



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
BİLGİSAYAR AĞLARI LABORATUVARI**



İkinci Katman Yönlendirme (MPLS)

1. Giriş

İnternet farklı yerel ağların yönlendirici adı verilen ve veri paketlerini anahtarlama yapan cihazların birbirleriyle bağlanmasıyla oluşan global bilgisayar ağının adıdır. Dünya üzerindeki herhangi bir internet servisine erişirken oluşturulan istek paketleri onlarca yönlendirici üzerinden geçerek hedefe ulaşır. Bu etkileşim sırasında servis kalitesini belirleyen en önemli etken internet servisinin isteğe ne kadar hızlı bir cevap verdiği. İnternet üzerinde çalışan ana yönlendiricilerin görevi servis kalitesini mümkün olan en üst noktada tutmaktır. Bu amaca yönelik olarak farklı gereksinimleri göz önüne alan yönlendirme protokolleri ortaya konulmuştur.

Günümüzde birçok yönlendirme protokolü mevcuttur. Bu protokolleri gerçekleştirildikleri katmanlar ve davranışları bakımından farklı kategorilere ayırabiliriz. Katmansal açıdan yaklaşıldığında iki adet yönlendirme protokolü karşımıza çıkmaktadır. Bu protokollerden ilki veri iletim katmanında gerçekleştirilen çoklu protokol etiket anahtarlama (Multi Protocol Label Switching (MPLS)) olarak adlandırılan protokoldür. Üçüncü (Ağ) katmanda gerçekleşen yönlendirme protokollerinin tamamına IP tabanlı yönlendirme protokolleri diyoruz. IP tabanlı yönlendirme protokolleri paketlere ait kaynak ve hedef adreslerini kullanarak yönlendirme yaparken MPLS protokolü veri paketlerine gömülen etiketler sayesinde yönlendirme işlevini gerçekleştirir. MPLS özel ağ kurulumu (VPN), yönlendirme protokolü ihtiyacı olmayan ağ ve trafik şekillendirme gibi bir çok avantajı bünyesinde bulundurur. Her ne kadar geçmişte ikinci katman yönlendirmenin daha hızlı olacağı düşünülse de modern yönlendiricilerde yönlendirme işlevini özel donanımlar yaptığı için böyle bir avantajdan söz etmek günümüzde mümkün değildir.

IP tabanlı yönlendirme protokolleri kabaca davranış bakımından iki alt gruba ayrılabilir. Bu anlamda pro-aktif yönlendirme protokolleri bağlantılara ait rotaları veri gönderim ihtiyacı olmadan güncel tutarken, reaktif yönlendirme protokolleri veri gönderim ihtiyacı olunca rota oluşturma yoluna giderler. Proaktif yöntemle oluşturulan rotalardan gönderilen trafikte bir

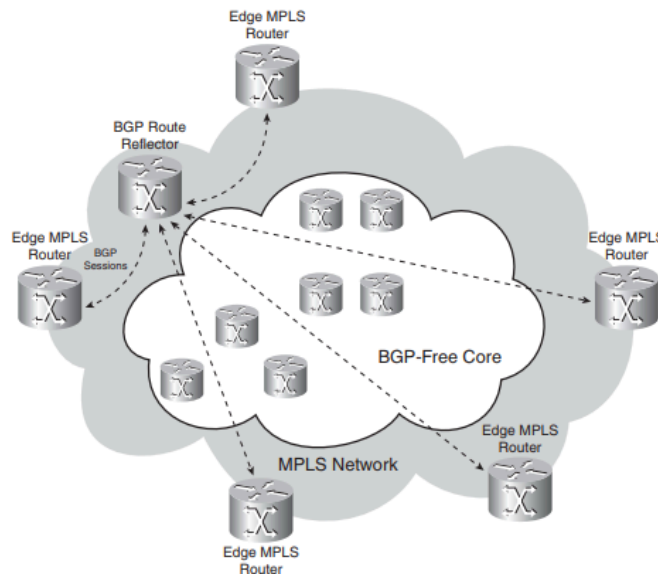
gecikme yaşanmazken reaktif protokoller daha az kontrol trafiği oluşturarak ağın verimli kullanılmasını sağlarlar.

2. MPLS

MPLS anahtarlama verinin hedef adresine yada başka bir parametreye göre veriye eklenen etiket yardımıyla verinin internet üzerinden taşınmasını sağlar. Bu sayede herhangi bir veri içeriğine bakılmaksızın bir noktadan başka bir noktaya taşınabilir. Burada önemli olan verinin doğru şekilde etiketlenmesidir. Etiketlerin dağıtımını sağlayan protokole ise **etiket dağıtım protokolü** (Label Distribution Protocol (LDP)) adı verilir. Günümüzde kullanılan en popüler etiket dağıtım protokolü **Targetted LDP (TLDP)** protokolüdür.

