

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SES, GÖRÜNTÜ VE VERİ İLETİMİNİN
ATM ÜZERİNDEN MPLS UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik ve Haberleşme Müh. İhsan ÖZ

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Etem KÖKLÜKAYA

Haziran 2006

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SES, GÖRÜNTÜ VE VERİ İLETİMİNİN
ATM ÜZERİNDEN MPLS UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik ve Haberleşme Müh. İhsan ÖZ

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜH.
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK**

Bu tez 21/06/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Prof. Dr. Etem KÖKLÜKAYA
Jüri Başkanı**

**Prof. Dr. Abdullah FERİKOĞLU
Jüri Üyesi**

**Yrd. Doç. Dr. Ahmet Y. TEŞNELİ
Jüri Üyesi**

TEŞEKKÜR

“Ses, Görüntü ve Veri İletiminin ATM Üzerinden MPLS Uygulaması” adlı Yüksek Lisans Tezimin hazırlanmasında ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, çalışmamın ortaya çıkmasından tamamlanmasına kadar bütün aşamalarda destek veren tez danışmanım Prof. Dr. Etem KÖKLÜKAYA’ya. saygı ve şükranlarımı sunarım.

Yüksek Lisans Tezimin Simülasyonu konusunda yardımlarını esirgemeyen, beni yönlendiren, deneyimlerini paylaşan Dr. Müh. Cemal KOÇAK’a (DUMLUPINAR ÜNİV.) teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında kaynak araştırmalarımnda ve ortaya çıkan problemlerin çözümünde yardımlarını esirgemeyen iş arkadaşlarım Türk Telekomünikasyon A.Ş. Sakarya İl Müdürlüğü Erişim Şebekesi Müdürlüğü Müdürümüz Sayın Rıdvan AYZ, Dr. Müh. Cevat ÜNAL ve Müh. Cansel AKSOY’a, Bilişim Ağları Müdür Vekili Sayın İlhan AGUN ve Müh. Fırat TEKİN’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım boyunca desteklerini gördüğüm tüm dostlarıma da yardımları nedeniyle teşekkür ederim.

İhsan ÖZ

Haziran 2006

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xv
TABLolar LİSTESİ.....	xviii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xx

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Yerel Alan Ağları	3
1.2. Geniş Alan Ağları.....	4
1.2.1. Adanmış bağlantılar.....	6
1.2.2. Çerçeve anahtarlamalı.....	7
1.3. Devre Anahtarlamalı Network.	8
1.3.1. Asenkron seri bağlantılar.....	8
1.3.2. ISDN bağlantılar.....	9
1.3.3. Hücre anahtarlamalı.....	10
1.3.4. Paket anahtarlamalı network.....	10
1.4. Dijital Bant Genişliği.....	12

BÖLÜM 2.

ATM.....	15
2.1. ATM Teknolojisi.....	15
2.2. ATM Uygulamaları	15
2.3. ATM Temel Bilgisi	17
2.4. B-ISDN Mimarisi	18
2.5. ATM Şebekesi.....	25
2.5.1. VP ve VC anahtarlamaı	27
2.5.2. ATM kullanıcı-şebeke arayüzü işaretlemesi	28
2.6. ATM Adreslemesi	29
2.6.1 IDP bileşenleri	29
2.6.2. DSP bileşenleri.....	30
2.7. UNI 4.0 İşaretleşmesi	32
2.7.1. Çağrı/bağlantı kurulması	34
2.7.2. Data transferi	36
2.7.3. Çağrı/bağlantı çözümlmesi.....	36
2.8. ATM Trafik Sınıflandırması	37
2.8.1. Kullanıcı hizmet sınıfları.....	37
2.8.2. ATM uyarılama katmanı trafik tipleri.....	38
2.8.3. Hizmet kalitesi sınıfları.....	40
2.8.4. ATM hizmet kategorileri.....	41

BÖLÜM 3.

INTERNET PROTOKOLÜ IP.....	44
3.1. ATM Üzerinden IP	44
3.2. Domain Name System.....	44

3.3. Birleştirilmiş Model.....	47
3.4. ATM Üzerinden Çoklu Yayım IP.....	47
3.5. ATM üzerinden Çoklu Protokol.....	48
3.6. ATM LAN	48

BÖLÜM 4.

MPLS.....	49
4.1. Tanımı ve Gelişimi	49
4.2. MPLS’de Kullanılan Cihazlar, Fonksiyonlar ve Protokoller.....	51
4.2.1. LSR.....	51
4.2.2. LER.....	52
4.2.3. ELRS.....	52
4.2.4. FEC	52
4.2.5. LDP.....	53
4.2.6. LSP	53
4.2.7. Kontrol fonksiyonu.....	54
4.2.8. Gönderme fonksiyonu	55
4.2.9. Gönderme tabloları	55
4.2.10. Etiket.....	56
4.2.10.1. Etiket anahtarlama	57
4.2.10.2. Etiket anahtarlama gönderme yapısı	57
4.2.10.3. Etiket anahtarlama kontrol yapısı.	58
4.2.11. Noktadan noktaya iletişim	59
4.2.12. Çoklu yayım.....	59
4.2.13. RSVP - Kaynak rezervasyon protokolü.....	59
4.2.14. Yönlendirme.....	60

4.2.15. Anahtarlama	62
4.2.16. Anahtarlama ve yönlendirmenin birleştirilmesi	63
4.2.17. Tünel	63
4.2.18. IP Over NBMA.....	64
4.2.18.1. IETF yaklaşımı	64
4.2.18.2. ATM forum yaklaşımı	65
4.3. Geleceğin Bilgisayar Ağlarındaki Beklentileri	65
4.3.1. Etkinlik.....	66
4.3.2. Ölçeklenebilirlik.....	66
4.3.3. Genişleyebilirlik.....	66
4.3.4. Tümeleşme	67
4.3.5. Dayanıklılık	67
4.3.6. Uyumluluk.....	67
4.4. Çok Protokollü Anahtarlama Teknolojisinin Temelleri	68
4.4.1. Yönlendiricilerde temel yapı blokları	68
4.4.1.1. Kontrol ve aktarma blokları.....	68
4.4.1.2. Etiket değiştirerek aktarma algoritmaları	69
4.4.2. Etiket dağıtımı ve paketlerin iletimi	71
4.4.3. Etiket verme kriterleri.....	74
4.4.3.1. Veri yönlendirmeli akış belirleme modeli.....	75
4.4.3.2. Denetim mesajları ile akış belirleme modeli	75
4.5. MPLS Teknolojisinin Gelişimi	75
4.5.1. IP Anahtarlamanın ortaya çıkışı.....	75
4.5.2. İnternet servis sağlayıcıların ATM üzerinden IP çözümüne geçişi	76

4.5.3. ATM üzerinden IP modeline karşı çok protokollü anahtarlama alternatifleri	77
4.5.4. Çok protokollü anahtarlama çözümlerindeki benzerlikler	78
4.5.5. Çok protokollü anahtarlama çözümlerindeki farklılıklar	78
4.5.6. Çok protokollü anahtarlama çözümlerinin temel sorunu	79
4.5.7. Piyasada bulunan çok protokollü anahtarlama çözümleri	80
4.5.7.1. Etiket anahtarlama.	80
4.5.7.2. ARIS... ..	80
4.5.7.3. IP navigator.....	81
4.5.7.4. IFMP IP switching.....	81
4.5.7.5. CSR hücre anahtarlamaalı yönlendiriciler	82
4.5.8. Multilayer label switching.	82
4.6. MPLS Teknolojisinin Önemli Özellikleri	84
4.6.1. MPLS başlığı	84
4.6.2. Yönlendirme hiyerarşisi ve etiket yığınları	84
4.6.2.1. Etiket anahtarlamaalı yol tünelleri	85
4.6.2.2. Tünellerde etiket dağıtımı	86
4.6.3. Etiket kaynaştırma.	88
4.6.3.1. Etiket kaynaştıramayan LSR.....	89
4.6.3.2. Kaynaştırma yapabilen ve yapamayan etiket anahtarlamaalı yönlendiricilerin etiket kullanımı	90
4.6.3.3. ATM'de etiket kaynaştırması.....	91
4.6.4. Yaşam süresi	92
4.6.5. Döngü kontrolleri	93
4.7. Etiket Dağıtım Protokolü	94
4.7.1. Etiket dağıtım yöntemleri	94

4.7.2. LDP mesaj değişimi.....	96
4.7.3. LDP mesajının yapısı.....	96
4.7.4. LDP genişletilebilirliği ve ileriye dönük uyumluluk.....	97
4.7.5. LDP işlemleri.....	97
4.7.5.1. Etiket uzayları.....	97
4.7.5.2. LDP belirleyicileri.....	97
4.7.5.3. LDP oturumları.....	97
4.8. MPLS'in Getirdiği Yararlar.....	99
4.8.1. MPLS'in yönlendiricilerden oluşmuş bir ağa göre yararları.....	99
4.8.1.1. Basitleştirilmiş aktarma.....	99
4.8.1.2. Verimli açık yönlendirme.....	100
4.8.1.3. Trafik mühendisliği.....	101
4.8.1.4. QoS yönlendirmeler.....	102
4.8.1.5. Değişik servis düzeyleri desteği.....	104
4.8.2. MPLS'in ATM ya da frame delay anahtarlarından oluşmuş bir ağa göre faydaları.....	104
4.8.2.1. Yönlendirme protokolünün ölçeklenebilirliği.....	105
4.8.2.2. Ortak özellikler – İşlemler.....	106
4.9. MPLS Uygulamaları.....	106
4.9.1. Trafik mühendisliği.....	106
4.9.2. Servis sınıfları.....	108
4.9.3. MPLS ve farklılaştırılmış hizmetler.....	110
4.9.4. EXP ile belirlenen PSC'li LSP'ler.....	110
4.9.4.1. Etiket ile belirlenen PSC'li LSP'ler (L-LSP).....	111
4.9.4.2. Etiketler ve FEC'ler arasındaki ilişkiler.....	112

4.9.4.3. E-LSP'ler ve L-LSP'ler için band genişliği rezervasyonu	112
4.9.4.4. Diff-Serv LSR'lar için etiket aktarma modeli.....	113
4.9.5. VPN..	114
4.10. MPLS'in IP Şebekelere Getirdiği Faydalar	115
4.11. MPLS'in ATM İle Karşılaştırılması ve MPLS'in Avantajları	116

BÖLÜM 5.

MPLS SİMÜLASYONU.....	119
5.1. Simülasyona Giriş	119
5.2. COMNET III Simülasyon Elemanları.....	120
5.3. Uygulama 1.....	121
5.4. Uygulama 2.....	124
5.5. Uygulama 3.....	126
5.6. Uygulama 4.....	128
5.7. Uygulama 5.....	129
5.8. MPLS ve ATM Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	130

BÖLÜM 6.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	136
KAYNAKLAR	139
ÖZGEÇMİŞ.....	143

SİMGELER VE KISALTMALAR

AAL	: ATM Adaptation Layer (ATM Uyarlama Katmanı)
ABR	: Available Bit Rate (Kullanabilir Bit İletim Hızı)
ARIS	: Aggregate Route-based IP Switching
ARP	: Adres Resolutions Protocol (Adres Çözümlemeli Protokolü)
ASIC	: Application Specific Integrated Circuit
ATM	: Asynchronous Transfer Mode (Eş uyumsuz Transfer Modu)
BA	: Behavior Aggregate
BE	: Best Effort (Elden Gelenin En İyisi)
BGP	: Border Gateway Protocol (Kenar Ağ Geçit Protokolü)
B-ISDN	: Broadband-Integrated Services Digital Network
Bİ	: Baz İstasyonu
BRI	: Basic Rate Interface
CBR	: Constant Bit Rate (Sabit Bir İletim Hızı)
CDPD	: Cellular Digital Packet Data (Mobil Sayısal Veri Paketi)
CDV	: Cell Delay Variation (Hücre Gecikme Değişme)
CER	: Cell Error Ratio (Hücre Hata Oranı)
CIP	: Classical IP (Klasik IP)
CLP	: Cell Loss Priority (Hücre Kayıp Önceliği)
CLR	: Cell Loss Ratio (Hücre Kayıp Oranı)
CoS	: Class of Service (Hizmet Sınıfı)
CSR	: Cell Switching Router (Hücre Anahtarlama Yönlendirme)
CMR	: Cell Misinsertion Rate (Hücre Yanlış Saplama Oranı)

CTD	: Cell Transfer Delay (Hücre İletim Gecikmesi)
DLC	: Data Link Control (Veri Bağlantı Kontrolü)
DLCI	: Data Link Connection Identifier (Veri Bağlantı Hat Belirleyicisi)
DNS	: Domain Name System
DSCP	: DiffServ Code Point
DSL	: Digital Subscriber Line
ELSR	: Egress LSR (Çıkış Etiket Anahtar Yönlendirici)
FEC	: Forwarding Equivalence Classes (Eşitlik Gönderme Sınıfı)
FR	: Frema Real
GFC	: Generic Flow Control (Genel Akış Kontrollü)
HDLC	: High level Data Link Control (Yük. Seviye Veri Bağı Kontrolü)
HEC	: Header Error Control (Başlık Hata Kontrolü)
HTTP	: Hyper Text Transfer Protocol
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	: Internet Engineering Task Force (İnternet Müh. Görev Kuvveti)
IFMP	: Ipsilon Flow Management Protocol
IGP	: Interior Gateway Protocol (İç Ağ Geçidi Protokolü)
IP	: Internet Protocol
IPX	: Internet Packet Exchange (İnternet Paket Değişim)
IS IS	: Intermediate System-Intermediate System
ISO	: International Standarts Organization
ISS	: Internet Service Provider (İnternet Servis Sağlayıcı)
IT	: Information Type
ITU	: International Telecommunication Union
ITU-T	: International Telecommunication Union-Telecommunications
LAN	: Local Area Network (Yerel Alan Ağı)

LANE	: LAN Emulation (LAN Emilasyonları)
LAPB	: Link Access Procedure Balanced
LDP	: Label Distribution Protocol (Etiket Dağıtım Protokolü)
LER	: Label Edge Router (Etiket Kenar Yönlendirici)
LIS	: Logical IP subnet (Mantıksal IP Altı)
LLC	: Logical Link Control Sublayer
LSP	: Label Switched Path (Etiket Anahtarlanmış Yol)
LSR	: Label Switched Router (Etiket Anahtarlanmalı Yönlendirici)
LSR-CC	: LSR –Control Component
MAC	: Medium Access Control (Ortam Erişim Kontrolü)
MARS	: Multicast Adres Resolution Server
MBS	: Maximum Burst Size (Maksimum Patlama Miktarı)
NBMA	: Non-Broadcast multi-Access
MCR	: Minimum Cell Rate (Minimum Hücre Oranı)
MPLS	: Multi Protocol Label Switching
MPOA	: Multi Protocol over ATM (ATM Üz. Çoklu Protokol)
NHRP	: Next Hop Resolution Protocol
NNI	: Network-Network Interface (Ağ Arayüz Kartı)
OA	: Ordered Aggregate
OPNET	: Optimized Network Engineering Tool
OSI	: Open Systems Interconnections
OSPF	: Open Shortest Path First (Durum Yönlendirme Protokolü)
PBX	: Private Branch Exchange (Telefon Santrali)
PCI	: Protocol Control Identifier
PCR	: Peak Cell Rate (En Yüksek Hücre İletim Hızı)
PDU	: Protocol Data Unit (Protokol Veri Birimi)

PHB	: Per Hop Behavior
PM	: Physical Medium (Fiziksel Ortam)
PPP	: Point-to-Point Protocol
PRI	: Primary Rate Interface
PSC	: PHB Scheduling Class
PT	: Payload Type (Yük Tipi)
PTI	: Payload Type Identifier (Yük Tipi Numarası)
PVC	: Permanent Virtual Circuit (Sabit Anahtarlama Sanal Devre)
QoS	: Quality of Service (Servis Kalitesi)
QoS	: Quality of Service Routing
RARP	: Reverse Address Resolution Protocol
RIP	: Routing Information Protocol (Yön. Enformasyon Protokolü)
SLIP	: Serial Line Internet Protocol
RSVP	: Resource Reservation Protocol (Kaynak Rezervasyon Protokolü)
SCR	: Sustainable Cell Rate (Sürdürülebilir Hücre İletim Hızı)
SDH	: Synchronous Digital Hierarchy
SDU	: Service Data Unit (Servis Veri Birimi)
SNAP	: SubNetwork Access Protocol
SONET	: Synchronous Optical Network (Senkron Optik Ağı)
SVC	: Switched Virtual Circuit (Anahtarlanmış Sanal Devre)
TC	: Transmission Convergence
TCP	: Transmission Control Protocol (İletim Kontrol Protokolü)
TDM	: Time Division Multiple Access (Zaman Bölmeli Çoklu Erişimi)
TDP	: Tag Distribution Protocol (Etiket Dağıtım Protokolü)
TE	: Traffic Engineering (Trafik mühendisliği)
TLV	: Type –Length – Value (Tip Uzunluk Değeri)

TTL	: Time To Live (Yaşam Süresi)
UBR	: Unspecified Bit Rate (Belirlenmemiş Bit İletim Hızı)
UDP	: User Datagram Protocol Kullanıcı Datagram protokolü)
UNI	: User-Network Interface (Kullanıcı- Ağ Arayüzü)
VBR	: Variable Bit Rate (Değişken Bit İletim Hızı)
VC	: Virtual Channel (Sanal Kanal)
VCC	: Virtual Channel Connection (Sanal Kanal Bağlantısı)
VCI	: Virtual Channel Identifier (Sanal Kanal Belirleyici)
VLAN	: Virtual Local Area Network (Sanal Yerel Alan Ağlar)
VP	: Virtual Path (Sanal Yol)
VPC	: Virtual Path Connection (Sanal Yol Bağlantısı)
VPI	: Virtual Path Identifier (Sanal Yol Belirleyici)
VPN	: Virtual Private Network (Sanal Alan Ağı)
WAN	: Wide Area Network (Geniş Alan Ağı)
WDM	: Wavelength Division Multiplexing
www	: World Wide Web

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Network Çeşitleri.....	1
Şekil 1.2. Yerel Alan Ağı Cihazları.....	4
Şekil 1.3. Geniş Alan Ağı Cihazları.....	5
Şekil 1.4. Ara yüz Bağlantı.....	7
Şekil 1.5. Asenkron Bağlantı.....	8
Şekil 1.6. Arayüz Model.....	10
Şekil 2.1. ATM Anahtar Sınıfları.....	17
Şekil 2.2. B-ISDN Protokol Referans Modeli.....	19
Şekil 2.3. Paket/Hücre Akışı.....	20
Şekil 2.4. Hücre Yapısı.....	21
Şekil 2.5. ATM Hücre Başlığı.....	21
Şekil 2.6. UNI ATM Hücresi ve Başlığı.....	23
Şekil 2.7. ATM Katman Hiyerarşisi.....	24
Şekil 2.8. NNI ATM Hücresi ve Başlığı.....	25
Şekil 2.9. Sanal Yollar ve Sanal Kanallar.....	26
Şekil 2.10. VP Anahtarlama ve VC Anahtarlama Örneği.....	28
Şekil 2.11. NSAP Adres Yapısı.....	29
Şekil 2.12. IDP Yapısı.....	30
Şekil 2.13. DSP yapısı.....	31
Şekil 2.14. NSAP Adres Formatı Örneği.....	31
Şekil 2.15. Çağrı/Bağlantı Kurulması.....	35
Şekil 2.16. Çağrı/ Bağlantı Kurulması.....	37
Şekil 2.17. Hizmet Sınıflandırması.....	39

Şekil 2.18. Kullanıcı Düzlemi Protokol Referans Modeli.....	39
Şekil 3.1. Kaplama (Overlay) Modeli.....	46
Şekil 3.2. ATM üzerinden VC ile IP gönderimi.....	46
Şekil 3.3. Birleştirilmiş Model.....	47
Şekil 4.1. MPLS'nin Oluşumu.....	49
Şekil 4.2. LSR'nin oluşumu.....	52
Şekil 4.3. Etiket Değişimi.....	56
Şekil 4.4. MPLS Genel Etiket Formatı.....	56
Şekil 4.3. MPLS'de İletim.....	58
Şekil 4.4. Yönlendiricide Oluşan İşlemler.....	61
Şekil 4.5. MPLS Başlığı.....	84
Şekil 4.6. Etiket Dağıtımı Haber Vermeden.....	95
Şekil 4.7. Etiket Dağıtımı İsteğe Bağlı.....	95
Şekil 4.8. MPLS ile Trafik Mühendisliği.....	101
Şekil 4.9. Geleneksel Trafik Mühendisliği.....	107
Şekil 4.10. MPLS ile VPN'lerin yerleştirilmesi.....	110
Şekil 5.1. COMNET III Simülasyon Programı Görünümü.....	119
Şekil 5.2. COMNET III Elemanları.....	121
Şekil 5.3. MPLS Kullanarak ATM Üzerinden Veri Transferi.....	122
Şekil 5.4. Veri Trafiği Gecikme Değerleri.....	123
Şekil 5.5. MPLS Kullanarak ATM Üzerinden Video Transferi.....	124
Şekil 5.6. Video Trafiği Gecikme Değerleri.....	125
Şekil 5.7. MPLS Kullanarak ATM Üzerinden Ses Transferi.....	126
Şekil 5.8. Ses Trafiği Gecikme Değerleri.....	127
Şekil 5.9. ATM Kullanarak MPLS Konferans Simülasyon Modeli.....	128
Şekil 5.10. ATM Üzerinden IP Konferans Simülasyon Modeli.....	130

Şekil 5.11. Ortalama Ses Mesajları Gecikme Değerleri Grafiği.....	131
Şekil 5.12. Ortalama Video Mesajları Gecikme Değerleri Grafiği.....	133
Şekil 5.13. Ortalama Veri Mesajları Gecikme Değerleri Grafiği.....	134

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Bant Genişliği Ölçü Birimleri.....	13
Tablo 2.1. PTI Kodlaması.....	22
Tablo 4.1. Etiket Gönderme Tablosu.....	55
Tablo 4.2. Klasik ve Etiket Anahtarlamaalı Yönlendirme Karşılaştırılması.....	57
Tablo 5.1. Veri Trafiği Gecikme Değerleri.....	123
Tablo 5.2. Video Trafiği Gecikme Değerleri.....	125
Tablo 5.3. Ses Trafiği Gecikme Değerleri.....	127
Tablo 5.4. ATM MPLS Kullanarak Ses Gecikme Değerleri.....	130
Tablo 5.5. ATM IP Kullanarak Ses Gecikme Değerleri.....	131
Tablo 5.6. ATM MPLS Kullanarak Video Gecikme Değerleri.....	132
Tablo 5.7. ATM IP Kullanarak Video Gecikme Değerleri.....	132
Tablo 5.8. ATM MPLS Kullanarak Veri Gecikme Değerleri.....	133
Tablo 5.9. ATM IP Kullanarak Veri Gecikme Değerleri.....	134

ÖZET

Anahtar Kelimeler: LAN and WAN bağlantıları, ATM, MPLS, Ağ Simülasyonu.

Ağ uygulamalarında en güncel konulardan birisi İnternet kullanımının ve çoklu ortam gereksiniminin artmasından dolayı, LAN, WAN ve uzak bağlantılarda ses, veri ve video bilgilerinin birleştirilip tek bir hat üzerinden aktarılabilmesi ve son kullanıcıya kadar yüksek hızlarda bağlantının sağlanması beklenmektedir.

ATM teknolojisi, gerekli bant genişliği, yüksek hız ve kullanıcılara verdiği hizmetin kalitesi açısından yüksek performans sağlayan bir iletim teknolojisidir. Günümüzde ATM tabanlı ağların yerini IP tabanlı ağlar almaktadır. Bu geçişte en önemli problem, servis kalitesinin sağlanması ve hataları düzeltme hızının SONET ağlarıyla rekabet edebilecek seviyeye getirilmesidir. Bu amaçla, özellikle MPLS ve GMPLS'in geliştirilmesiyle birlikte hata bağıklığı getirmeyi amaçlayan çeşitli protokoller ortaya çıkmıştır.

MPLS tabanlı VPN ağları, Frame Relay ve ATM protokolünün sağladığı güvenlik, OSI.2. katman hızı ve servis kalitesini (QoS), TCP/IP protokolünün sağladığı ölçeklenebilirlik, esneklik ve işletim kolaylığı özelliklerini aynı anda kullanıcıya sunmaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte servis sağlayıcılar müşterilerine çok kullanıcıli ortamlar sunup, pazar paylarını artırabilmek için güvenilir ve yüksek kapasiteli ağlara ihtiyaç duymaktadırlar. Bu gereksinimleri karşılayabilecek bir ağ düşük maliyetli ve geniş bir kullanıcı topluluğunun isteklerine cevap verebilecek düzeyde olmalıdır. MPLS/IP yönlendirme yapan bir omurga üzerinde çalışmakta ve verilen servisle ilgili kararlar omurganın uç noktalarında ek bir işlem yükü gerektirmeden yapılabilir. MPLS aynı zamanda Frame Relay'de ve ATM'de yapılması gereken karmaşık protokol ve adres dönüşümlerini ortadan kaldırmaktadır. Uygulamalarda üst seviye katmanındaki trafiği algılayarak, uygulamanın gerektirdiği servisleri sağlayan MPLS teknolojisi hızla gelişmekte ve ilerisi için gelecek vaad etmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı, ATM ve IP şebekelerini MPLS şebekesiyle karşılaştırıp, MPLS'nin getirdiği faydaları ve iyileştirmeleri simülasyon yardımıyla ortaya koymaktır.

MPLS OVER ATM APPLICATION OF SOUND VIDEO AND DATA TRANSMISSION

SUMMARY

Keywords: LAN and WAN connections, ATM, MPLS, Network simulation.

In network applications, because of the increase at internet and multimedia requisities and demands, one of the most actual subject is to combine sound, data and video informations via a single line to transmit them up to end user at high speed connection rates.

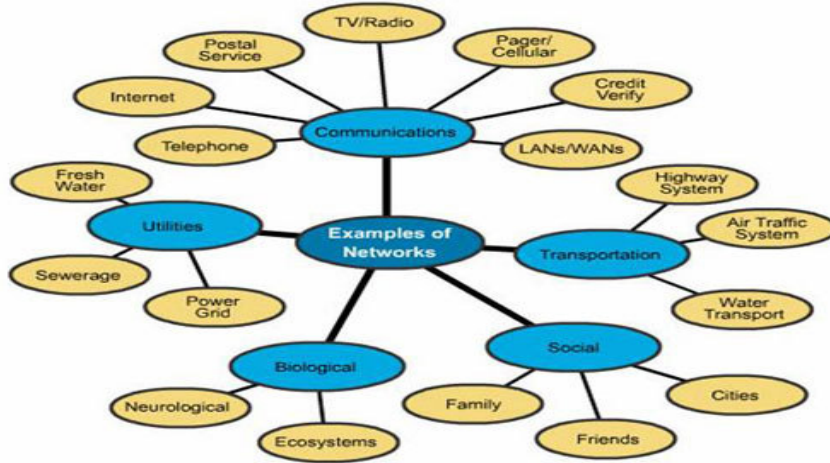
ATM technology is a transmission technology which provides essential bandwidth, high speed , and high quality service for their customers. Today, IP based Networks take the place of ATM based Networks. In this transition, the most important problem is to provide service quality and to make lines capacity of error correction speed competitive compared to SONET Networks. With this purpose, especially with the development at MPLS and GMPLS, various protocols which provide error – immunity has appeared.

MPLS based VPN Networks serve security, OSI.2 Layer speed, Quality of Service (QoS) which are also provided by Frame Relay and ATM protocol; measurability, flexibility, operation comfort properties which are also provided by TCP/IP protocol together. With developing technology, Service Providers provide multi-user mediums and they need reliable and high capacitive networks as to increase their market shares. Networks which cover this necessities should be at lower cost level and responsible for their broad customer community. MPLS/IP is working on a router-backbone and success commands without an additional process load on terminal backbones. At the same time, MPLS eliminates complicated protocols and address transformations which must be handled in Frame Relay and ATM. In practice, with sensing upper level layer's traffic and providing requisite service for application, MPLS technology is developing rapidly and it promises future.

The target of this thesis is to show benefits and remedies of MPLS compared to ATM and IP Networks by encourage of simulation.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Bir network çok sayıda insan ya da nesnenin karmaşık bir biçimde bir araya gelmesi ile oluşmuş sistemler bütünüdür. Günlük hayatta çevremizde çok farklı türlerde network'ler ile karşılaşabileceğimiz gibi, kendi vücudumuzda da çeşitli network'ler bulunmaktadır. İnsan vücudunda yer alan network'lere örnek olarak sinir sistemi, kalp damar sistemi ve sindirim sistemini gösterebiliriz. Çevremizde karşılaşabileceğimiz network'ler ise şehir içme suyu şebekesi, telefon hatları ile santralleri, şehir içi taşıma sistemi ve benzerleridir. Aşağıda yer alan Şekil-1.1'de çeşitli network türleri gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Network Çeşitleri.

Bilgisayar veya bir başka deyişle veri network'leri bilgisayarların işletmeler ve üniversiteler tarafından yaygın bir biçimde kullanılması ile ortaya çıkmış ve gelişmiştir. İlk başlarda geliştirilen uygulamalar sadece buldukları bilgisayarlar üzerinde çalışmaktaydı. Yani her bir uygulama sadece kendi bulunduğu bilgisayar üzerinde çalışıyor ve diğerlerinden bağımsız olarak işletimini sürdürüyordu. Ancak çoğu işletmede bir ürünü ortaya koyabilmek için birden fazla uygulamanın çalışması gerekmektedir. Bu uygulamaların her biri bir diğerinin ürettiği sonucu kullanmak durumundaydı.

