

Etiket Anahtarlama Teknolojisinde Evrimsel Gelişmeler: GMPLS - Genelleştirilmiş Çoklu-Protokol Etiket Anahtarlama

Refik Cahit Arkut
refik.arkut@alcatel.com.tr
Alcatel – Teletaş

İbrahim Cahit Arkut
ica@lefke.edu.tr
Lefke Avrupa Üniversitesi

ÖZET

Çoklu - Protokol Etiket Anahtarlama (MPLS) [1] teknolojisinden hareketle, 'paket anahtarlama' yanı sıra 'zaman aralığı', 'dalgalı boyu' ve 'uzay' temelli etiket anahtarlama ile 'Genelleştirilmiş Çoklu-Protokol Etiket Anahtarlama' geliştirilmektedir. Önceleri MPLS [2] lambda-anahtarlama olarak önerilen G-MPLS, kontrol edeceği katmanların (TDM, lambda, fiber) özelliklerine uygun işaretleme ve yönlendirme protokolları ile desteklenmelidir. G-MPLS'i desteklemek amacıyla yapılan çalışmalar, özellikle 'Önce Açık Enkasa Yol' (OSPF) Internet yönlendirme protokoluna yapılan ekler, genelleştirilmiş arayüzler, etiket-anahtarlama yollarının derecelendirilmesi, bağlantı (link) demetlenmesi ve bağlantıların yönetilebilirliğini geliştiren 'Link Yönetim Protokolü' (LMP) burada tartışılmıştır.

GİRİŞ

Şimdiye kadar Internet'in dayandığı 'Internet Protokolü' (IP) başarısı, oluşturduğu 'bağlantısız' ağ katmanının desteklediği uygulamalarda ağdan bağımsızlık ve uçtan-uca servis taşınmasındaki esneklik olmuştur. Kısaca bu 'ağın basit (aptal), uçların karmaşık (akıllı)' paradigması olarak yorumlanmıştır [3]. Böylece, ağın içinde dağıtılmış olan 'kontrol', merkezi bir birime gereksinim duymadan, ağ üzerinden akan 'datagramları' (IP paketlerini), yönlendiricilerin her IP paketinde bulunan 'varış' adresine göre, hangi 'bir sonraki sıçramaya' iletileceği hakkında diğer ağ birimlerinden tamamen *bağımsız* olarak karar vermektedirler. Başka bir deyişle, IP paketlerinin akışı ile ilgili herhangi bir *durum* bilgisi yönlendiricilerde tutulmamakta, ağda karşılaşılabilecek herhangi bir sorun (arıza veya yığılma) sonucu IP paketinin kaybindan daha üst protokol katmanı, 'Transmisyon Kontrol Protokolü' (TCP) sorumlu olmaktadır. Internet'te IP ağı, desteklediği trafik akışları açısından *durumsuz* bir iletim ortamıdır. Yönlendiriciler ilettikleri paketlerin hangi akış veya servislere ilişkin olduklarına bilinçli değildirler. Dolayısıyla, akış güvenilirliğinden ve gerekiyorsa 'veri bütünlüğünden' ağ elemanları sorumlu olmayıp uç-birimler veya uygulamalar sorumludur. Öte yandan, yönlendiriciler ağın tüm *haritası* (görünümü) hakkında dinamik bilgiye, 'Dahili Geçit Protokollarından' (IGP) birinin, örneğin OSPF [4], kullanımı sonucu sahiptirler. Bu özellik ağa *yıkılmazlık* özelliğini kazandırıyor. Uçtan-uca kavramı başta olmak üzere Internet'i destekleyen IP ağ yapısının yukarıda özetlenen diğer tasarım özelliklerinin sonucu kendisini iki yönde göstermiştir:

- Üstel artan trafik
- Artan servis çeşitliliği.

Özellikle artan *data* trafiği artık toplam telekomünikasyon trafiği içinde şimdiye kadar etkin olan *ses* trafiğini geçmiştir. Ancak, üstel artmakta olan bu trafiği taşımak için kullanılmakta olan temel teknoloji ses ve kiralık hat servisleri için geliştirilen 'Eş-zamanlı Optiksel Ağ / Eş-zamanlı Sayısal Yapı' (SONET / SDH) zaman bölümlenmeli (TDM) teknolojisine dayanmaktadır. Ses ve kiralık hatlar için *başarım ve güvenilirlik* kriterlerini sağlayan SONET / SDH taşıma yapısı, *'atımlı'* veri trafiği için, esnek olmayan -statistiksel çoklamaya dayanmayan - TDM yapısından dolayı, verimsiz ve maliyet etkin olmayan çözümleri zorunlu kılmaktadır. Halbuki, servis sağlayıcıların günümüz rekabet ortamında başarıları büyük (yaşamsal) ölçüde azaltılmış maliyetli ve yüksek başarılı (performanslı) ağ çözümlerinin kullanımına bağlıdır. Üstel artan trafiğin zorladığı ağların maliyet etkin *ölçeklenebilmesi* ¹servis sağlayıcıların çözmek zorunda oldukları en önemli sorundur.

Data ağlarının geleneksel gelişim sürecinde, IP'nin evrensel servis yakınsama katmanı olarak ortaya çıkmasına karşın, günümüzde data ağları dört katmanlı yapısını korumaktadırlar [5]:

- IP - servis ve uygulamaların taşınması,
- ATM (Eş-zamansız Transfer Modu) - trafik mühendisliği ve servis kalitesi,

¹ *Ölçeklenebilme*'den kabaca, ağın çeşitli boyutlarda (eleman, düğümler, bağlantılar, yönlendirme tablosu, v.s ...) büyümesinde 'baş edilemez' sorunlarla karşılaşılması anlaşılar.

- SONET/SDH - taşıma ve koruma,
- DWDM (Yoğun Dalga-boyu Bölümlemeli Çoklama) - kapasite sağlanması işlevlerinin sağlanması.

Bu çok-katmanlı mimarinin, üstel artan trafik karşısında, ölçeklenebilme, maliyet, yönetim etkinliği sorunları bulunmaktadır. 'En-küçük- ortak-çarpan' etkisi ile özetlenen, çok-katmanlı mimaride bir katmandaki iyileştirmelerin tüm katmanlarda da tekrarlanması gereği, servis sağlayıcıları sürekli yatırım yapmaya zorunlu kılmaktadır. Endüstrinin yönelimi, çok-katmanlı ağ mimarisinden, katman işlevlerinin özellikle 'trafik mühendisliği' ve 'servis kalitesi' yeteneklerinin korunması ile, bazı katmanların atılmasıyla, maliyet etkin, basitleştirilmiş çözümler (IP / Optik) yönündedir [6] (Bakınız Şekil.1).

Internet uç birimlerinde desteklenen 'servis çeşitliliği', başlangıçta sadece erişebilirlik ve bağlanabilirlik kriterlerinin öne çıkarıldığı Internet'ten *başarım* gereksinimlerini de ortaya çıkarmıştır. Internet tasarımında başarımlar, hedeflenen amaçlar arasında en sonda sıralanmıştı [3]. Gecikmeye duyarlı servislerin de Internet - bağlantısız ortamda - taşınması isteği, ağımlı arzulan başarımların sağlanması yönünde yeni yetenekler / mekanizmalarla donatılmasını, orijinal IP ağı esnekliği ve basitliğini - 'en-iyi-çaba-servisi' - etkilemesine karşın, gerekli görülmektedir [7]. Servis kalitesi (QoS) [8]; verim, uçtan-uca gecikme, gecikme değişimi ve paket kayıp oranı olarak tanımlanan başarımların metrikleri, yeni 'gerçek zamanlı' servislerin Internet üzerinde desteklenmesi açısından kaçınılmaz görülmektedir. Günümüz Internet ortamının IP katmanı tek bir servisi, en-iyi-çaba-servisi, QoS başarımların kriterlerini sağlamaktan uzaktır. Aslında akışlara ilişkin 'durumların' ağda tutulmaması halinde, yani trafik akışlarından ağ sorumlu olmadan 'başarımların' sağlanamaz. Bu yönde ilk adım, 'Birleştirilmiş Servisler' (IntServ) [9] ile (Internet Engineering Task Force) IETF'de önerilmiş ve 'Rezervasyon Protokolü' RSVP [10] işletme yöntemi ile desteklenmiştir. Bağlantısız, uçtan-uca paradigmasından bir uzaklaşma olarak görülen IntServ esasında 'bağlantısız' ortamda 'bağlantı-yönelimli' servislerin sunumunu amaçlamaktadır. Ancak akışlara ilişkin durumların ağda (yönlendiricilerde) tutulmasının ölçeklenemeyen bir yaklaşım olduğu görüşü ile IntServ terk edilmiş veya sadece Intranet gibi sınırlı ortamlarda kullanılmıştır. QoS için ikinci ciddi yaklaşım IETF DiffServ [11] olmuştur. Bu yaklaşım aslında akışların ağa girişte 'öncelik sınıflarına' ayrılmasına ve çekirdek ağda akış toplamlarının sınıfına göre işleme tutulmasına dayanmaktadır. Daha çok ölçeklenebilen DiffServ Internet 2 [12] girişiminin temelini oluşturmaktadır.