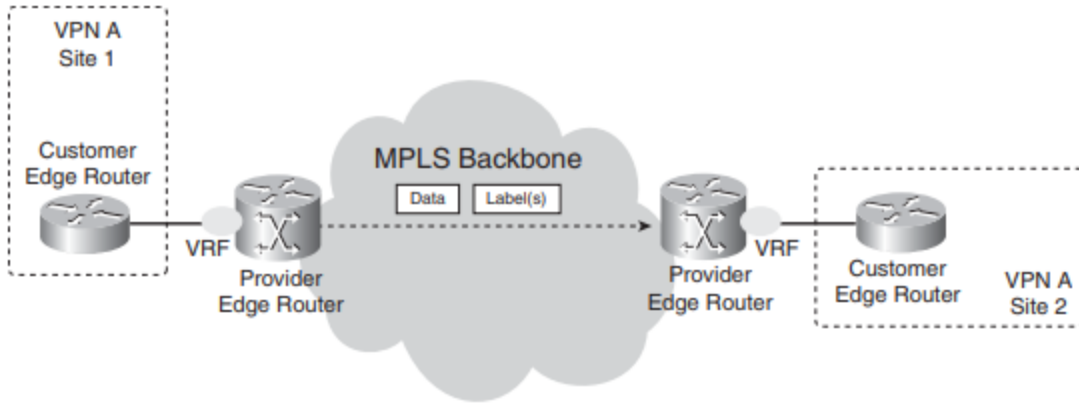
MPLS sayesinde herhangi bir veri paketi IP adreslemeye muhtaç olmadan İnternet alt yapısından taşınabilir. Bu sayede IP protokolüyle uyumlu olmayan verilerin dahi İnternet üzerinden taşınması mümkün olur. Mesela MPLS IPv4, IPv6, Ethernet, High-Level Data Link Control (HDLC), PPP gibi paketlere sadece bir etiket vererek bu paketleri İnternet üzerinden taşıma görevini yerine getirebilir. Herhangi bir verinin MPLS üzerinden taşınmasını sağlayan özelliğe (**Any Transport over MPLS**) **AToM** adı verilir. Bu sayede servis sağlayıcı müşterisine özel ağ çözümünü **herhangi bir protokol uygulaması** için gerçekleştirebilir.

BGP (Border Gateway Routing Protocol) internet üzerindeki yönlendirme verilerini her yönlendirici için dağıtan protokoldür. Eğer bir servis sağlayıcı MPLS yönlendirmeyi kendi ağında kullanırsa (ISP Core network), **BGP** gibi oldukça büyük bir hafıza gereksinimi olan protokolü ağındaki her yönlendiricide kullanmak zorunda kalmayacaktır.



Örneğin Şekil 1'deki ağda servis sağlayıcının iç ağındaki yönlendiriciler BGP algoritmasını koşturmakta zorunda değillerdir. Bu durumda BGP algoritmasını sadece Edge MPLS Router'lar koşturmaktadır. Eğer servis sağlayıcının 200 adet yönlendiricisi olduğunu düşünürsek bunlardan sadece internetle direkt bağlantı ihtiyacı olan kenar yönlendiriciler BGP algoritmasını çalıştırması yeterlidir. Bu sayede birçok yönlendirici **150000 yönlendirme** içeriği bulunan ve internetteki yönlendirme içeriklerini tutan tabloyu hafızalarında saklamak zorunda kalmayacakları için daha düşük hafızayla çalışabileceklerdir.

MPLS ayrıca uçtan uca özel sanal ağ (Virtual Private Networks-VPN) uygulamaları için kullanılır. Bu durumda iki ayrı bölgede ofisi bulunan şirket servis sağlayıcı tarafından yapılandırılan iki adet kenar yönlendiricisini kendi kenar yönlendiricilerine Şekil 2'deki gibi bağlar bu durumda servis sağlayıcının iç ağında sadece MPLS etiketi bulunan paketler yönlendirilir ve müşterinin ağ yapısıyla ve veri paketinin içeriğiyle ilgili bilgiler servis sağlayıcıdan gizlenmiş olur.



Şekil 2: MPLS ile VPN oluşturma

MPLS VPN ağlarının veri gizliliği sanal yönlendirme (virtual routing/forwarding VRF) sayesinde olur. Bu durumda müşteriye ait veri paketleri müşterinin yönlendiricisinde şifrelenir ve etiketlenir. VRF yönlendiriciler sayesinde her bir müşteriye ait etiketlenmiş veriler ayrılır ve gerekli hedef yönlendiricilere gönderilir. Servis sağlayıcının merkezi ağında olan MPLS bağlantısı sayesinde veri paketleri etiketlerine göre yönlendirilir ve herhangi bir IP bilgisi içermez. Eğer müşteri **yeni bir ofisini VPN** içerisine dahil etmek istiyorsa, tek yapması gereken kendi yönlendiricisini (**Customer Edge Router**) servis sağlayıcısının yönlendiricisine(**Provider Edge Router**) tanıtmak olacaktır. Bu durumda servis edilen müşteriye ait etiketle işaretlenen paketler MPLS omurgası üzerinden hedef yönlendiricisine gönderileceklerdir. Daha detaylı bilgi için lütfen [1]'de verilen kaynağa başvurunuz.