İşte bütün bu sorunları çözmek için ilk önceleri insanlar bir bilgisayarda üretilen sonuçları diğerlerine taşımak için disket ve bant türü veri saklama ünitelerini kullandılar. Bunun anlamı çok açıktı, uygulamalardan bir tanesi bir sonuç ürettiğinde bu sonuçlar önce bir disket üzerine kopyalanıyor ve daha sonra bu verilere ihtiyacı olan bir diğer uygulamanın çalıştığı bilgisayara yine insanlar tarafından elle götürülüyordu. Bu durum hem çok zaman alıcı hem de işletme içersindeki verimin düşmesine neden oluyordu. Ayrıca her bir bilgisayar için tek tek bütün yazılımların satın alınması maliyet açısından çok büyük sıkıntılar oluşturuyordu. Ayrıca kurum içindeki iletişim sorunun da daha kolay yollardan halledilebilmesi gerekiyordu.

İşte bu sıkıntılı durumlardan kurtulabilmek için şu üç soruya cevap bulunması gerekiyordu:

1- Gereksiz yazılım ve donanım israfından nasıl kaçılabilirdi?

2- En verimli şekilde uygulamalar ve kurum içi iletişim nasıl sağlanabilirdi?

3- Bilgisayarlar ortak bir hedef için birleştirilebilir miydi? Bu nasıl yapılabilirdi?

Bütün bu soruların cevabı tek bir kelimedede cevap buluyordu "network". İşletmeler ve üniversiteler bu konu üzerine yoğun araştırmalar ve çalışmalar yaptılar ve nihayet 1970'li yıllarda ilk veri network'leri kurulmaya başlandı. İşletmeler network'lerin getirdiği kolaylıkları, verimi ve maliyet açısından karlılığı görünce, hızlı bir şekilde bilgisayarlarını birleştirmeye ve kendi network'lerini oluşturmaya başladılar.

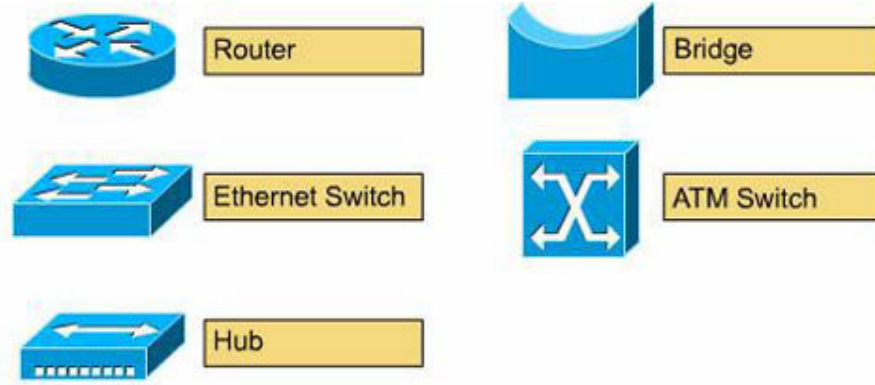
1980'li yıllara gelindiğinde network teknolojileri oldukça gelişmeye başlamış ve çok sayıda firma kendilerine göre network cihazları üretmiş, network yazılımları oluşturmuştu. Çünkü bu pazar hem hızla büyüyor, hem de çok fazla

kar getiriyordu. Bu durum çok uzun sürmedi ve 80'li yılların ortalarına gelindiğinde bir çok işletmeden feryatlar yükselmeye başladı.

Sorun her bir üretici firmanın network cihaz ve yazılımlarını kendi kafasına göre üretmesi ve bir üreticinin ürettiği ürünün diğeri ile iletişim kuramamasıydı. Bu duruma çözüm olarak ilk etapta Yerel Alan Ağları geliştirildi. Yerel Alan Ağları bir bina veya bir ofis içersinde bulunan birbiri ile bağlantılı tüm network ürünlerinin oluşturduğu network'lerdir. Yerel alan ağları aynı bina içersinde dosya paylaşımı, yazıcı paylaşımı ve veri paylaşımı sağlasa da, zamanla işletmelere yetersiz gelmiştir. İşletmeler farklı işletmelerle ve farklı sektörlerle kendi Yerel Alan Ağlarını birleştirmek istemişlerdir. Bu durum sonucunda Geniş Alan Ağları geliştirilmiştir. Geniş Alan Ağları Yerel Alan Ağlarını birbirlerine bağlamıştır. Daha sonraları bunlar da büyüyerek şehirleri, ülkeleri ve kıtaları birbirine bağlayacak kadar genişlemiştir.

1.1. Yerel Alan Ağları

Yerel Alan Ağları bilgisayarlar, network ara yüz kartları, ağ kabloları, ağ trafik kontrol cihazları ve diğere çevresel cihazlardan oluşmuştur. Yerel Alan Ağlarında kullanılan cihazlardan bir bölümü Şekil-1.2'de gösterilmiştir. Bu gruba giren network'lerde bir ofis veya bir bina içersinde yazıcı, dosya ve program paylaşımı gibi işler kolaylıkla ve verimli bir biçimde yapılabildiği gibi elektronik haberleşme dediğimiz e-mail ve konferans uygulamaları da başarılı bir biçimde yerine getirilmektedir. Yerel Alan Ağları kısıtlı mesafeler içersinde hizmet sunan hata olasılığı az olan hızlı network'lerdir. Bu network'ler kabaca veriyi, elektronik iletişimi ve bilgisayarların işlem gücünü birleştirir.



Şekil 1.2. Yerel Alan Ağı Cihazları.

Yerel Alan Ağları genel olarak aşağıda belirtilen işleri yerine getirir:

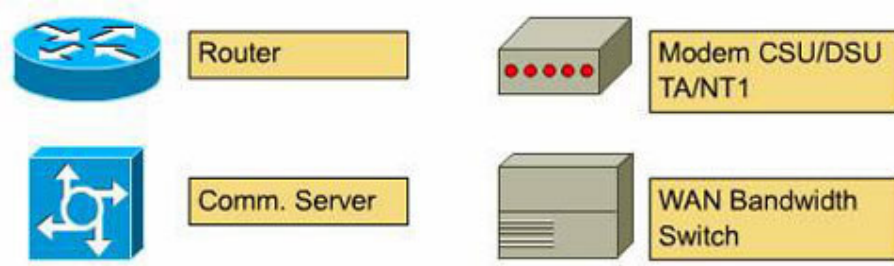
- 1- Kısıtlı bir coğrafi alanda çalışırlar.
- 2- Bir çok kullanıcının yüksek bant genişlikli kablolar üzerinden iletişim yapmasını sağlar.
- 3- Yerel hizmetlere her zaman bağlantı kurulabilmesini sağlar.
- 4- Fiziksel olarak birbirine çok yakın olan cihazların birbirine bağlanmasını sağlar.
- 5- Yerel Alan Ağlarında kullanılan kablolar network'un sahibine aittir.

1.2. Geniş Alan Ağları

Bilgisayarların iş dünyasında kullanımı arttıkça, hızla yaygınlaşmakta olan Yerel Alan Ağları da yetersiz hale gelmeye başlamıştır. Yerel Alan Ağı teknolojisine dikkatle bakıldığında kurumların her bir departmanı sanki ayrı bir elektronik ada gibi davranmaktadır. Bu durum "her bir departmanı nasıl birbirine bağlarız?", "kuruma ait başka coğrafi bölgelerdeki yerel ağları nasıl birbirine bağlarız?" ve "birbirleri ile bağlantılı farklı kurumların network'lerini

nasıl birbirine bağlarız?" gibi soruların sıklıkla sorulur hale gelmesine sebep olmuştur.

İşte bütün bu soruların hepsinin de cevabı Geniş Alan Ağlarıdır. Geniş alan ağları birbirine bağlanmış bir çok Yerel Alan Ağı'dır. Bu network'ler birbirinden kilometrelerce uzakta olan network'lerin yazıcı ve dosya paylaşımı yapmasını sağlamıştır. Çünkü Geniş Alan Ağları çok uzak network'lerin tek bir network gibi davranabilmesini sağlamıştır. Bütün bu işlerin gerçekleştirilebilmesi için kullanılması gereken Geniş Alan Ağı cihazları Şekil1.3'te gösterilmiştir [29].



Şekil 1.3. Geniş Alan Ağı Cihazları.

Ağ üzerindeki uygulama ve servislere göre tüm trafiğin, güvenli, modüler, genişleyebilir ve dünyada yaygın kabul görmüş teknolojilerle uyumlu, yönetimi kolay bir veri iletişim ağ omurga yapısından geçmesi gerekmektedir. WAN bağlantıları, LAN bağlantılarının aksine bir servis sağlayıcı üzerinden sağlanır.

Bir WAN oluştururken kullanıcı ihtiyaçları, bant genişliği istekleri ve maliyete göre değişik teknolojiler kullanılabilir.

Kullanılmakta olan bir çok Geniş Alan Ağı teknolojisinden en önemlileri şunlardır:

- Modemler,
- ISDN,

- DSL,

- Frame Relay,

- ATM,

- SONET.

Bir WAN oluştururken kullanıcı ihtiyaçları, bant genişliği istekleri ve maliyete göre değişik teknolojiler kullanılabilir.

Bağlantı Tipleri;

- Adanmış Bağlantılar,

- Çerçeve Anahtarlama

- Devre Anahtarlama Network,

- Hücre Anahtarlama,

- Paket Anahtarlama Network.

1.2.1. Adanmış bağlantılar

Bir adanmış bağlantı iki nokta arasında, bir taşıyıcı network üzerinden (Örneğin Türk Telekom) yapılan tekli bir bağlantıdır. Dedicated bağlantılar aynı zamanda Leased Line olarak da bilinir.

Kurulan Leased Line yolu her bir remote nokta için sabit ve kalıcıdır. İki nokta arasında kurulan bu bağlantı daima açıktır.

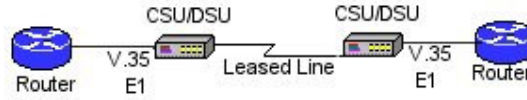
Leased Line bağlantılar aşağıdaki koşullarda avantajlıdır.

- Uzun Bağlantı süreleri,

- Kısa mesafeler.

Türkiye'de Türk Telekom, iki farklı TDM temelli Leased Line altyapı desteği vermektedir. Birinci altyapı Newbridge ürünlerinin kullanıldığı altyapı diğeri ise Tellabs DXX ürünlerinin kullanıldığı altyapıdır.

Dedicated Lesaed Line bağlantılar, genellikle Router'ların senkron seri portları üzerinden yapılır. Bant genişliği E3 üzerinden 34 Mbps (Amerika'da T3 üzerinden 45 Mbps) hızlara kadar çıkabilmektedir. Bu bağlantılar için CSU/DSU kullanılmaktadır. CSU/DSU, DTE (Router) ile DCE (Switch) arayüzlerini birbirine bağlayan dijital bir arayüz cihazıdır.



Şekil 1.4. Arayüz Bağlantı.

Dedicated bağlantılar için EIA/TIA-232, EIA/TIA-449, V.35, X.21, EIA-530 senkron seri arayüzleri ve G.703 dijital arayüzleri kullanılmaktadır.

Türkiye'de genel olarak senkron seri arayüzler için V.35, EIA/TIA-232 ve dijital arayüzleri için ise G.703 kullanılmaktadır.

Türk Telekom tarafından sağlanan tipik dedicated bağlantılar şunlardır; 64Kbps, 128 Kbps, 256 Kbps, 512 Kbps, 1 Mbps, 2 Mbps, E1, E2, E3 [30].

1.2.2. Çerçeve anahtarlama

Çerçeve Anahtarlama temelli ağ omurgası Frame Relay veya X.25 tabanlı ağlarda uygulanan teknolojidir. Frame Relay protokolü OSI 2. Katman'da, X.25 protokolü ise OSI 3. Katman'da tanımlanmış olduğundan aralarında bir takım farklılıklar bulunmakla birlikte çalışmalardaki temel ilkeler aynıdır. Sanal

Devre (VC) mantığında fiziksel bir port üzerinde değişik bağlantılar için devre tanımlanabilir. Daima tanımlı olan devrelere PVC, data iletceği durumda kurulan VC'lere ise SVC adı verilir [3].

1.3. Devre Anahtarlama Network

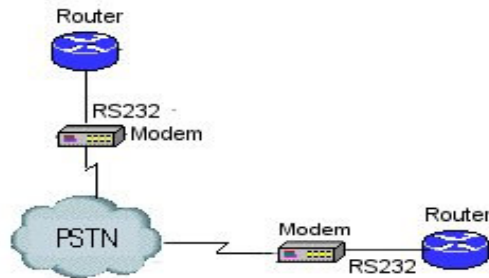
Devre Anahtarlama, her bir komünikasyon oturumu için adanmış fiziksel devrelerin taşıyıcı network üzerinden kurulması, devam ettirilmesi ve sonlandırılması işlemlerinin yapıldığı bir WAN anahtarlama yöntemidir.

Tipik devre anahtarlama kullanan bağlantı şekilleri ;

- Asenkron Seri Bağlantılar,
- ISDN, BRI,
- PRI.

1.3.1. Asenkron seri bağlantılar

Asenkron seri bağlantılar, varolan telefon ağını (PSTN) kullanır ve maliyeti düşüktür. Kullanıcılara, bir PSTN network'üne bağlı herhangi bir telefonu kullanarak Merkez ofise erişme kolaylığı sağlar. Dolayısıyla bir asenkron seri bağlantı sadece ihtiyaç duyulduğunda (DDR Dial-on - Demand Routing) ve kısa süreli bir erişim istendiğinde çok avantajlı ve maliyeti düşük bir yöntemdir.



Şekil 1.5. Asenkron Bağlantı.

Aşağıdaki durumlarda Asenkron Seri arayüz üzerinde DDR konfigüre etmek yararlıdır.

1- Trafik pateni düşük hacimliyse veya sadece router tarafından istenen trafik sezildiğinde bağlantı kuruluyorsa,

2- Yedek bağlantıya veya yük paylaşımına ihtiyaç duyuluyorsa.

Asenkron Seri bağlantı aşağıdaki durumlarda avantajlıdır;

1- Bir yedek hat isteniyorsa,

2- Bağlanan yer küçük çaplıysa,

3- Kısa süreli ve isteğe bağlı bağlantılar isteniyorsa,

4- Aynı zamanda Router, gelen ve giden çağrılar için bir konsantrasyon merkezi olan bir access server gibi kullanılabilir.

Örneğin bir mobil kullanıcı sadece maillerine bakmak için Merkeze kısa süreli bir bağlantı kurabilir.

1.3.2. ISDN bağlantılar

ISDN, tipik dial-up bağlantı kullanarak bant genişliği daha yüksek bir erişim sağlar ISDN erişimi ile ses, görüntü, veri ve diğer trafikler taşınabilir.

ISDN iki tip bağlantı şeklinden oluşur. Basic Rate Interface, Primary Rate Interface.



Şekil 1.6. Arayüz Model.

LAPD protokolü, D kanalı için bir ISDN data link layer protokolüdür. Temel ISDN erişimi için sinyalleşmeyi sağlar.

Bir ISDN BRI bağlantısı gerçekleştirmek için Router üzerinde BRI interface bulunmalıdır. EIA/TIA 232 gibi ISDN olmayan interface'leri BRI üzerinden bağlamak için ISDN terminal adaptör'e ihtiyaç vardır. Bir terminal adaptör genellikle bir ISDN modemdir.

ISDN PRI genelde E1 veya T1 teknolojileri üzerinden kurulan bağlantıdır. T1 Amerika'da, E1 Avrupa'da ve aynı zamanda Türkiye'de kullanılmaktadır [30].

1.3.3. Hücre anahtarlama

Hücre anahtarlama temelli omurgalara ATM omurgalarını örnek verebiliriz. Omurga içerisinde bilgiler, hücre adı verilen sabit uzunluktaki bilgi paketleri ile iletilir. Tüm data iletiminin sabit uzunluktaki hücreler ile yapılması gecikme değerlerinin daha stabil olmasını sağlar. Ayrıca ATM protokolünün bünyesinde bulunan QoS tanımlamaları sayesinde (VBR, ABR, CBR...vb.) sadece veri değil ses ve görüntü uygulamalarının da problemsiz bir şekilde iletilmesi desteklenir [3].

1.3.4. Paket anahtarlama network

Paket Anahtarlama, paketlerin bir taşıyıcı network içinden, kaynak noktadan hedef noktaya giderken aynı noktadan noktaya fiziksel hattın paylaşıldığı bir anahtarlama yöntemidir. Paket anahtarlama ağlarda end-to-end bağlantı için sanal devreler kullanılır. Paket başlığı hedefi tanımlar. Uçlar arasındaki sanal

devreleri, yüksek anahtarlama kapasitesine sahip WAN switch denen aygıtlar kurmaktadır.

Paket anahtarlama sistemde bant genişliği, bütün tanımlı uçlar (Aboneler) arasında paylaşılmaktadır. Leased Line hatlarda ise o hattın bant genişliğinin tamamı sadece tanımlı olduğu aboneye aittir.

Abone tarafındaki yöneticinin kontrolü, Leased Line bağlantıda daha fazla, paket anahtarlama network'te daha azdır.

Leased Line bağlantıda olduğu gibi Paket anahtarlama ağlarda da erişim senkron seri cihazlar üzerinden sağlanır.

Frame Relay, X.25, ATM tipik paket anahtarlama kullanan teknolojilerdir.

Paket anahtarlama ağlar aşağıdaki durumlarda avantajlıdır;

- Uzun bağlantı süreleri,
- Uçlar arasında büyük mesafeler.

Paket anahtarlama ağlar, Leased Line hatlara göre daha ucuzdur. Özellikle uzun mesafelerde tartışmasız daha maliyetlidir. Veri transfer performansı aynıdır.

Türkiye'de Türk Telekom tarafından Nortel Passport WAN switch'lerinin altyapısını oluşturduğu bir Frame Relay ağ hizmeti TURPAK adı altında verilmektedir. Ayrıca Alcatel ürünlerinin kullandığı TNet altyapısı üzerinden de Frame Relay hizmeti verilmektedir.

Aynı zamanda Kuruluşlar, Türk Telekom üzerinden Leased Line hatlar kiralarak kendi Frame Relay ağlarını kurabilirler. Bunun için Frame Relay

Switching yapabilecek aygıtlara ihtiyaçları vardır. Nortel Passport 6400, Cisco WAN Switch bu ürünlere örnek verilebilir.

X.25 hizmeti daha eski bir teknolojidir. Ve yine Türk Telekom tarafından Nortel DPN santrallerinin altyapısını oluşturduğu TURPAK sistemi üzerinden X25 hizmeti verilmektedir.

X.25 hizmetinde, abone düşük hızlı (14400bps,19200bps) senkron voice-band modemler üzerinden DPN santrale erişirken, Frame Relay hizmetinde, yüksek hızlı (64Kbps-2Mbps arası) TDM modemler üzerinden Frame-Relay Switch'lere erişim sağlanmaktadır [30].

WAN Encapsulation Protokolleri ;

- Point-to-Point Protokol,
- Serial Line Internet Protocol,
- High-Level Data Link Control,
- X.25/Link Access Procedure Balanced,
- Frame Relay,
- Asynchronous Transfer Mode.

1.4. Dijital Bant Genişliği

Yerel ve Geniş Alan Ağlarının kapasitelerini tarif edebilmek için her ikisinde de kullanılan ortak bir ölçü birimi vardır. Bu ölçü "bant genişliğidir". Bu terim aslında network'leri tam olarak anlayabilmek için temel bir ölçü birimini tarif eder. Ancak bir çok zaman anlaşılması zordur. Bu bakımdan network konusunda daha fazla bir şeyler söylemeden bu terimin tam olarak ne olduğu açıklayalım.

Bir network üzerinde, verilen bir zaman diliminde bir yerden bir yere aktarılan maximum veri miktarının ölçüsüne bant genişliği denir. Bant genişliği teriminin kullanıldığı iki ayrı ortam vardır. Bunlar; analog sinyallerin olduğu ortam ve dijital sinyallerin olduğu ortamdır. Network konusunda bundan sonra bahsedeceğimiz bant genişliği hep dijital olanıdır. Bilindiği gibi veriyi ifade eden en küçük değer "bit" ve en küçük zaman ölçüsü birimi "saniye"dir. Bu yüzden birim zamanda aktarılan veri miktarını belirtmek için "bits per second" deyimini kullanırız. Bunun anlamı saniyede aktarılan bit miktarıdır.

Bits per second bant genişliğinin ölçü birimidir. Düşünüldüğünde bu ölçü biriminin çok küçük hızları ifade etmek için kullanıldığı görülecektir. Örneğin bir harfin ASCII kodu ile sekiz bit ile gösterildiği düşünülürse bir harfi aktarmak için sekiz saniye gereklidir. Ancak gerçek hayatta çok daha hızlı network'ler kullanılmaktadır. Bu hızlı network'lerin bant genişliği ölçülerini ifade etmek için farklı ölçü birimleri kullanılır. Bu ölçü birimleri Tablo 1.1'de gösterilmiştir.

Tablo 1.1. Bant Genişliği Ölçü Birimleri.

Unit of Bandwidth	Abbrev.	Equivalence
Bits per second	bps	1 bps = fundamental unit of bandwidth
Kilobits per second	kbps	1 kbps = 1,000 bps = 10^3 bps
Megabits per second	Mbps	1 Mbps = 1,000,000 bps = 10^6 bps
Gigabits per second	Gbps	1 Gbps = 1,000,000,000 bps = 10^9 bps

Bant genişliği network'te çok önemlidir. Ancak bant genişliği sınırlıdır. Bu sınır kullanılmakta olan aktarım materyallerinin fiziksel özelliklerine bağlı olarak sınırlanmıştır. Bant genişliğinin önemini artıran faktörler şunlardır:

1- Bant genişliği sınırlıdır.

2- Bant genişliğini en iyi şekilde kullanmayı bilmek para tasarrufu sağlar.

3- Her network'cünün bant genişliğinin ne olduğunu çok iyi bilmesi beklenmektedir.

4- İnsanlar her zaman her şeyin en iyisini istediği gibi kullandıkları network'te en çok olan bant genişliğini isteyecektir. Bu bakımdan hangi bant genişliğinin en uygun olduğunu bilmek önemlidir [29].

BÖLÜM 2. ATM

2.1. ATM Teknolojisi

ATM teknolojisi, ITU-T nin (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector) un, Geniş band Tümleşik Hizmetler Sayısal Şebekesi'ni (B-ISDN) oluşturma çalışmaları kapsamında ortaya çıkmıştır. ATM özel veya kamuya ait haberleşme şebekeleri üzerinden ses, görüntü ve veri aktarma kapasitesine sahiptir.

ATM paket anahtarlama esasına göre çalışan bir gönderme modudur. Burada paketler hücrelerdir. Her hücre sabit uzunluktadır. Bu hücreler ATM şebekesi üzerinden hücre başlığında bulunan bilgilerin analiz edilmesi ile hedeflerine ulaşırlar.

2.2. ATM Uygulamaları

Telekomünikasyon İşletmecileri ve kurumsal kullanıcılar bu şebekeleri oluşturmak için büyük yatırımlar yapmakta ve altyapılarını bu yeni teknolojiye uygun hale getirmektedirler. Ancak daha önceden farklı teknolojiler için oluşturdukları altyapılarını hemen bu teknolojiye uygun hale getirmeleri de beklenmemektedir. Bu nedenle başlangıçta bu teknoloji ana taşıyıcı linklerinde kullanılacak ve zaman içerisinde de uç kullanıcılar tarafından kullanılmaya başlayacaktır.

Diğer taraftan bu teknolojinin yaygın olarak kullanılmasını desteklemek için oluşturulan organizasyonların yaptıkları çalışmalar sonucunda üç çeşit kullanım alanı oluşacağı ve bunlara uygun çözümler aranması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Bunlar;

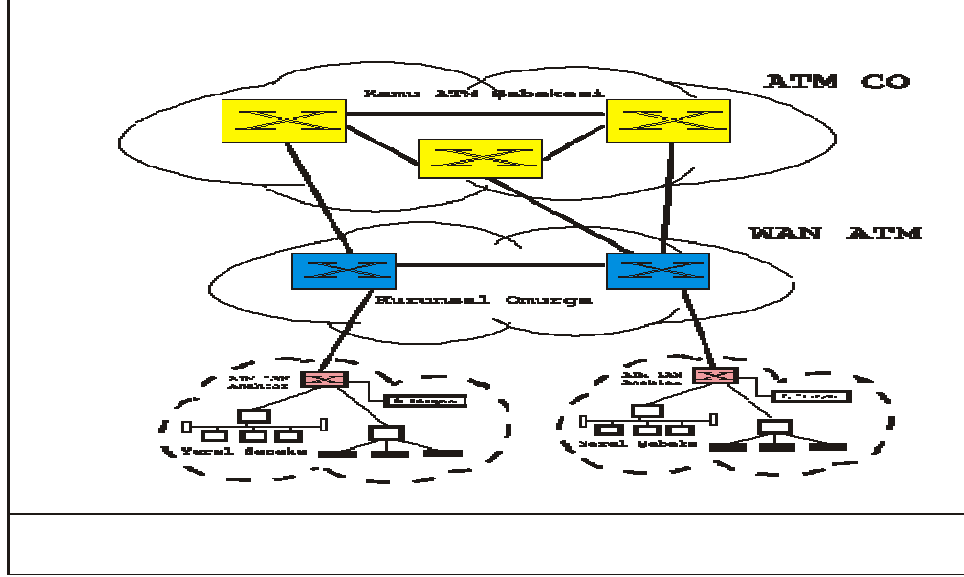
- ATM LAN,
- ATM Omurga (veya ATM WAN),
- ATM Ana Ofis (CO).

Olarak sınıflandırılmıştır.

Bu üç çeşit kullanım yerinin özelliğine göre ATM Anahtarlama Cihazları tasarlanmaya başlanmıştır. ATM LAN için tasarlananlarda kapasite 2.5 Gbit/s olup tek başına kullanılabilir yapıdadır. Bunlar LAN'ları, merkezleri (hub) ve ATM uyumlu is istasyonlarını birbirine bağlamak üzere kullanılmaktadır. ATM LAN anahtarlama cihazları az sayıda port ihtiva etmektedir. Bunlara bazen is grubu ATM anahtarları da denilmektedir.

ATM WAN ise ATM LAN'ları birbirlerine bağlayan ana omurgalarda kullanılmaktadır. 2.5 Gbit/s'den 10 Gbit/s'e kadar kapasiteleri bulunmaktadır. Çok sayıda giriş portları vardır.

Kamu şebekelerinde çok sayıda kullanıcıya hizmet etmek söz konusu olduğundan ATM CO'nun anahtarlama kapasitesinin 10 Gbit/s'den daha büyük olması ve çok sayıda portu olması gerekmektedir. Ayrıca bu sistem üzerinden çeşitli hizmetler verileceğinden bunlara uygun olması ve çerçeve anahtarlama hizmetleri ile devre anahtarlama hizmetleri desteklemesi gerekmektedir. Şekil 2.1'de çeşitli ATM Anahtarlama sistemleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 2.1. ATM Anahtar Sınıfları.

2.3. ATM Temel Bilgisi

ATM'nin iyi taraflarından biri de kullanılan teknolojinin belli bir standartta olması ve ATM teçhizatının birbirlerine uyumlu olmasıdır. Diğer bir iyi tarafı ise her çeşit trafiği tekdüze olarak kabul edebilmesidir. Aynı yöntemle ses, video, çoklu ortam ve LAN trafiği geçirilebilmektedir. Çok farklı servisleri desteklemesi nedeniyle ATM şebekeleri geleceğin teknolojisi olarak kendini göstermektedir.

TDM ve İstatiksel çoklamanın iyi olan yönlerinin kullanılmasıyla ortaya çıkmış olan bu teknoloji ile, TDM özelliğinin sağladığı servis garantisi, istatiksel çoklamanın sağladığı kaynakların etkin kullanılması mümkün olmakta ayrıca gerçek zamanlı ve gerçek zamansız uygulamalar için uygun bir ortam yaratılmaktadır.

Bu bölümde B-ISDN mimarisi incelenecek ve ATM ile ilgili temel bilgiler verilmeye çalışılacaktır.

2.4. B-ISDN Mimarisi

B-ISDN katmanlı bir mimari yapıya sahip olup bu yapı B-ISDN Protokolü Referans Modeli olarak adlandırılmaktadır. Bu modelde üç düzlem bulunmaktadır. Bunlar;

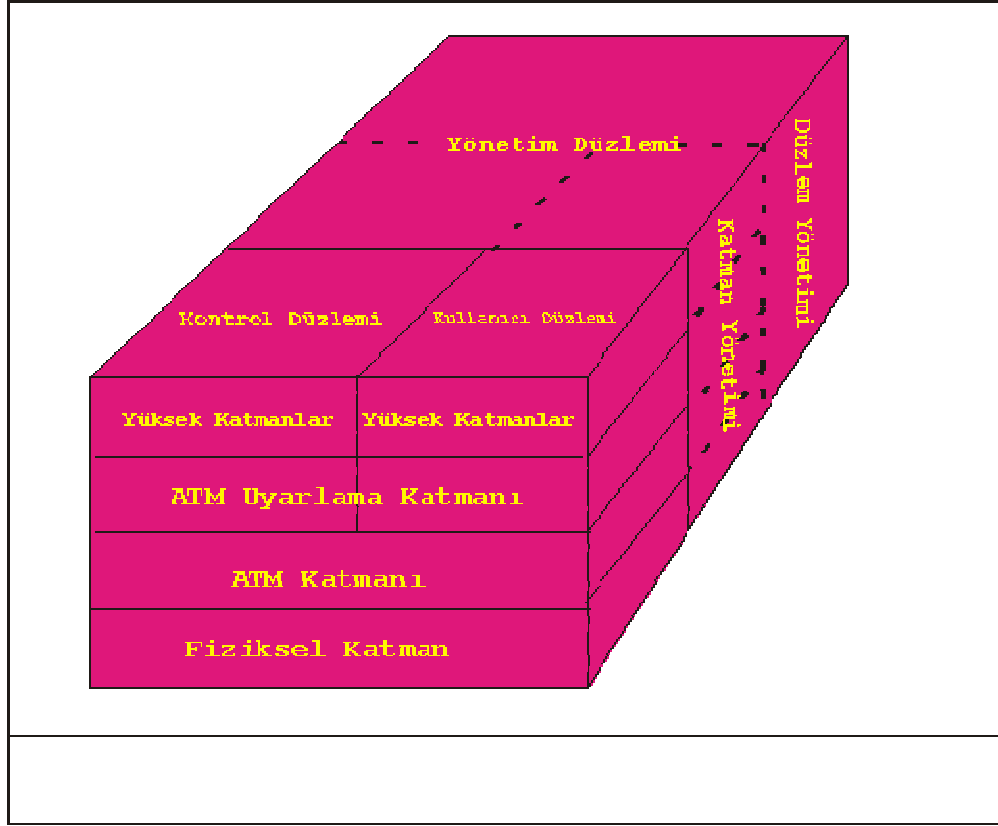
1- Kullanıcı Düzlemi: Akış kontrolü ve hata düzeltme mekanizmaları da dahil olmak üzere kullanıcı bilgilerinin transferi ile ilgili düzlemdir.