Geleneksel Internet'te kullanılan kontrol yöntemi 'Dahili Geçit Protokolü' (IGP)², yönlendiricilere ağ topolojisinin dinamik durumunu, 'taşıma yöntemi' ile duyurmayı sağlar. Yönlendiriciler ağımlı güncel haritasını kullanarak, örneğin OSPF veya IS-IS algoritmaları ile 'yönlendirme tablolarını' oluştururlar. Yani, uçtan-uca IP yönlendirme IGP'nin 'zorunlu kıldığı' en-kısa yolu kullanmak zorundadır. Düşük trafik seviyelerinde iyi ve verimli çalışan 'en-kısa' yoldan yönlendirme yöntemi ağda yığılma noktasına yaklaştıkça - bazı bağlantıların (linkler) aşırı yüklenmesine bazıların da atılmasına neden olan - kötü ve verimsiz çalışmasına neden olur. IP / ATM teknolojisinde sanal devreler (VC) kullanımıyla, veri iletim yollarında 'trafik mühendisliği' yöntemlerinin uygulanması zorunlu olması ve yukarıda izah edilen trafik dağılımı dengesizlik sorunlarına - başka sorunlar yaratmak pahasına - çözüm bulmak amaçlanmıştır. Yakın geçmişte, her ne kadar başlangıçta³ trafik mühendisliği amacı ile ileri sürülmemişse de önerilen [13] 'Çoklu Protokol Etiket Anahtarlama' (MPLS) teknolojisinin en önemli yararı, IP ağlarında trafik mühendisliği yeteneğinin ATM kontrol düzlemini kullanmadan, sağlanması olmuştur. Görüldüğü gibi, bağlantısız IP ağı esnekliği yanında, başarımlar ve yönetilebilirlik istendiği zaman 'bağlantı yönelimli' ATM veya MPLS teknolojisine gerek vardır. Benzer şekilde, Internet'te devamlı artan trafiği taşıyabilmek için 'uçtan-uca' paradigmasına uygun ağ basitliği gerekirken, ağımlı desteklediği servis çeşitliliği arttığı zaman ağımlı olması gibi çelişkisel bir gereksinim ortaya çıkmaktadır. Çözüm, birbirleri ile çelişen bir çok tasarım kriterlerini ekonomik olarak sağlayan bir 'uzlaşıcı' özellik taşıyacaktır. Bu makalede MPLS'e de kısaca değinilecek, ancak esas amaç IP - Optik entegrasyonundaki gelişmeler ve yaklaşımlar tartışılacaktır.

Veri taşınmasında maliyeti optimize eden en güncel teknoloji DWDM dalgaboyu çoklama tekniğidir. DWDM, mevcut fiber kablo alt-yapılarında (uzak mesafe, bölgesel, hatta metro alanlarında) etkin olarak birçok 'sanal fiber' yaratarak, taşıma kapasitesini (bandgenişliği) saniyede terabit'ler seviyesine

² IGP (Internal Gateway Protocol) 'daki 'Dahili' den anlaşılan, bir idari birimin yönetiminden sorumlu olduğu 'bölgede' yönlendirme kontrolü anlaşılmaktadır. 'Geçit' terimi önceleri yönlendiricilere 'geçit' denmesinden kalmıştır

³ Etiket (IP) anahtarlama teknolojisi orijinal olarak yönlendirici başarımların darboğazını aşmak için önerilmiştir. Buna, 'Moore Kanunu' ile ilgili olarak 'elektronik işlem darboğazı' da denilmektedir.

çıkarmaktadır. Bu hızlarda 'elektronik' paket işlem henüz mümkün olmadığından, ışık dalgaboylarının (ışık-yollarının) anahtarlanması amacıyla 'optik çapraz bağlayıcılar' (OXC) ve 'dalgaboyu anahtarlama yönlendiriciler' (WSR) kullanılmaktadır. Burada, OXC'lerde 'optik-elektronik-optik' (OEO) dönüşümleri yapılmakta yani sistem saydam⁴ değildir. Tamamen 'fotonik ortamda' kalan 'fotonik çapraz bağlayıcılar' (PXC) saydam bir yapı vermesine karşın halen ekonomik veya pratik değildir. Bu sistemlerden oluşan optiksel ağ aslında 'devre anahtarlama' temelli bir yapı olup, optiksel ağ bulutunun görevi, uçtan-uca optiksel ışık yolunun kurulması, sürdürülmesi ve çözülmesi işlevlerini yerine getirerek, optiksel ağın çevresindeki (elektronik) paket yönlendiricilerin bağlantı gereksinimlerini statik veya dinamik biçimde karşılamasıdır. Çoklu-servis ağlarında 'servis yakınsama katmanı' IP temelli olduğundan, IP trafiğinin düşük hızlı akışların 'toplanıp', OXC'lere uygun seviyelere çıkarılması yine optik yönlendiricilerle çekirdek IP ağında yapılmaktadır. IP ağında veri akışlarının istatistiksel (paket) çoklama ile verimli akış yoğunluğuna getirilmesi, DWDM için uygun trafik büyüklüklerine çıkarmaya olanak tanır. Yönlendirici ve OXC'lerin yetenekleri, optiksel taşıma katmanında veri hızlarını çoklayarak yüksek data hızlarına çıkarmakla, geleneksel olarak bu işlevleri yerine getiren SONET / SDH ve ATM katmanlarını gereksiz kılma olanağı sağlıyor [14]. Sonuçta, basitleştirilmiş ve maliyet-etkin bir taşıma katmanı ve IP entegrasyonu çok yüksek hacimli verilerin taşınmasını olurlu kılıyor. Burada, dikkat edilmesi gereken koşul, SONET / SDH ve ATM katmanlarının 'kestirme yol' ile ortadan kaldırılabilmesi için, bu katmanların işlevlerinin, IP ve DWDM (optik) katmanlarında uygun biçimde gerçekleştirilip dağıtılmasıdır.

IP katmanı açısından, optiksel mimari ile entegrasyonun nasıl bir modelle yapılacağı sorunu ortaya çıkmaktadır. Bu modellerden biri 'üste-serili' (overlay), diğeri 'akranlı' (eşli) modellerdir [15]. Üste serili model'de (Şekil 2a), optiksel ağın içsel ayrıntılarının dışa görünümünü saklanarak iki ayrı kontrol düzleminin en az etkileşimi ile gerçekleştirilir. Birinci kontrol düzlemi optiksel çekirdek ağ içinde işlevini yerine getirirken, diğeri çekirdek ağ ile bunu çerçeveleyen kenar birimler arasında kullanıcı - ağ arayüzü (UNI) işlevlerini kontrol eder. Kenar birimler (yönlendirici, SONET / SDH veya ATM anahtarları) optiksel ışık yollarını destekleyerek, optik çekirdek ağ üzerinden fakat optiksel ağ topoloji bilgisine gereksinim duymadan dinamik veya statik kurulum için UNI arayüzüne 'işaretleme' ile istemde bulunur. Geleneksel IP /ATM yapısına benzeyen üste-serili model, istemci - sunucu paradigmasına benzerlik göstermektedir. İstemci rolünü (optik yol, bandgenişliği, güvenilirlik, öncelik veya başka QoS parametreleri) istemi ile, örneğin yönlendirici, sunucu rolünü ise optiksel bandgenişliği sağlayan optik - ağ bulutu yüklenmektedir. Üste-serili model işletim / yönetim açısından kenar ve çekirdek ağ arasındaki 'kontrol sınırlarını' belirlemektedir.