Trafik mühendisliği arkasındaki en basit fikir ağ kaynaklarının verimli kullanılmasıdır. Bu

24 ve 31 arasındaki 8 bit ise yaşama süresi (Time To Live-TTL) değerini taşır ve paketin yönlendirme döngüsüne girmesini engellemek için kullanılır.

b. MPLS Etiket Yığını

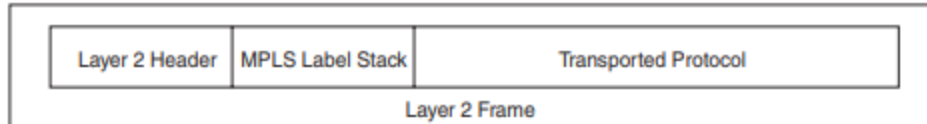
MPLS yönlendiriciler birden fazla etiketi aynı pakete koymak durumundan kalabilirler. Bu etiketleri bir yığın halinde veri paketine eklenerek yapılır. Veri paketinin ilk kısmındaki etikete tepe etiket denir ve son etiketin BoS biti bir olarak işaretlenir. Aşağıdaki şekil örnek bir MPLS yığını göstermektedir.

Label	EXP	0	TTL
Label	EXP	0	TTL
...			
Label	EXP	1	TTL

Şekil 5: Etiket Yığını

c. MPLS Yapılandırması

Etiket yığını katman 3 paketinin önünde bulunur. Bu durumda MPLS etiketleri katman 2 başlığından sonra ve katman 3 başlığından önce olacak şekilde konumlandırılır.



Şekil 5: MPLS etiketinin paket içerisindeki konumu

MPLS ile neredeyse her türlü protokol taşınabilir. Mesela, PPP, HDLC, Ethernet, v.s. Örneğin, transfer edilen protokolün IPv4 ve PPP bağlantı katmanı protokolü ile taşındığını düşünelim. Bu durumda MPLS etiket yığını PPP katmanından sonra ve IPv4 katmanından önce konumlandırılır. MPLS etiketleri 2. katman ile 3. katman arasında konumlandığı için 2. Katmandaki veri iletim katmanı alanında yeni değerler tanımlanmalıdır. Bu değerler 2. katmandan sonra MPLS etiketinin geldiğini belirlemek için kullanılacaktır. Tablo 2-1 bu değerleri özetlemektedir.

Table 2-1 *MPLS Protocol Identifier Values for Layer 2 Encapsulation Types*

Layer 2 Encapsulation Type	Layer 2 Protocol Identifier Name	Value (hex)
PPP	PPP Protocol field	0281
Ethernet/802.3 LLC/SNAP encapsulation	Ethertype value	8847
HDLC	Protocol	8847
Frame Relay	NLPID (Network Level Protocol ID)	80

d. Etiket Anahtarlamaalı Yönlendirici(Label Switch Router)

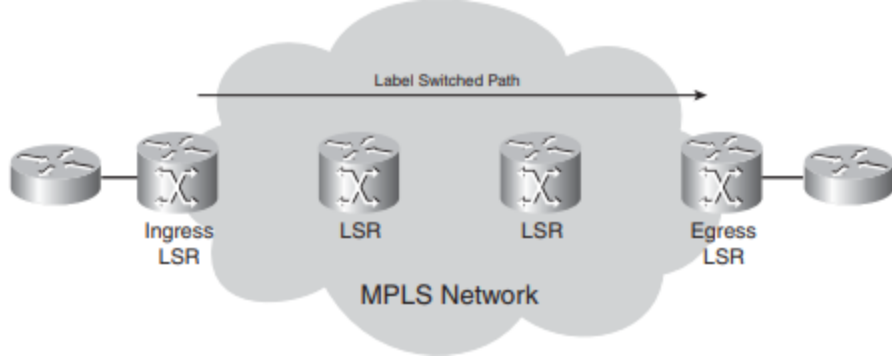
Etiket Anahtarlamaalı Yönlendirici (Label Switch Router - LSR) MPLS desteği olan bir yönlendirici tipidir. Bu yönlendirici MPLS etiketlerini anlayabilir ve etiketlenmiş paketleri ağda taşıyabilir. MPLS ağında üç tip LSR yönlendiriciler vardır:

- Ingress LSR - Bu yönlendiriciler etiketlenmemiş ve MPLS ağının dışından gelen veri paketini alır, pakete bir etiket yığını koyar ve yönlendirmek için MPLS ağına gönderir.
- Egress LSR - Bu yönlendiriciler etiketlenmiş paketleri alırlar, etiketleri veri paketinden çıkartırlar ve yönlendirme işlemini MPLS ağının dışına doğru yaparlar. Ingress ve Egress LSR yönlendiricilere kenar (Edge) yönlendirici adı verilir.
- Ara LSR yönlendiriciler - etiketlenmiş paketi alan ara LSR yönlendirici paketi gerekli operasyonları yaptıktan sonra doğru hedefe yönlendirir. Bir LSR paket üzerindeki etiket yığını üzerinde üç farklı operasyon yapabilir: **pop**, **push**, **swap**.