2- Kontrol Düzlemi: Çağrı ve bağlantı kontrol işlevlerinin yerine getirildiği düzlem olup devrenin kurulması, gözetimi ve devrenin çözülmesi ile ilgili işaretleşmelerden sorumludur.

3- Yönetim Düzlemi: Şebekenin gözetimden sorumludur.

Protokol referans modeli Şekil 2.2'de olduğu gibi genellikle üç boyutlu bir diyagramla gösterilmektedir.

Kullanıcı düzlemi ve kontrol düzlemi üç katman içermektedir. Bunlar; ATM Uyarlama Katmanı, ATM Katmanı ve Fiziksel Katmandır. ATM Uyarlama Katmanı (AAL) her iki düzlemde farklı olmakla birlikte ATM katmanı ve Fiziksel Katman iki düzlem için aynıdır.



Şekil 2.2. B-ISDN Protokol Referans Modeli.

Bu katmanların işlevleri ise;

1- ATM Uyarlama Katmanı : Uygun servis karakteristiklerini temin eder ve datayı 48 oktetlik birimlere böler. Bunlara aynı zamanda yük (payload) adı da verilir. Bu yükler ATM katmanına geçirilir. Kontrol Düzlemindeki AAL'e İşaretleşme ATM Uyarlama Katmanı (SAAL) denmektedir.

2- ATM Katmanı (ATM) : Uyarlama katmanından bu yükleri alır ve bunlara 5 oktetlik bir başlık bilgisi ekleyerek hücre oluşturur. Eklenen bu başlık hücrenin doğru bağlantı üzerinden gönderilmesini temin eder.

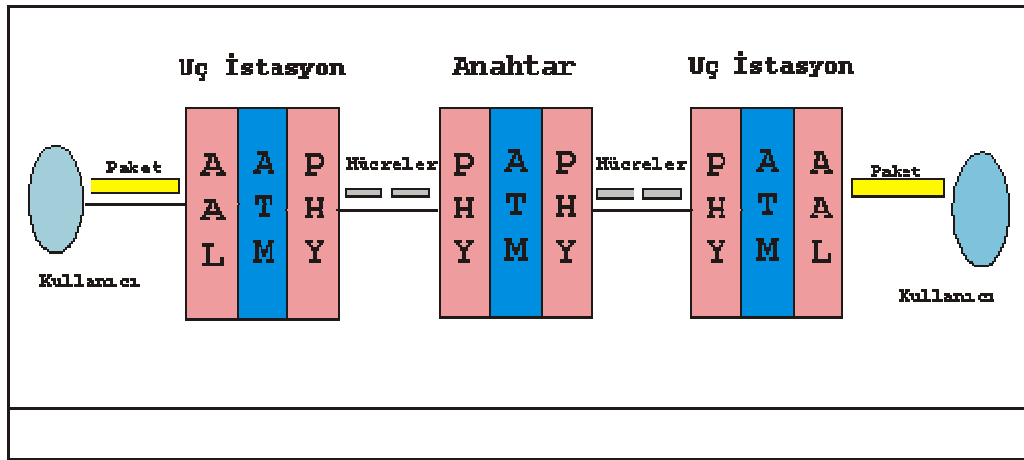
3- Fiziksel Katman (PHY) : Elektriksel veya optik karakteristikleri belirler, şebeke ara yüzünü oluşturur ve bu bitleri hatta gönderir. Fiziksel katman iki alt katmandan meydana gelmiştir.

a- Transmisyon Yakınsama Alt – Katmanı: (TC) Fiziksel ortamdan bağımsız olarak iletim çerçevesinin oluşturulması ve çözülmesi, hücrelerin SDH çerçevelerine yerleştirilmesi ve çekilmesi hücre sınırlarının belirlenmesi ve bulunması, hücre başlığının hata işlemleri ile boş hücrelerin eklenmesi ve çıkarılması işlevlerini yerine getirir.

b- Fiziksel Ortama Bağlı Alt-Katmanı: Bit zamanlaması ve hat kodlaması gibi ortama bağlı olan işlevleri yerine getirir.

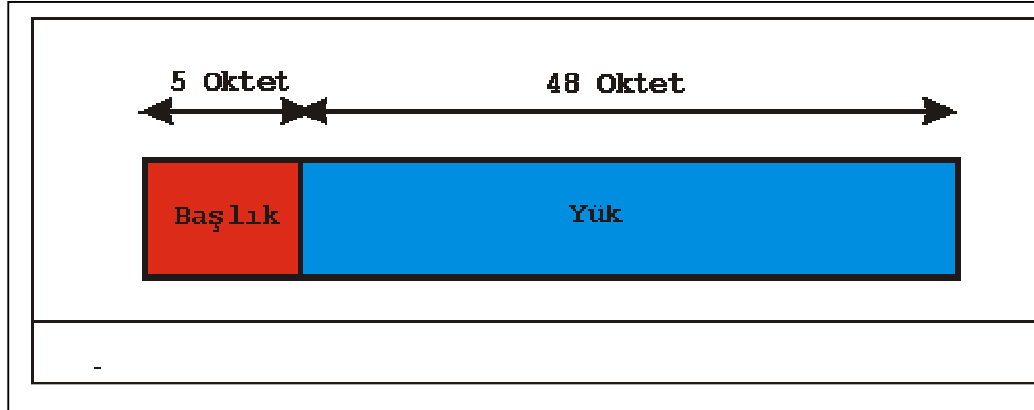
Yönetim düzlemi iki işlevden oluşmaktadır. Bunlar; Katman Yönetimi ve Düzlem Yönetimidir. Katman Yönetimi katmanlı bir yapıya sahip olup her biri özel işlemleri yerine getirir ve bakım (OAM) ile ilgili bilgileri ilgili katmanlara akıtır. Düzlem yönetimi katmanlı bir yapıya sahip değildir ve katmanlar arasındaki eşgüdümü sağlar.

Şebeke içerisindeki paket ve hücre akışı ve ara yüzlerin dizilişi Şekil 2.3’de gösterilmiştir.



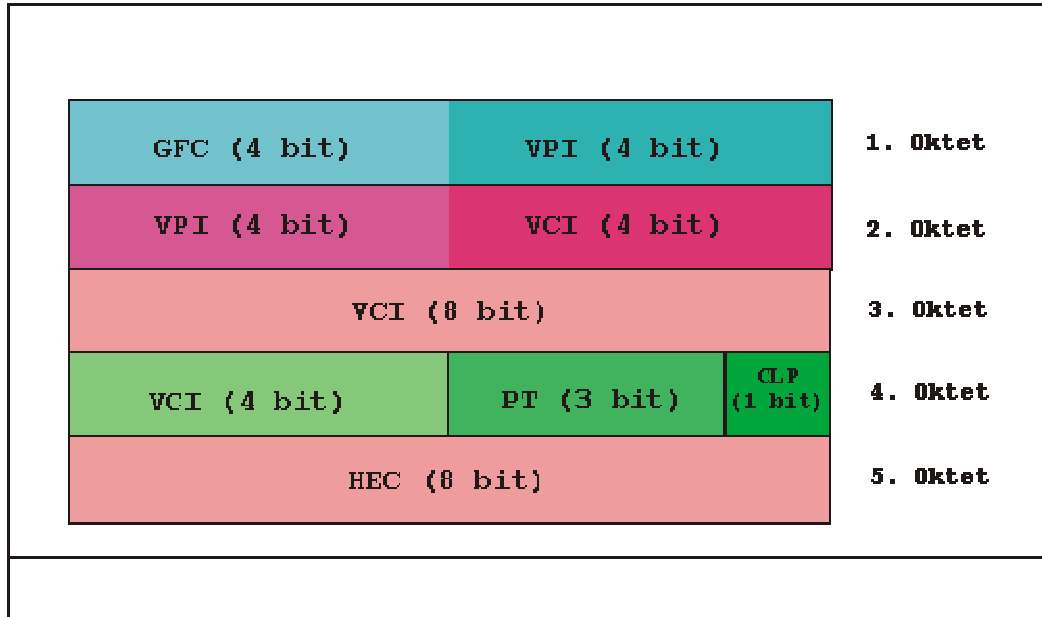
Şekil 2.3. Paket/Hücre Akışı.

Daha önce de belirtildiği gibi bir ATM hücresi 48 oktetlik bir bilgi alanına (yük) ve 5 oktetlik bir başlığa sahiptir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Hücre Yapısı.

ATM Katmanı tarafından eklenmiş olan başlık Şekil 2.5’de gösterildiği üzere bazı alanlardan meydana gelmektedir. Bu alanlar; genel akış kontrolü (GFC), sanal yol belirleyicisi (VPI), sanal kanal belirleyicisi (VCI), yük tipi (PT) ve hücre kaybı önceliği (CLP)’dir.



Şekil 2.5. ATM Hücre Başlığı.

Bu alanların özel işlevleri aşağıda belirtilmiştir:

1- Genel Akış kontrolü (GFC): 4 bitlik bu alan henüz kullanıcı-ağ ara yüzü (UNI) için tanımlanmamıştır. Şebekeden şebekeye ara yüzde (NNI) ise bu alan VPI'nin bir parçası gibi kullanılır ve ilave adres kapasitesi sağlar.

2- Sanal Yol Belirleyicisi (VPI): 8 bitten oluşan bu alanda 256 sanal yol tanımlanabilir. Her sanal yol (VP) sanal kanallardan (VC) meydana gelmektedir. Sanal yol, farklı VCI'lara sahip kanalların demetidir.

3- Sanal Kanal Belirleyicisi (VCI): 16 bitlik bir alandan meydana gelmekte olup aynı VP içerisinde 65536 kanala kadar tanımlama yapma imkanı sağlar.

4- Yük Tipi (PT): 3 bitlik bu alan 8 farklı tipdeki yükü tanımlamaya imkan tanır. Bu yük tipleri Yük Tipi Belirleyicisi (PTI) tarafından tanımlanır. PTI kodları Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Bu alandaki en önemli bit 3. Bittir.”0” olması halinde bunun data hücresi, “1” olması halinde ise bunun Bakım-İşletme (OAM) hücresi olduğunu gösterir. Data hücrelerinde 2.bit tıkanıklığı göstermekte olup bunun “0” olması halinde bir tıkanıklığın söz konusu olmadığı, “1” ise tersi tıkanıklığın bulunduğu anlaşılır. Data hücrelerindeki 1. Bit “0” ise Servis Data Biriminin (SDU) 0 tipindeki hücre olduğunu, “1” ise SDU'nun 1 tipi hücre olduğunu gösterir.

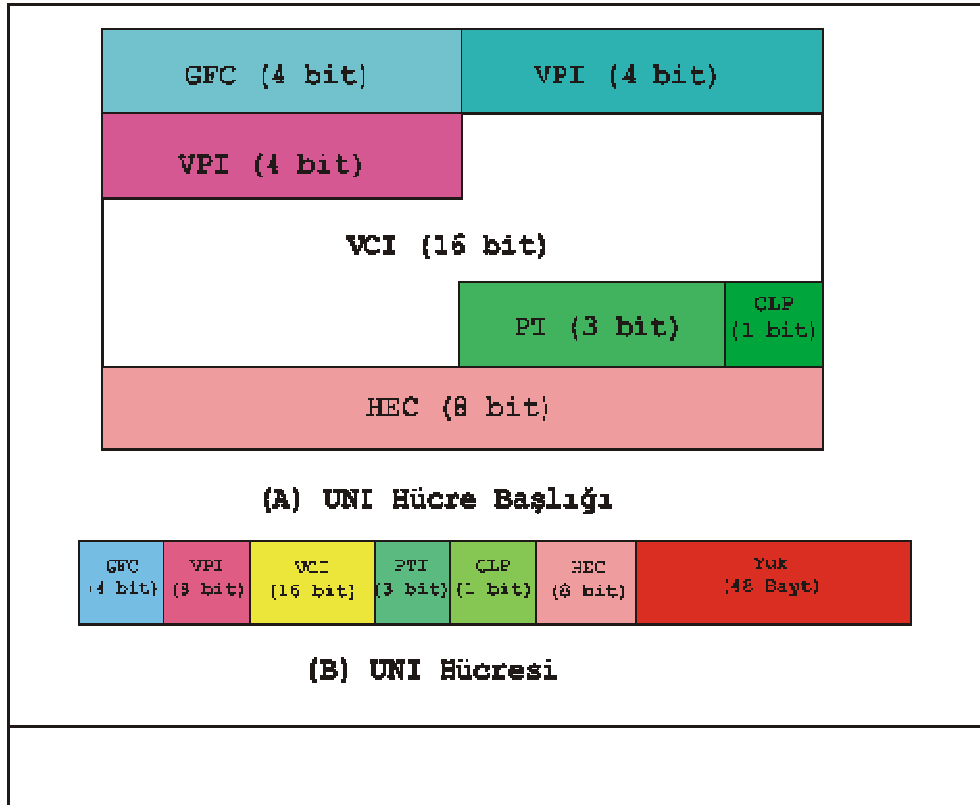
Tablo 2.1. PTI Kodlaması.

PTI Kodlaması	Anlamları
000	Kullanıcı data hücresi, tıkanıklık yok, SDU tipi=0
001	Kullanıcı data hücresi, tıkanıklık yok, SDU tipi=1
010	Kullanıcı data hücresi, tıkanıklık var, SDU tipi= 0
011	Kullanıcı data hücresi, tıkanıklık var, SDU tipi= 1
100	İlgili hücrenin Bakım-İşletme (OAM) F5 segmenti
101	İlgili hücrenin uçtan uca Bakım-İşletme (OAM) F5
110	Kaynak Yönetim (RM) hücresi (trafik yönetiminde kullanılır)
111	Gelecekte tanımlanacak işlevler için ayrılmıştır.

Hücre Kaybı Önceliği (CLP): 1 bitlik bu alan şebeke sıkışıklığında bir hücrenin göz ardı edilip edilmeyeceğini belirtir. CLP=1 ise bu hücre göz ardı edilebilir. Aksi takdirde göz ardı edilemez.

Başlık Hata kontrolü (HEC): 8 bitten oluşan bu alan başlıktaki diğer bitlerin hata düzeltilmesi için kullanılır. HEC, ATM anahtarına çoklu hataları bulma ve tekli hataları düzeltme imkanı sağlar.

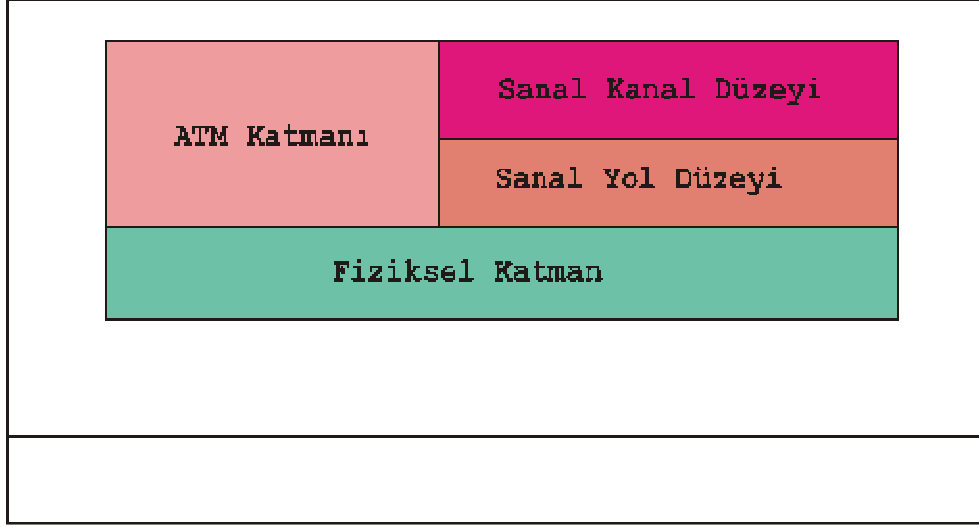
Kullanıcı-Şebeke Ara yüzü (UNI) hücre yapısı Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. UNI ATM Hücresi ve Başlığı.

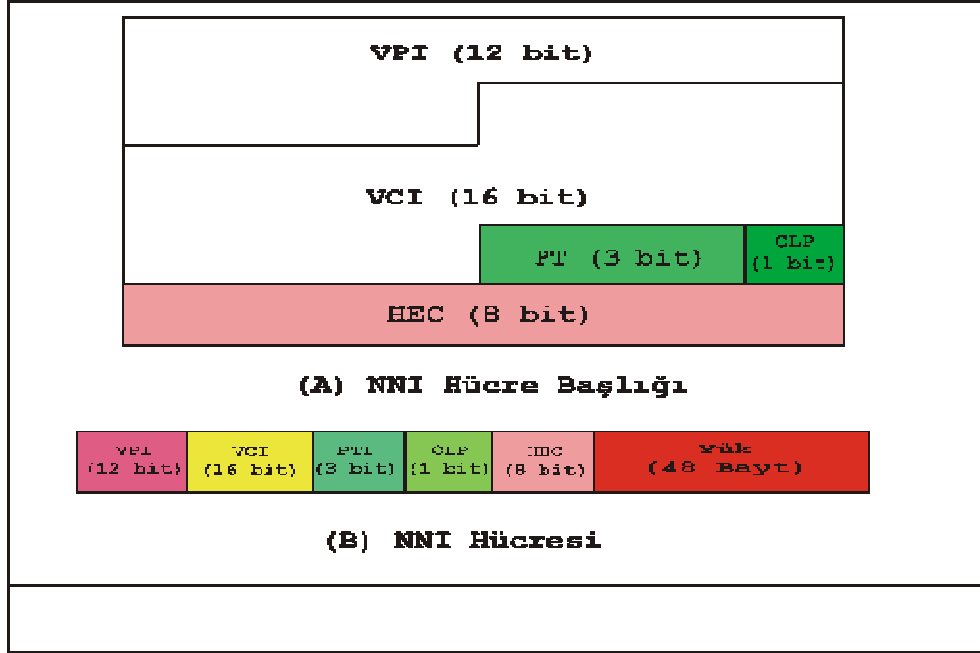
ATM bağlantı yönelimli bir teknoloji olduğundan ATM hücrelerinin taşınması için kullanılan iki yönlü haberleşme ortamına bir sanal kanal adı verilir. VPI ve VCI kombinasyonu ise bir hücrenin ait olduğu sanal kanalın tanımlanması için etiket görevi yapar. Dolayısıyla aynı sanal kanala ait hücreler aynı VPI ve

VCI'ya sahiptir. Şebeke açısından bakıldığında ise ATM katmanının iki hiyerarşik katmana bölüdüğü, bunların üst düzeyli olanına sanal kanal, alt düzeyli olanına da sanal yol dendiği ortaya çıkmaktadır. Şekil 2.7 ATM Katmanını göstermektedir.



Şekil 2.7. ATM Katman Hiyerarşisi.

GFC alanı UNI hücrelerinde kullanılmaz. Ancak NNI hücrelerinde VPI alanının bir parçası gibi kullanılır ve VPI alanının toplam 12 bit olmasına yarar. NNI hücre yapısı Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Bunun bir iyi tarafı NNI düzeyinde tanımlanmış olan sanal yol sayısını 256'dan 4096'ya kadar artırmasıdır. Bu da sanal yol sayısının 15 defa artırılması anlamında olup servis sağlayıcılar her ATM anahtarında bunları tanımlayabilirler.



Şekil 2.8. NNI ATM Hücresi ve Başlığı.

2.5. ATM Şebekesi

Bir ATM şebekesi belli sayıdaki ATM anahtarlarının noktadan noktaya ATM bağları ile birbirlerine bağlanması ile meydana gelmektedir. Anahtarlar iki farklı ara yüzü desteklemektedir. Bunlar; Kullanıcı-Şebeke ara yüzü (UNI) ve Şebeke-Şebeke ara yüzü (NNI) dir. UNI bir ATM uç sistemini şebekeye bağlar, NNI ise farklı şebeke sistemlerine ait iki ATM anahtarını birbirine bağlar.

ATM şebekeleri bağlantı yönelimli olduklarından datanın vericiden alıcıya iletilmesinden önce sanal bir devrenin kurulması gerekmektedir. ATM'de şebekenin yönlendirilmesinde sanal kanal (VC) ve sanal yol (VP) kavramları kullanılmaktadır. Bir sanal kanal tanımlayıcısı (VCI) tarafından belirlenen VC, birbiriyle haberleşen iki ATM birimi arasındaki bağlantıdır. Bu da bir veya daha fazla sayıdaki ATM bağından meydana gelen bir birleştirmedir. Bir VC belli bir nitelikte hizmet sağlar. Sanal Yol Belirleyicisi (VPI) tarafından tanımlanan bir VP ise iki uç nokta arasındaki belli sayıdaki VC'lerden meydana gelmektedir. VPI ve VCI'ların sadece yerel olarak önemi vardır ve her bir

anahtarda yeniden şekillendirilir. Şekil 2.9 fiziksel bağlar, VP ve VC'ler arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Sanal kanallar iki türlü oluşturulabilir. Bunlar;

1- Kalıcı Sanal Kanal (PVC): Uygun VPI/VCI değerlerinin belirlenmiş verici ve alıcılar için şebeke işleticileri tarafından programlanmasıyla oluşturulan bir bağlantı şeklidir. Dolayısıyla, PVC'ler önceden belirlenir ve belli bir zaman içerisinde kurulurlar.

2- Anahtarlanan Sanal Kanal (SVC): Belli bir işaretleme ile kısa bir süre içerisinde otomatik olarak kurulurlar.

Bazı VPI/VCI çiftleri özel işlevler için önceden belirlenmiştir. Bunlar;

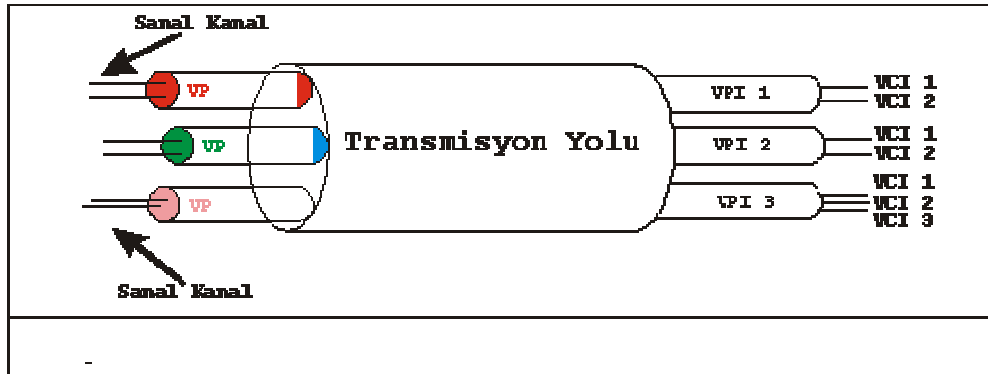
1- (VPI, VCI) = (0,5) : İşaretleme için

2- (VPI, VCI) = (0,16) : tümleşik yerel yönetim ara yüzü için

3- (VPI/VCI) = (0, 17) : LAN taklit şekillenimi sunucusu için

4- (VPI/VCI) = (0, 18) : Özel Şebeke-Şebeke ara yüzü için

5- (VPI/VCI) = (0, 19) ve (0, 20) : Özel amaçlar için kullanılmak üzere ayrılır.



Şekil 2.9. Sanal Yollar ve Sanal Kanallar.

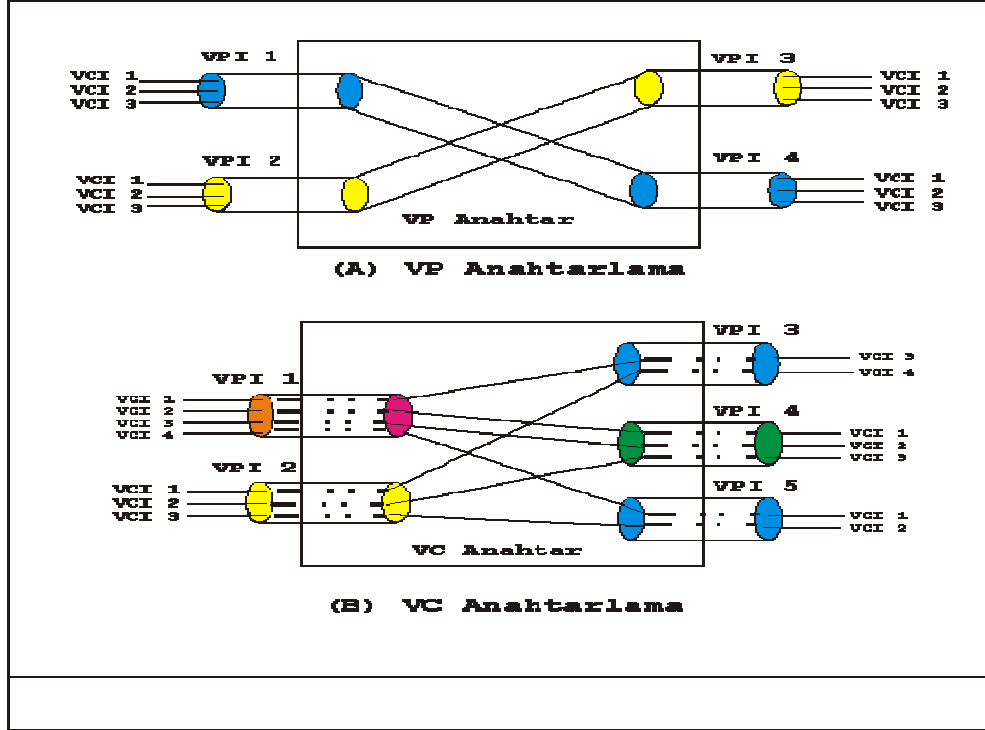
2.5.1. VP ve VC anahtarlama

Bir ATM şebekesi sanal yol düzeyinde, sanal kanal düzeyinde veya her iki düzeyde de hizmet sağlayabilir. Sanal yol düzeyinde hizmet sağlayan bir şebekede bir anahtarlama cihazı, belirli bir sanal yol belirleyicisine ve sanal kanal belirleyicisine sahip bir hücreyi aldığı zaman bu hücreyi kendinden sonra gelen anahtarlama cihazına aktarmadan önce sanal yol belirleyici değerini tekrar şekillendirmek üzere bir tabloya bakar. Bu durumda sanal kanal belirleyici değeri yeniden şekillendirilmez. Bu tipdeki anahtarlama sanal yol anahtarlama denir.

Aynı şekilde sanal kanal düzeyinde hizmet veren bir şebekede bir anahtarlama cihazı, belirli bir sanal yol belirleyicisine ve sanal kanal belirleyicisine sahip bir hücreyi aldığı zaman bu hücreyi kendinden sonra gelen anahtarlama cihazına aktarmadan önce bu hücreye yeni bir sanal yol belirleyici değeri ve yeni bir sanal kanal belirleyici değeri atar. Bu tipdeki anahtarlama sanal kanal anahtarlama (VC Anahtarlama) denir. Şekil 2.10 VP Anahtarlama ve VP Anahtarlama prensiplerini göstermektedir. Şekil 2.10.A'da sanal kanalla numaralarını değiştirmeden sanal yol belirleyici numaraları yeni değerlerini almaktadır. Diğer taraftan Şekil 2.10.B'de ise sanal yolu belirleyici değerleri ile sanal kanal belirleyici değerleri tekrar değiştirilmektedir.

Sanal bir kanal, ATM hücrelerinin tek yönlü olarak taşındığı bir imkanı belirtmektedir. Bir sanal kanal bağı ise bir VCI değerinin tahsis edildiği, değiştirildiği veya kaldırıldığı iki ardışık ATM birimi arasında ATM hücrelerinin tekyönlü olarak taşındığı ortamı ifade eder. Bir başka deyişle bir VC bağı, ardışık iki VC anahtarı veya bir ATM uç sistemi ile bir VC anahtarı arasında tanımlanır. VC bağlarının bütününe ise Sanal Kanal Bağlantısı (VCC) denir. Benzer şekilde, bir VP bağı VPI değerlerinin tahsis edildiği, değiştirildiği veya kaldırıldığı ardışık iki ATM birimi arasında ATM hücrelerinin taşındığı tek yönlü bir ortamı ifade eder. Dolayısıyla bir VP bağı bir ATM uç sistemi ile bir VC anahtarı, bir VC anahtar ile bir VP anahtarı veya

iki ardışık VP anahtarı arasında tanımlanır. VP bağlarının toplamına Sanal Yol Bağlantısı (VPC) denir.



Şekil 2.10. VP Anahtarlama ve VC Anahtarlama Örneği.