Akranlı modelde ise, tek bir kontrol düzlemi, optik çekirdek ağ ile bunu çevreleyen kenar birimlerini bir işlemsel bölge biçiminde kapsamaktadır (Şekil 2b). Bu model servis sağlayıcının kenar cihazlarının optiksel çekirdek ağ topolojisini 'görmeye' olanak tanır. Kenar cihazlar (yönlendiriciler) arasında tam bağlantılılık (tam-ağ)⁵ gerektiği takdirde her ne kadar $O(N^2)$ seviyesinde⁶ (optik) bağlantı gerekirse de, bu bağlantılar sadece veri iletim açısından kullanılır. Yönlendirme protokolları bakımından her kenar cihaz bağlı olduğu fotonik anahtarla bir 'komşuluk' ilişkisi içindedir. Başka bir deyişle, optik ağ bulutunda bir kenardan diğer kenara ne kadar OXC'le bağlantı kurulduğundan bağımsız olarak kenar yönlendirici sadece bağlı olduğu OXC'le *komşuluk* ilişkisi içindedir. Böylece $O(N)$ yönlendirme komşuluğu ile $O(N^2)$ tam-ağ iletim yolları desteklenir. Akran modelde IP kontrol düzlemi tek başına etkin olmasına karşın, optiksel çekirdek ağ işleticisinin IP kenar ağ işleticisinden farklı olması halinde, optik çekirdek ağ topolojisinin başkası tarafından kontrolüne izin verilmesi beklenmemelidir.

IP / Optik entegrasyonunda diğer bir yaklaşım, üste-serili ve akranlı modellerin bir karışımı olan '*melez*' model yaklaşımı düşünülebilir. Burada bazı kenar yönlendiriciler çekirdek ağla ortak kontrol düzlemi görünümünü paylaşır. Diğer kenar yönlendiriciler kendi kontrol düzlemleri ile çekirdek ağa UNI arayüzleri ile konuşurlar. Bu yaklaşım çoğu servis sağlayıcı tarafından tercih edilecektir. İşlevsel olarak akranlı model, üste-serili modeli içermektedir. Yani, akranlı model için gerekli işlevlerin bir alt-kümesi üste-serili modelde kullanılır. İşletme ağ yöneticisi topoloji (bilgisi) paylaşımını etkisizleştirerek sadece işaretleme

⁴ Saydam olmayan (opak) veri iletiminde veri formatı ve hızı bağımlılığı vardır. Saydam iletimde ise veri uçtan uca hiçbir dönüşüme gerek olmadan iletilir.

⁵ n tane düğüm üzerine kurulu tam-ağ, bu düğümlerin herbirinden diğerlerine (toplam $n*(n - 1) / 2$ bağlantı ile) bağlantı sağlar.

⁶ $O(f(N))$, büyüklüğün $f(N)$ fonksiyonu ile *sırlı* artacağını gösterir.

işlevlerine izin verdiği takdirde üste-serili model elde edilir. Tek tek ayrı modeller yerine bir 'kontrol takımı' düzlemi protokolu ile her üç modelin de esnek desteklenmesi en verimli yöntem olacaktır.

Esnek bir kontrol modeli süratli kurulumun sağlanması, yönlendirme, gözleme ve verimli yeniden kurulum (restorasyon) için gereklidir. Fotonik ağlarda güvenilirlik sağlanması gerekli en önemli ağ yeteneğidir. Çeşitli firma ürünlerinin 'ortak çalışabilirliği' ortak (standart) kontrol düzlemi kullanımı ile olurludur. MPLS (Çoklu Protokol Etiket Anahtarlama) IP yönlendirmeye, söz konusu 'ortak çalışabilirliği' sağlayabilecek gibi görünüyor [13]. Böylece, IP yönlendiriciler yanısıra SONET / SDH, ADM (Bindirme İndirme Çoklayıcılar) ve OXC (Optik Çapraz Bağlayıcıları) da kapsayacak bir tek IP / MPLS kontrol düzlemi amaçlanıyor. Bu yönde ilk öneri Awduche [16], Çoklu Protokol Lambda Anahtarlama (MPλS) ile optiksel ağ birimlerinin (OXC, O-WSR, DWDM, v.s) de kontrol edilebileceği bir 'kontrol teknolojisi' yapılmıştır. Ortak kontrol düzlemi kullanımı 'açık' ve 'ortak çalışabilirliği' olan optiksel ağlarda da IP / MPLS için geliştirilmiş olan yöntemlerden genişletilerek yararlanılması amaçlanıyor. Ortak kontrol düzlemi, ağ katmanlarında; işletme kolaylığı, yönetimi, servis sağlama sürati, üste-serili veya akranlı modeller desteği özelliklerini, mevcut ve kanıtlanmış işletleşme ve yönlendirme yöntemleri ile sunmaktadır. Kontrol düzleminin, üste-serili ve akranlı modelleri de kapsayan çeşitli 'yayılm senaryolarını' desteklemesi tamamen iş gereksinimlerine dayandırılmalıdır. Optiksel ortama uyum için işletleşme ve yönlendirme protokollarının MPLS'teki 'jenerik' özelliklerine ilaveler ve yeni düzenlemeler yapılması gerekmektedir. Elektronik yönlendiriciler ile fotonik anahtarların ortak çalışabilirliğini amaçlayan bu çalışmalar 'Internet Engineering Task Force' (IETF) 'Genelleştirilmiş MPLS' (G-MPLS) [17] çalışma grubunda ele alınmıştır. G-MPLS mimarisinin temel özellikleri bu makalede tartışılacaktır.

Özetle:

- Fotonik anahtarların kullanıldığı optiksel ağlarda bağlantı yönetimi için önerilen 'Bağlantı Yönetim Protokolu' (LMP),
- 'Önce Açık Enkasa Yol' (OSPF) [18] ve 'Ara Sistemden - Ara Sistem'e' (IS-IS) [19] yönlendirme protokollarında; optik ağın kaynaklarının 'duyurulması' (örneğin, dalgaboyu, bandgenişliği, bağlantı korunması, fiber tanımlama) için yapılan ilaveler,
- Optik çekirdek ağda belirli 'Etiket Anahtarlama Yol' (LSP) kurulmasında 'trafik mühendisliği' yöntemlerine olanak tanımak için işletleşme protokollarına, 'Kaynak Rezervasyon Protokolu' (RSVP) [20] / 'Sınırlı -Temelli Yönlendirme Etiket Dağıtım Protokolu' (CR - LDP) [21], yapılacak genişletmeler,
- Yapısal (derecelendirilmiş) LSP kurulumları, bağlantı demetlenmesi ve numaralanmamış bağlantılar gibi ölçeklenebilmeyi genişleten özellikler incelenecek ve IP ağları için geliştirilen ve belirli yönlü yollarında seçilebilmesine olanak tanıyan MPLS teknolojisindeki yönlendirme ve bağlantı yönetim protokollarına genişletmeler yapılarak IP altındaki tüm katmanların da kontrol edilebilirliğini hedefleyen G-MPLS teknolojisi tartışılacaktır. Önce özetle MPLS nedir?

MPLS - KISA BİR BAKIŞ

IP yönlendiricilerinde iletim bilgisi (yönlendirme tablosu) ile kontrol (örneğin IGP) arasındaki sıkı bağımlılık, IP ağlarında IGP'nin sağladığı yollardan başkasının seçimine olanak tanııyordu. Bu ise bazı bağlantıların çok yüklü iken bazılarının da atıl kalmasının ötesinde, IP ağlarında 'trafik mühendisliğini' olanaksız kılıyordu. MPLS'te bu 'bağımlılıktan' kurtulmak amacıyla aşağıda sıralanan temel tasarım yaklaşımları güdüldü:

- Paket iletim bilgisi (etiket), IP başlığından (adres) bağımsız olsun,
- Tek bir 'iletim' yöntemi (etiket değişimi) ile, çoklu 'yönlendirme' yöntemleri desteklenebilsin,
- Etiket değişimi ile iletim paradigmasına uygun çoklu bağlantı katmanına özgü gerçekleştirmeler (dolgu etiket, VCI/ VPI, DLCI, frekans aralığı, zaman aralığı,...) olurlu olsun,
- 'İletim Eşdeğerlik Sınıfı' (FEC) oluşturma esnekliği, (varış adresi, QoS sınıfı, güvenlik, veya herhangi bir politika kriteri,...) sağlansın,
- 'Etiket yığımlama' ile iletim yapılaşdırılması⁷ olurlu olsun.