LSR etiketlenmemiş bir paket aldığıında bir etiket yığını oluşturur ve bu yığını pakete yerleştirir. Halen etiketlenmiş bir paket üzerinde etiket çıkarma işlemi ‘pop’ operasyonu ile yapılır. Eğer paket etiket içeriyorsa LSR ‘push’ işlemiyle etiket yığınına yeni etiket ekler. LSR ayrıca paketdeki etiketi değiştirebilir, bu durumda etiket yığınının en üst noktasındaki etiket güncellenir ve paket hedefine yönlendirilir. Pakete ilk etiketi yerleştiren LSR’ a benimsetici (imposing) LSR denir. Ingress LSR benimsetici LSR’ dır zira pakete ilk etiketi koymakla yükümlüdür. Paketten bütün etiketleri çıkartan LSR’ a ise unutturucu (disposing) LSR adı verilir. Egress LSR bu tip bir LSRdir.

e. Etiket Anahtarlamaalı Yol(Label Switched Path-LSP)

LSP MPLS ağı içerisinde LSRlar tarafından anahtarlamaalı bir paketin çizdiği rotaya verilen isimdir. LSP’ye ait ilk LSR ingress LSR’ dır ve LSP’ye ait son LSR ise egress LSRdir. LSP üzerindeki ilk ve son LSR’ lar dışındaki LSR’ lar ise ara LSR’ lardır.

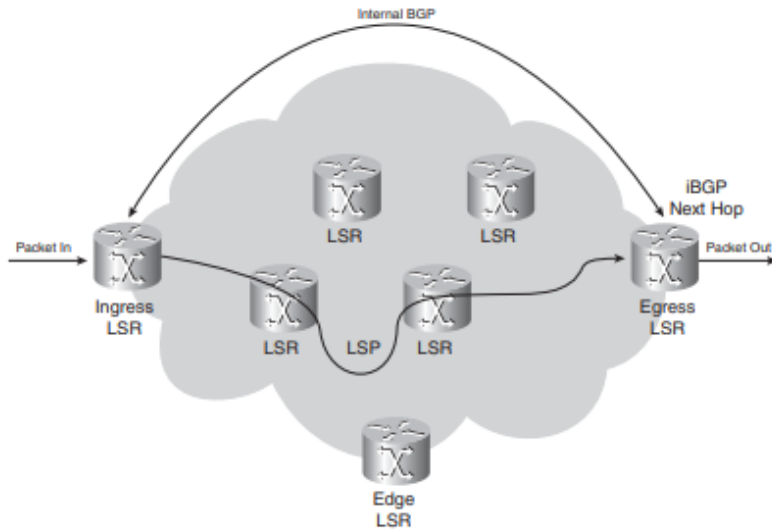


Şekil 6: LSP ve LSR'lar

f. Aktarma Eşitlik Sınıfı(Forwarding Equivalence Class-FEC)

FEC aynı yoldan aktarılan ve aktarma açısından eşit şekilde işlenen paket gruplarıdır. MPLS ağındaki bütün ağ elemanlarının varsayılan FEC değeri 31'dir. Ancak aynı etikete sahip paketin aynı FEC değerine sahip olduğunu söylemek mümkün olmaz. Zira, etiketteki EXP değeri farklılaşabilir. Bu durumda paketi yönlendiren LSR'nin paketi yönlendirme yaklaşımı farklılaşabilir ve paket farklı bir FEC değerine sahip olabilir. Hangi paketin hangi FEC değerine sahip olacağına karar veren LSR ingress LSR'dır. Aşağıda bu durum bir örnekle açıklanmıştır.

- Katman 3 hedef IPSi daha önce belirlenmiş bir ön eke (prefix'e örneğin 192.169) sahip paketler farklı FEC değerine sahip olabilir.
- Belli bir gruba ait multicast paketleri (örneğin, IPTV)
- IP tarafından önceliklendirilmiş paketler (IP DiffServ Code Point).
- Katman 3 IP adresleri BGP ön eklerine sahip paketler ve sonraki hedefi BGP olan paketler.



Şekil 7: BGP koşan Edge LSRlar için FEC sınıfı

Son örnek oldukça ilginçtir zira yönlendirme tablosunda BGP olarak belirlenen yollara ait IP'lere gönderilen paketler, Ingress LSR tarafından aynı FEC sınıfına konulur. Bunun anlamı MPLS ağına giren paketler BGP hedefine göre özel bir etiket alırlar. Şekil 7'de bu duruma bir örnek verilmiştir. Bu ağda bütün kenar LSR'lar (ingress, egress ve diğerleri) BGP protokolü koşarlar.