2.5.2. ATM kullanıcı-şebeke arayüzü işaretlemesi

ATM şebekesi bir anahtarlanmış bir şebeke olup bağlantı yönelimli olarak çalışmaktadır. Bu nedenle kullanıcıya (veya uç sisteme) talep halinde anahtarlanmış bağlantı sağlamak zorundadır. Bu da işaretlemenin rolünü ortaya çıkarmaktadır. Kullanıcı-Şebeke ara yüzü (UNI) düzeyinde ATM Forum tarafından belirlenmiş olan spesifikasyonların bir versiyonu olan UNI 4.0'ü inceleyelim.

İki uç sistem arasında bir bağlantı sağlanabilmesi için bu iki uç sistemin de şebeke tarafından öncelikle tanınması gerekmektedir. Adresleme yöntemi uç sistemlerin belirlenmesi açısından uygun bir mekanizma oluşturmaktadır.

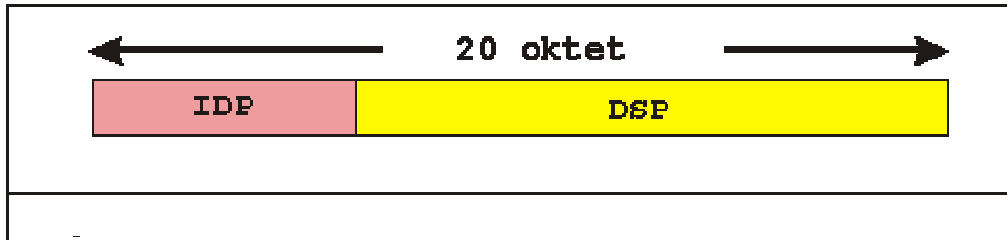
2.6. ATM Adreslemesi

Bir ATM adresi bir veya daha fazla uç sistemin şebeke içerisinde tanımlanmasını sağlar. İki çeşit adres kullanılmaktadır. Bunlar;

1- Kişisel adres: Sadece bir uç ATM sistemini belirler.

2- Grup adres: Bir veya daha fazla ATM sistemini belirler.

Özel şebekelerdeki bir ATM sisteminin adres formatı OSI Şebeke Hizmet Erişim Noktası (NSAP)'ndan sonra modellenir. Bu şekildeki adresler dağıtılmış yönetime ve etkin yol kullanımına izin verecek şekilde hiyerarşik şekilde yapılandırılmıştır. Bir adresin özet yapısı Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Bu 20 oktetlik bir format olup iki ana bölümden oluşmaktadır: Başlangıç Alanı Bölümü (IDP) ve Alan Özel Bölümü (DSP).



Şekil 2.11. NSAP Adres Yapısı.

IDP, DSP'nin değerini belirleme ve tahsis etme yetkisi olan kurumu tanımlar. DSP ise şebeke işleticisi tarafından belirlenen adres bilgisidir. Her iki bölümün de farklı alt bileşenleri bulunmaktadır.

2.6.1. IDP bileşenleri

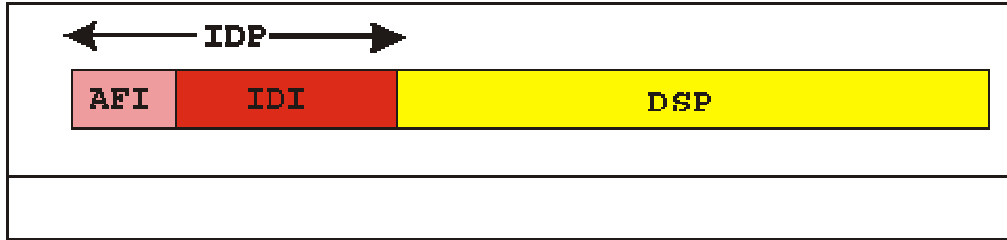
IDP'nin iki bileşeni bulunmaktadır. Bunlar; Yetkili Format Belirleyicisi (AFI) ve Başlangıç Alanı Belirleyicisi (IDI)'dir. AFI 1 oktetlik bir alan olup IDI'ya değer tahsis etmekle sorumlu şebeke adresleme yetkilisini belirler.

IDI iki oktetlik bir alan olup adres alanını ve DSP değerini vermekle sorumlu Şebeke adresleme yetkilisini belirler. AFI değerine uygun olarak tercüme edilir ve aşağıda verilmiŐ olan formatları belirler.

1- ICD: 2 Oktetlik bir alan olup uluslararası bir organizasyonu belirtir. Kodlar ISO 6523'e uygun olarak İngiliz Standart Organizasyonu tarafından verilir.

2- DCC: 2 Oktetlik bir alan olup adresin kayıtlı olduğu ülkeyi belirler. Bu kodlar ISO 3166'da verilmiştir.

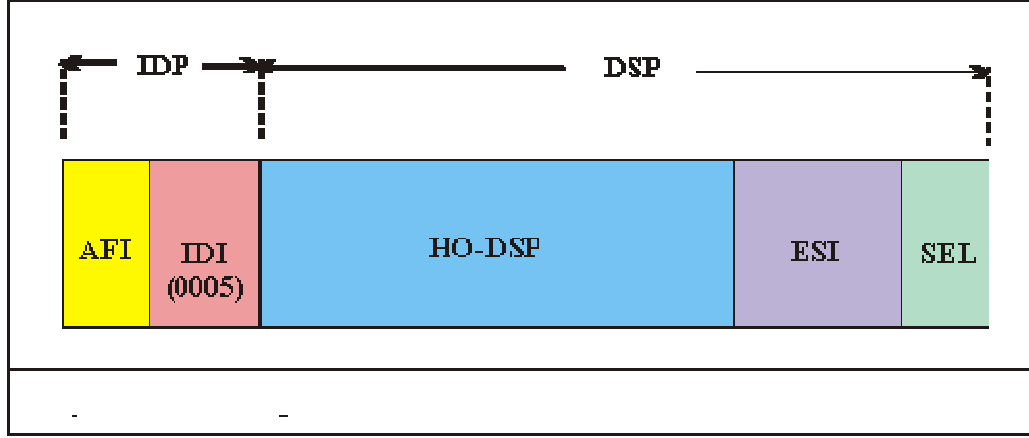
3- E.164: 8 oktetlik bir alan olup telefon no'su içeren ISDN no'su belirler. IDC ve DCC formatları organizasyon tabanlı özel bir numaralama planı kullanmak isteyen kurumlar için faydalıdır. E.164 formatı ise coğrafi olarak kamu ISDN/telefon numaralama formatı bulunan idareler için kullanışlıdır. Şekil 2.12. IDP yapısını göstermektedir.



Şekil 2.12. IDP Yapısı.

2.6.2. DSP bileşenleri

DSP, yüksek mertebe DSP (HO-DSP) ve düşük mertebe DSP olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Düşük mertebe DSP'de uç sistem belirleyicisi (ESI) ve seçici (SEL) bulunmaktadır. Şekil 2.13 DSP yapısını göstermektedir.

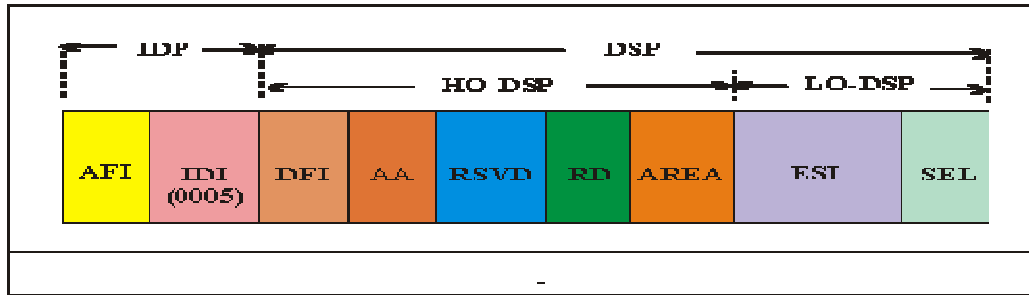


Şeki 2.13. DSP Yapısı.

HO-DSP’de birbirine bağlanmış ATM şebekeleri üzerinden hiyerarşik yollandırmayı kolaylaştıracak bir adreslemeyi öngören alt alanlar bulunmaktadır. HO-DSP’nin kullanımına bir örnek olarak US GOSIP formatı verilebilir. Bu IDI değeri 0005 olan ICD formatı ile tanımlanır. HO-DSP alt alanları Şekil 2.14.’de gösterilmiştir.

Bu alt alanlar;

- 1- DFI (Alan Formatı Belirticisi, 1 oktet): Adresin anımsatılması için yapısal ve yönetsel koşulları belirler.
- 2- AA (İdari Sorumlu, 3 oktet): Adres belirlemede yetkili otoriteyi tanımlar.



Şekil 2.14. NSAP Adres Formatı Örneği.

3- RSVD (Rezerve edilmiş, 2 oktet): Henüz kullanılmamaktadır.

4- RD (Yollandırma alanı, 2 oktet): ICD+DFI+AA önekindeki özel bir alanı tanımlar.

5- AREA (Alan, 2 oktet): RD içerisindeki özel bir alanı tanımlar.

6- ESI (Uç sistem belirleyicisi, 6 oktet): Bir alan içerisindeki uç sistemi tanımlar.

7- SEL (Seçici, 1 oktet): ATM yönlendirilmesi için kullanılmaz. Uç sistem tarafından alıcı tarafındaki sistemin üst katmanlarındaki protokol birimini belirlemek için kullanılır.

Bu adresleme şekillerinden hangisinin daha iyi olduğu konusunda henüz bir fikir birliği bulunmamaktadır. Ancak çoğu üretici ICD veya DCC formatını kullanmaktadır.

2.7. UNI 4.0 İşaretleşmesi

UNI 4.0 İşaretleşmesi (veya UNI 4.0) ITU-T Q.2931 ve Q.2110 tavsiyelerine uygundur. UNI 4.0 tarafından sağlanan temel işlevler aşağıda verilmiştir:

1- Noktadan noktaya çağrı desteği,

2- Noktadan çoklu noktaya çağrı desteği,

3- Anahtarlanmış sanal yol hizmeti,

4- Kanat birleştirme olanağı (Buradaki kanat, kurulmuş olan bağlantıyı keserek veya kesmeyerek noktadan çoklu noktaya yapılmış bir bağlantıya saplama yapılması anlamındadır),

5- ATM grubunun bir parçası olan bir uç sisteme noktadan noktaya bağlantı talebi imkanı,

6- Grup adresleme imkanı,

7- Proxy (vekil) işaretleşme (proxy işaretleşme temsilcisi olarak adlandırılan bir kullanıcı tarafından işaretleşme imkanı olmayan bir veya daha fazla kullanıcı adına işaretleşme yapma imkanı), Aynı ATM adresini kullanan çoklu fiziksel ara yüzleri destekleyen bir yüksek mertebe uç sistemine bu imkan tanınabilmektedir,

8- Çoklu işaretleşme kanalları (Çoklu ILMI kanalı desteği gerektiren tek bir UNI üzerinden çok sayıdaki kullanıcının desteklenebilmesi imkanındır. Bu da tek bir UNI üzerinde çok sayıda sanal UNI'lerin yaratılması imkanını vermektedir.),

9- Çerçeve atılması desteği,

10- Noktadan noktaya yapılan çağrılar için ABR işaretleşmesi,

11- Trafik parametrelerinin karşılıklı olarak görüşülmesi,

12- Bireysel Servis Kalitesi (QoS) parametrelerinin işaretleşmesi, İlave servisler Doğrudan Dahili Arama-DDI, Çağrı Yapan Tarafın Tanıtımı – CLIP, Çağrı Yapan Tarafın Gizlenmesi-CLIR, Bağlantı Yapılan hattın tanıtımı, bağlantı yapılan hattın gizlenmesi, alt adresleme, kullanıcıdan kullanıcıya işaretleşme.

Kaynaktan alıcıya bir bilginin gönderilmesi işlemi üç aşamalı bir işlemle yapılmaktadır. Bunlar;

1- Çağrı/Bağlantı kurulması aşaması,

2- Data aktarılması aşaması,

3- Çağrının/Bağlantının çözülmesi aşaması.

2.7.1. Çağrı/bağlantı kurulması

Çağrı/Bağlantı kurulması aşaması aşağıda belirtilen adımlarla gerçekleştirilir;

1- Çağrı yapan taraf kaynak anahtarına bir SETUP mesajı göndererek çağrıyı/bağlantı kurulması işlemini başlatır. Her SETUP mesajında kaynağın ve alıcının adresi ile bilgi elemanları (IE) bulunur. Bunlar kullanıcının şebekeden talep ettiği hizmetin niceliksel yönlerini tanımlayan parametrelerdir.

2- Kaynak anahtarı bu mesajı aldığı zaman mesajı analiz eder ve talep edilmiş olan QoS'ye bağlı olarak bu çağrıyı karşılayıp karşılayamayacağını kararlaştırır. Eğer talebi karşılayabilecekse alış tarafı üzerindeki anahtara bir SETUP mesajı gönderir. Sonra da çağrıyı yapan uca doğru CALL PROCEEDING (Çağrı İlerliyor) mesajı gönderir ve bu çağrıyı yapan uca SETUP mesajının teyidi anlamına gelir. Eğer anahtar çağrıya hizmet veremezse çağrıyı çözme aşamasına geçer.

3- Herhangi bir geçiş (transit) anahtarı bu SETUP mesajını aldığı anda talep edilen hizmeti verebilecek durumdaysa bir sonraki anahtara SETUP mesajı gönderir ve geriye doğru CALL PROCEEDING mesajını gönderir. Aksi takdirde çağrıyı çözme aşamasına geçer.

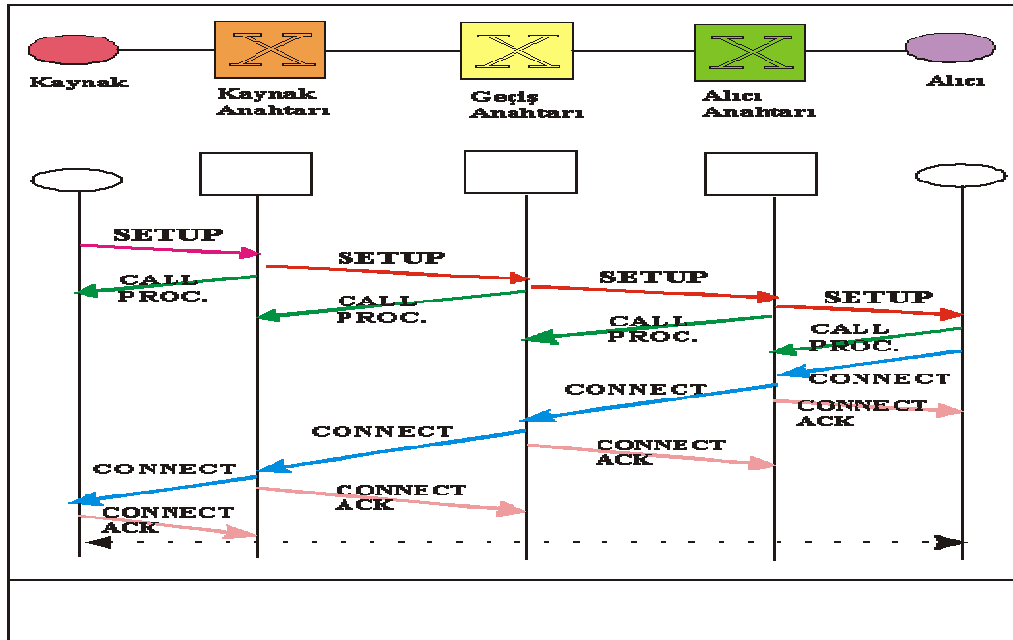
4- Alıcı tarafında bulunan anahtar SETUP mesajını aldığı anda çağrı talebine karşılayabilecek durumdaysa alıcıya mesaj gönderir ve geriye doğru da CALL PROCEEDING mesajı iletir.

5- Alıcı tarafındaki uç sistem bu mesajı aldığı anda CALL PROCEEDING mesajı gönderir ve bağlantı talebi işlemine başlar. Eğer bu mesajı kabul edebilecek durumdaysa verici tarafa doğru bir CONNECT mesajı gönderir. Bu mesaj daha sonraki anahtara doğru gönderilir ve alıcı uç sistemine CONNECT ACK (Bağlantı Teyidi) mesajını gönderir.

6- CONNECT mesajını alan her anahtar bu mesajı bir geridekine iletir ve bu mesajı aldığı anahtara da CONNECT ACK mesajını gönderir.

7- Kaynak tarafındaki uç sistem CONNECT mesajını aldığı anda bağlı olduğu anahtara CONNECT ACK mesajı gönderir ve böylece çağrı/bağlantı kurulması aşaması tamamlanmış olur.

Şekil 2.15 sadece bir geçiş anahtarı bulunan bir şebekede yukarıda belirtilen bilgilerin akış diyagramını göstermektedir.



Şekil 2.15. Çağrı/Bağlantı Kurulması.

Yukarıda da belirtildiği gibi SETUP mesajı bir takım IE bilgisi taşır. Bunlar çağrının/bağlantının nasıl sağlanacağını belirlemek için kullanılır. Bazı IE'ler zorunlu olmakla birlikte diğerleri opsiyoneldir. Zorunlu IE'de ATM trafik tanım bilgisi, geniş band taşıyıcı imkanı bilgisi ve QoS bilgisi bulunmaktadır. Diğer IE'lerin içinde ise minimum kabul edilebilir hız bilgisi, AAL parametre bilgisi ve uçtan uca geçiş gecikmesi bilgisi bulunmaktadır.

2.7.2. Data transferi

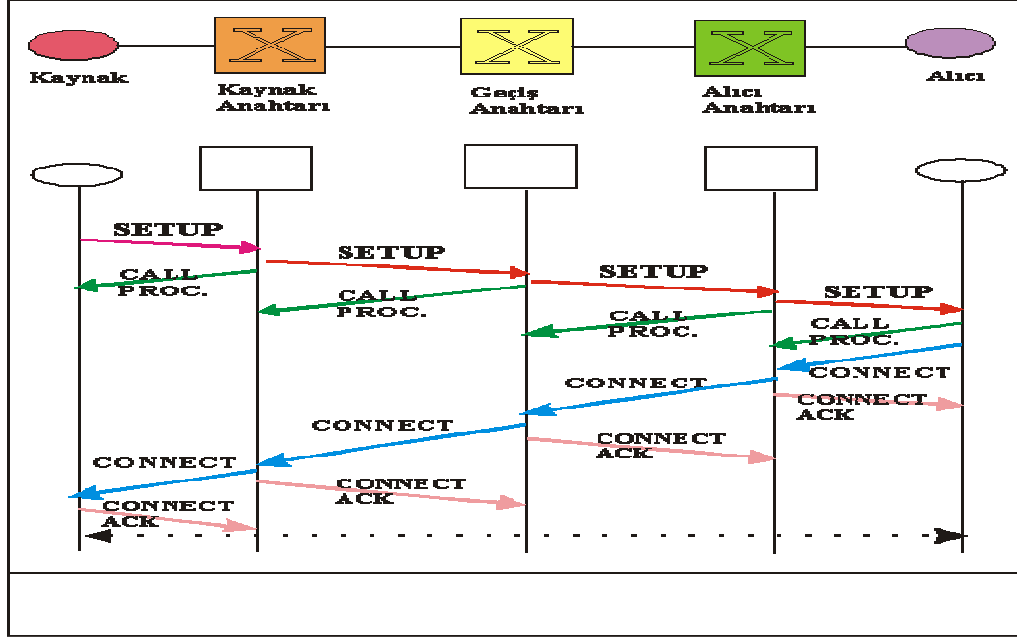
Çağrı/Bağlantı kurulma aşaması tamamlandıktan sonra kaynak ile alıcı arasındaki bilgi transferi kurulmuş olan VCC üzerinden gerçekleştirilir.

2.7.3. Çağrı/bağlantı çözülmesi

Bu aşama herhangi bir tarafın şebekeye RELEASE (Çöz) mesajı göndermesiyle başlatılır. Kaynak tarafın çağrı/bağlantı çöz mesajı gönderdiğini varsayarsak aşağıda açıklanan bilgi akışı meydana gelecektir;

- 1- Kaynak ucundaki sistem kaynak anahtarına RELEASE mesajı gönderir.
- 2- Kaynak anahtar geçiş anahtarına RELEASE, kaynak uç sistemine de RELEASE ACK (Çöz Teyidi) mesajı gönderir.
- 3- Geçiş Anahtarı RELEASE mesajı aldığı anda bunu alıcı anahtarına aktarır ve kaynak anahtarına da RELEASE COMPLETE (Çözme Tamamlandı) mesajı gönderir.
- 4- Alıcı Anahtarı RELEASE mesajını aldığı anda bunu alıcı uç sistemine gönderir ve geriye doğru da RELEASE COMPLETE mesajı iletir.
- 5- Alıcı uç sistemi RELEASE mesajı aldığı anda alıcı anahtarına RELEASE ACK mesajı gönderir ve çözülme aşaması tamamlanır.

Bu işlem Şekil 2.16.'da gösterilmektedir.



Şekil 2.16. Çağrı/ Bağlantı Kurulması.

2.8. ATM Trafik Sınıflandırması

Trafik sınıflandırması için çeşitli yöntemler bulunmakta olup ITU-T ve ATM Forum kullanıcı trafiğini farklı kriterler kullanarak sınıflandırmıştır. Bu bölümde bu farklı trafik sınıflandırma düzenleri incelenecektir. Ayrıca bu düzenlerin birbirleri ile olan ilgisi gözden geçirilecektir.

2.8.1. Kullanıcı hizmet sınıfları

Kullanıcı düzleminin en üst katmanında ITU-T Komitesi hizmet sınıflarını tanımlamak üzere üç farklı parametre tanımlamıştır. Bunlar;

- Kaynak ile alıcı arasındaki zamanlama ilişkisi (gerekli veya değil),
- Bit hızı (sabit veya değişken),
- Bağlantı modu (Bağlantı yönenimli veya bağlantısız).

Bu parametrelere bağlı olarak kullanıcı trafiği için dört mümkün sınıf tanımlanabilmektedir.

- A Sınıfı: Devre benzeşimi veya CBR ses gibi bağlantı yönelimli sabit bit hızlı hizmetler (CBR).

- B Sınıfı: Kaynak ile alıcı arasında zaman ilişkisi olan, görüntü gibi bağlantı yönelimli değişken bit hızlı hizmetler (VBR).

- C Sınıfı: Bağlantı yönelimli dosya transferi gibi kaynak ile alıcı arasında zamanlama ilişkisi olmayan bağlantı yönelimli VBR hizmetleri.

- D Sınıfı: LAN data gibi bağlantısız VBR hizmeti.

Bu hizmet sınıfları Şekil 2.17'de özetlenmiştir.

2.8.2. ATM uyarlama katmanı trafik tipleri

AAL (ATM Uyarlama Katmanı) ITU-T tarafından tanımlanmiş olan bu dört çeşit trafik sınıfını da desteklemektedir. Ancak AAL işlevleri hizmete özel olup bu dört sınıf hizmete karşılık gelen 1 den 4'e kadar AAL tipi belirlenmiştir. Ayrıca AAL3 ile AAL4 birleştirilerek AAL3/4 oluşturulmuş, bunun da daha basit ve daha etkin bir versiyonu olan AAL5'de tanımlanmiştir. AAL'lerin bu dört tipi aşağıda belirtilen Şekilde tanımlanmaktadır;

- ATM Uyarlama Katmanı Tip 1: ATM'e ses benzeşimi veya DS_n (n=0, 1 veya 3) trafiği imkanı veren CBR hizmeti,

- ATM Uyarlama Katmanı Tip 2: Kaynak ile alıcı arasında zaman ilişkisi olan VBR hizmetleri (Bu hizmet çeşidi için henüz standart tanımlanmamıştır.),

- ATM Uyarlama Katmanı Tip 3/4: Kaynak ile alıcı arasında zamanlama ilişkisi olmayan VBR hizmeti,

- ATM Uyarlama Katmanı Tip 5: Bağılantısız trafik.

	A Sınıfı	B Sınıfı	C Sınıfı	D Sınıfı
Kaynak ile Alıcı Arasındaki Zaman İlişkisi	Gerekti		Gereksiz	
Bit Hızı	Sabit	Değişken		
Bağlantı Modu	Bağlantı Yönelimli			Bağılantısız

Şekil 2.17. Hizmet Sınıflandırması.

Yüksek Katmanlar	A Sınıfı	B Sınıfı	C Sınıfı	D Sınıfı
ATM Uyarlama Katmanı	AAL 1	AAL 2	AAL 3 veya AAL 5	
	ATM Katmanı			
	Fiziksel Katman			

Şekil 2.18. Kullanıcı Düzlemi Protokol Referans Modeli.

Kullanıcı katmanı protokol referans modeli Şekil 2.18’de gösterilmiştir.

2.8.3. Hizmet kalitesi sınıfları

Hizmet Kalitesi (QoS) bir sanal bağlantı üzerinden geçen trafiği karakterize eden ve kullanıcı tarafından algılanan ATM performans parametrelerine karşılık gelmektedir. Bunlar;

- Hücre Kaybı Oranı (CLR): Kaybolan hücrelerin gönderilmiş olan toplam hücrelere oranıdır.

- Hücre Hata Oranı (CER): Hatalı hücrelerin gönderilmiş olan toplam hücrelere oranıdır.

- Hücre Aktarım Gecikmesi (CTR): Sanal bir bağlantı üzerinden kaynaktan alıcıya iletilecek bir hücrenin transfer süresidir.

- Hücre Gecikme Değişimi (CDV): Bir hücrenin gerçek transfer gecikme zamanı ile beklenen gecikme zamanı arasındaki farktır. CDV, hücrenin iletimi sırasında farklı anahtarlardaki ön depolama ve zamanlanması sırasında ortaya çıkar.

- Hücre Yanlış Saplama Oranı (CMR): Sanal bağlantı başına yanlış saptanmış hücrelerin (yanlış kaynaklardan alınan hücreler) doğru alınmış hücrelerin toplamına oranıdır.

ATM trafiği beş QoS sınıfında incelenebilir.

1- QoS 0 Sınıfı: En iyi sağlanmış servisi ifade eder. Performans parametresi olarak herhangi bir değer tespit edilmemiştir.

2- QoS 1 Sınıfı: CBR ses için gerekli parametrelerini belirler. AAL1 tarafından desteklenen bağlantı yönelimli bir sınıf olup özel sayısal devre ile kıyaslanabilecek performansdadır. A sınıfı performans gerekliliklerini karşılar.

3- QoS 2 Sınıfı: VBR görüntü için gerekli parametreleri belirler. Bağlantı yönelimli olup gecikmeye bağlı bir sınımdır ve AAL2 tarafından desteklenir. Paketlenmiş konferans ve çoklu ortam uygulamalarının ortak işletmesi için tanımlanmıştır. B sınıfı performans gerekliliklerini karşılayacak QoS'yi destekler.

4- QoS 3 Sınıfı: Zaman gecikmesine bağlı olmayan bağlantı yönelimli veri transferi için gerekli parametreleri belirler. Frame Relay benzeri bağlantı yönelimli protokollerin birlikte çalışması için tanımlanmıştır. C sınıfı performans gerekliliklerini karşılayacak QoS'yi destekler.

5- QoS 4 Sınıfı: ABR Veri için gerekli parametreleri tanımlar. AAL3/4 veya AAL5 tarafından desteklenir. IP gibi bağlantısız protokollerin birlikte çalışması için tanımlanmıştır. D sınıfı performans gerekliliklerini karşılayacak QoS'yi destekler.

QoS sınıf 1; A sınıfı hizmetler içindir. QoS sınıf 2; B sınıfı hizmetler için, QoS sınıf 3; C sınıfı hizmetler için ve QoS sınıf 4; D sınıfı hizmetler içindir.

Sonuç olarak Hizmet kalitesi, genel olarak gecikmeyle ilgilidir; çerçeve veya hücrelerin aktarım gecikmesi, iletişim için gerekli oturum kurulma hızı gibi değerleri kapsar. Hizmet sınıfları ise, farklı türde uygulamaların gereksinim duyduğu değişik özelliklere sahip trafik ihtiyaçlarını tanımlar. Örneğin, ATM gibi hücre tabanlı teknolojilerin terminolojisinde hizmet sınıfları CBR, VBR (rt-VBR, nrtVBR) ve ABR olarak adlandırılmaktadır [4].

2.8.4. ATM hizmet kategorileri

ATM şebekeleri çeşitli trafikleri desteklemek durumundadır. Daha önce de belirtildiği gibi, Bu trafik tipleri A sınıfından D sınıfına kadar isimlendirilmiş olan uygulamalardan gelmektedir. AAL'de bunlar AAL Tip1, 3/4, ve 5 olarak etiketlenmiştir. ATM Forumu Trafik Yönetimi Alt-Çalışma Grubu daha kapsamlı bir hizmet mimarisi geliştirmiş olup bunlar kullanıcılar için özel trafik

kombinasyonu yapma ve bunların performans parametrelerini belirleme imkanı tanımaktadır.

Bu mimarinin ortaya çıkmasındaki ana unsur aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

Uygun bir AAL seçildiğinde şebekenin imkanlarına bağlı olarak bir uygulamanın özel gereksinimlerinin çoğu sağlanabiliyorsa ATM katmanının davranışı AAL protokolü veya daha yüksek katmanların protokolüne bağlı olmayacaktır.

ATM'nin değişken trafik karışımını geçirmesi söz konusu olduğundan tanımlanan hizmet kategorilerinin de bu koşula uygun olması gerekmektedir. Dolayısıyla burada amaç her trafik tipi için kaynakların adaletli olarak tahsis edilmesidir. Bir ATM hizmet kategorisi bir ATM bağlantı sınıfını temsil eder. Bu sınıf; trafik pateni, QoS gereksinimleri ve kontrol mekanizmasının kullanımı açısından tek düze karakteristiklere sahip olup yapılmış olan kaynak tahsisini bu amaca uygun hale getirir. Hizmet kategorileri aşağıda gösterilmiştir:

- Sabit Bit Hızı (CBR): Bu hizmet kategorisi hücre aktarım gecikmesi (CTD) ve hücre gecikme değişmesi (CDV)'nin sabit olması gereken gerçek zamanlı trafikler için tanımlanmıştır ve sabit band genişliğine ihtiyaç göstermektedir. uygulamanın süresi boyunca sabit olarak bulunacak en fazla hücre hızı (PCR) tarafından karakterize edilir. Bir CBR kaynağı herhangi bir zamanda ve sürede PCR değerinde veya altında hücre yayabilir. CBR uygulamasına örnek olarak ses, sabit hızda kodlanmış görüntü uygulamaları ve devre benzeşim hizmetleri gösterilebilir.