IP başlığı içeriğinden, iletim bilgisinin bağımsızlaştırılması veya ayrılması, MPLS'in OXC, WSR gibi IP başlığını 'tanımayan' kontrol düzlemlerinde de kullanılmasına olanak verir. Aslında, kullanılan 'etiket

⁷ LSP 'hierarchy' yerine yapılaşdırma veya derecelendirme terimi kullanılmıştır.

uzayı⁸ ve işaretleşme ile bu etiketlere ilişkin ne gibi işlem yapılacağı tanımlanmış olması, geleneksel telefon santralleri 'numaralama planı' ile benzerlikler taşımaktadır – bağlantısızdan bağlantı yönelimli görüşe geçiş. Etiket anahtar yönlendiriciler (LSR) veriyi, veri paketine iliştilmiş 'etikete' göre iletir. Yani anahtarlama bilgisi veri ile birlikte⁹ iletilmektedir. Verinin alındığı port ve bu (giren) etiket 'Etiket Bilgi Tabanı' (LIB)'da 'anahtar' olarak kullanılarak 'tam bulma' sonucu çıkan port ve veriye ilişkin yeni (çıkan) etiket elde edilir. MPLS kontrol düzlemi 'etiket değişimi' iletim yöntemine göre işlevini yerine getirir. Aynı zamanda, MPLS veri düzlemi çeşitli bağlantılara özgü (L2) katmanlarını destekler. Örneğin, 'dalğaboyu' değeri 'zımmen' tanımlanmış bir etiket olarak görülebilir. OXC ve DWDM'lerden oluşan bir optiksel ağda dalğaboyu sayısı nedeniyle etiket uzayı büyüklüğü küçük olacağından, iletim yapılaşması daha 'ekonomik' etiket kullanımıyla sağlanır. MPLS çerçevesinde desteklenen uygulamalar, zorlanmış (sınırlanmış) temelli yönlendirmeleri kapsar. Örneğin, zorlanmış temelli yönlendirme, mevcut IP bağlantı-durumu yönlendirme protokollarının (OSPF ve IS-IS), MPLS kontrol düzlemi, (işaretleşme protokolları) RSVP ve CR-LDP ile 'Önce-Zorlanmış-Enkısıya-Yol' (CSPF) [22] algoritmalarının karışımından oluşur. OSPF'e yapılan ilaveler, düğümler arasında ağ topolojisi, kaynak elde edilebilirliği ve politika bilgilerinin duyurulması ve değişimine yöneliktir. CSPF algoritmasında belirli koşul ve / veya politikayı sağlayan bilgiler kullanılarak 'en-kısa-yol' hesaplanır. Bunu takiben, RSVP-TE¹⁰ veya CR-LDP işaretleşme protokolları ile dağıtılan etiketler, CSPF algoritması ile hesaplanan bu yoldaki LSR'lerde kullanılarak LSP kurulmuş olur. Zorlanmış-temelli yönlendirme esas olarak, trafik mühendisliği ve hızlı yeniden-yönlendirme alanlarında kullanılmaktadır. Trafik mühendisliği, belirli bir iletim yolunun, belirli koşulları, sınırlamaları ve / veya (yönetmel) politikaları sağlayan tasarım işlemleridir. Geleneksel olarak trafik mühendisliği ATM trafik yönetimi ile sağlanmaktaydı – IP / MPLS'le bunu daha kapsamlı sağlanacağı öngörülmüyor. Benzer biçimde hızlı yeniden yönlendirme özelliği de SONET'deki koruma (APS)¹¹ / yeniden kurulum (restorasyon) işlevlerini üstlenecektir. Bu iki örnekte, ATM ve SONET / SDH katmanları kaldırılırken IP / MPLS kontrol düzleminin üstleneceği işlevler verilmektedir.

MPLS'ten hareketle , MPLS (veya G-MPLS)'e yönelirken, geliştirilen kontrol teknolojileri benzerlikler taşımaktadır. Örneğin, elektronik LSR ile fotonik anahtarlar (OXC), LSP'lerle optiksel yollar kurulmaktadır. Optiksel yol (veya iz), 'optiksel bulut' içerisinde uçtan-uca, optik-elektronik dönüşümü kullanılmadan, fotonik ağ elemanlarından oluşur. Elektronik LSR'da etiket anahtarlama benzer biçimde fotonik anahtarlarda da (o-LSR), giren dalğaboyu (etiket) çıkan dalğaboyuna anahtarlanır¹². Buna göre;

- (1) <giren etiket, giriş portu> ⇒ <çıkan etiket, çıkış portu >
- (2) <giren lambda, giriş portu > ⇒ <çıkan lambda, çıkış portu >

ilişkinin görüyoruz. (1)'deki ilişki LSR'lar boyunca bir LSP'de bir 'paketin', giriş LSR'ından çıkış LSR'ına kadar nasıl anahtarlanağını tanımlar. Benzer biçimde, (2)'nin optiksel fotonik anahtarlarda giriş OXC'den çıkış OXC'ne kadar ardışık uygulanışı ile optik izin nasıl kurulacağı tanımlanmış olur. Burada dikkat edilmesi gereken fark, (1)'de paket anahtarlamanın (2)'de ise dalğaboyu (devre) anahtarlamanın söz konusu oluşudur. Elektronik (paket) e-LSR'da olduğu gibi fotonik anahtarlarda o-LSR 'yol hesaplaması' için OSPF veya IS-IS gibi bağlantı-durum topoloji ve diğer optiksel kaynak bilgilerinin değişimine gereksinim vardır. Keza, optiksel yolun kurulmasında RSVP ve LDP (belli ilavelerle) işaretleşme protokollarına gereksinim vardır. Ancak bunlar hep aynı kontrol düzlemi teknolojisi (G-MPLS) jenerik yeteneklerine (paradigmasına) dayanmaktadır.

YÖNLENDİRME KAPSAMI GENİŞLETİLMESİ

G-MPLS, IP altındaki tüm taşıma katmanlarını IP/MPLS kontrol düzlemi ile denetim ve yönetimini amaçlamaktadır. Bu nedenle, optiksel ve SONET / SDH (zaman bölümlenmeli çoklama) TDM ağlarının kontrol edilebilirliği sorunlarının çözümü için MPLS kontrol düzlemine bazı ilave yetenekler eklemek gerekir. Önce bazı temel sorunların neler olduğunu sıralayalım:

⁸ Bir link için atanabilecek tüm etiket değerlerini içeren küme.

⁹ Geleneksel IP yönlendirmede ise bu bilgi IP başlığından elde edilir (En uzun prefiks bulma algoritması).

¹⁰ RSVP- Trafik Mühendisliği

¹¹ APS : Automatic Protection Switching, SONET'de 50ms'den kısa sürede yedek yola aktarımı gerçekleştirir.

¹² Optik anahtarın (OXC) dalaboyu dönüştürme yeteneğinin var olmadığı durumda aynı dalğaboyu kullanım sınırlaması vardır.