Ingress LSR'a giren bütün IP paketlerinin hedef adresleri yönlendirme tablosuna bakılarak kontrol edilir. Gelen paketlerin tamamı belli başlı ön-eklere sahiptir ve bunlara BGP ön-ekleri (prefix) denir. Bir çok BGP ön-ekleri yönlendirme tablosunda aynı hedef adresine yönlendirilir. Ve bu hedef IP Egress LSR'a aittir. Bu durumda aynı BGP sekmesine (next hop) ait olan paketler aynı FEC ile işaretlenir. Daha önce söylendiği gibi aynı FEC'ye sahip paketler aynı etiketle işaretlenir.

g. Etiket Dağıtımı(Label Distribution-LDP)

Ingress LSR'da pakete konulan ilk etiket bir LSP'ye aittir. Dolayısıyla paket MPLS ağının içerisinden geçerken bu ön tanımlı yolu kullanır. Yol boyunca değişen tek şey paketin içerisindeki etiketin LSR'lar tarafından değiştirilmesidir. Ara LSR'lar gelen paketin tepe (top) etiketini değiştirip iletirler. Paketin egress LSR'ı ise etiketi paketten çıkartır ve paketi yönlendirir.

MPLS üzerinden IPv4 paketlerinin transfer edilmesi örneğini ele alalım. Bu durumda MPLS ağındaki LSR'lar IPv4 tabanlı bir Internal Gateway Protocol (IGP) koşarlar. MPLS ağındaki en uygun rotayı bulmak için Open Shortest Path First (OSPF), Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP), v.b. Protokoller kullanılır. Ingress LSR IPv4 paketinin hedef adresine bakar ve bir etiketle etiketledikten sonra paketi iletir. Ara LSR'lar etiketlenmiş paketi alır ve etiketini yenisiyle değiştirip bir sonraki LSR'a yönlendirir. Egress LSR etiketi paketten çıkarır ve bu şekilde sonraki tanımlı yönlendiriciye paketi iletir. Bu sistemin çalışması için komşu LSR'ların her IGP ön-eki (IP prefix) için hangi etiketi kullanacaklarına karar vermeleri gerekir. Dolayısıyla her LSR gelen etiketi hangi etiketle değiştirmesi gerektiğine karar vermelidir. Bunu sağlamak için kullanılacak etiketlerin ağdaki yönlendiricilere bir şekilde öğretilmesi gerekir. Ve bütün etiketler komşu düğümlere özeldirler ve yereldirler. Dolayısıyla etiketlerin IP adreslerinde olduğu gibi global anlamı yoktur. Komşu LSR'ların hangi ön-ek (prefix) için hangi etiketleri kullanacaklarına karar vermeleri için bir şekilde iletişime geçmiş olmaları beklenir. Bundan dolayı etiket dağıtım protokolü (LDP) gerekir.

Etiketleri bir MPLS ağda iki şekilde dağıtabilirsiniz:

- Zaten var olan IP yönlendirme protokolü paketlerine ekleyerek
- Yada etiketleri dağıtan ayrı bir protokol tanımlayarak.

İlk yöntemin avantajı LSR'larda ekstra bir protokole ihtiyaç duymadan etiketlerin dağıtılabilmesidir. Ancak bütün IP yönlendirme protokollerinin etiket dağıtımı için değiştirilmesi gerekmektedir. Bu da oldukça güçtür. Diğer taraftan avantaj olarak yönlendirme protokol mesajları ağda periyodik olarak gezdiği için etiketlerle yönlendirmede kullanılan IP ön-ekleri her

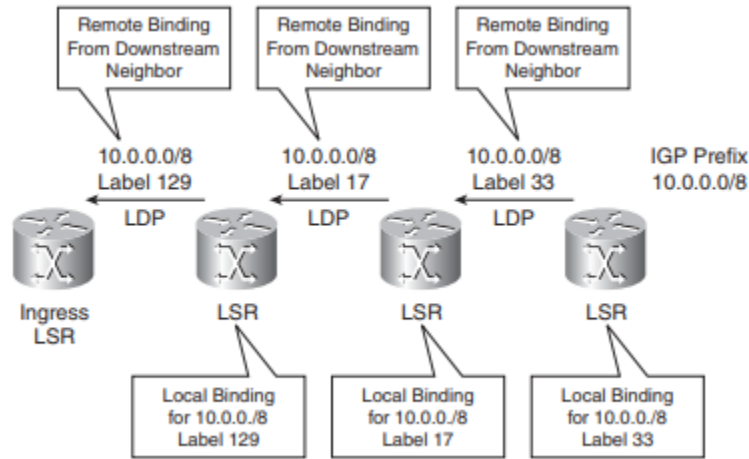
zaman senkronize olacak ve bir etikete ait ön-ekin kayıp olması gibi bir durumla karşılaşılmayacaktır.

İkinci yöntem ise ek bir etiket dağıtım protokolünün gerçekleşmesidir. Bu yöntem yönlendirme protokolünden bağımsız olma avantajına sahiptir. Bu durumda IP yönlendirme protokolünün etiket taşıyıp taşımayacağına bakılmaksızın etiketler etkin olarak dağıtılabilir. Bu yaklaşımı dezavantajı ise yeni bir protokol geliştirme ihtiyacıdır. Bütün yönlendirme donanımı üreticilerin ortak yaklaşımı ise IGP prefixlerine ait etiketleri dağıtan yeni bir etiket dağıtım protokolü geliştirmek olmuştur. En çok bilinen ve kullanılan etiket dağıtım protokolü LDP'dir. Ancak LDP tek MPLS etiket dağıtım protokolü değildir. Aşağıda diğer iki kullanılan protokol ismi verilmiştir.