- Gerçek zamanlı değişken Bit Hızı (rt-VBR): Bu hizmet kategorisi çok ani trafik değişimi gösteren kaynakların gerçek zamanlı trafikleri için tanımlanmıştır. Diğer kaynaklarla yapılan trafik değişimlerinde istatistiksel çoklamaya genellikle izin verir. PCR, SCR (Kanıtlanabilir hücre hızı) ve En Fazla Fıskırma (Burst) Boyutu (MBS) ile belirlenir. CTD tarafından belirlenmiş değerlerin ötesinde geciken hücreler bu uygulamaya göre oldukça düşük değerli

olarak kabul edilir. Bu uygulamaya örnek olarak değişken bit hızı ile kodlanmış video örnek gösterilebilir.

- Gerçek Zamanlı Olmayan değişken Bit hızı (nrt-VBR): Bu hizmet kategorisi gecikmeye ve gecikmenin değişimine çok bağımlı olmayıp çok ani trafik değişimi gösteren uygulamalar için tanımlanmıştır. rt-VBR’de olduğu gibi trafik parametreleri PCR, SCR ve MBS’dir. Diğer kaynaklarla bilgi alış-verisinde istatistiksel çoklamaya izin verir. Çok düşük hücre kayıp oranı olması beklenir. Bu uygulamaya örnek olarak genel data haberleşmesi verilebilir.

- Elde Edilebilir Bit Hızı (ABR): Zamana bağlı olarak band genişliği gereksinimi değişen kaynaklar için tanımlanmış bir hizmet kategorisidir. Şebeke tarafından talep gelmesi halinde kaynak tarafından gönderilen bilginin hızının artırılıp eksiltilebilmesine ve şebekede gezinen ATM trafiği hacminin isteğe göre düzenlenmesine imkan tanır. Belli değerlerdeki PCR ve MCR (En az Hücre Hızı) ile tanımlanır.

- Belirlenmemiş Bit Hızı (UBR): Belli bir QoS’ye ihtiyaç göstermeyen, gecikmeye veya gecikme değişimine bağımlı olmayan kritik uygulamalar dıőındaki hizmetler için tanımlanmıştır. Kaynaklar arasında istatistiksel çoklamayı destekler ve trafiğe bağlı olarak servis garantisi veremez.

BÖLÜM 3. INTERNET PROTOKOLÜ IP

3.1. ATM Üzerinden IP

Internet'te herhangi bir veri gönderirken veya alırken, örneğin e-posta ya da web sitesi, mesajlar küçük paketlere bölünür. Her paketin üzerinde gönderenin ve alıcının IP adresleri yazılı olarak bulunur. Her paket öncelikle bir “gateway” adı verilen bilgisayardan geçer. Bu bilgisayar paketlerin üzerindeki alıcının adresini okur ve buna göre paketleri yönlendirir. Bu işlem alıcının adresine en yakın bilgisayara kadar böyle devam eder. Bu en son bilgisayarda paketleri alıcı bilgisayar gönderir. Internet protokolüne göre yol alan bu paketler bir çok değişik yönden giderek alıcıya ulaşabilirler. Hatta paketler olması gerektiği sırada da alıcıya ulaşmayabilirler. Internet protokolünün amacı sadece bu paketleri göndermektir. Paketleri eski düzenine getirmek bir başka protokolün yani TCP nin görevidir.

3.2. Domain Name System

IP adreslerinin ezberlenmemesinin zorunluluğu nedeni ile genellikle bilgisayarlar : “host” adları ile anılırlar. Yani internet üzerindeki her bilgisayarın bir IP adresi bir de host ismi bulunur. Fakat iletişimin sağlanması için bu isimlerin tekrardan IP adreslerine çevrilmeleri gerekir. Bu yüzden bu çevirme işlemi yapması amacı ile DNS (domain name system) kullanılır. DNS internette bulunan her IP adresinin ve alan adını barındıran bir veri bankasıdır. Bu sistem öyle kurulmuştur ki bu veri tabanı bilirlere göre ayrılır ve sınıflandırılır.

Bir bilgisayarın alan adı isim.com şeklindedir. Ayrıca bulunduğu ülkeye göre

sonunda ülkenin kodu da eklenir. Örneğin Türkiye’de bulunan bir alan adı şu şekilde olacaktır. “isim.com.tr”.

Bu her alanla ilgili birer DNS sunucusu vardır. “Tr” domain’ ini alan bütün bilgisayarların listesi bir sunucuda tutulur. Örnek olarak sonu .com ile bitenler Amerika’da bir DNS sunucu bilgisayarda tutulur. Bu adresler sondan başa doğru ayrıştırılır. Yani “isim.com.tr” alan adı önce “tr” adına göre ayrılır ve diğer aynı adlı bilgisayarlarla birlikte düzenlenir. Eğer sonunda bir ülke kodu yoksa ki sadece Amerika’daki bilgisayarlar için geçerlidir direct “.com” adına bakılarak ayrıştırılır. Bunlara üst düzey domain de denilir.

.com : Ticari Şirketler

.edu : Eğitim kurumları

.org : Ticari olmayan organizasyonlar

.net : İnternet omurgası görevini üstlenen ağlar

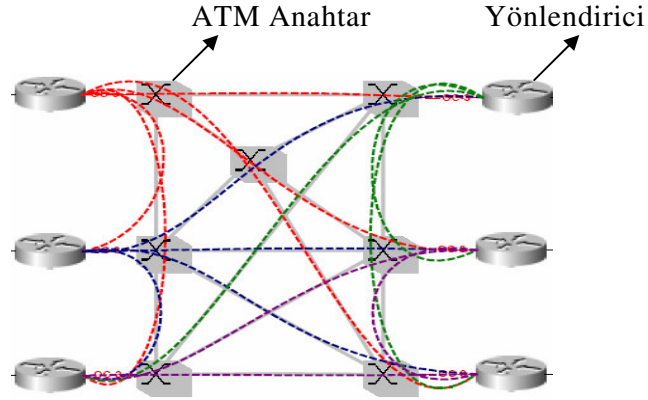
.gov : Hükümete bağlı kurumlar

.mil : Askeri kurumlar

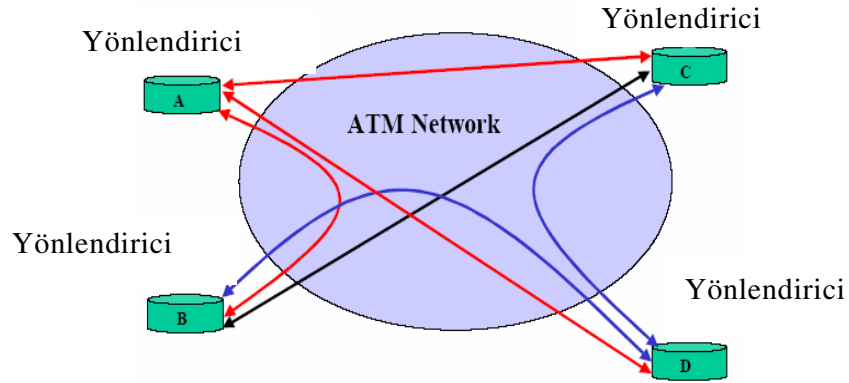
Bilgisayarımızda bir adres girdiğimiz zaman bu bilgiler direk olarak ilgili DNS sunucusuna ulaştırılır. Bu DNS sunucusu eğer bu bilgisayarın bilgisini içeriyorsa DNS istemcisine hemen ilgili adresin IP adresini ulaştırır [31].

IP bağlantısız çalışan bir ağ katmanıdır. Oysa bağlantıya yönelik çalışan ATM teknolojisinin yaygın olarak kullanılma şansına erişebilmesi için, internet protokol takımıyla çalışması gerekir. IP yönlendirme protokolleri tipik olarak ATM veya frame Relay’ın bir birleşimi ile çalışır. İnternet servis sağlayıcıları, örneğin ATM veya Frame Relay merkezli yönlendirilen ağları içinde oluşturulur ve bu merkezler etrafında kenar yönlendirmeler kullanılır. ATM üzerinden IP

trafik mühendisliğine (TE) ilişkin IP sistemlerinin bazı sınırlamalarını ortadan kaldırmak için kullanılan bir tekniktir. Şekil xx'deki kaplama modelde, IP altyapı sistemine sanal devreler ile trafik yönetimi yeteneğine sahip (ATM) ikincil bir teknolojiyi tanıtır. Sanal devreler IP yönlendiricilerini birbirine 'noktadan noktaya' (point to point) bağlayarak hizmet verir. Bulut üzerindeki tüm yönlendiriciler bir IP komşulukları oluşturur. Ağda kullanılan her cihazın ATM mesajlaşma yazılımlarına ve etiket değiştirerek gönderme algoritmasını yürütebilecek donanıma sahip olmasını gerektirmektedir. Şekil rr'de ağın merkezinde etiket değiştirme algoritmasını yürüten yüksek hızlı ATM anahtarlar ve kenarlarda yer alan yönlendiriciler ile de yönlendirme işlemi yapılmaktadır.



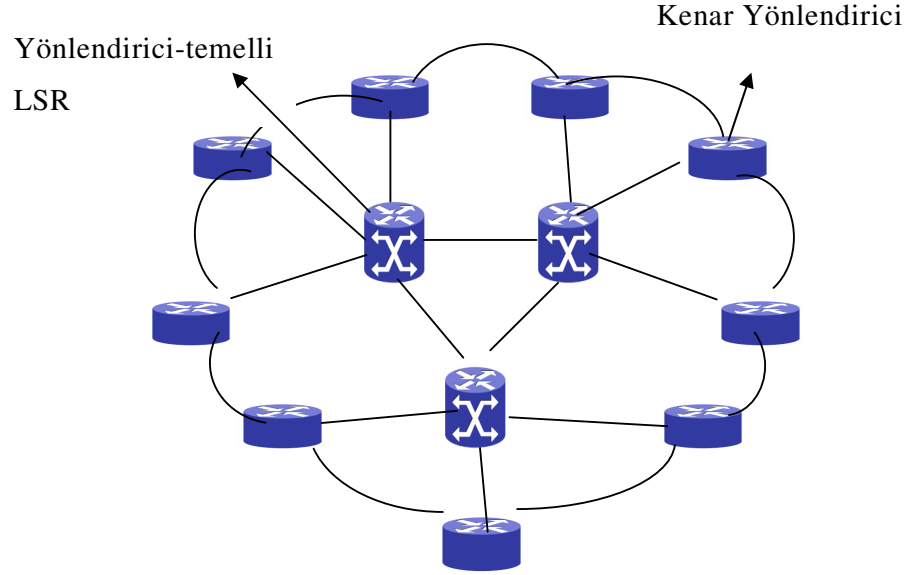
Şekil 3.1. Kaplama (Overlay) Modeli.



Şekil 3.2. ATM Üzerinden VC ile IP Gönderimi.

3.3. Birleştirilmiş Model

Amaç IP ve ATM'nin yönlendirme ve adreslemesini birleştirerek yönlendirmeyi basitleştirmektir. Önce ATM adresi IP adresinin bir bileşeni olabilir. Sonra IP yönlendirici, IP varış adresini ATM varış adresiyle eşleştirir.



Şekil 3.3. Birleştirilmiş Model.

3.4. ATM Üzerinden Çoklu Yayım IP

Bu sistem, MARS (Multicast Adres Resolution Server), IP çoklu yayım adresini, tüm bireysel ATM adresi kümesiyle eşleştiren mekanizmadır. Burada ATM durumunda kaynak, yeni bir hedef adresi eklemek zorundadır. Bir grup, aynı MARS'ı kullanan hostlardan oluşur. Bu gruplar arası iletişim, IP çoklu yayım yönlendirmesi gibi çalışır. Bir gruptaki çoklu yayım bağlantılar için iki tür yaklaşım vardır.

- Direk yaklaşım: Her gönderici çoklu yayım grubunun her üyesi için bir VC kurar.

- Doğrudan yaklaşım: Konak veya host istekleri MARS'a bağlar ya da ayırır.

Mars, bütün kaynaklara ilişkin grup değişikliklerini bildirmek için çok noktalı bir yapıyı korur. Ortak ve serbest iletiler, grup kontrol VC'leri üzerinden yeniden iletilir. Kaynak tarafı MARS'a ATM adreslerinin listesi için bir istekte bulduktan sonra gönderici VC yolunu kurar.

3.5. ATM Üzerinden Çoklu Protokol

ATM'nin evrensel bir iletim yöntemi olabilmesi için var olan ağları ortadan kaldırmadan onlarla beraber çalışmaya izin vermelidir. Bu sistem için adres çözme ve yönlendirme işlemleri sorunlarının giderilmesi gerekir.

3.6. ATM LAN

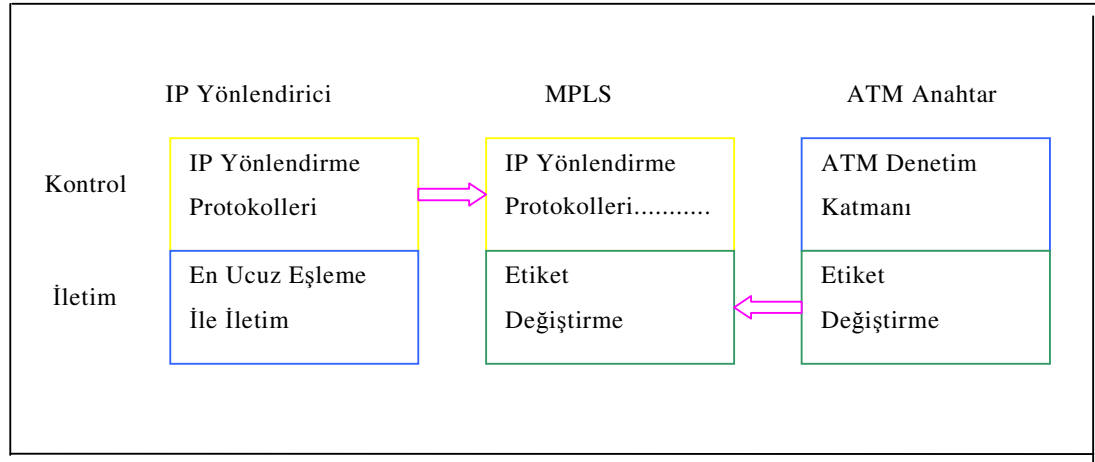
Başlangıçta ATM teknolojisi geniş alan ağlarında (WAN) uygulanmak üzere geliştirildi. Sonra, lokal ve kampus alanlarda da artan ilgi üzerine kullanıldı. Kullanıldığı alanlar:

- Video Uygulamaları, Bilgisayar görüntüleri, Konferanslar,
- Yüksek hızda bilgisayar uygulamaları,
- Yüksek bant genişlikli bağlantılar,
- Hizmet kalitesi,
- Güvenilirlik.

BÖLÜM 4. MPLS

4.1. Tanımı ve Gelişimi

Mpls'nin kökleri tarihsel olarak, Toshiba'nın hücre anahtarlama yönlendirmesi, Ipsilon'un IP anahtarlama, IBM'in Birleştirilmiş yol tabanlı IP anahtarlama (ARIS) ve Cisco'nun etiket anahtarlama dayanmaktadır [24].



Şekil 4.1. MPLS'nin Oluşumu.

MPLS, ATM şebekelerinin IP'nin farkına varmasına ve Internet trafiğini bir IP şebekesi ile aynı ölçekte idare edebilmesine izin veren, IP ve ATM özelliklerinin benzersiz bir evliliğidir. MPLS aynı zamanda IP şebekelerinin sanal devre benzeri yapılar sunmasına da olanak sağlar [32].

Dünya üzerinde World Wide Web (www) yani internetin bir anda geniş bir kullanım alanı bulmasının ardından internet teknolojilerinde önemli ölçüde gelişmeler meydana gelmiştir. İvmesi sürekli artan kullanıcı sayısı, internetin geniş kitlelere ulaşması sağlayan internet altyapısının da aynı ivmeyle artan bir şekilde gelişmesini, hızlanmasını, hizmet kalitesinin ve servis çeşitlerinin

artmasını öngörmektedir. Bundan ötürü gerek çok büyük gerekse küçük çaplı internet servis sağlayıcıları, hem bu hızlı büyümeyi destekleyecek hem de daha güvenilir ve daha farklılaştırılmış (differentiated) hizmetlerin sağlanması yönünde kullanıcılarından gelen istekleri karşılayacak şekilde kendi altyapılarını sürekli yeni durumlara adapte etmek zorunda kalmaktadırlar.

1990'lı senelerin ortalarında birçok internet servis sağlayıcısı, trafik mühendisliği (traffic engineering) uygulamalarına imkan veren ve gerçekten o zamanın şartlarına göre mükemmel sayılabilecek bir performans sağlayan ATM üzerinden IP (IP Over ATM) modeline geçtiler. Üstelik bir çok şirket, internet trafiğini, ATM çekirdek altyapısında iletilen diğer başka servisler ile beraber aktarma yoluna giderek hesaplı bir yöntem bulmuşlardı.

Günümüzde ise internet servislerinin genişlemesi ve fiber alanındaki dalga boyu bölmeleme (WDM – Wavelength Division Multiplexing) tekniklerinde ortaya çıkan yeni teknolojiler, ATM'in alternatifi olarak bir çok servisi aynı şebekeden sağlayabilen bir yapıyı ortaya çıkarmıştır. MPLS (Multiprotocol Label Switching) olarak adlandırılan bu çözüm, paket tabanlı iletişim için daha geniş ölçeklenebilirlik kriterlerine sahip daha basit mekanizmalar önermiştir.

MPLS, 1990'lı yılların ortalarından itibaren ortaya çıkmaya başlayan çok protokollü anahtarlama (multilayer switching) çözümlerine bir standart getirmeye çalışan IETF (Internet Engineering Task Force) çalışmaları sonucunda geliştirilmiştir.

MPLS teknolojisi hali hazırda kullanılmakta olan, standart varış adresine göre düğümden düğüme aktarma yöntemi yerine etiket değiştirerek – aktarma (label swapping & forwarding) yöntemini getirmiştir. Bu ise, paket iletimi işlemlerini sadeleştirdiğinden veri iletimini oldukça hızlandırmakta ve ölçeklenebilirliği arttırmaktadır. Üstelik bu teknoloji yönlendirme (routing) işlemini, aktarma (forwarding) işleminden ayırdığından, aktarma yolunda (forwarding path) hiçbir değişiklik yapmadan, yeni özelleştirilmiş veya değiştirilmiş yönlendirme servisleri uygulanabilir.

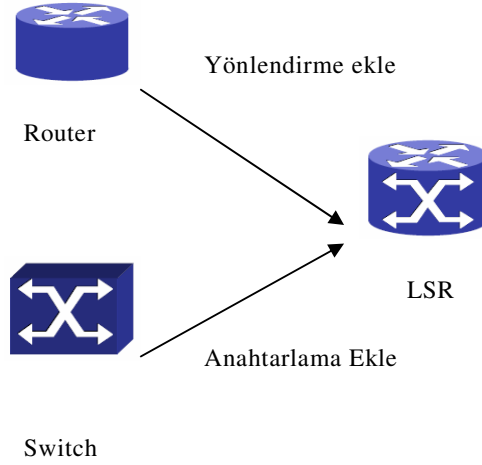
MPLS, ağırlıklı olarak piyasada halen kullanılmakta olan ATM gibi yüksek hızlı “etiket – değiştirerek aktarma” (label - swap & forward) teknolojilerinin, varolan yönlendirmeli ağlarla birarada kullanılmasının gerekliliğinden dolayı ortaya çıkmıştır. Böylelikle IP teknolojisinin datagram yapısı, anahtarların etiket kullanım mekanizmaları ile entegre edilmiş olmaktadır. Bu sayede bağlantı tabanlı bir ağ altyapısının (ATM) üzerinde IP protokolünü yapay olarak kullanmaya çalışmanın getirmiş olduğu sorunların birçoğu çözülmektedir.

MPLS, klasik hup-tan-hup’a işlem yapan metotlardan çok farklıdır. Kısa, sabit uzunlukta ve kolaylıkla iletilebilecek Etiket’leri, IP paket başlıklarının kısa yoldan tanıtımını sağlamaktadır. Bunu mektuplarda posta adreslerinin verililişinde ev, cadde ve şehir isimleri yanına yazılan ZIP kodlarına benzetebiliriz.

4.2. MPLS’de Kullanılan Cihazlar, Fonksiyonlar ve Protokoller

4.2.1. LSR

LSR, MPLS ağında bulunan etiket anahtarlanmış yolların (LSP) kurulumu için kullanılan yüksek hızlı anahtarlama ve yönlendirme cihazıdır. LSR’nin iki önemli fonksiyonu bulunmaktadır: Paketlerin kaynaktan hedefe doğru iletilmesi ve yönlendirme/etiket tablosunun doldurulması. Katman 2’nin performans ve trafik yönetimi yetenekleri ile katman 3’ün yönlendirme özelliklerini birleştiren bir oluşumdur [8], [25].



Şekil 4.2. LSR'nin Oluşumu.

LSR'ler ağın merkezinde bulunurlar ve hazırlanmış anahtarlama tablolarındaki bilgilere uygun olarak etiketleri anahtarlar. Yönlendirici veya anahtar olabilirler.

4.2.2. LER

LER, MPLS ağının kenar bağlantı cihazıdır. LER'ler farklı ağlara bağlanmış çoklu portları destekler. Ve ağ girişinde etiket işaretlendirme protokolünü kullanır. LER, bir MPLS ağın girişinde etiket eklenmesi veya çıkışında etiketlerin çıkarılması amacıyla kullanılırlar [28].

4.2.3. ELRS

Bunlar ağlarda en uç noktalarda bulunurlar ve paketlerde ilk seviye işlemleri ve sınıflandırmalarını başlatırlar. Bunlar yönlendirici veya anahtar olabilirler

4.2.4. FEC

Şebekedeki belirli özelliklere sahip paketlerin oluşturduğu sınıfa verilen addır. Aynı şekilde işlem gören ve aynı şekilde iletilen IP paketleri grubuna Fonksiyonel Denklik Sınıfı (Functional Equivalence Classes – FEC) denir.

Örneğin aynı yol (path) üzerinden giden paketler bir FEC sınıfı oluştururlar. FEC terimi genelde değişik paketlerin, aynı varış adresine göre gruplandırılmasını ifade etmektedir.

FEC sınıflarının kullanılma nedenlerinin başında paketlerin sınıflandırılması yer almaktadır. Her paketin ait olduğu FEC sınıfına göre paketin işlenmesine öncelik verilebilir, bazı FEC'lere diğerlerinden daha fazla öncelik verilmesi gerçekleştirilebilir. Ayrıca bu sınıflar daha verimli servis kalitesinin (QoS) sunulmasını sağlarlar. Örneğin herhangi bir FEC gerçek zamanlı bir ses trafiği olarak işlenebilirken bir diğeri ise çok daha az öncelikli haber grubu sınıfı olarak işlenebilir. Bir paket ile o paketin ait olduğu FEC sınıfı arasındaki bağı, pakete verilen etiket kurar.

4.2.5. LDP

Etiketlerin düğümlere dağıtılmasında sorumlu olan protokoldür. LDP bir işaretleşme protokolüdür. Etiket dağılım protokolü (LDP); bir MPLS ağında LSR'nin yaptığı Etiket/FEC atamalarını veri bağı katmanında kurulan etiket anahtarlanmış yollar (LSP) ve ağ katmanında yönlendirme bilgileri yoluyla diğeri LSR'lere haber vermek için kullandığı prosedürler ve mesajlar kümesidir. LDP, gönderme fonksiyonu yolu ile ihtiyaç duyulan etiket değişiklikleri ve etiket anahtarları arasında eş zamanlı oturumlar kurar. LDP, kontrol bileşeninin en önemli parçasıdır [26].

4.2.6. LSP

MPLS alanı içinde veri transferi başlamadan önce FEC tabanlı paketlerin iletimini sağlamak için iki nokta arasına kurulan yollar, etiket anahtarlanmış yollar (LSP) olarak tanımlanır. LSP Etiket/FEC atamalarını LSR'lere bildirmek için kullanılan sinyal mesajlarının düzenlenmesi ve dağıtılması işlemlerini gerçekleştirir [22].

İki uç birim arasında kurulan virtüel yola verilen genel addır. LSP'ler iki şekilde kurulabilir. Kontrol Sürmeli (Control-driven – hop by hop) ve Açık (Explicit) Yönlendirmeli Kurulum olarak;

Kontrol Sürmeli (Düğüm Düğüm) Kurulumu: Her LSR, 3. katman topoloji veri tabanına bakarak hangi arabirimini kullanacağına karar verir. Daha sonra etiket isteğini komşu düğüme iletir. Bu proses çıkış LER'ine ulaşana kadar sürer.

Açık Yönlendirmeli Kurulumu: Açık Yönlendirmede şebekeye giriş LER'inden şebekeden çıkış LER'ine kadar olan LSR'lerin adresinin oluşturduğu listeyi temsil eder. Tabii ki bu listedeki adresler bir yol oluşturacak şekilde verilmiştir. Açık yönlendirme işlemi iki şekilde yapılır. Sıkı ve Serbest Yönlendirme. Sıkı yönlendirme durumunda sadece LER tarafında önceden belirlenmiş LSR'ler kullanılır. Ayrıca LER tarafından verilen sıraya da uyma zorunluluğu vardır. Serbest açık yönlendirme durumunda gerekli görüldüğü takdirde LER tarafından belirlenmişlere ek olarak başka LSR'ler de kullanılabilir.

4.2.7. Kontrol fonksiyonu

Düğümelerde/yönlendiricilerde bir gönderme tablosunun oluşturulması, bakım ve onarımının yapılmasında kullanılır. Yönlendirme bilgilerini düzenli ve sağlıklı olarak dağıtımında diğer düğümlerin kontrol yapıtaşları ile birlikte çalışır.

Ayrıca bu yapıtaşları gönderme tablolarının yaratılmasında kullanılan düzenli yerel işlemlerin güven altına alınmasını da sağlar. Standart yönlendirme protokolleri olan OSPF, RIP ve BGP (Border Gateway Protocol) lar; kontrol fonksiyonları arasında yönlendirme bilgilerinin değiş-tokuş edilmesini sağlarlar. Bu kontrol bileşenleri bağlantıda hata meydana geldiğinde, bir tepki vermesine karşılık tek tek paketlerin işlemleri ile ilgilenmezler [27].

4.2.8. Gönderme fonksiyonu

Direkt olarak paketlerin gönderilmesinde kullanılır. Yönlendiriciler tarafından bakım ve onarımları yapılan gönderme tablolarındaki bilgileri kullanırlar.

Klasik yönlendiricilerde, çok büyük bir algoritma, gönderme tablosuna yerleştirilmiş paketteki gidilecek adresleri karşılaştırarak en uygun kullanılabilir yolu seçinceye kadar, çalışmasını sürdürür.

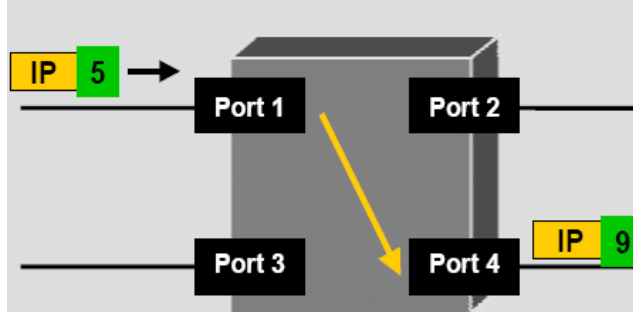
Bu karar-destek işlemler paket kaynağa varıncaya kadar her düğümde tekrarlanır. Buna karşılık LSR (Label Switch Router) larda, ki bunlar ağların uçlarında veya çekirdeğinde bulunabilirler, etiket değiş-tokuş algoritması, paketlerdeki etiketler ve etiket-temelli gönderme tablolarını kullanarak, paket için yeni etiketler ve çıkış arayüzleri elde edilmesini sağlarlar.

4.2.9. Gönderme tabloları

Gönderme bileşenine anahtarlama fonksiyonunu yerine getirmesi aşamasında gerekli desteği sağlayan bilgi topluluğudur. Gönderme tablosu, gelen her paketin gideceği adres ile ilişkide olması gerekir. Böylece paketin bundan sonra gideceği yer için gerekli bilgiyi sağlamış olacaktır [27].

Tablo 4.1. Etiket Gönderme Tablosu.

Bağlantı Tablosu		
Giriş (port,etiket)	Çıkış (port, etiket)	Etiket İşlemi
(1, 2)	(2, 7)	Değişim
(1, 4)	(3, 7)	Değişim
(1, 5)	(4, 9)	Değişim
(2, 3)	(3, 2)	Değişim

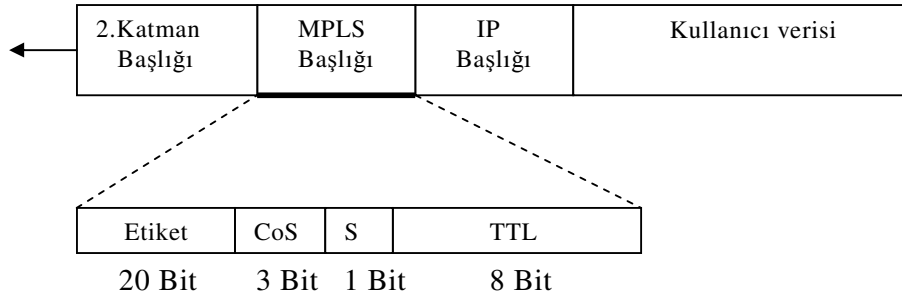


Şekil 4.3. Etiket Değişimi.