- Öncelikle, elektronik veya paket MPLS ağında etiket uzayı oldukça geniştir (20 bit, her port için milyon etiket seviyesinde). Öte yandan, optik ağdaki lambda sayısı veya TDM kanal sayısı (etiket) bağıl olarak azdır (binler seviyesinde).
- MPLS LSP'ler için bandgenişliği sürekli bir (veri hızı) spektrumundan atanır, fakat optik / TDM bandgenişliği kesik-değerli bir kümeden atanır. MPLS e-LSP'lerin, zaman aralıklarına veya lambdalara (o-LSR) çoklanırken, 'verimsizlik' sorunu mevcuttur.
- Günümüzde iki düğüm (yönlendirici) arasında nadiren ondan fazla bağlantı bulunur. Servis sağlayıcı gelecekte oluşacak çok yüksek trafik (saniyede terabitler) değerlerini karşılamak üzere herbiri yüzlerce lambda taşıyan yüzlerce fiber bağlantıyı optik düğümler arasında sağlayacaktır. Sonuç olarak, MPLS'e göre MPLS'te link sayıları çok fazla olup, her fiberde her lambda'ya veya her TDM kanalına bir IP adresi atanması, IP adres uzayının ekonomik kullanılmaması yanı sıra yönetim sorunları da yaratacaktır. Komşu ağ elemanlarının bağlantılarının belirlenmesinde de yönetim zorluğu bulunmaktadır.
- Çok hızlı hata / arıza tesbiti, izolasyonu, duyurulması ve alternatif bir kanalı aktive etme gereği, taşınan trafiğin büyüklüğü nedeniyle, yaşamsal önem kazanmaktadır¹³.
- Optik çekirdek ağda verimlilik açısından saydam anahtarlama gereklidir. Kontrol düzlemi bilgisinin taşınan kullanıcı verisinden ayrıştırılmış olması hatta başka bir fiziksel ortamda taşınmış olması gerekir. Fotonik anahtarda sonlandırılmayan kullanıcı verisi kontrol için kontrol düzlemi fotonik anahtarda sonlandırılmış olmalıdır.

Yukarıda sıralanan sorunlar sadece G-MPLS'e özgü olmayıp MPLS için de geçerlidir. Fakat, G-MPLS'te yapılması gerekenler elektronik MPLS ile fotonik G-MPLS ortamlarının ortak etkileşimli çalışmasında 'olmazsa olmaz' koşuludur. Çözümler yönünde yapılan çalışmalar burada tartışılacaktır.

IP'ye ilişkin tüm gelişmelerin temelinde OSPF veya IS-IS bağlantı durum protokolları bulunmaktadır. G-MPLS'te yönlendirme genişletmelerinin tartışılmasından önce bu protokolları kısaca görelim. Bir ağı, düğümleri ağ elemanlarına (MPLS yönlendirme / anahtarları, çapraz-bağlayıcılar v.s) ve dalları bağlantılara (fiber, kablo v.s) karşı düşen bir 'yönlü graf' olarak modelleyebiliriz. Grafın her dalına, ağdaki bağlantının IP adresi, maliyeti ve atanabilir bandgenişliği gibi 'ağırlıklar' (metrik) tanımlayabiliriz. Bir bağlantı-durum protokolu, düğümlerin dinamik olarak bu dal ağırlık veya metriklerinin değerleri de içerilmek üzere, grafın en güncel (geçerili) görünümü şeklinde koordine edilmesini sağlar. Grafın görünüm veya resmi 'Bağlantı (link)-durumu-veritabanını' (LSB) oluşturur. Ağdaki tüm yönlendiricilerinde LSB bilgileri birbirleri ile 'senkronize' olduktan sonra, veritabanı kullanılarak kendi 'yönlendirme tabloları' oluşturulur. Şimdi tüm yönlendiriciler aynı topolojik yapıyı görmektedirler. Bir yönlendirici gelen paketi nasıl ileteceğini, kurulmuş olan yönlendirme tablosundan elde eder. Paketteki varış IP adresine karşı düşen 'bir sonraki' bağlantı bulunur. Böylece aynı varış adresli tüm paketler bir FEC (iletim eşdeğerlik sınıfı) oluşturur, ancak bu işlem LSR (etiket anahtarlama yönlendiricilerin) aksine her yönlendiricide yapılır. MPLS'te ise ağa giriş LSR'ı haricinde bir FEC ataması yapılmaz, bunun yerine ara LSR'larda 'etiket değişimi' ile LIB'ten bulunan bir sonraki atlamaya paket iletilir. Her hangi bir bağlantının durumu değişecek (ilave, arıza, meşgul olma v.s) olursa, tüm yönlendiriciler aynı topolojik görünümü hesaplayabilmek için tekrardan 'yakınsama' çevrimine girerler ve LSB'leri güncellenir. MPLS'te, şayet LSR aynı zamanda bir IP yönlendirici işlevini de görmeyecekse, tüm ağın görünümünü bilmesine gerek yoktur¹⁴ ve herhangi bir güncelleme söz konusu değildir. Buna karşın, 'etiket bilgi veritabanı' LIB'in kurulması ve kendisine gelen etiketleri 'tanıması' gerekir. Tanınmayan etiketli paketler basitçe atılır. LSR'da LIB kurulması amacıyla bir işaretleme protokoluna gerksinim vardır ve bu işlev ya RSVP-TE veya CR-LDP ile yapılır. LSR'ların LIB'lerinde bir değişiklik olmadığı sürece kurulmuş olan LSP'ler çözülmez¹⁵.

¹³ Taşıma alt-katmanı (optiksel katman) üst katmanın (IP) sezinlemesine ve yakınsama çevrimine girmeye neden olmayacak derecede hızlı biçimde arızalı bağlantının yerine alternatifini devreye almalıdır.

¹⁴ MPLS LSR, geleneksel telefon santallarında kullanılan, alınan adres bilgilerinden (rakamlar) yön (trank grubu) bulmaya benzer biçimde tüm ağ topolojisini bilmek zorunda değildir. Yalnız LIB'le tanımlanan komşuluk ilişkilerini bilmektedir.

¹⁵ Tıpkı telefon santallarında olduğu gibi, 'on hook' (abone kapattı) işareti alınmadan veya kiralık hat işletici tarafından çözülmediği sürece bağlantı devam eder. (*Paket anahtarlama ile devre anahtarlama izdivacı! Ailede kimin sözü geçecek henüz bilinmiyor!*)

LSP YAPILANMASI VEYA DERECELENDİRME

LSP'lerin başka LSP'ler içerisinde yuvalanması kavramına LSP yapılanması veya derecelendirilmesi denir. Böylece *i* seviyesindeki yeni bir LSP kendi OSPF LSB'ninde, *i+1* seviyesindeki LSP'yi, bir bağlantı (link) olarak görür ve bunun içerisinde yuvalanabilir (veya tünellenebilir). LSP'lerin derecelendirilebilmesi 'etiket uzayının' daha 'ekonomik' kullanımına ve, şayet üst seviye optiksel LSP'nin çoklama yeteneği varsa, daha küçük seviyeli LSP'lerin bunun içine çoklanma ile sürekli bandgenişliği spektrumundan kesikli bandgenişliğine verimli geçişe olanak tanır. G-MPLS'in bu yeteneği MPLS ağlarına göre çok önemlidir. Optiksel LSP'de kıt lambdaların (etiketlerin) verimli kullanımı sağlanır. Örneğin, optiksel bir LSP G-MPLS ağında kurulduğu zaman, kesikli değerli bir bandgenişliği (örnek 2.488 Gb/sn STM-16 / OC-48) daha düşük LSP için bir bağlantı olur, ancak bu bağlantının kapasitesinin sabit (kesikli bir değer) olması gereği yoktur. Bir 100 Mb/sn MPLS LSP optik taşıma ağından G-MPLS içinden tünellendiği zaman geriye 2.388 Gb/sn kapasite diğer MPLS LSP'lerin kullanımına kalır. Hangi LSP'lerin yuvalanabileceği kullanılan teknolojiye bağlı doğal derecelendirme ve LSP tiplerinin çoklama yeteneği ile ilgilidir. Burada LSP'lerin benzer tip cihazlardan başlayıp sonlanabileceği koşulu vardır [17]. Örneğin, bir lambda LSP¹⁶, ışık dalgaboylarının desteklenebildiği portlarda başlayıp sonlandırılır. G-MPLS dercelendirmesinde en üst dercede, 'fiber anahtarlama yetenekli' (FSC) düğümlere ilişkin arayüzler bulunur. Bunu 'lambda anahtarlama yetenekli' (LSC) arayüzler, bunu da TDM yetenekli (zaman aralığı) arayüzler ve son olarak da 'paket anahtarlama yetenekli' (PSC) arayüzler izler. Şekil 3'de tipik bir konfigürasyonda, çekirdek bulut'taki FSC arayüz / düğümlerin dış bulut (LSC) arayüz / düğümleri desteklediğini görüyoruz. LSC düğümler de TDM yetenekli arayüzler üzerinden geleneksel PSC veya yönlendiricilere bağlıdır. Bu bağlantılara ilişkin bilgilerin yayılması (bulut içinde) en az manüel etkileşim ile otomatik yol kurulması açısından gereklidir. PSC arayüzünde başlayıp sonlanan bir LSP (PSC-LSP), diğer benzer LSP'lerle birlikte TDM-LSP yuvalanır. Burada yeni bir bağlantı gibi görünen LSP'ler, OSPF / IS-IS yönlendirme veritabanında tanımlanır ve bağlantı bilgilerinin 'taşma' yöntemi ile paylaşımında tıpkı geleneksel bağlantılar gibi kullanılır. Bir düğüm, yol hesaplamalarında geleneksel bağlantılarla birlikte LSP'leri de (derecelendirme koşullarına uymak koşulu ile) içerir. LSP tünelleme derecelendirmesi bağlantı durumu veritabanının ölçeklenebilmesini sağlar. Yol hesaplandıktan sonra düğüm, RSVP / CR-LDP işaretleme yöntemiyle 'etiket-bağlarını' yol boyunca ve her katmanda kurar [23].

