



**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 yarayan 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'dir. 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 bir çok 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, 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 işlemini özel donanımlar yaptığı için böyle bir avantajdan söz etmek günümüzde mümkün değildir.

IP tabanlı yönlendirme protokolleri kabaca iki davranış bakımından iki alt gruba ayrılabilir. Bu anlamda proaktif 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

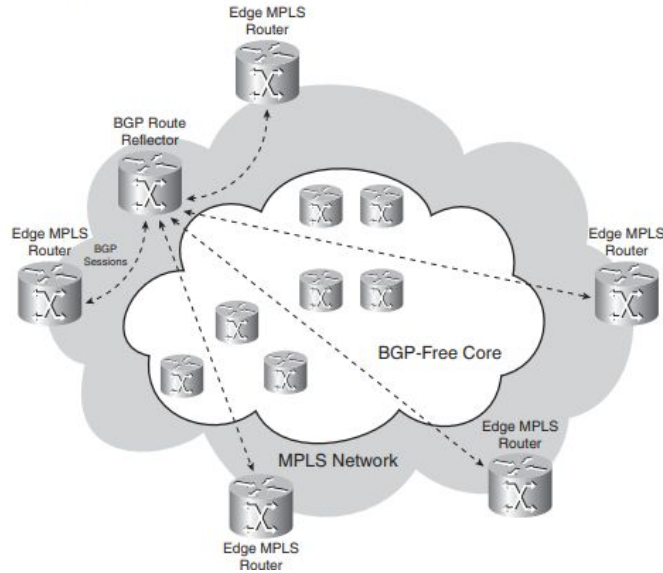
kullanılmasını sağlarlar.

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

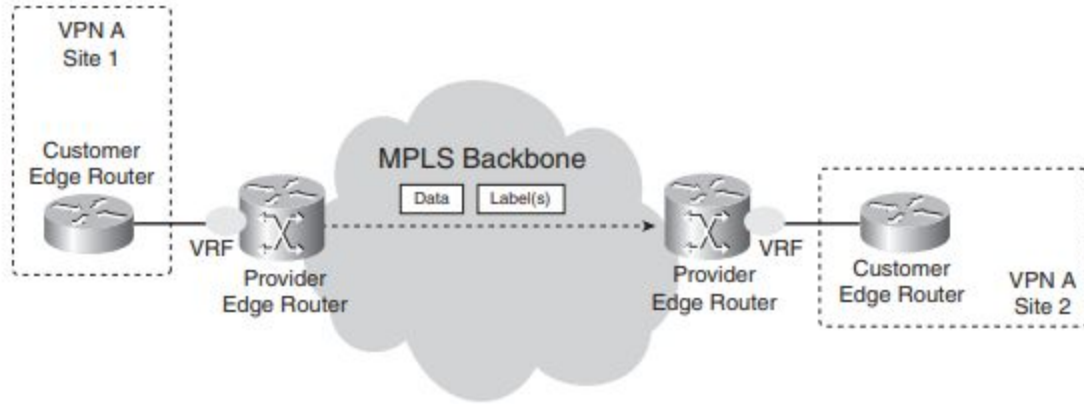
BGP (Border Gateway Routing Protocol) internet üzerindeki yönlendirme verilerini her yönlendirici için dağıtan protokoldür. Eğer bir servis sağlayıcı MPLS yönlendirmeyi kendi ağında kullanırsa (ISP Core network), BGP gibi oldukça büyük bir hafıza gereksinimi olan protokolü ağındaki her yönlendiricide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



Örneğin Şekil 1'deki ağda servis sağlayıcının iç ağdaki yönlendiriciler BGP algoritmasını

koşmak zorunda değildir. 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.