4.2.10. Etiket

Etiket, gönderme işlemlerine yardım için kullanılan başlıktır. 4 byte'tan oluşan bir çeşit işaretleme terimidir. Paketin geçmek zorunda olduğu yolu belirler. İletilen paketin başlığında yer alan ve paketin ait olduğu 'eşitlik gönderme sınıfı' bilgisini taşıyan kısa ve sabit uzunlukta bir değerdir.

Paketler, bir etiket veri tabanında gönderilir ve etiket değerleri bağlantıya özeldir [6].



Şekil 4.4. MPLS Genel Etiket Formatı.

4.2.10.1. Etiket anahtarlama

Etiket Anahtarlama klasik yönlendirmeden çok daha etken bir dağıtım sistemidir. Tablo 4.2’de klasik ve etiket anahtarlama yönlendirme sistemlerinin karşılaştırılması verilmektedir.

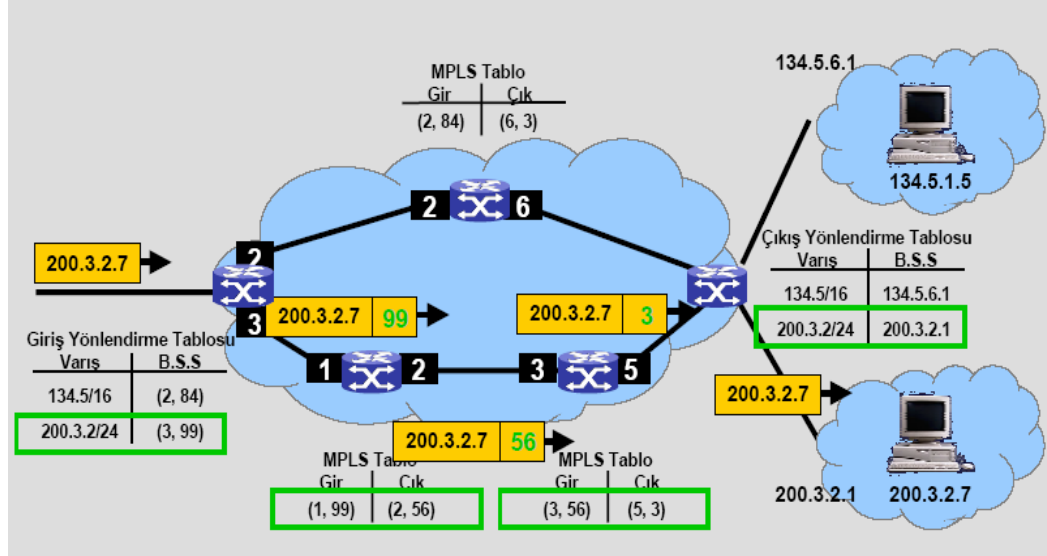
Tablo 4.2. Klasik ve Etiket Anahtarlama Yönlendirme Karşılaştırılması.

	Klasik Yönlendirme	Etiket Anahtarlama
Tam IP Başlık Analizi	Her düğümde kullanılır	Sadece etiket atama aşamasında ağın en ucunda kenar LSR’de uygulanır.
Tekli ve Çoklu Dağıtım	Çoklu karmaşık dağıtım algoritmasına gereksinim vardır	Sadece bir tane gönderme algoritmasına gereksinim vardır
Yönlendirme Kararları	Sadece adres üzerine dayalıdır	QoS veya VPN üyeliği gibi herhangi bir parametrenin numarası kullanılabilir

Anahtarlama işlemi, ağda bulunan bir cihazda, yönlendiricide veya istasyonda bilginin giriş portundan çıkış portuna transferinin/iletiminin tanımlanmasında kullanılır.

4.2.10.2. Etiket anahtarlama gönderme yapısı

Kenar LSR’ler paketlere uygun etiketi yerleştirirler ve bunları bitişik LSR’lere iletirler. Böylece, bu yol izlenerek paketler son noktaya ulaşırlar.



Şekil 4.3. MPLS'de İletim.

ELSR, IP paket başlığı için kısa bir tanıma olan sabit uzunlukta bir etiket üretir. Böylece yol üzerinde birbirini izleyen düğümlerde karmaşık işlemlerin azalmasına neden olurlar. Etiket, ELSR'de başlık işlemleri devam ederken üretilir. Ağ içinde birbirini izleyen düğümler, etiketi gönderme kararları için kullanırlar. Etiketler de her düğümde değişirler. Son olarak, etiketlenmiş paketin etiketi çıkarılır ve gönderme tablosundaki indeks olarak kullanılır. Gelen etiket aracılığı ile giriş indeksi bulunduğu anda, giden etiket çıkarılır ve pakete eklenerek gönderici arayüz aracılığı ile bitişik düğüme gönderilir.

4.2.10.3. Etiket anahtarlama kontrol yapısı

Etiket Anahtarlama Yolu, iletişimin belirli bir seviyede performansının garanti edilebilmesi, şebeke sıkışmasından etkilenmemesi, IP tünellerin oluşturulabilmesi vb. için şebeke işletmecileri tarafından kurulmaktadır.

Yönlendiriciler geleneksel IP anahtarlama sırasında paketin varış yerinin IP'sine göre, yönlendirme tablolarına bakarak, karmaşık bir süreçle nereye ileteceğine karar vermektedir. Etiket temelli anahtarlama ise yönlendiriciye basit bir etiketin içeriğine göre ileteceği yere karar verme inisiyatifi bırakılmaktadır [33].

4.2.11. Noktadan noktaya iletişim

Bir bilgisayar ağında bir tek gönderici ile bir tek alıcı arasında gerçekleştirilen iletişime “Unicast” denir. Bu terim “multicast” teriminin zıt anlamlısı olarak kullanılır. Daha önceleri “Unicast” iletişim yerine “noktadan – noktaya” iletişim (point – to –point communication) kullanılmaktaydı.

4.2.12. Çoklu yayın

Bir bilgisayar ağında bir tek gönderici ile birden fazla alıcı arasında gerçekleştirilen iletişime “Çoklu Yayın (Multicast)” denir. Gazete ya da dergilerin periyodik güncellenmesi bu tarz bir iletişime örnek olarak verilebilir.

Çoklu Yayın (Multicast) ayrıca CDPD Mobil Sayısal Veri Paketi’nin (Cellular Digital Packet Data) bir parçası olan kablosuz veri haberleşmesinde de kullanım alanı bulmaktadır.

4.2.13. RSVP – Kaynak rezervasyon protokolü

İnternetteki kanalların veya yolların (path) video, ses, Konferans ve diğer yüksek band genişliği isteyen mesajların, çoklu yayın (multicast) olarak iletilmesini sağlamak üzere rezerve edilmesini sağlayan bir protokoldür. RSVP, İnternet Tümlşik Servisler (ISS – Internet Integrated Service) modelinin bir parçasıdır. Bu servis modeli elden gelenin en iyisi (best effort) servisi, gerçek zaman servisi (real time service) ve kontrollü bağlantı paylaşmayı (controlled link-sharing) düzenlemektedir.

İnternet üzerinden belirli bir programı isteyen bir kullanıcı, kullandığı yazılımın da yardımı ile internette belirli bir band genişliğini kendine özel olarak rezerve edebilir ve böylelikle alması gereken verileri, normalden daha yüksek hızlarda ve daha güvenilir bir şekilde alabilir. Program başladığında, daha önce yönlendirme önceliği rezervasyonunda bulunan bu kullanıcılara, çoklu yayın

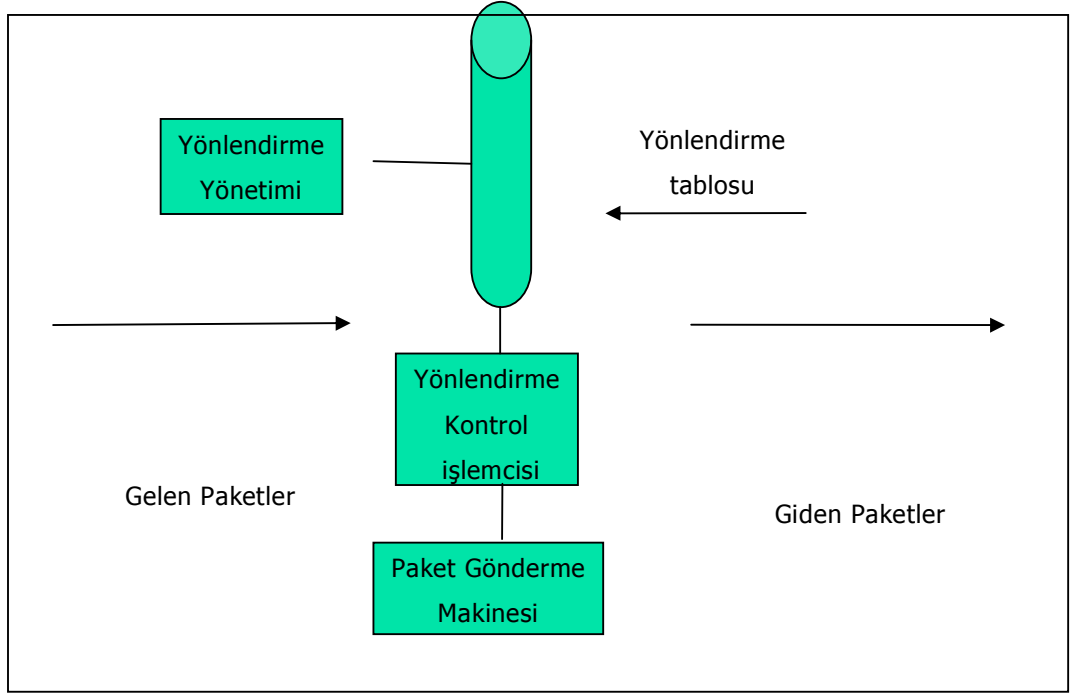
(multicast) yapmaya başlar. RSVP protokolü, noktadan noktaya (unicast) ve çok kaynaktan bir hedefe olan iletim türlerini de destekler.

RSVP paketlerinin büyüklüğü, veri tiplerinin ve nesnelerinin sayısı her pakette farklı olabilir. Bu paketler, RSVP protokolünü desteklemeyen ağ geçitlerinden geçmek zorunda kaldıkları durumlarda ise sanki normal paketlermiş gibi ilgili “tünellerden” gönderilirler.

4.2.14. Yönlendirme

Yönlendirme ağ tarafından paketlerin kendi içinden geçirilip gönderilmesi olayını tarif etmek için kullanılır. Yönlendiriciler, yönlendirme tablolarını oluşturmada yönlendirme protokollerini kullanırlar. RIP (Routing Information Protocol) ve OSPF (Open Shortest Path First) gibi yönlendirme protokolleri her aygıtın kendisinden sonra gelecek ‘yani bitişik hop olacak’, başka bir deyişle kendisinden sonra paketin gönderileceği, diğer aygıtları tanımasını sağlar.

İnternet ağında paketler, kaynak adreslerinden alınıp varış adreslerine kadar yönlendirme işlemine tabi tutularak aktarılırlar. Her yönlendirici kendisine gelen paketin varış adresini ve kendisinin yönlendirme tablosunu inceleyerek paketin iletmesi gereken en yakın yönlendiriciyi belirler. Kısaca yönlendirme işlemi, bir cihazda çalışan yazılım ve bu cihazın belleğinde (genelde RAM’de) saklanan yönlendirme tabloları aracılığı ile gerçekleşen anahtarlama kararlarının verilmesidir. Bu yönlendirme işlemi sırasında genelde baz alınan adres 3. katman adresidir. Günümüzde bu adresler genellikle IP adresi ya da IPX adresi olmaktadır.



Şekil 4.4. Yönlendiricide Oluşan İşlemler.

IP paketlerinin başlıklarında bu paketi IP ağı içerisinde doğru yere iletmeye yarayacak yeteri kadar bilgi bulunmaktadır. Paketlerin iletilmesi geleneksel olarak datagram yönlendirme işlemi gerçekleştirilerek yapılır. Datagram yönlendirme tekniğinde paketler varış adreslerine göre iletilirler. Yani herhangi bir IP paketinin ağ içerisinde izleyeceği yol, her seferinde, paketi ileten yönlendiricinin baktığı paketin başlığındaki varış adresine göre yapılır. IP ağlarında yönlendiricilerin paket iletiminde kullandıkları yöntem düğümden-düğüme (hop-by-hop) yöntemidir. Bu yöntemde paketin ağ içerisinde izleyeceği yol önceden belirlenmemiştir, paket bir yönlendiriciye girdikten sonra ilgili yönlendirici, paketin varış adresini ve kendi yönlendirme tablolarını inceleyerek paketi ileteceği bir sonraki yönlendiriciyi belirler. Böylelikle paket, ağ içerisinde varış adresine doğru iletilir. Her paket ağ içinde varış adresi doğrultusunda ayrı ayrı yönlendirildiğinden ve paketlerin gidecekleri, daha önce belirlenmiş bir yol bulunmadığından tüm ağ “bağlantısız” (connectionless) olarak kabul edilmektedir.

Her yönlendirici, fiziksel olarak doğrudan bağlı olduğu komşu yönlendiriciler ile veri alış-verişi yaparak bir komşuluk ilişkisi kurar.

Bir paketin doğru bir şekilde hedefine iletilebilmesi için yönlendiricilerin, paketin hedef adresi yolundaki bir sonraki yönlendiriciyi belirleyebilmeleri gerekmektedir. “İlk Önce En Kısa Yolu Seç” (OSPF – Open Shortest Path First) gibi bir takım yönlendirme protokolleri yönlendiricilerin buldukları ağın topolojisini öğrenmesine imkan verir. Bu yönlendirme protokollerinden sağlanan bilgiler ışığında her yönlendirici, bilinen her varış adresine uygun bir sonraki komşu yönlendiriciyi tutan yönlendirme tabloları hazırlar. Bu tablolarda tutulan IP adresleri tam adresler olmayıp sadece ilgili alt ağı adresleyen IP adresinin baş kısmıdır, önekidir (prefix). Yönlendirme tablolarının oluşturulması ile paketlerin bu tablolar yardımıyla iletilmesi her ne kadar birbiriyle yakından ilişkili ise de bunlar iki ayrı fonksiyonu yerine getirirler. Daha önceleri her iki fonksiyon da tamamen yazılımla yapılırken günümüzde aktarma (forwarding) fonksiyonları daha çok donanım tarafından gerçekleştirilmektedir ancak yönlendirme/kontrol fonksiyonları ise halen yazılım ile yapılmaktadır.

4.2.15. Anahtarlama

Anahtarlama deyimi ile, herhangi bir aygıtta ikinci katman temel alınarak (örneğin ATM VPI/VCI gibi) verinin giriş kapısından girdikten sonra çıkış kapısına yönlendirilmesi, ifade edilmektedir.

Anahtarlama işlemi yönlendirmeden farklı olarak çok daha basit, çoğunlukla donanım tarafından, uygulamaya özel tüm devrelerle (ASIC – Application Specific Integrated Circuit) gerçekleştirilen anahtarlama kararlarıdır. Çoğu kez bu karar verme işleminde kullanılan adres, 2. katman adresi yani 48 bitlik IEEE MAC adresi olmaktadır.

4.2.16. Anahtarlama ve yönlendirmenin birleştirilmesi

Büyük ölçekli ağların çekirdek altyapısında anahtarlama temelli teknolojiler geniş çapta kullanılırken bu ağların uç noktalarında ise yönlendiricilerin kullanılması daha yaygındır. Bu iki apayrı teknolojinin bir arada kullanılmasının gereği olarak, IP teknolojisinin çekirdek teknolojisi olan ATM ya da Frame Relay teknolojisinin üstünde kullanılmasıyla (overlay) karma ağlar (overlaid networks) ortaya çıkmıştır.

Bu karma model (overlay model), anahtarlama teknolojisinin bir takım faydalarını tüm ağ çapına yaymaktadır. Örneğin böyle bir ağda yönlendiriciler arasındaki yollar anahtarlardan geçtiğinden ve bu anahtarlar da iletişim için bağlantı kurulmasına ihtiyaç duyduklarından, ağın performansının daha kolay ve daha iyi öngörülebilmesini ve ağın daha kolay yönetilebilmesini sağlar.

Yönlendiriciler yönlendirme protokolleri vasıtasıyla tablolarını oluştururlar. Bu tablolar, paketin gönderildiği yönlendiricide, paketin ulaşacağı adrese uygun olarak bir sonraki düğümün belirlenmesini sağlarlar [2]. [5].

4.2.17. Tünel

Kaynak ve varış konaklarının aynı tip ağda bulunduğu fakat bu iki konak arasında farklı bir başka ağın bulunduğu durumdur. Bu sorunun çözümüne “Tünelleme” (Tunneling) adı verilmektedir.

WAN ağı, bizim bankamız açısından iki çok protokollü yönlendirici arasında uzanan büyük bir tünel olarak görülebilir. IP paketi bu tünelin içinde bir uçtan diğerine hareket eder. WAN ağı içerisindeki hiçbir şey ne IP paketini ne de konakları ilgilendirmez. Sadece, çok protokollü yönlendiriciler IP paketlerini ve WAN paketlerini yorumlayabilme yeteneğine sahip olmalıdır. Bir çok protokollü yönlendiriciden diğer çok protokollü yönlendiriciye giden mesafe olduğu gibi seri bağlanmış bir hat gibi davranmaktadır.

4.2.18. IP Over NBMA

ATM ve Frame Relay gibi yayım yapmadan çoklu erişim (non-broadcast multiple access - NBMA) sağlayabilen ağlar “bağlantı tabanlı” ağlardır. Yani aynı telefon çağrılarında olduğu gibi, gönderici tarafla alıcı taraf arasındaki veri alış-verişi ancak bir sanal bağlantı (VC) kurulduktan sonra gerçekleştirilebilmektedir. Bu teknolojiler (ATM ve Frame Relay gibi teknolojiler) veri parçalarını gönderirken etiket değiştirme yöntemini kullanırlar. Bu nedenden ötürü de aktarım hızları çok yüksektir. Bu tarz anahtarlama cihazları, bant genişliği kapasitesini arttırmak için genellikle tipik yönlendiricilerin arka planında çalışırlar. Bu yöntemle birçok ağ yöneticisi, ağlarının omurgasında NBMA ağları kurarak yüksek bant genişlikleri elde etmişlerdir. Omurgada böyle bir yapı kurmak için yaygın iki yaklaşım mevcuttur.

4.2.18.1. IETF yaklaşımı

Veri bağı katmanı (data-link layer) açısından bakıldığında NBMA ağları noktadan – noktaya ağlardan ya da iletim ortamının paylaşıldığı ağlardan farklıdır çünkü her ne kadar birden fazla düğüme erişilebiliyorsa da veri bağı katmanında yayım yapma imkanı bulunmamaktadır. IETF, birkaç nedenden ötürü NBMA için klasik IP’yi seçmiştir. Bu “klasik” teriminin kullanılma nedeni, ATM ağına bağlanan konakların bağlantıyı, sanki bir mantıksal IP alt ağ oluşturan bir paylaşılan tipte iletişim ortamı olarak görürler. Bu konaklar arasındaki ilişki sadece mantıksaldır çünkü bu konaklar kendilerine atanmış bir takım ortak özelliklere sahiptir: bir LIS’teki tüm konakların ve yönlendiricilerin aynı IP altağ adresine sahip olması, IP paketleri için aynı LLC/SNAP kabuklama yönteminin kullanılması, tüm LIS üyeleri arasında tek bir MTU’nun (maximum transmission unit) bulunması, bir mantıksal IP alt ağındaki (LIS) IP adresleri ile ATM adresleri arasındaki ilişkiyi çözmek için aynı adres çözme mekanizmasının kullanılması gibi. Bu modelin diğer bir adı da “overlay model”dir. ATM ağı kendi adresleme ve yönlendirme yöntemlerini IP ağından tamamen bağımsız olarak gerçeklemektedir. Aynı ATM ağı üzerinde kurulan

birden fazla LIS olabilir. Bir mantıksal IP alt ağında (LIS) yer alan tüm konaklar birbirleri ile komşuluk kurmak için kalıcı sanal devreler (PVC – Permanent Virtual Circuit) ya da anahtarlamalı sanal devreler (SVC – Switched Virtual Circuit) kurarlar. Böylelikle bir LIS’de yer alan tüm konaklar arasında bir “mesh connectivity” sağlanmış olur.

4.2.18.2. ATM forum yaklaşımı

ATM Forum da IETF’unkine benzer bir yaklaşım getirmektedir. Bununla birlikte birkaç yönden IETF’un yaklaşımı ile arasında farklılıklar vardır. Bu yaklaşım daha çok kampüs ağları ve kurumsal ağlar için düşünölmüştür. ATM Forum’un daha önceki çalışmaları LAN Benzetimi (LAN Emulation – LANE) adını almaktaydı. Bu yaklaşımda ATM ağına bağlanan konak arabirimi, üst katmanlar tarafından sanki klasik bir paylaşılan iletim ortamının (shared media) arabirimiymiş gibi görünmektedir. Bu anlamda, üst katmanlarda bir değişiklik yapmaya ihtiyaç yoktur, bu katmanlar normal çalışma şekillerine devam edebilmektedirler. ATM Forum’un bu geriye dönük uyumluluk sağlama isteğinin altındaki asıl neden, eski cihazlarla kurulmuş ve eski yazılımların kullanılmaya devam edildiği kampüsler ya da kurumsal ağlar için ATM teknolojisini daha cazip kılmaktır.

Daha sonraları duyurulan LANE sürüm 2’de sanal devre (VC) paylaşılması için mantıksal bağlantı kontrolü (Logical Link Control LLC) ve diğer Servis Kalitesi QoS destekleri eklenmiş, çok noktaya yayım (multicast) desteği ve ATM üzerinden çoklu protokol desteği (multiprotocol over ATM – MPOA) geliştirilmiştir.

4.3. Geleceğin Bilgisayar Ağlarındaki Beklentileri

Bugünün bilgisayar ağlarında, klasik Internet uygulaması içinde çok geniş hacimli verilerin kaliteli bir servis şemsiyesi altında iletilmesi istenmektedir. Bu şemsiyenin aynı zamanda ses, müzik ve video iletimini de kapsaması arzulanmaktadır.

Çağdaş bilgisayar ağları Etkinlik, Ölçeklenebilirlik, Gelişebilirlik, Tümleşme, Dayanıklılık ve Uyumluluk konularında büyük bir mücadele içindedir.

4.3.1. Etkinlik

Etiket anahtarlama, klasik yönlendirmede hiç bulunmayan veya etken olmayan yeni fonksiyonlar sunmaktadır. Örneğin yönlendirme anında seçilen özel bir yol her zaman en kısa yol olmayabilir. Seçilen yol, gidilecek adresten daha ziyade ağ'ın genel davranışı dikkate alınarak belirlenir. Ancak bu uygulamada servis kalitesi (Quality of Service-QoS) devreye girmemektedir ki, bu çok önemli bir eksikliklerdir.

4.3.2. Ölçeklenebilirlik

Geleceğin bilgisayar ağlarının genişlik yönünden sanal olarak sınırsız olması beklenmektedir. Bilgisayar ağları büyüdükçe, yönlendirme bilgileri de bununla bağımlı olarak artmakta ve yalnızca bu durum dahi yönlendiricilerin yüklerini taşıyamaz hale gelmelerine neden olmaktadır. Halen bu sorunun üstesinden gelmek üzere uygulanan yol, IP trafiğini ATM veya Frame-Relay üzerinden taşıyarak çözüme şeklinde olmaktadır. Bu durumda MPLS ikinci katman aygıtlarına (örneğin ATM anahtarları gibi) gereksinim duymaktadır. MPLS ile gelen trafik mühendisliği, ağ'da ölçeklenebilirliği de sağlamaktadır.

4.3.3. Genişleyebilirlik

En büyük mücadele, var olan ana bilgisayar ağlarında herhangi bir bozulmaya neden olmadan değişme ve büyümeyi sağlamaktır. Ağların çekirdekleri anahtarlama yeteneğine kavuşurken, en büyük gelişme uç noktalardaki aygıtlarda yaşanmaktadır. Endüstri standart modelleri içinde taşıyıcı sınıf aygıtlarının yeni IP yeteneği ile çalışma temel fikri oluşturmaktadır.

4.3.4. TmleŒme

IP telefonu için uygulamaların bir araya getirilmesi, sistem tmleŒmesi için çok güzel bir örnektir. Ses, veri ve görüntünün bir IP, Ethernet ya da optik ağ üzerinde bir araya getirilmesine ağ tmleŒimi adı verilmiŒtir. TmleŒtirme üzerinde alıŒan BirleŒtirme peŒinde olan kurumlar IP protokolu programı üzerinde yođunlaŒmıŒtır.

4.3.5. Dayanıklılık

Œu anda kullanılmakta olan telefon Œebekesinin (PSTN – Public Switched Telephone Network) en önemli özelliği güvenilir olmasıdır. Bu Œebekeyi kullanan tüm aboneler ahizeyi kaldırdıklarında bir çevir sesi duyacaklarından emindirler. Oysa günümüzde kullanılan veri haberleŒme ağlarının aynı seviyede bir performansı yakalayabilmesi için çok geniŒ çapta iyileŒtirmeler gerekmektedir.

4.3.6. Uyumluluk

Servis sağlayıcıları genellikle özel servis hizmeti isteklerini karŒılamak üzere zelleŒtirilmiŒ ağları devreye sokarak mŒterilerine yeni bir takım özellikler sunarlar. Maliyetleri dŒrme, toplam performansı arttırma ve halen verilmekte olan servislere ek olarak yeni yeni hizmet türlerinin kullanıcılara sunulması için ortaya çıkan rekabet ortamı mevcuttur. Ancak ortak olan fikirlerden birisi de paket tabanlı ağların, özellikle de IP ağlarının, uçtan-uca haberleŒme konusunda, yukarıda değinilen özellikleri sağlamak bakımından en uygun yöntem olduğudur. Fakat IP ağları genelde elden gelenin en iyisi (best – effort) mekanizmasının yeterli olduğu veri haberleŒmesi durumlarda kullanılmaktadır. Ses, görüntü gibi çok daha farklı verilerin iletilmesinde IP ağlarında IP paketlerinin yönlendirilmesi ve taŒınması alanlarında büyük ölçekli deđiŒikliklere ihtiyaç duyulmaktadır.

4.4. Çok Protokollü Anahtarlama Teknolojisinin Temelleri

4.4.1. Yönlendiricilerde temel yapı blokları

İnternette yeni yeni kullanılmaya başlanan çok protokollü anahtarlama (multilayer switching) teknolojisinin incelenmesine başlamadan önce piyasada bulunan tüm çözümlerinde ve MPLS teknolojisinde ortak olan temel yapı bloklarının incelenmesi yerinde olacaktır. Bu ortak yapı blokları şunlardır:

- Kontrol ve Aktarma (Forward) Bileşenleri,
- Etiket – Değiştirerek ve Aktarma Algoritmaları.

4.4.1.1. Kontrol ve aktarma blokları

MPLS teknolojisinin de içinde olduğu tüm çok protokollü anahtarlama çözümleri, fonksiyon olarak ayrı işleri gören iki komponentin birleşmesinden oluşmuştur: kontrol bileşeni ve aktarma (forwarding) bileşeni.

Kontrol bileşeni, yönlendirme tablosunu oluşturmak ve güncellemek için diğer yönlendiricilerle sürekli bilgi alış-verişi yapan standart yönlendirme protokollerini (OSPF, IS-IS ve BGP-4) kullanır. Paket geldiğinde aktarma (forwarding) bileşeni, kontrol bileşeni tarafından hazırlanan yönlendirme tablosunu arar ve her paket için bir yönlendirme kararı verir. Aktarım (forwarding) bileşeni, özellikle gelen paketin başlığındaki bilgiyi inceler, yönlendirme tablosunda uygun bir kayıt arar ve paketi geldiği arabirimden belirlediği çıkış arabirimine kendi anahtarlama mekanizması üzerinden iletir.

Kontrol bileşeni ile aktarma (forwarding) bileşeninin birbirlerinden tamamıyla ayrılması sonucunda her bir bileşen diğerinden bağımsız olarak tasarlanabilir ve geliştirilebilir hale gelmiştir. Yapılması gereken tek şey paket yönlendirme tablosunun güncellenmesi için kontrol bileşeninin aktarma (forwarding) bileşeni ile sürekli haberleşmesini sağlamaktır.

4.4.1.2. Etiket değiştirerek aktarma algoritmaları

Tüm çok katmanlı anahtarlama çözümlerinin ve MPLS teknolojisinin aktarma (forwarding) bileşeni “etiket değiştirerek aktarma” (label-swapping forwarding) algoritmasını kullanmaktadır. Bu algoritma ATM ve Frame Relay anahtarlarında kullanılan aktarma (forwarding) algoritmasıyla aynıdır. Bu algoritmada en önemli nokta mesajlaşma (signaling) ve etiket dağıtımıdır (label distribution).

Etiket, iletilen paketin başlığında yer alan ve paketin hangi Fonksiyonel Denklik Sınıfına (FEC’e) ait olduğu bilgisini taşıyan sabit uzunluklu kısa bir değerdir. Bu etiket ATM’de kullanılan VPI/VCI (Virtual Path ID/Virtual Circuit Identifier) veya Frame Relay teknolojisinde kullanılan DLCI (Data Link Connection Identifier) bağlantı belirteçleri ile aynı görevi üstlenmektedir, çünkü etiket değerleri bağlantıya özeldir ve yöreseldir (local). Fonksiyonel Denklik Sınıfı daha önce de belirtildiği üzere ağ üzerinde, son varış adresleri ayrı olsa dahi aynı yoldan (path) iletilen paketler kümesidir. Örnek olarak klasik en fazla uyan (longest match) IP yönlendirmesinde, varış adresleri, belirli bir IP adresinin başlangıcına uyan, noktadan-noktaya giden (unicast) paketler bir FEC oluşturmaktadırlar.