BAĞLANTI (LİNK) DEMETLEME

Bağlantı - durumu veritabanında, bir ağın tüm düğüm ve bağlantılarının ve bunlara ilişkin özellikler (sifatlar) bulunur. Optiksel ağda bağlantı - durumu veritabanı, bir (elektronik) MPLS ağına ilişkin bağlantı - durumu veritabanından çok büyüktür. Her bağlantıya bir adres atanması pratik değildir. Bu sorunu çözmek üzere, benzer özellikleri taşıyan optik ağ elemanları arasındaki bağlantıları bir 'demet' bağlantı gibi düşünebiliriz. Böylece, LSB büyüklüğü küçültülmüş olur [24]. Öte yandan, demetleme ile bazı, örneğin bağlantı çoklama yeteneği içinde hangi zaman aralığı olduğu duyurulamaz - OC-192 doğrudan bir bağlantı olarak duyurulur. İşaretleme protokolu (RSVP-TE) LSB'i içinde bir demet-bağlantı biçiminde bulunan bağlantı içinde hangi 'bileşen' bağlantının kullanıldığını belirlemek ister. Bu amaçla 'Bağlantı Yönetim Protokolu' (LMP) geliştirilmiştir [25].

NUMARASIZ BAĞLANTILAR

Genel olarak MPLS ağında tüm bağlantılara birer IP adresi atanması gerekir. Bir yol hesaplandığı zaman bunu oluşturan bağlantıların IP adresleri ile yol tanımlanır ve bu bilgi işaretleme protokolu tarafından yol kurulurken kullanılır. Optiksel ağda bağlantı sayılarının çok fazla olacağından her bağlantıya bir IP adresi atanması da pratik değildir. 'Numarasız' bağlantılarla bu sorun çözülmeye çalışılmıştır. Bağlantının belirlenmesinde IP adresi yerine başka bir mekanizma gerekir. Önce her düğüm (optik ağ elemanı) belirlenir ve sonra bu düğümde kaynaklanan tüm bağlantılar belirlenir. Her düğüm ağda bir (yegane) yönlendirici ID¹⁷ numarası ile belirlenir¹⁸. Ve düğüm kendisine bağlı bağlantıları (lokal olarak) numaralar [26]. Her bağlantıya bir IP adresi yerine, <yönlendirici ID, bağlantı numarası> şeklinde bağlantı

¹⁶ Lambda LSP'ye LSC (lambda anahtarlama yetenekli) LSP denir.

¹⁷ ID : kimlik numarası

¹⁸ Tıpkı her telefon santralının bir 'kod numarası' olduğu gibi. (Bu da devre anahtarlama esinlenme!)

belirlenmesi ile, IP adresleri yönetimi yükü, özellikle çok fazla bağlantının söz konusu olduğu optiksel ağlarda azaltılmış olur.

BAĞLANTI (LİNK) YÖNETİM PROTOKOLU (LMP)

MPLS'in ağı oluşturan diğer katmanlara da genelleştirilmesi sonucu 'etiket' artık soyut bir 'belirleyici' olması ötesinde, bir 'zaman aralığı', 'dalga boyu' ve portlar gibi '*fiziksel*' kaynakları belirlemektedir. Komşu düğümler arasında fiziksel etiketlerin yaratılıp karşılıklı ilişkilendirilmesi zorunlu olmaktadır. IGP'nin ölçeklenebilmesi amacıyla komşu düğümler arasında çoklu bağlantıların demetlenip tek bir bağlantı gibi tanımlanabileceğini görmüştük. LMP komşu düğümler arasındaki bu bağlantıların yönetiminden ve bir arıza durumunda bunun izole edilip belirlenmesinde çalışır. LMP, demetlenmiş bağlantının bileşen bağlantı ID'lerini tanımlamada ve bunların fiziksel değere karşı düşen 'etiketler' olarak kullanılmasını sağlar. Bu ilişkilendirmeler, hataya açık olan manüel yöntemler yerine, bağlantı yönetimini güçlendiren LMP mekanizmasıyla yapılır. Demetlenmiş bağlantı içinde bileşen bağlantılara ilişkin 'kontrol kanalı'nın aynı fiziksel ortamda iletilmesi gereği yoktur. Örneğin, kontrol kanalı fiber bağlantının içindeki lambdalarından biri üzerinden veya tamamen farklı bir Ethernet bağlantısı üzerinden gerçekleştirilebilir. Kontrol bağlantısını gözlemekle, demetlenmiş bağlantının içindeki bağlantıların durumunu gözlemiş olmayız. Fotonik anahtarların saydam ortam yaratmış olması, artık bağlantıları gözleme ve yönetme gibi geleneksel yönetim uygulamasını engeller. LMP bir çift düğüm arasında; kontrol kanalı yönetimi, bağlantılar durumunu doğrulaması, bağlantı özellikleri ilişkilendirmesi (etiketler) ve hata izolasyonu işlevlerini yerine getirir. Kontrol kanalı yönetimi ile kontrol kanalı üzerinde çalışan basit bir durum kontrol sorgulaması¹⁹ protokolu çalıştırılarak komşu düğümler arasındaki bağlantıların kurulması ve sürekliliği sağlanır. Bağlantı doğrulama yöntemi ile fiziksel bağlantıların (varlığının) doğrulanması gerçekleştirilir. Bağlantı özellikler arasında ilişkilendirme amacına yönelik 'LinkÖzet' mesajları (bağlantı ID, koruma yöntemi ve bağlantı önceliği) LMP'de kullanılır. Bağlantı üzerinden iletilen verinin formatından bağımsız olarak saydam ve opak (saydam olamayan) ağlarda bağlantıların izolasyonu ve kanal arızaları yine LMP sorumluluğu altındadır.

Özetle, karmaşıklıkla baş etmek için LMP'de, 'parçala ve çöz' genel yaklaşımı izlenmiştir. Bir bakıma OSPF'in genel ağ kapsamında yaptığını LMP lokal bağlantılar kapsamında yapmaktadır. Diğer bir göze çarpan genel yaklaşım 'ölçeklenme' sorunu ile karşılaştığımız zaman 'sorunu yaratan' bölümün çözümünü 'lokal' kapsamda ele alıyoruz.