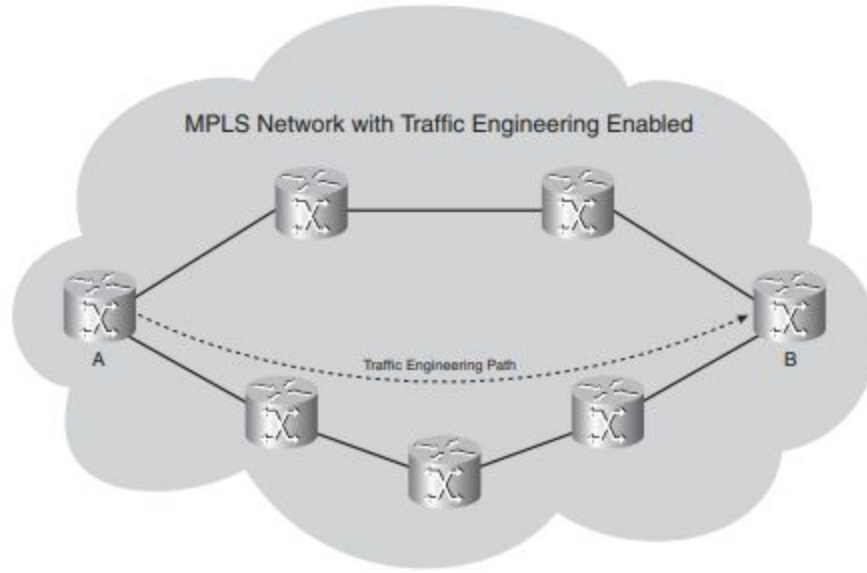


Şekil 2: MPLS ile VPN oluşturma

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 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 anlamda geliştirilen çözümler ağdaki az kullanılan rotaları efektif bir şekilde kullanımını

sağlamalıdır. Normalde IP yönlendirme algoritmalarının rota bulma yöntemi en kısa yol algoritmasına dayanmaktadır. Bu da bir çok durumda ağdaki bazı rotaların az kullanılmasıyla sonuçlanabilir. MPLS ile geliştirilen veri trafiği mühendisliği ile, iki nokta arasında istenilen servis garantisiyle ve istenilen rota üzerinden veri trafiği oluşturmak mümkün olmaktadır. Bu rotanın en kısa yol olması gerekmez. Bu sayede veri trafiği farklı rotalar üzerinde dağıtılarak ağ kaynaklarının verimli şekilde kullanımı sağlanabilir. Aşağıdaki şekil buna bir örnek vermektedir.



Şekil 3: Trafik mühendisliği örneği

a. MPLS Etiketleri

MPLS etiketleri Şekil 4’te verilen veri yapısını içerir. İlk 20-bit tekil etiket değeridir. Bu alan 1048575 adet etiketin tanımlanmasına imkan tanır ancak ilk 16 etiket (0-15) özel anlam içerdikleri için kullanılmazlar. EXP alanı servis kalitesi için kullanılır. Bu 3 bit başlangıçta deneysel olarak kullanıldıkları için hala EXP (experimental-deneysel) olarak isimlendirilmektedir. BoS(Bottom of Stack) biti eğer 1 ise etiket alanının bittiğini belirtir. Bir paket doğal olarak birden fazla MPLS ağdan geçebileceği için birden fazla etikete sahip olabilir. BoS 0 olduğu durumda şu andaki etiketi yeni bir etiket takip etmektedir.



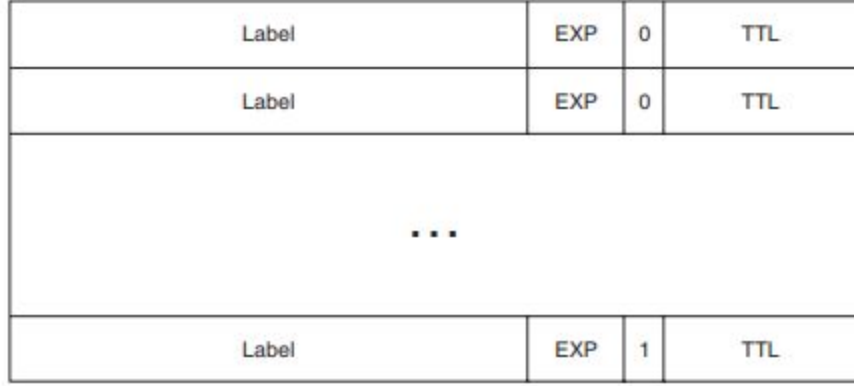
Şekil 4: MPLS etiketi yapısı

24 ve 21 arasındaki 8 bit ise yaşama süresi (Time To Live-TTL) değerini taşır ve paketin

yönlendirme döngüsüne girmesini engellemek için kullanılır.

b. MPLS Etiket Yığını

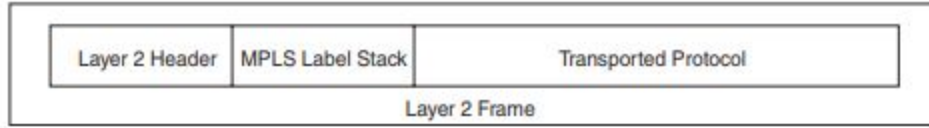
MPLS yönlendiriciler birden fazla etiketi aynı pakete koymak durumundan kalabilirler. Bu etiketleri bir yığın halinde veri paketine eklenerek yapılır. Veri paketinin ilk kısmındaki etikete tepe etiket denir ve son etiketin BoS biti bir olarak işaretlenir. Aşağıdaki şekil örnek bir MPLS yığını göstermektedir.