- Tag Distribution Protocol (TDP)
- Resource Reservation Protocol (RSVP)

h. LDP ile Etiket Dağıtımı

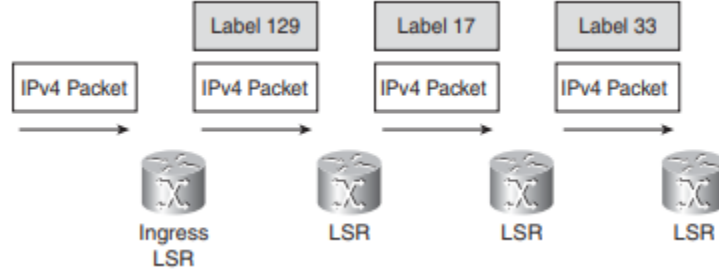
IP yönlendirme tablosunda bulunan her IGP IP prefixi için LSR yerel bir etiket bağlantısı oluşturur (Etiket oluşturur). LSR bu adımı takiben bütün LDP konuşan komşularına bu Etiket - Prefix eşleşmesini dağıtır. Alınan bu eşleşmeler LDP konuşan LSRlar için birer kayıt olarak saklanır. Sonra ilk dağıtım yapan LSR'nın komşuları bu bağlantılara ait sadece kendilerinin tanımladığı yeni etiketler oluşturur ve bu etiketleri yerel etiket olarak saklar. Bu eşleşme tablosunda etiket veritabanı (Label Information Base-LIB) adı verilir. Her LSR her prefix için sadece bir yerel eşleşme tutar. Doğal olarak her LSR birden fazla komşu LSR'a sahip olabileceğinden komşularına ait eşleşmeleri de LIB'te saklar.



Şekil 8: LDP Etiketlerinin IPv4 MPLS Ağında Dağıtımı

Bütün komşulara ait ön-ek eşleşmesi için, LSR giden pakete yerleştirilecek tek bir etiket belirler ve bunu LIB'e kaydeder. Yönlendirme tablosu paketle gelen etiketin bir sonraki hedefini belirlemede kullanılır. Paketi alan LSR paketi aldığı LSRa ait etiket eşleşmesini belirler, bu aynı

zamanda alıcı LSR için alınan IP ön-eki için varsayılan yönlendiricidir. LSR bu bilgiyi kullanarak yerel etiket yönlendirme veri tabanını oluşturur (Label Forwarding Information Base-LFIB). Bu durumda ön-ekle bağlanan yerel etiket gelen paket etiketi olarak kullanılırken yönlendirme tablosu ve komşu ön-ek yardımıyla seçilen etiket ise giden paket etiketini oluşturur. Dolayısıyla LSR etiketlenmiş bir paket aldığı anda, kendisi tarafından pakete verilmiş etiketle komşu LSR'a ait etiketi değiştirerek paketi yönlendirebilir. Şekil 8 LDP eşleşmelerinin ağda nasıl aktarıldığını 10.0.0.0/8 prefixi için gösterir. Her LSR her bir IPv4 prefixi için bir etiket ayırır. Yerel eşleşme prefix ve onunla ilişkilendirilmiş etiket üzerinden yapılır.



Şekil 9: IPv4 Paketini MPLS ağında iletimi

Şekil 9 10.0.0.0/8 ön-ekine yönlendirilmiş bir paketin ingress LSR üzerinden MPLS ağına girmesini ve burada yeni bir etiket ile etiketlendikten (Label 129) sonra ağda nasıl iletildiğini gösterir. İlk etiket ingress LSR'dan sonraki LSR'ı belirtir. İkinci LSR 129 numaralı kendine ait olan etiketi bir sonraki LSR'a (üçüncü LSR) ait etiketle değiştirir (Label 17) ve yönlendirir. Bu işlem bu şekilde devam ederek MPLS yönlendirme gerçekleştirilmiş olur.

i. Etiket Yönlendirme Veritabanı (Label Forwarding Instance Base-LFIB)

LFIB etiketlenmiş paketleri yönlendirmek için kullanılan tablodur. LSP'ye ait gelen ve giden etiketlerden oluşturulur. Gelen etiketler yereldeki ilişkilerden oluşurken giden etiketler komşu LSR'dan elde edilen ilişkilerin tümünden uygun olanı olarak seçilir. Bütün komşu LSR'lara ait ilişkiler LIB'den elde edilir. LIB'te bulunan bütün etiketler taranarak, gelen etikete en uygun giden etiket LFIB'ye aktarılır. Komşuya ait etiket yönlendirme algoritması tarafından seçilen en iyi yola göre belirlenir.