SONUÇ

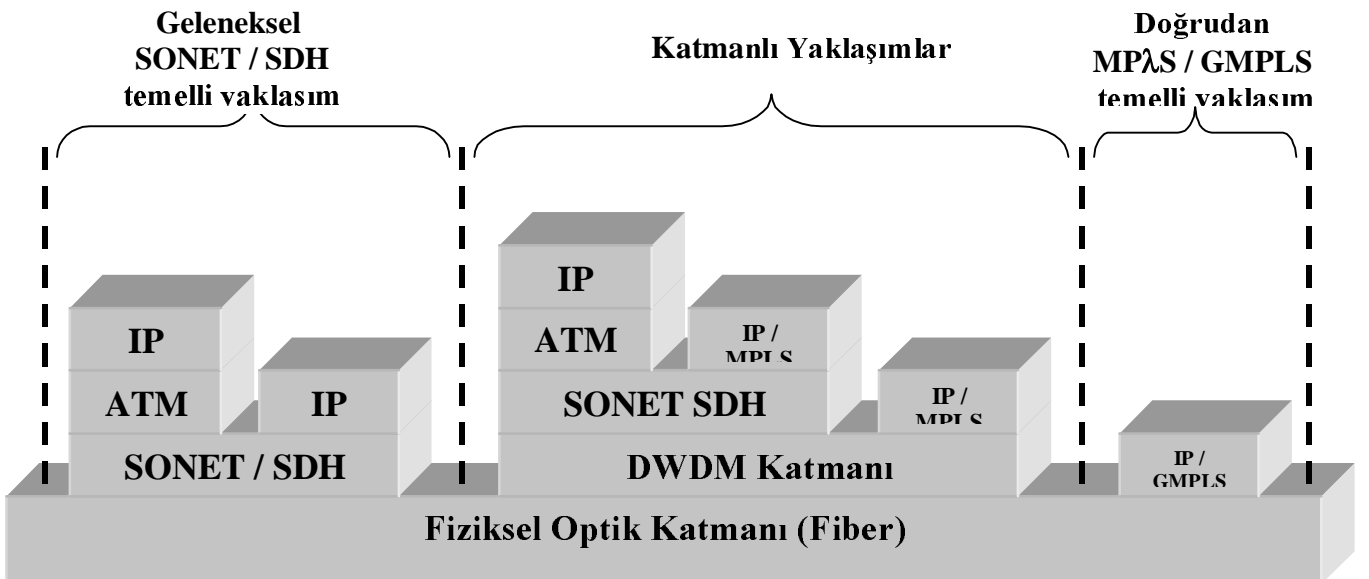
G-MPLS teknolojisi gelecek nesil data ağlarında genel bir kontrol yayılımını önermektedir. Mevcut çok katmanlı yapının basitleştirilmesi sonucunda kalacak olan IP ve fotonik katmanların ortak çalışabilirliği ve ölçeklenebilen çözümlerde izlenecek genel yaklaşımı sergilemektedir. Ağların işletim yetenekleri açısından servis sağlayıcılara kullanıcıların istemlerini süratle karşılamada olduğu kadar işletsel ve yönetsel maliyetlerini de azaltmada yardımcı olan G-MPLS halen birbirinden ayrılmış olan taşıma ve servis sorumluluklarını daha evrensel bir tümleşim modelinde topluyor. Gelecekte G-MPLS ağların daha etkin kontrolü ile geleneksel servisler yanında optik tabanlı, örneğin λ - servisleri, optik-VPN servisleri, dinamik isteme bağlı bandgenişliği sunumu ve benzeri servisleri müşterilerine azaltılmış maliyetlerle sunabileceklerdir.

REFERANSLAR

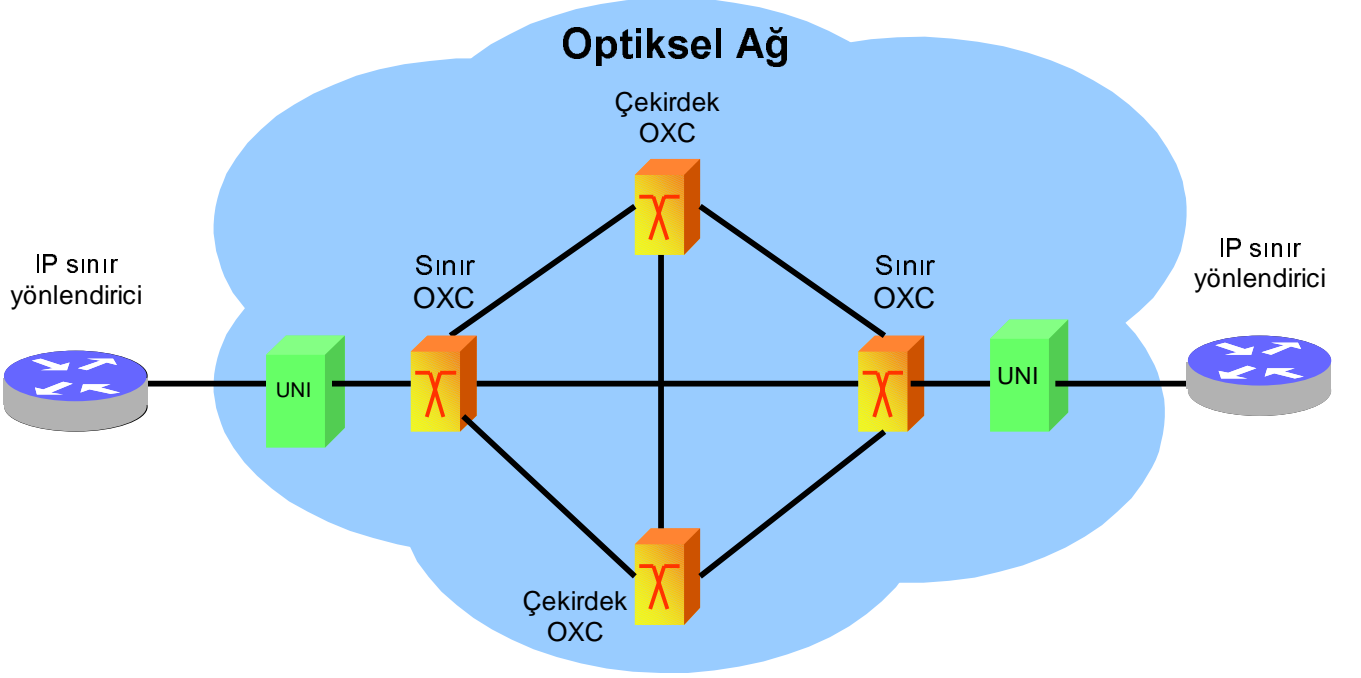
- [1] E. Resen et al., 'Multiprotocol Label Switching Architecture,' Internet Draft, draft-ietf-mpls-arch-07.txt, July 2000, work in progress.
- [2] D. Awduche et al., 'Multiprotocol Label Switching Architecture,' Internet Draft, draft-awduche-mpls-te-optical-02.txt, March 2000, work in progress.
- [3] D.D. Clark, 'The Design Philosophy of the DARPA Internet Protocols,' Proc.ACM Sigcomm., Stanford, August 1988.
- [4] J. Moy, 'OSPF Version 2,' RFC2328, IETF.

¹⁹ Bu mesaj 'KeepAliveHello' - (Merhaba! yaşıyormusun veya oradamısın?) anlamındadır.