“Etiket-değiştirerek aktarma” algoritması her pakete, ağa girdiği noktadaki giriş yönlendiricisi tarafından bir ilk etiket atanmasını gerektirir.

Etiket anahtarlama bir yol (LSP) fonksiyonel olarak sanal devrelere (Virtual Circuit) benzer çünkü belirli bir FEC’e dahil olan tüm paketlerin ağ içinde giriş yönlendiricisinden çıkış yönlendiricisine doğru gidebileceği bir yol tanımlar. LSP üzerindeki ilk etiket anahtarı (label switch) “giriş etiket anahtarı” (ingress label switch) olarak adlandırılır. Aynı şekilde LSP üzerindeki son etiket anahtarı ise “çıkış etiket anahtarı” (egress label switch) olarak adlandırılır.

Çekirdek ağ içerisindeki etiket anahtarları (label switches) paketlerin ağ katmanı başlıklarını es geçer, yalnızca etiket değiştirerek paketleri aktarırlar.

Bir anahtara herhangi bir etiketli paket geldiği zaman aktarma, (forwarding) bileşeni paketin geldiği port numarasını ve paketin etiketini baz alarak kendi aktarma tablosunda (forwarding table) tam uyumlu satırı arar. Uygun bir kayıt bulunduğu zaman aktarım bileşeni tablodan çıkış için kullanılacak olan etiket değerini, çıkış port numarasını ve diğer düğümün (next-hop) adresini alır. Daha sonra aktarma bileşeni, gelen etiketi yeni tablodan aldığı etiketle değiştirir ve LSP üzerindeki bir sonraki düğüme iletmek üzere çıkış arabirimine gönderir.

Çıkış etiket anahtarına bir etiketlenmiş paket ulaştığı zaman, iletim bileşeni kendi iletim tablosunu inceler. Eğer bulunduğu bir sonraki düğüm bir etiket anahtarı değilse, çıkış etiket anahtarı paketin etiketini gözardı ederek paketi geleneksel en fazla uyan (longest-match) IP iletim mekanizması ile iletir.

Etiket değiştirip iletme işlemi, geleneksel düğümden düğüme (hop by hop) ağ katmanı yönlendirmesi ile kıyaslandığı zaman bir çok avantaja sahiptir:

- Paketlerin değişik FEC'lere atanabilmesi işlemi servis sağlayıcılara çok büyük bir esneklik sağlamıştır. Örneğin klasik IP yönlendirmesine benzer olarak giriş etiket anahtarı, paketleri varış adreslerine göre fonksiyonel denklik sınıflarına (FEC) sokabilir. İlave olarak paketler çok değişik kriterlere göre, çok değişik isteklere göre FEC'lere atanabilirler: sadece paketin kaynak adresine göre, paketleri gönderen - alan uygulama tipine göre, etiket anahtarlama ağına giriş noktasına göre, etiket anahtarlama ağından çıkış noktasına göre, paketin başlığında taşınan servis sınıfı CoS (Class of Service) alanına göre veya bunların herhangi bir kombinasyonuna göre vb.

- Servis sağlayıcı firmalar özel amaçlı uygulamaları desteklemek için özel olarak belirlenmiş etiket anahtarlama yollar (LSP) kurabilirler. Bu yollar, (LSP'ler) düğüm sayısını en aza indirecek şekilde, bazı bant genişliklerini kesin olarak sağlayacak şekilde, zorunlu bazı performans gereksinimlerini verecek şekilde, potansiyel yığılma düğümlerini kullanmayacak şekilde, paketleri IGP tarafından belirlenen (default) yoldan başka bir yol üzerinden geçirecek şekilde

ya da paket trafiği ağdaki belirli bazı dđđümlerden geçecek şekilde ve benzeri birçok kriteri sağlayacak üzere tasarlanabilirler.

- Etiket değiştirip aktarma algoritmasının en belirgin ve önemli yararı ise herhangi bir tipten kullanıcı trafiğini alıp, bunu bir FEC'e atayıp bu FEC'i de bu sınıfın gereksinimlerini karşılayacak şekilde özel olarak tasarlanmış olan bir etiket anahtarlama yolu (LSP'ye) bağlayabilme yeteneğidir. Etiket değiştirerek aktarma algoritmasını kullanan yeni teknolojilerin piyasaya çıkması ile beraber internet servis sağlayıcıları kendi ağları üzerinden akan trafik üzerinde kesin bir kontrol sağlayabilmişlerdir. Bu daha önce görülmemiş seviyede kontrol yeteneği, daha verimli ve performansı önceden daha iyi tahmin edilebilir bir ağ kullanımını mümkün kılmıştır.

4.4.2. Etiket dağıtımı ve paketlerin iletimi

MPLS ağında bulunana etiket anahtarlama yönlendiriciler, (LSR) basitliği ve hızı daha fazla olan veri bağı katmanı aktarmasını (link level forwarding) kullanırlar. Normal ağ katmanı aktarımı ise paketleri iletmek için büyük paket başlıklarının incelenmesini ve "en fazla uyan" (longest match) algoritmasının yürütölerek en uygun dđđümün bulunmasını gerektirir. Ancak etiket - değiştirerek aktarma paket iletimi çok daha basit olan etiket eşleştirmesine dayanmaktadır. Bu ise paketlerin çok daha hızlı ve basit bir şekilde iletilmesini sağlar.

Ağ katmanı yönlendirme protokolü, paketlerin iletim kararlarını almak üzere kullanacağı bilgileri sık kullanılan OSPF, BGP gibi yönlendirme protokollerinden sağlar. Bu yönlendirme bilgileri, tüm aktarım uzayını (forwarding space) parçalara böler ve her parçaya da daha önce değinilen Fonksiyonel Denklik Sınıfı (FEC) adı verilir. Aynı yolu izleyen ya da belirli bir FEC'e ait olan paket kümelerine "akış" (stream) adı verilir ve aynı şekilde iletilirler. Her FEC'e ise kısa, sabit uzunluklu, lokal olarak anlamlı belirleyiciler, etiketler atanır. Bir paket ya veri bağı katmanının başlığında ya da ağ katmanının başlığında uygun bir yere etiket değeri yerleştirilerek etiketlenir.

Eğer her iki katmanda da etiket değerinin yazılabileceği bir alan bulunmuyorsa pakete bu işe özel bir başlık yerleştirilir.

Yönlendirme protokollerinden elde edilen bilgiler, etiketleri MPLS eşleri (MPLS peers) arasında atamak ve dağıtmak için kullanılır. Yaygın olarak bir MPLS düğümü, herhangi bir akış için bir sonraki düğüm olan yönlendiriciden “giden” etiket atamalarını alır. Kendisi ise “gelen” paketler için etiket değeri tahsis eder ve bunları belirli bir akış için kendisinden önce gelen düğümlere dağıtır. Bu etiketler tüm ağ boyunca, her MPLS düğümü giriş etiketine karşı bir çıkış etiketi eşleyinceye dek iletilir. Bu işlem sonucunda birbirini peşisıra takip eden etiketlerin oluşturduğu yol “etiket anahtarlamalı yol” (label switched path – LSP) olarak adlandırılır.

Noktadan - noktaya (Unicast) aktarım için etiket dağıtım Etiket Dağıtım Protokolü (Label Distribution Protocol – LDP) ile yapılmaktadır. MPLS komşuları LDP'nin dağıtım ve etiketi geri çekme (withdrawal) prosedürlerini değiş tokuş etmek için bir LDP komşuluğu oturumu (LDP peering session) oluştururlar. LDP protokolü ise iki tür etiket dağıtım şeklini desteklemektedir: bağımsız (independent) ve düzenli (ordered). Bağımsız etiket dağıtım protokolünde her düğüm, herhangi bir “akış” (stream) algıladığı zaman, herhangi bir anda bu akışa atadığı etiketi dağıtabilmektedir. Düzenli etiket dağıtım protokolünde ise belirli bir akış için “çıkış” (egress) olan düğüm tarafından bu akışa ait etiket dağıtım başlatılır. Yani herhangi bir düğümün kendi “giriş” etiketini diğerlerine dağıtmaya başlayabilmesi için ya bu düğümün, ilgili akışın çıkış düğümü olması gerekir ya da bu akışa ait bir “çıkış” etiketine sahip olması gerekmektedir. Düzenli etiket dağıtım protokolü, etiket – akış eşleştirilmelerinin daha tutarlı bir şekilde yapılmasını garanti eder ve etiketlenmemiş paketlerin sonraki düğümlere iletilmemesi olasılığını artırır.

MPLS içinde etiket tahsisleri akışın yönünde bir sonraki, aşağı-akış, (downstream) düğüm tarafından yapılmaktadır. Etiket tahsisinde de etiket dağıtımındaki gibi iki yöntem vardır: aşağı-akış (downstream) ve istek-üzerine-aşağı-akış (downstream-on-demand). Aşağı-akış (downstream) etiket tahsisi

yönteminde akış yönünde bir sonraki düğüm tarafından etiket tahsisi yapılır ve bu etiket değerleri komşu düğümlere, komşu LSR'a, dağıtılır. İstek-üzerine-aşağı-akış etiket tahsisi yönteminde ise akış yönünün yukarısındaki bir düğüm (LSR) tarafından akış yönünün aşağısındaki bir düğümden o akışa ait etiket atamasının yapılması özellikle istenebilir. Bu yöntem, etiket anahtarlamalı yolları (LSP) birleştirilemenin (merging) mümkün olmadığı ATM ağlarında çok kullanışlıdır.

Etiket ataması ve dağıtımı konusunda başka bir noktada belirli bir anda kullanılmayacak olan etiketlerin saklanıp saklanmayacağı konusudur. Bir LSR Ru düğümü, Rd düğümünden belirli bir FEC'ine ait bir etiket ataması bilgisi almış olsun. Ancak Rd düğümü, bu akış açısından Ru'nun bir sonraki düğümü (downstream next hop) olmasın. Bu durumda LSR Ru'nun yapabileceği iki seçenek vardır; ya bu tarz atama bilgilerini gözardı edecektir ya da bu bilgileri ileride kullanmak üzere saklayacaktır. Eğer LSR bu bilgiyi saklarsa, ileride herhangi bir anda Rd düğümü bu akış için Ru'nun sonraki düğümü haline geçerse anında sakladığı bu bilgiyi kullanarak iletme başlayabilir. Eğer LSR Ru bu bilgiyi saklamayıp gözardı ederse ve daha sonraki bir anda Rd düğümü akış için sonraki düğüm olursa, saklamadığı bu etiket ataması bilgisini tekrar elde etmek zorunda kalacaktır.

Eğer LSR "Gereksiz Etiket Bilgilerini Saklama Modu"nu (Liberal Label Retention Mode) destekliyorsa bu tarz o anda kullanmadığı etiket atamaları bilgilerini saklar.

Eğer LSR "Gereksiz Etiket Bilgilerini Atma Modu"nda (Conservative Liberal Retention Mode) çalışıyorsa o anda kullanamayacağı etiket atamaları bilgilerini gözardı eder.

"Gereksiz Etiket Bilgilerini Saklama Modu" yönlendirmede meydana gelecek değişikliklere çok daha çabuk adapte olmayı sağlar. "Gereksiz Etiket Atamalarını Atma Modu" ise LSR cihazının çok daha az tablo ile işlem yapmasını sağlayarak işlem yükünü hafifletir.

4.4.3. Etiket verme kriterleri

MPLS teknolojisinin en büyük özelliklerinden bir tanesi de bir ya da daha fazla akışa bir etiket değeri (ya da etiket anahtarlama yolu – LSP) atanabilmesidir. Bu akış çok yoğun bir veri iletimi de gerektirebilir, nispeten daha az bir trafik de gerektirebilir. Etiket paylaşımı, kaynakların dikkatli kullanımını sağlayarak anahtarlamanın faydalarından en yüksek oranda yararlanmanın isteğinden dolayı ortaya çıkmıştır. Etiket verme kriterleri çok çeşitli olabilmektedir;

IP Öneğine (Prefix) Göre: Bu kritere göre etiketler varış adresinin öneğine (prefix) göre verilir. Bu uygulamanın iyi tarafı, “Gereksiz Etiket Bilgilerini Saklama Modu” (Liberal Label Retention Mode) ile birlikte değerlendirildiği zaman, etiket atamalarının sadece bir kez ya düğüm eşleşmeleri aşamasında (peering phase) ya da bir adres öneki öğrenildiği zaman yapılmasıdır. Bu yöntem LDP mesajlaşmalarını minimum seviyeye indirmektedir. Ancak bu tarz bir etiket verme kriteri, düşük etiket uzayına sahip etiket anahtarlama yönlendiricilerinden (LSR) oluşmuş büyük ağlar için ölçeklenebilirlik (scalability) sorunları doğurmaktadır.

Çıkış (Egress) Yönlendiricisine Göre: Bu yöntem, MPLS ağını aynı yönlendiriciden terk eden akışların ortak bir etiketi yani ortak bir etiket anahtarlama yolu (LSP) paylaşması anlamına gelmektedir. Herhangi bir LSR’ın, hangi akışlar için çıkış yönlendiricisi olduğu bilgisi, (BGP açısından) sonraki düğümünün gönderdiği BGP güncelleme mesajından veya OSPF yayımının içindeki yönlendirici numarasından (OSPF Router ID) anlaşılabilir.

Uygulama Akışına (Application Flow) Göre: Bu yöntemde uygulama akışı kendi yolunu belirler. Bu, bütün kriterler içerisinde en az ölçeklenebilirliğe sahip olan kriterdir. Bu yöntemin avantajı ise uçtan-uca anahtarlama (end-to-end switching) sağlamasıdır.

4.4.3.1. Veri yönlendirmeli akış belirleme modeli

Bu modelde akışlara etiket atamaları, kullanıcı paketleri gelmeye başladığı zaman yapılır. Akış ise “aynı kaynak ve varış adreslerine, TCP veya UDP port numaralarına sahip peşisıra gelen paketler topluluğu” olarak tanımlanmaktadır. Bir çok protokollü anahtar (multilayer switch,) bir trafik akışındaki ilk paket kendisine geldiği zaman bu akışa bir etiket ataması yapabilir veya bu akışa ait belirli bir sayıda paketin gelmesini bekleyip ancak bundan sonra bu atamayı gerçekleştirebilir. Belirli bir sayıda paket beklemenin avantajı ise akışın, etiket atamanın ve dağıtımının getireceği fazladan iş yüküne değecek kadar uzun olduğunu garantilemektir.

4.4.3.2. Denetim mesajları ile akış belirleme modeli

Etiket atamaları bu modelde yönlendiriciye kontrol işaretleri geldiği zaman yapılmaktadır. Bu atamalar yönlendirme protokolü çerçevesinde alınan mesajların (örneğin RSVP mesajları gibi) normal olarak işlenmesi sonucunda yapılabilir ya da statik konfigürasyon sonucu yapılabilir. Bu modeli kullanan ürünler Tag Switching (Cisco Systems), IP Navigator (Ascend/Lucent) ve ARIS (IBM)'dir.

4.5. MPLS Teknolojisinin Gelişimi

4.5.1. IP anahtarlamanın ortaya çıkışı

Çok protokollü anahtarlama terimi 2. katmanda yapılan anahtarlama ile 3. katmanda gerçekleşen yönlendirme işlerinin entegre edilmesi anlamına gelmektedir. Günümüzde birçok internet servis sağlayıcı (ISS) altyapısı, 2. katmanda gerçekleşen anahtarlama teknolojisinden (ATM, Frame Relay vb.) bağımsız olarak, bu teknolojilerin üzerinden IP yönlendirmesi yapacak şekilde kurulmuştur. 2. katmandaki anahtarlama mekanizması, iletişimin yüksek hızlara çıkmasını sağlarken, ağ sınırlarındaki IP yönlendiricileri sayesinde IP datagramlarının daha akıllı bir şekilde iletilmesine olanak verilmektedir. Bu

yaklaşımın en zor tarafı ise tamamen farklı yapıda olan ve farklı topolojileri, adres uzayları, yönlendirme protokolleri, mesajlaşma protokolleri, kaynak ayırma düzeneklerine sahip olan bu iki teknolojinin birarada kullanılmasının getirdiği karmaşıklığıdır. Çok katmanlı anahtarlama ve MPLS teknolojileri ise 2. katman ve 3. katman aktarma teknolojilerini birarada kullanma çabalarının oluşturduğu karmaşıklıkları azaltmak amacıyla tasarlanmıştır.

4.5.2. İnternet servis sağlayıcıların ATM üzerinden IP çözümüne geçişi

1990'lı yılların ortalarında bazı internet servis sağlayıcıları (ISS) ATM üzerinden IP kullanımına yöneldiler. ISS'lerin bu teknolojiye geçiş nedenleri arasında daha geniş bant genişliklerine duydukları ihtiyaç, deterministik iletim performansı ve ağlarında sürekli artan talep patlamasını karşılayacak şekilde trafik yönetimi yapabilme istekleridir. ATM üzerinden IP (IP Over ATM) modeli ise etiket kullanma özelliği sayesinde bu özellikleri sağlamaktaydı.

Bu model tamamen ATM üzerine odaklanmıştır ve ağdaki her cihazın ATM mesajlaşma yazılımlarına (signalling software) ve etiket-değiştirip gönderme (label swapping forwarding) algoritmasını yürütebilecek donanıma sahip olmasını gerektirmektedir. ATM üzerinden IP modelinde yönlendirme işleri sadece ağın sınırlarında yer alan yönlendiriciler ile yapılmaktadır, çekirdek ağda ise yüksek hızı tesis etmek için etiket değiştirme algoritmasını yürüten ATM anahtarlarına ve PVC'lere (Permanent Virtual Circuit) güvenilmekteydi. Yönlendirme işleri sadece sınırlarda yapılmaktaydı çünkü bu görüşe göre daha eski ağ altyapılarının paket iletim hızının yavaş olmasının nedeni yazılımla tabanlı yönlendiriciler idi.

1990'larda piyasada, internet altyapısını kurmak üzere tasarlanmış ağ cihazları bulunmadığından internet servis sağlayıcıları hızla artan talep patlamasını karşılamak üzere o anda piyasada bulabildikleri tüm cihazları kendi ağlarının performansı yükseltmek amacıyla, kendi ağlarına uygun hale getirip kullanmışlardır. O an için ATM anahtarlama cihazları ISS'lerin anlık

ihtiyaçlarına cevap vermekteydi. Ancak internet altyapısı için tasarlanmış cihazlar yavaş yavaş ticari olarak satılmaya başlanınca ve internet servis sağlayıcılarının kullanıcı sayısı dolayısı ile gereksinimleri arttıça, ATM zerinden IP modelinin eksikleri göze batar oldu.

Yukarıda sayılan tüm bu sorunlardan daha da önemli olan tamamen farklı amaçlara hizmet etmek için tasarlanmış olan bu iki ayrı teknolojinin bir arada kullanmasının getirdiği karmaşıktı.

4.5.3. ATM zerinden IP modeline karşı çok protokollü anahtarlama alternatifleri

İnternet servis sağlayıcıları ATM zerinden IP modeline geçerlerken bir takım teknik, finansal ve ekonomik eğilimler, internet altyapısında kullanılmak üzere yeni teknolojilerin geliştirilmesine başlanmasını sağlamıştır. Bu sırada halk da internetin yeni yeni ortaya çıkan ekonomik, yaşamsal vb. bir çok etkilerini farketmeye başlamıştı. İşte tüm bu olumlu gelişmeler, internet dünyasının, tamamen internet altyapısını kurmak için dizayn edilmiş özel ağ cihazlarının yapılmasına değecek kadar büyük olduğu kanısını yerleşmesini sağlamıştır. IP protokolü bir anda IPX, AppleTalk, OSI ve SNA protokollerinden daha yaygın kullanılır olmuştu.

Yeni teknolojiler geliştirmek için çalışmalara başlayan firmaların hem fiyat/performans oranını düşüren, hem de ATM teknolojisinin hızını ve IP yönlendirmesinin avantajlarını daha iyi kullanan çözümleri sunmaları pek uzun bir zaman almadı. 1996'nın başlarında bir çok firma, internet altyapısı için geliştirdiği, ATM anahtarlama ile IP yönlendirme teknolojilerinin entegre olarak kullanıldığı çok protokollü anahtarlama ürünlerini tanıtmaya başlamıştı. rnlerden bazıları şunlardır:

- Ipsilon / Nokia firmasının geliştirdiği IP Switching

- Cisco'nun Tag Switching

- IBM Corp.'un ARIS (Aggregate Route-based IP Switching)
- Cascade/Lucent/Ascend'in ortak ürünü IP Navigator
- Toshiba firmasının Cell Swithing Router (CSR)

Her ne kadar bu teknolojilerinin çoğunun bir takım ortak özellikleri varsa da bu teknolojiler birarada aynı ağda kullanılmamaktaydı çünkü her bir ürün IP yönlendirme ile ATM anahtarlamaı entegre edebilmek için çok farklı teknikler kullanılmaktaydı. Ama gene de 1997 senesinin sonlarına doğru internet çevreleri (internet community) bu teknolojilerin geleceğin internet altyapılarını oluşturmada en önemli adım olduğunun farkına vardılar.

4.5.4. Çok protokollü anahtarlama çözümlerindeki benzerlikler

Her ISS çok katmanlı anahtarlama çözümlü, IP odaklı kalmak üzere ATM teknolojiyle IP teknolojisinin en iyi yanlarını biraraya getirmeye çalışmıştır. Bu ürünlerin hemen hemen tümünün tasarımında temel olarak yola çıkılan fikir, bir IP yönlendiricisinin kontrol yazılımının alınması ve bu yazılımı, bir ATM anahtarının etiket – değiştirip iletme mekanizması ile entegre ederek çok daha ucuz ve hızlı bir IP yönlendiricisi elde etme düşüncesidir.

Kontrol bileşeni açısından her çok katmanlı anahtarlama çözümlü standart IP yönlendirme yazılımları olan OSPF, IS-IS, BGP-4 yazılımlarını çalıştırmaktadır. Etiket atama mekanizması ise 3. katman yönlendirmelerini etiketlere eşleyerek (ATM'de VPI/VCI) bu eşleme bilgilerini ağda bir etiket anahtarlamaı yol (LSP) kurmak üzere komşularına dağıtmaktadır.

4.5.5. Çok protokollü anahtarlama çözümlerindeki farklılıklar

Her ne kadar mevcut çok katmanlı anahtarlama çözümlerinin bir çok özelliği ortak olsa da aralarında çok önemli bir fark bulunmaktadır. Bu çözümler, etiket anahtarlamaı bir yol (LSP) kurmak için etiket atamasını ve dağıtımını iki

değişik yönetime göre yapmaktadırlar. Kontrol İşaretleri İle Akış Belirleme Modeli (Control Driven Model) ve Veri Yönlendirmeli Akış Belirleme Modeli (Data Driven Model).

Ipsilon'un IP Switching çözümü ile Toshiba'nın Cell Switching Router – CSR ürünü Veri Yönlendirmeli Akış Belirleme Modeli (Data Driven Model) kullanan çözümlerdir. MPLS standartizasyonu çalışmalarında bu model desteklenmemiştir.

Kontrol İşaretleri İle Akış Belirleme Modeli (Control Driven Model) kullanan çok katmanlı anahtarlama çözümleri ise Tag Switching (Cisco Corp.), IP Navigator (Ascend/Lucent) ve ARIS (IBM)'dir.

4.5.6. Çok protokollü anahtarlama çözümlerinin temel sorunu

Her çok katmanlı anahtarlama çözümü, kontrol bileşeni olarak IP kontrol bileşenini, iletim bileşeni olarak da ATM'in etiket değiştirme mekanizmasını kullanmaktadır. İnternet servis sağlayıcılarının karşılaştıkları problem ise bu ürünlerin hepsinin firmalara özel nitelikler taşıması ve değişik firmaların ürünlerinin bir arada çalışmamasıydı. Üstelik bu ürünlerin birçoğu ATM mimarisinin kullanılmasını gerektiriyor daha farklı (Frame Relay, PPP, SONET, LAN ...) mimarileri üzerinde çalışmıyordu. Eğer çok protokollü anahtarlama (multilayer switching) teknolojisi, servis sağlayıcılar tarafından geniş şekilde kullanıma sokulacaksa, herhangi bir veri bağı katmanı (2. katman) teknolojisinde de çalışabilecek firmalar üstü bir standartın getirilmesine ihtiyaç vardı. 1997 yılının sonlarına doğru, IETF (Internet Engineering Task Force), çok protokollü anahtarlama çözümlerinin birlikte çalışabilen ve ortak özelliklere sahip bir hale gelmesi için MPLS Çalışma Grubu'nu kurdu (MPLS Working Group).

4.5.7. Piyasada bulunan çok protokollü anahtarlama çözümleri

4.5.7.1. Etiket anahtarlama

CISCO'nun bu ürünü, Kontrol İşaretleri İle Akış Belirleme Modeli (Control Driven Model) kullanmaktadır. Bu sistemde yönlendirme (topoloji) güncelleştirme sinyalleri, RSVP mesajları gibi kontrol mesajlarından sonra LSP kurulumu yapılır. "Unicast" türünde bir iletişim için etiket atama bilgisi (tag) diğer düğümlere Tag Distribution Protocol (TDP) ile gönderilir. Fiziksel olarak "komşu" olan düğümler arasında "TDP komşuluğu" (TDP peering) sağlanması bir TCP bağlantısı (TCP connection) ile sağlanır. Etiket atamaları yani iletim tablosundaki veriler (FEC'ler) komşu düğümlere TDP ile iletilirler. Multicast türünde iletişim için özel bir etiket dağıtım protokolü yoktur.

4.5.7.2. ARIS

Aggregate Route-based IP Switching (ARIS - IBM) de Kontrol İşaretleri ile Akış Belirleme Modelini (Control Driven Model) kullanmaktadır. Mimari olarak ARIS, Cisco'nun Tag Switching mimarisine çok benzerdir. ARIS LSP'lerin düzenlenebilmesi için yeni bir kavram olan "çıkış belirleyicisi"ni (egress identifier) öne sürmüştür. Herhangi bir FEC için LSP kurulumu, o FEC paketlerinin ağdan çıkış noktası olan çıkış düğümü tarafından başlatılır. Bir düğümün çıkış düğümü olarak sayılabilmesi için bir FEC'e ait bir sonraki düğümün bir ARIS düğümü olmaması ya da yönlendirme sınırları içinde olmaması gerekmektedir. ARIS ATM tipi ağlarda kullanışlı olan, döngüleri sezme ve önleme algoritmaları içermektedir. Bununla beraber ARIS çıkış düğümünde yapılacak olan TTL değeri azaltımı işlemi için belirli bir LSP üzerinde paketin geçtiği düğüm sayısını da sayabilme özelliği sağlamaktadır. "Multicast" tipinde iletişime destek ARIS'de standarttır. Ayrıca açık yönlendirme (explicit routing) de ARIS ile bütünleşiktir. ARIS mimarisinde kullanılan tek farklı dağıtım mekanizması RSVP uygulamaları trafiği için gerekli olan RSVP mekanizmasıdır. ATM ağları için ise ARIS, VC-Kaynaştırma (VC-Merging), VP-Kaynaştırma (VP-Merging) ile kaynaştırma işlemini

desteklemektedir ve kaynaştırma yeteneği olmayan ATM ağlarında da çalışabilme özelliği bulunmaktadır.

4.5.7.3. IP navigator

Bu mimari de gene Kontrol İşaretleri İle Akış Belirleme Modeli (Control Driven Model) kullanmaktadır. IP Navigator mimarisi, yönlendirme alanı içerisinde OSPF protokolünü kullanmaktadır. Sana devrelerin (VC) kurulması için açık yönlendirmeler (explicit routing) yapılmaktadır. Bu yöntem, IGP seçimi olarak OSPF protokolünün seçilmesinden dolayı, döngülerin önlenmesi için basit bir çözüm sunmuştur.

IP Navigator mimarisi ATM ya da Frame Relay ağlarını (bulutlarını), sınırlardaki yönlendiricilere sanki bir IP ağı imiş gibi gösterir. Bu ATM ya da Frame Relay ağlarının içinde çok noktadan-tek noktaya (multipoint-to-point) ve bir noktadan-çok noktaya (point-to-multipoint) sanal devrelerinin (VC) kurulması için VC mesajlaşma (signaling) protokolü kullanılmaktadır. Bu bulut kümesinin (ATM ya da Frame Relay ağı) sınırına bir paket geldiğinde, giriş yönlendiricisi paketin buluttan çıkacağı “çıkış” (egress) yönlendiricisini bulmak için yönlendirme tablosuna bakar ve “çıkış” yönlendiricisini bulduktan sonra daha önceden kurulmuş olan sanal devreler (VC) üzerinden hedef yönlendiriciye paketi gönderir.

4.5.7.4. IFMP IP switching

Ipsilon Flow Management Protocol mimarisi ise Veri Yönlendirmeli Akış Belirleme Modeli (Data Driven Model) mimaridir. Paketler IP anahtarının (IP Switch) kontrolcüsüne gönderilir ve buradan da normal IP varış adresi yönlendirmesi ile iletilir. Bir akışa ait paket sayısı daha önceden belirlenen belirli bir miktarı aştığında, kontrolcü bu akış için bir LSP oluşturmak üzere bu protokolü kullanır. Bir kez LSP kurulduktan sonra akışa ait paketler artık yönlendiricinin kontrolcüsüne değil de doğrudan LSP'ye gönderilir. Arka planda tutulan aktarma tabloları ile varolan LSP'ler sürekli kontrol edilerek

tutarlı kalmaları sağlanmaktadır. Eğer herhangi bir LSP belirli bir süre boş kalırsa zaman aşımına uğrar ve silinir.