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 nerdeyse 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)

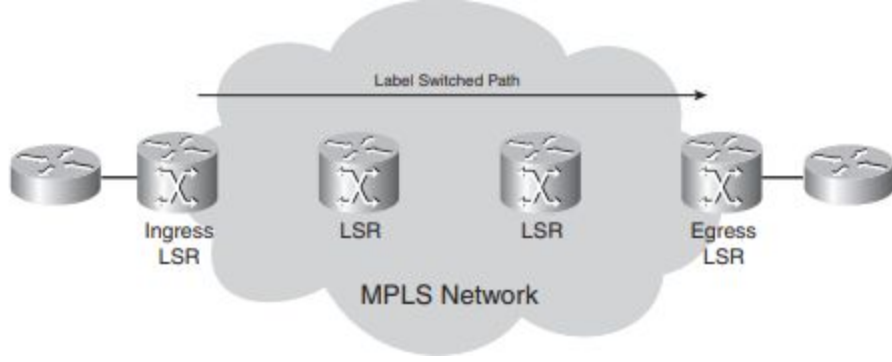
Etiket Anahtarlamaalı Yönlendirici (Label Switch Router - LSR) MPLS desteği olan bir yönlendirici tipidir. Bu yönlendirici MPLS etiketlerini anlayabilir ve etiketlenmiş paketleri ağda taşıyabilir. MPLS ağında üç tip LSR yönlendiriciler vardır:

- 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 and 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 yapılabilir: 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 yığına yeni etiket ekler. LSR ayrıca paketteki 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 LSRdir 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. LSPye ait ilk LSR ingress LSRdir ve LSPye ait son LSR ise egress LSRdir. LSP üzerindeki ilk ve son LSRlar dışındaki LSRlar ise ara LSRlardır.

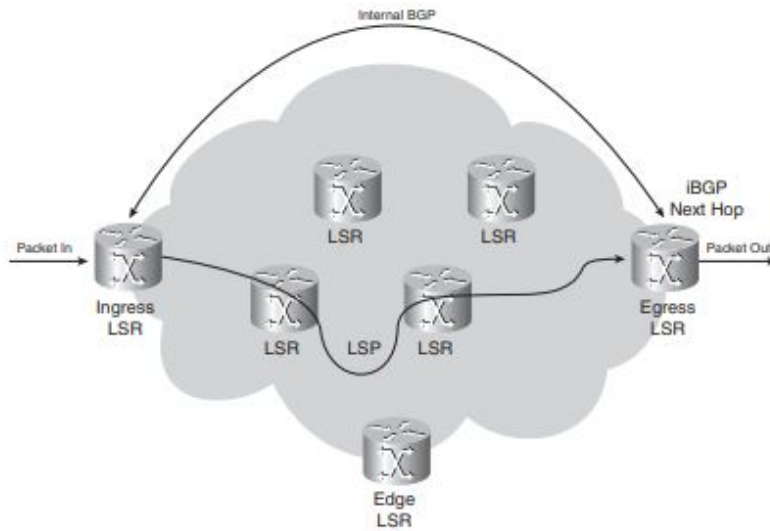


Şekil 6: LSP ve LSRLar

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

FEC aynı yoldan aktarılan ve aktarma açısından eşit şekilde işlenen paket gruplarıdır. MPLS ağındaki bütün ağ elemanların 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 IP'si 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 IPlere 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 LSRLar (ingress, egress ve diğerleri) BGP protokolü koşarlar.

İngree LSRA giren bütün IP paketlerinin hedef adresleri yönlendirme tablosuna bakılarak kontrol edilir. Gelecek paketlerin tamamı belli başlı öneklere sahiptir ve bunlara BGP önekleri (prefix) denir. Bir çok BGP önekleri yönlendirme tablosunda aynı hedef adresine yönlendirilir. Ve bu hedef IP Egress LSRA 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 LSRAda pakete konulan ilk etiket bir LSPye aittir. Dolayısıyla paket MPLS ağının içerisinden geçerken bu ön tanımlı yolu kullanır. Yol boyunca değişen tek şey paketin içerisindeki etiketin LSRLar tarafından değiştirilmesidir. Ara LSRLar gelen paketin tepesi (top) etiketini değiştirip iletirler. Paketin egress LSRA ise etiketi paketten çıkarır ve paketi yönlendirir.