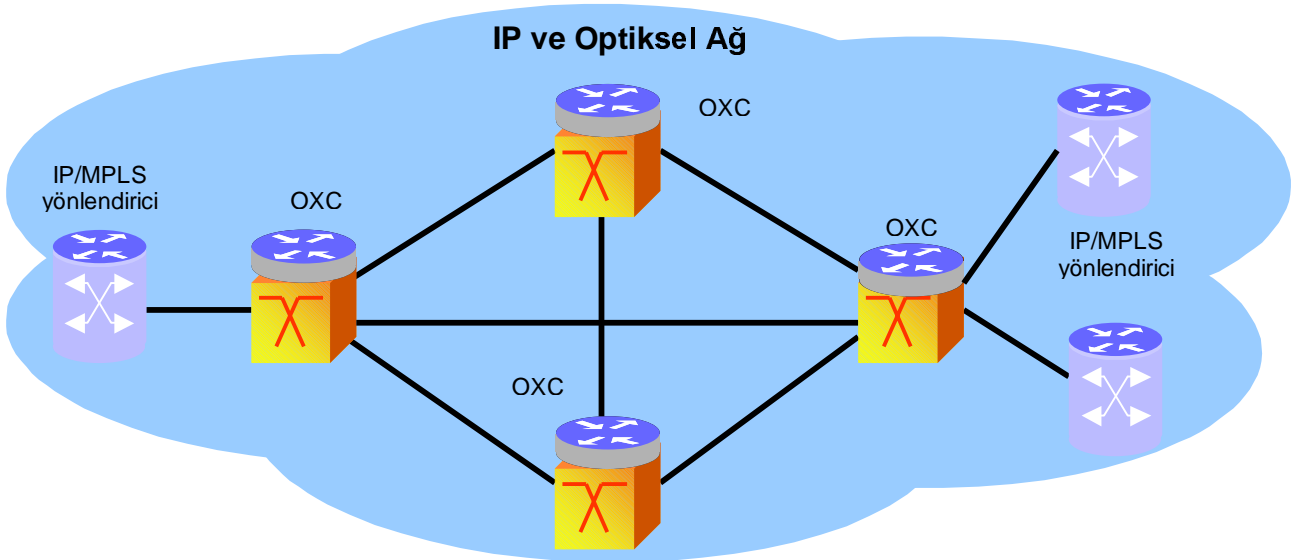
- [5] A. Banerjee et al., 'Generalized Multiprotocol Label Switching : An Overview of Routing and Management Enhancements,' IEEE Comms. Mag., January 2001.
- [6] S. Dixit and Y. Ye, 'Steamlining the Internet-Fiber Connection,' IEEE Spectrum, April 2001.
- [7] G. Armitage, 'Quality of Service in IP Networks,' MTP, April 2000.
- [8] E. Crawley et al., 'A Framework for QoS Routing in the Internet,' RFC2386, IETF.
- [9] R. Braden et al., 'Integrated Services in the Internet,' RFC1633, IETF.
- [10] J. Wroclawski, 'The Use of RSVP with IETF Integrated Services,' RFC2210, IETF.
- [11] S. Blake et al., 'Architecture for Differentiated Services,' RFC2475, IETF.
- [12] <http://www.internet2.edu/qbone>
- [13] E. Rosen et al., 'Multiprotocol Label Switching Architecture,' Internet Draft, draft-ietf-mpls-arch-07.txt, July 2000, work in progress.
- [14] N. Ghani et al., 'On IP-Over-WDM Integration,' IEEE Comms. Mag., March 2000.
- [15] Z. Zhang et al., 'Lightpath Routing for Intelligent Optical Networks,' IEEE Network, July / August 2001.
- [16] D. Awduche et al., 'Multiprotocol Lambda Switching: Combining MPLS Traffic Engineering with Optical Crossconnects,' Internet Draft, draft-awduche-mpls-te-optical-02.txt, March 2000, work in progress.
- [17] P. Ashwood-Smith et al., 'Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture,' Internet Draft, draft-many-gmpls-architecture-00.txt, February 2001, work in progress.
- [18] K. Kompella, 'OSPF Extensions in Support of Generalized MPLS,' Internet Draft, draft-ietf-ospf-gmpls-extensions-01.txt, March 2001, work in progress.
- [19] K. Kompella et al., 'IS-IS Extensions in Support of Generalized MPLS,' Internet Draft, draft-ietf-isis-gmpls-extensions-02.txt, February 2001, work in progress.
- [20] P. Ashwood-Smith, 'Generalized MPLS Signaling - RSVP-TE Extensions,' Internet Draft, draft-ietf-generalized-rsvp-te-03.txt, May 2001, work in progress.
- [21] P. Ashwood-Smith, 'Generalized MPLS Signaling - CR-LDP Extensions,' Internet Draft, draft-ietf-mpls-generalized-cr-ldp-03.txt, May 2001, work in progress.
- [22] D. Awduche et al., 'Requirements for Traffic Engineering Over MPLS,' RFC2702, IETF.
- [23] P. Ashwood-Smith et al., 'Generalized MPLS - Signaling Functional Description,' Internet Draft, draft-ietf-mpls-generalized-signaling-00.txt, November 2000, work in progress.
- [24] K. Kompella et al., 'Link Bundling in MPLS Traffic Engineering,' Internet Draft, draft-ietf-mpls-lmp-hierarchy-00.txt, July 2000, work in progress.
- [25] J.P. Lang et al., 'Link Management Protocol,' Internet Draft, draft-ietf-mpls-lmp-00.txt, August 2000, work in progress.
- [26] K. Kompella et al., 'Signaling Unnumbered Links in RSVP-TE,' Internet Draft, draft-ietf-mpls-rsvp-unnum-02.txt, September 2000, work in progress.



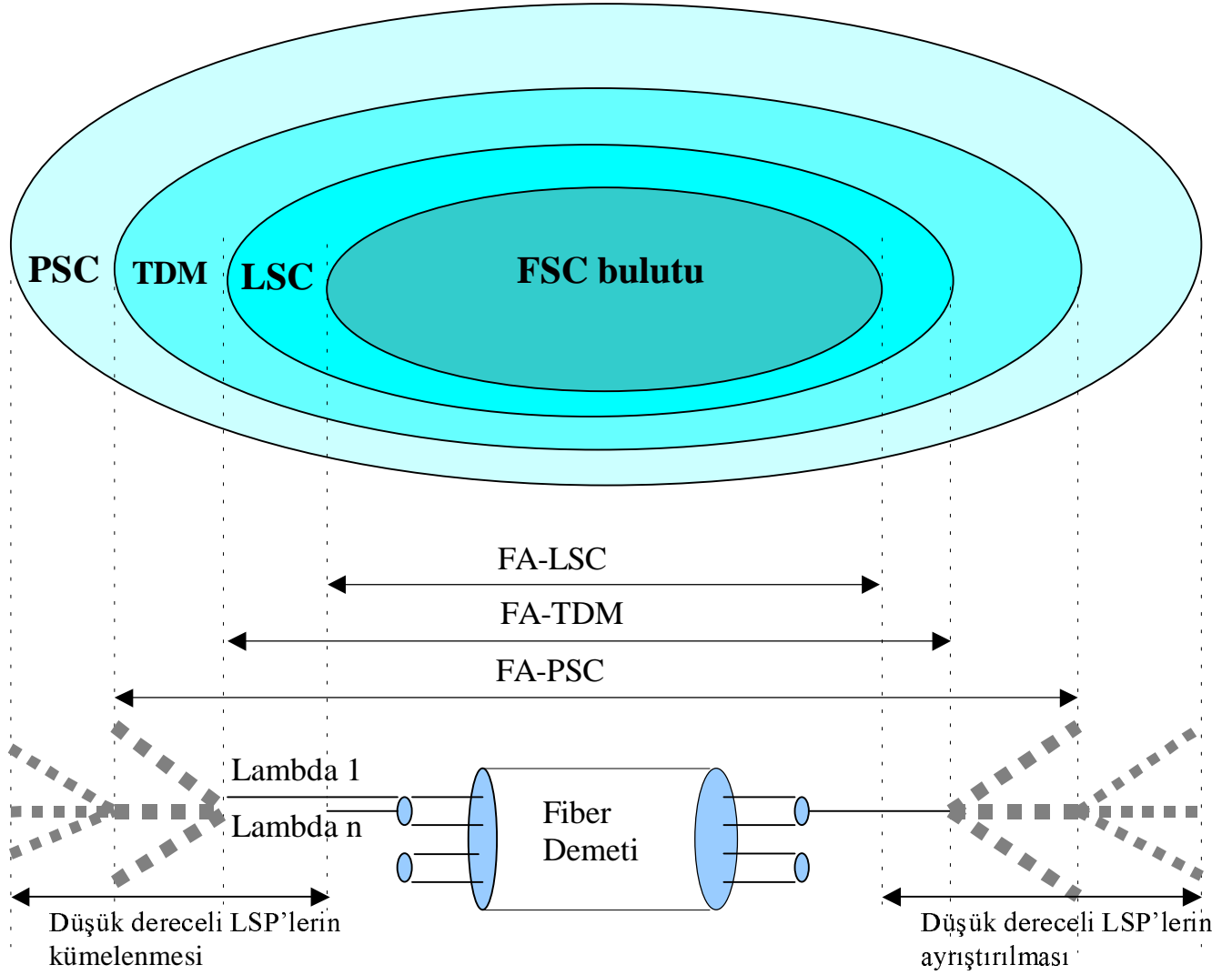
Şekil 1. Optiksel (fotonik) ağların evrimsel gelişimi.



Şekil 2a. Üste-serili model optiksel ağ topolojisi dıştan saklanıyor.



Şekil 2b. Akranlı modelde tüm ağın topoloji bilgisi paylaşılır.



Şekil 3. LSP'lerin ağ içinde yapılanması.(FA- : İletim Komşuluğu)