för väljare 3 .....	28
Tabell 5 Multicastvägvalstabell för väljare 3.....	29
Tabell 6 Multicastvägvalstabell för väljare 3.....	31
Tabell 7 Vägvalsprotokoll för multicast över MPLS-nät.....	37

## Referenser

- [1] Ascend Communications, Inc. *Ascend IP Navigator MPLS-Architecture Guide*. 1999.
- [2] Acharya, A., Griffoul, F., Ansari, F. *IP Multicast Support in MPLS Networks*. <draft-acharya-ipsofacto-mpls-mcast-00.txt> Februari 1999.
- [3] Bengtsson, J., Svanberg, E., Leppäjärvi, A., Olofsson, S. *TIC-F-Multicast Applikationer-Teknik-Affär*. Telia Research AB, 6/0363-1/FCPA1090145, November 1999.
- [4] Comer, Douglas. *Internetworking with TCP/IP Vol. 1*. New Jersey, Prentice-Hall. 1995.
- [5] Deering, S., Estrin, D., Farinacci, D., Jacobson, V., Liu, C. and Wei, L. *The PIM Architecture for Wide-Area Multicast Routing*. IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 4, No. 2, April 1996.
- [6] Eriksson, Hans. *MBONE: The Multicast Backbone*. Communications of the ACM, Vol.37, No.8. Augusti 1994.
- [7] Farinacci, D., Rekhter, Y. *Multicast Label Binding and Distribution using PIM*. <draft-farinacci-multicast-tagsw-01.txt> November 1998.
- [8] Feldman, N., Fredette, A., Sallow, G., Viswanathan, A., Callon, R. *A Framework for Multiprotocol Label Switching*. <draft-ietf-mpls-framework-03.txt> Juni 1999.
- [9] Huitema, Christian. *Routing in the Internet*. New Jersey, Prentice-Hall. 1995.
- [10] Johnsson, V., Johnsson, M. *How IP Multicast Works*. IP Multicast Initiative, Stardust Technologies. 1999.
- [11] Johnsson, V., Johnsson, M. *Introduction to IP Multicast Routing*. IP Multicast Initiative, Stardust Technologies. 1999.
- [12] Johnsson, V., Johnsson, M. *IP Multicast Background*. IP Multicast Initiative, Stardust Technologies. 1999.
- [13] Johnsson, V., Johnsson, M. *Implementing IP Multicast in Different Network Infrastructures*. IP Multicast Initiative, Stardust Technologies. 1999.
- [14] Makki, K., Pissinou, N., Frieder, O. *Efficient solutions to multicast routing in communication networks*. IEEE/ACM Transactions on Networking, Mobile Networks and Applications 1, 221-232. 1996.

- [15] Ohba, Y., Katsube, Y., Rosen, E., Doolan, P. *MPLS Loop Prevention Mechanism*. <draft-ietf-mpls-loop-prevention-02.txt> Oktober 1999.
- [16] Ooms, D., Livens, W., Sales, B., Ramalho, M., Acharya, A., Griffoul, F., Ansari, F. *Framework for IP Multicast in MPLS*. <draft-ietf-mpls-multicast-00.txt> Juni 1999.
- [17] Ooms, D., Livens, W., Sales, B. *MPLS for PIM-SM*. <draft-ooms-mpls-pimsm-00.txt> November 1998.
- [18] Parsa, M., Garcia-Luna-Aceves, J. *A Protocol for Scalable Loop-Free Multicast Routing*. IEEE Journal on selected areas in communications, Vol. 15, No. 3, April 1997.
- [19] Perlman, R., Lee, C., Ballardie, A., Crowcroft, J., Wang, Z., Maufer, T., Diot, C., Thoo, J., Green, M. *Simple Multicast: A Design for Simple, Low-Overhead Multicast*. <draft-perlman-simple-multicast-03.txt> Oktober 1999.
- [20] Ravindran, K., Ting-Jian Gong. *Cost Analysis of Multicast Transport Architectures in Multiservice Networks*. IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 6, No. 1, Februari 1998.
- [21] Rajagopalan, B., Nair, R. *Multicast routing with resource reservation*. Journal of High Speed Networks 7, 113-139 IOS Press.1998.
- [22] Rajagopalan, B. *Reliability and scaling issues in multicasting communication*. IEEE/ACM Transactions on Networking. 1992.
- [23] Rosen, E., Viswanathan, A., Callon, R. *Multiprotocol Label Switching Architecture*. <draft-ietf-mpls-arch-05.txt> April 1999.
- [24] Semeria, C., Maufer, T. *Introduction to IP Multicast Routing*. 3Com, technology. 1996.
- [25] Semeria, C. *Multiprotocol Label Switching: Enhancing Routing in the New Public Network*. Juniper networks, techpapers. Mars 1999.