MPLS üzerinden IPv4 paketlerinin transfer edilmesi örneğini ele alalım. Bu durumda MPLS ağındaki LSRLar 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 LSRLar etiketlenmiş paketi alır ve etiketini yenisiyle değiştirir bir sonraki LSRA yönlendirir. Egress LSR etiketi paketten çıkarır ve bu şekilde sonraki tanımlı yönlendiriciye paketi iletir. Bu sistemin çalışması için komşu LSRLarın her IGP öneki (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 LSRLarın hangi önek (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 LSRLarda 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 gezeceği için etiketlerle yönlendirmede kullanılan IP prefixleri her zaman senkronize olacak ve bir etikete ait prefixin kayıp olması gibi bir durumla

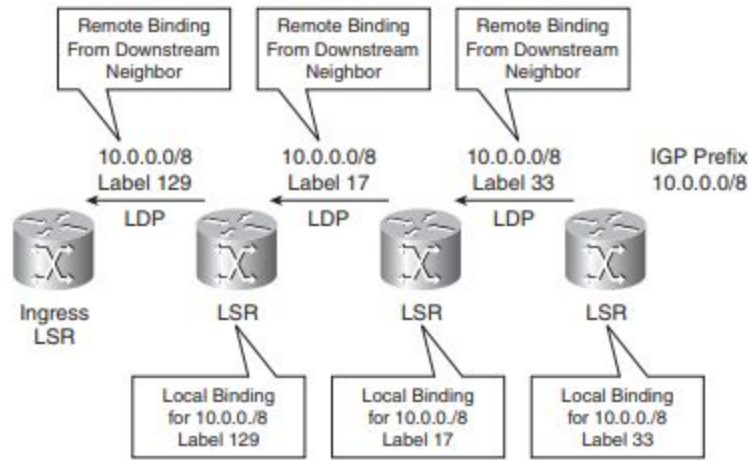
karşılaşılacaktır.

İkinci yöntem ise ek bir etiket dağıtım protokolünün gerçekleştirilmesidir. 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

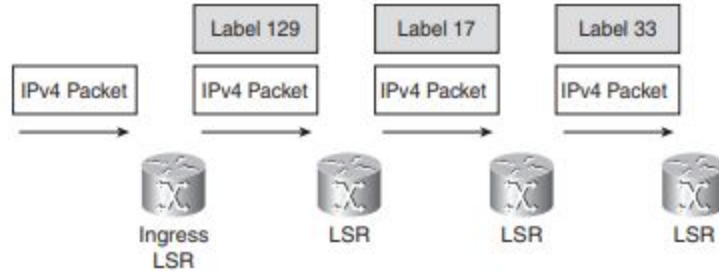
IP yönlendirme tablosunda bulunan her IGP IP prefixi için LSR yerel bir etiket bağlantısı oluşturur (Etiket oluşturur). LSR bu adımı takiben bütün LDP konuşan komşularına bu Etiket - Prefix eşleşmesini dağıtır. Alınan bu eşleşmeler LDP konuşan LSRlar için birer kayıt olarak saklanır. Sonra ilk dağıtım yapan LSRın 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 prefix 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 prefix için varsayılan yönlendiricidir. LSR bu bilgiyi

kullanarak yerel etiket yönlendirme veri tabanını oluşturur (Label Forwarding Information Base-LFIB). Bu durumda prefixe bağlanan yerel etiket gelen paket etiketi olarak kullanılırken yönlendirme tablosu ve komşu prefix yardımıyla seçilen etiket ise giden paket etiketini oluşturur. Dolayısıyla LSR etiketlenmiş bir paket aldığı anda, kendisi tarafından pakete verilmiş etiketle komşu LSRa 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 prefixine 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 ağına 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 irdeleneceğiz.

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 tutulmaya uzak etiket ilişkilerinin hiçbiri paket iletmek için kullanılmaz. Bu durumda şu soru akla gelir, Neden kullanılan 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 genelrde FEC'ye ait prefixin 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

1. IP yönlendirici Nedir?
2. MPLS yönlendirici Nedir?
3. MPLS hangi alanlarda sıklıkla kullanılır?
4. Trafik mühendisliği ne anlama gelir?
5. MPLS paketinde bulunan TTL değeri yönlendirme döngülerini nasıl engeller?
6. BGP protokolü nedir ne için kullanılır?
7. OSPF Nedir?
8. IGP ve EIGRP Nedir?
9. TDP ve LDP arasındaki ilişki nedir?

10. RSVP nasıl çalışır?

11. 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.

8. Kaynaklar

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