IPv4-MPLS örneğinde etiketler IPv4 prefix'ine ilişkilendirilmiştir. Ancak, LFIB ayrıca LDP tarafından oluşturulmamış etiketler de içerebilir. MPLS trafik mühendisliği için, etiketler RSVP protokolüyle iletilir. MPLS-VPN durumunda ise etiketler BGP protokolü tarafından dağıtılır. Her durumda LFIB etiketleri yereldeki yönlendirme için kullanılır.

j. MPLS Veri Yüğü (MPLS Payload)

MPLS etiketi ağ katmanındaki protokolle ilgili herhangi bir alana sahip değildir. Diğer yandan, bütün diğer Katman 2 protokolleri paketin Katman 3 içeriğiyle ilgili bir alana sahiptir. Bu durumda MPLS LSR'lar nasıl olur da taşınan paketin Katman 3 protokol tipini bilebilirler? Bu sorunun cevabı ise MPLS ağdaki ara LSRların bu bilgiye ihtiyaç duymadıkları gerçeğidir. Çünkü ara LSR'lar etiketlenmiş bir paket alınca sadece etiketi bir sonraki LSR'ın etiketiyle değiştirip paket iletirler. Egress LSR paketteki etiketi çıkarırken MPLS veri yükünün ne olduğunu bilmek zorundadır. Çünkü MPLS paketindeki veriyi hedefine ulaştıracak yol seçimini yapmalıdır. Bunun için Egress LSR Katman iki paketine Ağ Seviyesi Protokol işaretçisini koymakla yükümlüdür. Diğer taraftan hatırlarsak etiketle FEC sınıfını ilişkilendiren de Egress LSR'dır. Dolayısıyla Egress LSR MPLS veri yükünün ağ protokol tipini zaten bilmektedir. Bu durumda aldığı etikete ait protokol tipini Katman iki paketine koyduktan sonra Egress LSR paketi ağın MPLS olmayan kısmına yönlendirebilir.

k. Farklı MPLS yöntemleri (Different MPLS Modes)

Bir LSR birden farklı durumları kullanarak etiketleri diğer LSR'lara dağıtabilir. Bu bölümde üç farklı durumu inceleyeceğiz:

- Etiket dağıtım yöntemleri
- Etiket saklama yöntemleri
- LSP kontrol yöntemleri

Her durum kendine has özellikler içerir. Burada her duruma ait avantajları irdeleyeceğiz.

1. Etiket dağıtım yöntemleri

MPLS mimarisi iki çeşit etiket ilişkisi dağıtım yöntemi içerir:

- Aşağı yönlü isteğe dayalı (Downstream-on-Demand-DoD)
- Talep edilmemiş Aşağı Yönlü (Unsolicited Downstream - UD)

DoD yönteminde, her LSR bir sonraki aşağı yönlü LSP üzerinde bulunan LSR'dan FEC için etiket ilişkisini ister. Her LSR kendisine ait aşağı bağlantısından FEC başına bir etiket bağlantısı alır. Aşağı yönlü LSR IP yönlendirme tablosu tarafından gösterilen sonraki sekmeye ait yönlendiricidir. UD durumunda, LSR ona bağlı LSR'lara bir etiket ilişkisini alır. DOD durumunda, LIB sadece bir uzak ilişkilendirme gösterirken, UD durumunda, birden fazla uzak ilişki LIB üzerinde görülebilir. Hangi etiket dağıtım yönteminin kullanılacağı geliştiriciye bağlı olarak değişir.

2. Etiket saklama yöntemleri

İki etiket saklama yöntemi vardır:

- Özgür etiket saklama (Liberal Label Retention - LLR)
- Muhafazakar etiket saklama (Conservative Label Retention - CLR)

LLR yönteminde, LSR bütün uzak etiket ilişkilerini LIB'de tutar. Bu içeriklerden biri aşağı yönlü bağlantıdan alınan etiket ilişkisidir. Bu etiket ilişkisi trafik yönlendirmekte kullanılır ve

LFIB içerisinde saklanır. Diğer etiket ilişkilerinden hiçbiri LFIB'e konulmaz. Dolayısıyla, LFIB'te tutulmayan uzak etiket ilişkilerinin hiçbiri paket iletmek için kullanılmaz. Bu durumda şu soru akla gelir, Neden kullanılmayan girdiler LIB'te tutulmaktadır? Ağda yönlendirme dinamik olduğu için LFIB'te tutulan bilgiler değişebilir. Dolayısıyla LIB'te ekstra bilgilerin tutulması LFIB'ı güncellemeyi kolaylaştırır.

İkinci etiket saklama yöntemi ise CLR'dir. Bu yöntemle çalışan LSR LIB'te bütün uzak etiket ilişkilerini saklamaz. Ancak, sadece bir sonraki sekmedeki LSR ile ilişkilendirilmiş belli bir FEC'ye ait uzak etiket ilişkilerini saklar. Özet olarak LLR yönlendirmede oluşan değişikliklere hızlı adapte olma imkanı sunarken, CLR daha az hafızada çalışma imkanı sunar.

3. LSP saklama yöntemleri

LSP kontrol yöntemleri bir FEC için yerel etiket ilişkilendirmesini iki şekilde yapabilir:

- Bağımsız LSP kontrol yöntemi (Independent LSP Control mode)
- Sıralı LSP kontrol yöntemi (Ordered LSP Control mode)

LSR bir FEC için yerel etiket ilişkilendirmesini diğer LSR'lardan bağımsız olarak yapabilir. Bu bağımsız LSP kontrol yöntemi olarak adlandırılır. İkinci kontrol yönteminde ise, her LSR yerel etiket ilişkilendirmesini FEC'yi tanımlar tanımlamaz yapar. Bu genelde FEC'ye ait önekin yönlendirme tablosunda olduğu anlamına gelir. Sıralı LSP kontrol yönteminde, bir LSR sadece bir FEC'ye ait yerel ilişkilendirmeyi bu ilişki için Egress LSR olduğunu anlayınca yada eğer LSR etiket ilişkilendirmesini bir sonraki sekmeden bu FEC için almışsa yapar.

3. Sonuç

Bu deney föyünde MPLS yönlendirmeye bir giriş yapılmıştır. MPLS bir çok alanda kullanılan Katman 2 yönlendirme protokolüdür. Trafik mühendisliğinde, Özel sanal ağlarda sıkça kullanılmaktadır. Konu hakkında daha detaylı bilgi için [1] numaralı kaynağa başvurulabilir.

5. Deney Hazırlığı

<https://github.com/manolodd/opensimmpls> linkini kullanarak OpenMplsSim MPLS simülatörünü indirin. Bu simülatör ile verilen örnek senaryoları koşarak davranışlarını irdeleyin. Deney sırasında sizlere verilecek bir senaryoyu gerçekleştirebilecek şekilde deneye katılın.

6. Deney Hazırlığı

1. IP yönlendirici Nedir?
2. Pro-aktif ve Reaktif yönlendirme arasındaki farkları belirtiniz?
3. TLDP nedir?
4. ATOM Nedir?

5. MPLS yönlendirici Nedir?
6. MPLS hangi alanlarda sıklıkla kullanılır?
7. Trafik mühendisliği ne anlama gelir?
8. Klasik rotalama algoritmaları ile karşılaştırıldığında trafik mühendisliğiyle oluşturulan rotalar nasıl farklılaşabilir?
9. MPLS paketinde bulunan TTL değeri yönlendirme döngülerini nasıl engeller?
10. BGP protokolü nedir ne için kullanılır?
11. VRF nedir veri gizliliğini gerçekleştirmede nasıl kullanılır?
12. BoS Ne anlama gelir? Neden BoS bitine ihtiyaç duyulmuştur.
13. MPLS etiketindeki TTL değeri ne için kullanılır?
14. Etiket yığını veri paketinde nasıl konumlandırılır?
15. ISP'ler BGP protokolünü neden kendi core ağlarında tercih etmezler?
16. Ingress ve Egress LSRların görevi nedir?
17. Ingress LSR nedir?
18. Egress LSR nedir?
19. OSPF Nedir?
20. IGP ve EIGRP Nedir?
21. TDP ve LDP arasındaki ilişki nedir?
22. RSVP nasıl çalışır?
23. Egress LSR Veri Yükünün Ağ protokolünü nasıl belirler?

6. Deney Tasarımı ve Uygulaması

1. Deney föyü ile ilgili MPLS ve Yönlendirme ile ilgili soruların sorulması ve cevaplanması.
2. OpenMpls benzetim aracı kullanılarak farklı senaryoların uygulanması.

7. Deney Raporu

Deney raporu, laboratuvar sayfasında ilan edilen biçimde yazılarak teslim edilecektir.

Sizden MPLS yardımıyla trafik mühendisliği içeren bir proje gerçekleştirmeniz beklenmektedir. Bu proje bünyesinde, bir şirkete ait 12 adet farklı ofiste bulunan bilgisayarlardan 6 tanesi farklı trafik sınıflarına ait (IP GOS) veri paketlerini MPLS ağı üzerinden geri kalan 6 adet ofise iletilecektir. Burada dikkat edilmesi gereken ise MPLS ağına ait tek bir merkezi LSR vardır ve bu LSR'a ait kapasite bütün trafiği aynı anda iletmek için yeterli değildir. Bu durumda farklı trafik tiplerinin hedeflerine farklı gecikmelerle iletileceği aşikardır. Her bir trafik tipi için kaynakların ürettikleri veri Hızı 512 Mbps olmalıdır. Ingress LSR'ların anahtarlama hızları 2048 Mbps olmalıdır. Merkezi LSR' ait anahtarlama hızı 2048 Mbps olmalı ve bu LSR'ın 8 MB bir tampon belleği olmalıdır. Egress LSR ve hedef bilgisayarlarında yeterli band genişliğinde bağlantıları olmalı ve her bir hedef ve yönlendirici için istatistikler toplanarak farklı trafik öncelikleri için ağın verileri ne şekilde taşıdığı analiz edilmelidir.

Ek proje: Linkte(<https://blog.swineson.me/en/use-linux-as-an-mpls-router/>) verilen adımları takip ederek sanal makine yardımıyla bir MPLS ağının gerçekleşmesi sağlanmalıdır. Bu ağ üzerinden farklı trafik tipleri üretilerek bu trafik tiplerinin önceliklerine göre ağ üzerinden iletilmesi sağlanmalıdır.

8. Kaynaklar

[1] MPLS Fundamentals, Luc De Ghein, Cisco Press, 2007.