4.5.7.5. CSR hücre anahtarlamaalı yönlendiriciler

CSR mimarisi birçok yönden daha önce anlatılan IP Switching mimarisine benzemektedir. CSR mimarisi ilk olarak ATM kümelerini (cloud) birbirine bağlama amacı ile tasarlanmıştır. Birçok ATM kümesi birbirlerine hem IP yönlendirme hem de hücre iletme özelliklerine sahip CSR'lar ile bağlı olabilir. Paketlerin içinde yer alan port numaralarına göre CSR'lar uzun süreceğini tahmin ettikleri akışlar için birer LSP kurarlar. Elden gelenin en iyisi (best effort) iletimler için LSP kurulması Veri Yönlendirmeli Akış Belirleme Modeline dayanır (data driven), kaynak ayrılması gereken akışlar ise RSVP yönlendirmesi ile yapılır (RSVP Driven).

4.5.8. Multilayer label switching

MPLS teknolojisi, internet altyapısında kullanılan çok katmanlı anahtarlama teknolojisinin son halidir. MPLS, IETF'un değişik çok katmanlı anahtarlama çözümlerine bir standart getirme çabasının sonucudur.

MPLS teknolojisinde, etiket anahtarlamaalı yolların (LSP) kurulması için gereken etiket atamaları ve bu atama bilgilerinin eşler arası dağıtımını işlemi Kontrol İşaretleri İle Akış Belirleme Modeline (control driven model) göre yapılmaktadır. Bu LSP'ler yapı olarak çok basittir (trafik akışı giriş tarafından çıkış tarafına doğru akar), iki yönlü haberleşme (duplex) için iki adet LSP gereklidir. Bir LSP kurmak için bir ya da birden fazla etiket değiştirmeli (label switched) anahtar arka arkaya mantıksal olarak bağlanmalıdır. Paketler ise bir LSR'dan diğerine iletilerek MPLS etki alanı (domain) içerisinde ilerler.

MPLS'in kontrol bileşeni diğer çok katman anahtarlama teknolojileri gibi IP kullanımına odaklanmıştır. Ancak MPLS, firmalar üstü bir standart koyabilmek için varolan normal IP sinyalleşmesine (signaling) ve etiket değişim

protokollerine eklemeler yapmıştır ve yeni protokoller tanımıştır. ATM Forum mesajlaşması ve protokolleri, farklı iki protokol mimarisinin kullanılmasının getirdiği karmaşıklıktan kurtulmak için MPLS’de kullanılmaz. Bu açıdan MPLS, paket tabanlı iletişimlerde belirgin yararlar sağlamaktadır.

Piyasada bulunan etiket-değiştirerek aktarma algoritması ile ağ katmanı yönlendirmesini entegre eden çok protokollü anahtarlama (multilayer switching) çözümleri arasında bir standart sağlamak amacıyla MPLS Çalışma Grubu (MPLS Working Group) kurulmuştur. MPLS çalışma grubunun hedeflerinin en önemlisi kontrol bileşeninde ağ katmanı yönlendirmesini, iletim (forwarding) bileşeninde ise etiket değiştirerek iletim mekanizmasının kullanılmasını sağlamak üzere bir standart teknoloji kurmaktır. Bu sonuca ulaşmak için MPLS Çalışma Grubu’nun öne sürdüğü bir takım standart gereksinimler bulunmaktadır:

-MPLS sadece ATM üzerinde değil, tüm veri-bağı (link layer) katmanlarında çalışabilmelidir.

- MPLS çekirdek teknolojileri hem “unicast” hem de “multicast” tipinden trafik akışlarının iletilmesini sağlayabilmelidir.

- MPLS, IETF ‘un Tümüleşik Hizmetler Modeline (Integrated Services Model), RSVP protokolü de dahil olmak üzere, tam olarak uyumlu olmalıdır.

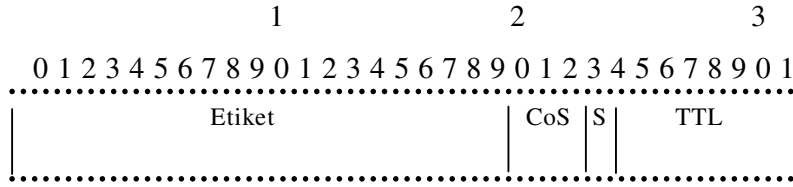
- MPLS, sürekli büyüyen interneti destekleyecek şekilde ölçeklenebilir olmalıdır.

- MPLS ağ üzerinde işlemlere (operations), yönetime (administration) ve bakım (maintenance) özelliklerini en az IP ağlarında gerçekleştikleri kadar geniş oranda destekleyebilmelidir.

4.6. MPLS Teknolojisinin Önemli Özellikleri

4.6.1. MPLS başlığı

Etiket ile aktarmada etiketler veya etiket yığınları, yaşam süresi (TTL) gibi çok çeşitli bilgiler aktarımda kullanılmaktadır. Bazı durumlarda bu bilgiler özel MPLS başlığının içine yerleştirilir, bazı durumlarda ise de 2. katman (veri bağı katmanı) başlığı içerisine yerleştirilir.



Şekil 4.5. MPLS Başlığı

Kullanılabilecek çok değişik MPLS başlığı çeşitleri bulunur. İletim için kullanılan ortamlara göre farklı MPLS başlıkları kullanılabilir. Örneğin ATM altyapısının kullanıldığı bir çözümde MPLS başlığındaki bilgiler ATM başlığı içerisinde iletilir. Biçimi ne olursa olsun etiket tabanlı bir aktarma işlemi için paketlere etiketlerin ve diğer bilgilerin iliştilmesine “MPLS Eklentileri” (MPLS Encapsulation) adı verilir. “MPLS Başlığı” (MPLS Header) terimi ise etiket değerlerinin ve diğer bilgilerin 2. katman başlığında taşınmadığı durumlarda pakete iliştilen özel amaçlı MPLS başlıkları için kullanılmaktadır. Tek bir yığın gösterge (stack), kapsüllenen etiketin en son yığın içinde olup olmadığını belirtir. Bu sayede çoklu etiket kapsüllemesi, veri bağlantı başlığı ile IP başlığı arasında mümkün olur. ATM ortamlı bir başlık sadece VCI/VPI alanında kodlanmış etiket içerir [9], [10].

4.6.2. Yönlendirme hiyerarşisi ve etiket yığınları

Bazı durumlarda bir Ru yönlendiricisi belirli bir paketin bir Rd yönlendiricisine aktarılmasını isteyebilir. Ancak Rd yönlendiricisi paketin normal güzergahı

üzerinde bir yönlendirici olmayabilir ve hatta paketin varış yönlendiricisi de Rd olmayabilir. Yani paket özellikle Rd üzerinden varış adresine gönderilmek istenebilir. Bunu sağlamak için paket varış adresi Rd'nin adresi olan yeni bir ağ katmanı (network layer) paketi içine sokularak Rd'ye yollanabilir. Bu işlem Ru'dan Rd'ye bir "tünel" kurulması anlamına gelmektedir.

Paket tünele girdikten sonra Ru'dan Rd'ye doğru adım adım (hop by hop) aktarılarak ilerliyorsa bu tip tünellere "Adım Adım Aktarma Yapılan Tüneller" (Hop-by-Hop Routed Tunnel) verilir. Burada Ru "Gönderen Uç" (Transmit Endpoint), Rd ise "Alıcı Uç" (Receive Endpoint) olarak adlandırılmaktadırlar.

Paket, tünel içerisinde adım adım yönlendirmeden (hop-by-hop routing) başka bir güzergah takip ederek ilerliyorsa bu tarz tünellere "Açık Yönlendirmeli (Explicitly Routed) Tüneller" denilir. Burada da yine Ru "Gönderen Uç" (Transmit Endpoint), Rd ise "Alıcı Uç" (Receive Endpoint) olarak adlandırılmaktadırlar. Böyle bir tünel kurmak için örnek olarak; gönderilecek paketi sardığımız yeni paketi "kaynaktan yönlendirmeli" (source routed) bir paket olarak belirleyebiliriz.

4.6.2.1. Etiket anahtarlama yol tünelleri

LSP kullanarak bir tünel kurma imkanı da bulunmaktadır. Bu durumda tünel içinden aktarılacak paketler bir FEC oluşturmaktadır ve tüneldeki her etiket anahtarlama yönlendirici LSR, bu FEC'e bir etiket eşleştirmek zorundadır. Belirli bir paketin tünelden gönderilip gönderilmeyeceği ise tünelin "gönderen ucunda" verilen bir karardır. "Gönderen uç" bir paketi tünelden aktarmaya karar verince paketin etiket yığınının tepesine tünel için belirlediği FEC'e eşlenmiş etiket değerini koyarak paketi tüneldeki bir sonraki düğüme iletir.

Tünelin çıkış ucundaki "alıcı uç" yönlendiricisinin paketin tünelden gelip gelmediğini bilmesi gerekmez çünkü etiket yığınının tepesindeki değeri çekme işini onun adına tüneldeki sondan bir önceki (penultimate) düğüm yapar.

Örneğin <R1, R2, R3, R4> LSR'larından oluşmuş etiket anahtarlamalı bir yol gözönüne alalım. R1 yönlendiricisi henüz etiketlenmemiş bir P paketi aldığıında bu paketin yukarıdaki güzergahı izleyerek aktarılması için bu paketin etiket yığınının tepesine yeni bir etiket değeri koyar. Ancak bu güzergahtaki R2 ve R3 yönlendircileri birbirlerine doğrudan bağlı olmayıp bir tünel aracılığı ile bağlı olsunlar. Yani paketin gerçekte izleyeceği güzergah <R1, R2, R21, R22, R23, R3, R4> olsun.

P paketi R1'den R2'ye doğru hareket ederken etiket yığını derinliği 1'dir. R2 yönlendiricisi gerekli etiket değişikliğini yaptıktan sonra paketin tünele girmesi gerektiğini belirler. R2 yönlendiricisi öncelikle gelen paketin "giriş etiketini" (incoming label) R3 için anlamlı olacak bir "çıkış etiketi" ile değiştirir. Daha sonra ise etiket yığınının tepesine R21 için anlamlı olacak yeni etiket değerini koyar. Böylelikle paketin etiket yığını 2 derinlikli hale gelir. Bundan sonra R21, R22, R23 boyunca paket yığınının bu 2. seviyedeki etiket değerlerine göre aktarılmaktadır. R23 yönlendiricisi ise R2-R3 arasındaki tünelin sondan bir önceki (penultimate) düğümüdür. Bu R23 düğümü paketi son düğüm olan R3'e iletmeden önce, paketin yığınının tepesindeki etiketi çekerek yığın seviyesini tekrar 1'e düşürür. R3 bu işlemlerden sonra P paketini aldığıında pakette sadece yığınının 1. seviyesindeki etiketi görmektedir. Ayrıca R3 etiketi de 1. seviyedeki LSP için sondan bir önceki düğüm (penultimate) olduğundan 1. seviyedeki etiket, R3 tarafından çekilerek R4 yönlendiricisine paket tekrar etiketlenmemiş halde aktarılır.

4.6.2.2. Tünellerde etiket dağıtımı

Tünellerde de normal etiket anahtarlamalı ağlarda olduğu gibi etiketler atanır ve dağıtılır. Etiket dağıtımı açısından eş olma ise (label distribution peers) yığın seviyelerine göre belirlenir. Yukarıda anlatıldığı gibi bir P paketi <R1, R2, R21, R22, R23, R3, R4> güzergahından aktarılınsın. Bu P paketi R2 – R3 yönlendircileri arasında aktarılırken < R2, R21, R22, R23, R3 > düğümlerinden oluşan 2. seviye etiket anahtarlamalı yoldan (LSP) aktarılmaktadır. 2. seviye LSP için R2 yönlendiricisinin etiket dağıtımı açısından eşi R21 düğümüdür.

Ancak 1. seviye LSP için R2'nin etiket dağıtımı açısından eşleri R1 ve R3 düğümleridir.

Bu örnekte R2 ve R21 düğümlerinin IGP protokolüne göre komşu olma zorunluluğu varken R2 ve R3 düğümlerinin böyle bir zorunluluğu yoktur. İki etiket anahtarlamalı anahtar LSR birbirine IGP protokolüne göre komşu olduğu zaman bu iki yönlendiriciye “etiket dağıtımı açısından yerel eşler” (local label distribution peers) adı verilmektedir. İki yönlendirici etiket dağıtımı açısından birbirine komşu olduğu halde IGP protokolüne göre komşu olmaz ise bu düğümlere “etiket dağıtımı açısından uzak eşler” (remote label distribution peers) denilir. Yukarıdaki örnekte R2 ve R21 düğümleri etiket dağıtımı açısından yerel eşlerdir ama R2 ve R3 etiket dağıtımı açısından uzak eşler olmaktadır.

MPLS mimarisi ise değişik seviyelerde etiket dağıtımı için iki değişik yolu destekler. Açık Eşleşme (Explicit Peering) ve Kapalı Eşleşme (Implicit Peering).

Bir yönlendirici etiket dağıtımını, etiket dağıtımı açısından yerel eşi olan düğüme yapacağı zaman, eşinin adresine gönderdiği normal etiket dağıtım protokolü mesajlarını kullanır. Ancak etiket dağıtımı açısından uzak olan bir eşe bu bilgiyi göndermek için iki yolu vardır.

4.6.2.2.1. Açık eşleşme

Bu yöntemde, bir yönlendirici “etiket dağıtımı açısından uzak eşi (remote label distribution peer) olan yönlendiriciye” etiket dağıtımı yapmak için bu eşine, sanki etiket dağıtımı açısından yerel eşi olan (local label distribution peer) düğüme gönderiyormuş gibi bir etiket dağıtım protokolü LDP mesajı gönderir. Bu yöntem etiket dağıtımı açısından uzak olan eş (remote label distribution peers) düğümlerin sayısı az iken ya da paketlerin yığınlarının yüksek seviyelerinde etiket atamaları adedi çok fazla ise ya da etiket dağıtımı yapacak

olan uzak eşlerin aynı yönlendirme alanında bulunmadığı durumlarda çok yararlıdır.

4.6.2.2.2. Kapalı eşleşme

Bu yöntemde ise yönlendirici etiket dağıtımı açısından eşi olan düğümün adresine doğrudan bir etiket dağıtım protokolü LDP mesajı göndermez. Bunun yerine yığının tepesindeki etiket bilgisini, daha alt seviyedeki etiketin bir ek bilgisi (attribute) olarak kodlar. Daha sonra bu ek bilgi ile beraber bir alt seviyedeki etiketi, etiket dağıtımı açısından yerel (local label distribution peers) eşlerine gönderir. Daha sonra bu bilgiyi alan eşler de bu etiketi kendi etiket dağıtımı açısından yerel eşlerine (local label distribution peers) dağıtır. Böylece kodlanmış üst seviye “etiket ataması” bilgisi uzaktaki eşe ulaşınca kadar adım adım iletilir.

Bu teknik ise etiket dağıtımı açısından uzak olan eş (remote label distribution peers) düğümlerin sayısı fazla iken yararlıdır.

4.6.3. Etiket kaynaştırma

Belirli bir etiket anahtarlamalı yönlendiriciye (LSR) belirli bir FEC’e ait ama değişik etiketlere sahip paketlerin geldiğini varsayalım. Bu paketleri iletirken LSR, tüm paketleri aynı çıkış etiketi (outgoing label) kullanarak aktarmak isteyecektir. Paketlerin aynı Fonksiyonel Denklik Sınıfında olup da (FEC’de) değişik “giriş etiketleri” (incoming label) ile gelmesinin bir önemi bulunmamaktadır çünkü ilgili yönlendirici bu paketleri aynı çıkış etiketi ile aktaracaktır. Bu işlemi yapabilme yeteneğine “Etiket Kaynaştırma” denilmektedir.

Diyelim ki bir LSR yönlendiricisi, değişik giriş arabirimlerinden ve/veya değişik etiketlere sahip paketler kendisine geldiğinde “etiket kaynaştırma” yeteneğine sahip olsun. Aynı zamanda bu şekilde gelen paketleri aynı çıkış arabirimine aynı çıkış etiketi ile aktarsın. Paketler bu şekilde çıkış arabirimine

iletildikten sonra paketlerin değişik arabirimlerden geldiği ve/veya değişik etiketlerle geldiği bilgileri kaybolacaktır.

Şimdi de “etiket kaynaştırma” yeteneğine sahip olmayan bir etiket anahtarlamalı yönlendiriciyi (LSR’ı) göz önüne alalım. Bu yönlendiriciye farklı giriş arabirimlerinden ve/veya farklı etiketlere sahip paketler geldiğinde bu paketler ya farklı çıkış arabirimlerden ya da farklı etiketlerle aktarılacaktır. SVC (Switched Virtual Circuit) veya SVP Kodlamasını (SVP Encoding) kullanan ATM – LSR’ları “etiket kaynaştırma” yeteneğine sahip değildirler.

“Etiket kaynaştırma” yöntemi ile her fonksiyonel denklik sınıfı için (her FEC için) gerekecek çıkış etiketi sayısı sadece 1 iken “etiket kaynaştırma” yeteneğinden yoksun bir ortamda her FEC için gerekecek çıkış etiketleri sayısı ağdaki toplam düğüm sayısı kadar çok bile olabilir.

MPLS mimarisinde hem etiket kaynaştırabilen etiket anahtarlamalı yönlendiriciler (merging LSR) hem de etiket kaynaştıramayan etiket anahtarlamalı yönlendiriciler (non-merging LSR) bulunabilir.

4.6.3.1. Etiket kaynaştıramayan LSR

MPLS aktarma prosedürleri ATM’in ya da Frame Relay teknolojilerinin aktarma prosedürleri ile çok benzerdirler. Hepsinde de paket geldiğinde “çapraz bağlantı tablosunda” (cross connection table) bir etiket değeri (VPI/VCI veya DLCI) aranır ve daha sonra çıkış portu ve yeni etiket değeri bulunur. Aslında bu teknolojileri MPLS için de kullanmak uygundur ama bunu yapabilmek için “çapraz bağlantı tablolarının” (cross connection table) kurulması için MPLS etiket dağıtım protokolünün LDP protokolünün işaretleşme (signaling) protokolü olarak kullanılması gerekir. Ne yazık ki bu teknolojiler etiket kaynaştırma yeteneğine sahip değildirler. ATM tekniğinde bir yönlendirici etiket kaynaştırması yapmaya çalıştığı zaman farklı paketlerin hücreleri içiçe geçmeye (interleave) başlar. Değişik paketlerin hücreleri içiçe geçtikten sonra da bu paketler tekrar oluşturulamazlar (reassemble). Çoğu

Frame Relay anahtarı da arkaplanda hücre anahtarlama (cell switching) kullanılır ve aynı sebepten dolayı (hücrelerin içiçe geçmesi) bu anahtarlar da etiket kaynaştırma yapamamaktadırlar.

MPLS Çalışma Grubu bu konuda iki çözüm önermektedir. Birincisi MPLS teknolojisinin etiket kaynaştırması yapamayan yönlendiricileri de kullanabilmesi için bir takım prosedürlerin oluşturulması yönündedir. İkinci görüş ise belirli bazı ATM anahtarlarının etiket kaynaştırması yapacak şekilde yeni prosedürlerin tanımlanmasıdır.

Ayrıca MPLS teknolojisi, hem etiket kaynaştırabilen hem de etiket kaynaştırma yapamayan yönlendiricileri birarada kullanabildiği için tüm ağın doğru ve uyumlu çalışmasını temin etmek için bazı prosedürler de tanımlanmalıdır (bahsedilen prosedürler henüz tanımlanmamışlardır).

4.6.3.2. Kaynaştırma yapabilen ve yapamayan etiket anahtarlama yönlendiricilerin etiket kullanımı

Etiket kaynaştırması yapabilen, akış yönünün yukarısındaki bir yönlendirici (LSR), aşağı-akış yönündeki düğümlerden her bir FEC için sadece 1 etiket bilgisi beklemektedir. Ancak eğer bu yönlendirici etiket kaynaştırmasını desteklemiyorsa, her bir FEC için çok sayıda etiket bilgisi beklemek zorunda kalabilir. Üstelik her bir FEC için ne kadar etiket bilgisi gerektiği konusunda da önceden bir öngörü yapılamaz.

MPLS mimarisinde eğer yukarı - akış (upstream) yönündeki yönlendiricilerden bir tanesi etiket kaynaştırmayı desteklemiyorsa bu yönlendiriciye, kendisi özel olarak istemedikçe, herhangi bir FEC'e ait etiket ataması bilgisi gönderilmez. Bu yukarı - akış (upstream) yönündeki yönlendirici her defasında bu tarz bir istekte bulunur ve her defasında da farklı etiket değerleri alır. Aşağı-akış (downstream) yönündeki bir yönlendiriciye, bu yukarı-akış yönündeki (upstream) yönlendiriciden bu şekilde bir istek geldiğini düşünelim. Eğer bu isteğin geldiği yönlendirici de etiket kaynaştırmasını desteklemiyorsa, bu sefer

isteğın geldiği bu yönlendirici de kendi aşağı-akış yönündeki (downstream) komşusundan bu FEC'in etiketini sormak zorunda kalacaktır.

Etiket kaynaştırmasını destekleyen ancak en fazla belirli bir sayıda giriş etiketini tek bir FEC'e kaynaştırabilen yönlendiriciler de bulunabilir. Donanımsal nedenlerden ötürü en fazla 4 tane giriş etiketini bir çıkış etiketine kaynaştırabilen bir yönlendirici düşünelim. Ancak bu yönlendiriciye belirli bir FEC'e ait 6 adet farklı etiket geldiğini varsayalım. Bu durumda yönlendirici bu etiketleri toplam 2 adet çıkış etiketine dağıtarak kaynaştıracaktır.

4.6.3.3. ATM'de etiket kaynaştırması

ATM'de etiket kaynaştırmasını sağlamak için hücrelerin içiçe geçmesini önlemek gerekmektedir. Bu amacı sağlamak için iki ayrı yöntem bulunmaktadır:

- SVP ok Noktadan Kodlama ile Sanal Yol (VP) Kaynaştırması: Sanal yol VP kaynaştırılması kullanıldığı zaman, birden fazla sanal yol (VP) tek bir sanal yol olarak birleştirilir. Ancak bu yeni oluşan sanal yoldan aktarılan paketler birbirlerinden Sanal Devre Tanımlayıcı Değerleri (VCI) ile ayrılabilir.

- Sanal Devre (VC) Kaynaştırması: Sana devre (Virtual Circuit VC) kaynaştırılması kullanıldığı zaman, anahtarlar (switches) tüm paket gelinceye kadar paketin gelen hücrelerini (cell) bir tampon alanda saklamalıdır.

Halen kullanılmakta olan cihazlara uyumluluk sağlama ile protokol karmaşıklığının azaltılması ve ölçeklenebilirliğin arttırılması arasında uygun bir denge kurulması zorunlu olduğundan MPLS teknolojisi hem sanal yol VP kaynaştırmasını hem de sanal devre VC kaynaştırmasını desteklemek durumundadır.

4.6.4. Yaşam süresi

Klasik IP yönlendirmesinde her paket başlığında Yaşam-Süresi değeri taşınmaktadır. Paket bir yönlendiriciden geçtiği zaman bu değer 1 azaltılmaktadır ve eğer paket varış adresine ulaşmadan bu değer 0 olursa paket ilgili yönlendirici tarafından atılmaktadır.

Bu teknik, hatalı yapılan konfigürasyonlardan ya da yönlendirme algoritmasının yavaş çalışması veya hiç çalışmaması sonucunda ortaya çıkabilecek aktarma döngülerini (forwarding loop) önlemeye yaramaktadır. Ayrıca TTL alanı tek-noktadan çok noktaya alanının belirlenmesi “traceroute” komutunun desteklenmesi gibi bir takım fonksiyonları yerine getirmek için de kullanılmaktadır.

MPLS ağında bir LSP içerisinden ilerleyen paketin TTL alanının değeri, paket normal yönlendiricilerden oluşmuş klasik bir ağda ilerlerken aynı düğümlerden geçmesi durumunda alacağı değer ile aynı olmalıdır. Hatta paket tünellere girip-çıkarsa dahi paketin TTL alanının değeri, paketin fiziksel olarak geçtiği düğüm sayısı ile belirlenmelidir.

TTL alanının işlenmesi, bu alanın MPLS’e özel bir MPLS başlığında mı yoksa ATM veya Frame Relay başlığı gibi herhangi bir 2. katman başlığında mı taşındığına bağlıdır.

Eğer TTL değeri 2. katman olan veri-bağı (data-link) katmanı başlığı ile 3. katman olan ağ katmanı başlığı arasında yerleştirilmiş MPLS başlığı içerisinde taşıyorsa bu alanın değeri, paket aktarılmak üzere yola ilk çıktığında, 2. katmanda başlığındaki TTL değerine eşitlenmelidir. Daha sonra da bu TTL değeri, paket iletilirken her LSR düğümünden geçerken bir azaltılmalıdır. Paket MPLS ağından (LSP’den) çıkarken de bu MPLS başlığındaki TTL değeri ağ katmanı başlığı içindeki TTL alanına yazılmalıdır.

Eğer etiket değerleri veri bağı (data-link) katmanının başlığı içerisinde taşınıyorsa ve etiketlenmiş paketler bir L2 anahtarı tarafından aktarılıyorsa ve de bu veri-bağı katmanı başlığının kendisinde bir TTL alanı bulunmuyorsa her LSR düğümünde paketin TTL değerini 1 azaltma işlemi gerçekleştirilemez. Paketin aktarıldığı yol boyunca (LSP), TTL değerini değiştiremeyecek etiket anahtarlamalı yönlendiricilerden (LSR) oluşmuş parçaya “TTL’siz LSP segmanı” adı verilir.

Bir paket, herhangi bir “TTL’siz LSP segmanı”ndan çıktıktan sonra, paketin fiziksel olarak geçtiği LSR’ların sayısını yansıtan bir değer TTL alanına yerleştirilebilir. Bunu gerçekleştirmek için paketin “TTL’siz LSP segmanına” ilk girdiği giriş yönlendiricisini (ingress LSR) kullanmak gerekir. Bu giriş yönlendiricisinde anlamlı bir LSP uzunluğu üretilir. Elde edilen bu sayı, paketi “TTL’siz LSP segmanına” aktarmadan önce peşinen paketin TTL değerinden çıkartılır.

Bazı durumlarda da bir paketin TTL değerinin “TTL’siz LSP segmanını” içerisinde geçerken sıfırlanacağı bu “TTL’siz LSP segmanına” girmeden önce bu segmanın girişindeki yönlendirici tarafından belirlenebilir. Bu durumda bu paketin ilgili segmana giriş yönlendiricisinin bu paketi etiketleyerek aktarmaması gerekmektedir.

4.6.5. Döngü kontrolleri

Bir “TTL’siz LSP segmanında” tanım olarak TTL alanı döngüleri önlemek için kullanılamaz. Döngü kontrolü, “TTL’siz LSP segmanlarında” LSR fonksiyonlarını yerine getirmek için özel olarak tasarlanan donanımlarla sağlanabilir.

4.7. Etiket Dağıtım Protokolü

LDP, ELSR ile LSR aygıtları arasındaki iletişimi sağlar. Bunun için, LSP (Label Switched Path, uç noktalar arasında oluşan yol) oluşturmak üzere ELSR ve LSR lerde etiketleri görevlendirir [11], [12].

Etiket dağıtım koordinasyonunun sağlanması, LSP'yi belirli yönlendirme (Explicit Routers) yapabilmek için ve Mevcut LSP'lerin boşaltılması için işaretleme protokolüne ihtiyaç duyulur [13].

MPLS mimarisi tek etiket dağılımından ibaret değildir. Farklı protokoller etiket dağıtımını olarak standart hale getirilmiştir. Yeni protokoller etiketlerin dağıtımında kesin kararlar için belirlenmiştir. Trafik mühendisliği gibi özel uygulamalarının kullanımında, etiket dağıtım protokolü seçiminde de bazı fikirleri ele almıştır [14].

Etiket/FEC ataması bilgisini birbirlerine aktaran iki LSR yönlendiricisine, değiş-tokuş ettikleri atama nazarında “etiket dağıtım eşleri” denir. Eğer iki LSR etiket dağıtım eşleri olarak adlandırılıyorsa bu iki LSR arasında bir “etiket dağıtım komşuluğu” vardır. Burada önemli olan iki LSR yönlendiricisinin, bir takım etiket/FEC atamaları için “etiket dağıtım eşleri” iken daha başka etiket/FEC atamaları için “Etiket Dağıtım Eşleri” olmayabilecekleri hususudur.

4.7.1. Etiket dağıtım yöntemleri

Etiket dağıtımını iki yöntemden biri kullanılarak yapılır.

Aşağı doğru haber vermeden etiket dağıtımını:

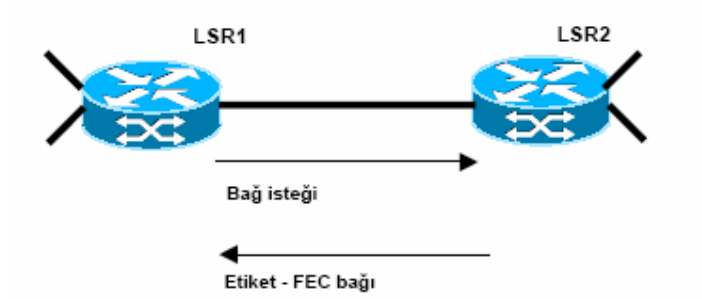


Şekil 4.6 Etiket Dağıtımını Haber Vermeden.

Çalışma Sistemi;

- Belirli bir FEC için LSR2 bir sonraki sıçrama olduğunu keşfeder,
- LSR2 bu FEC için bir bağı oluşturur ve bu bağı LSR1 haber verir,
- LSR1 bağı kendi iletim tablosuna koyar,
- FEC için LSR2 bir sonraki sıçrama ise, LSR1 etiketi iletimde kullanır.

Yukarı doğru isteğe bağlı etiket dağıtımını:



Şekil 4.7 Etiket Dağıtımını İsteğe Bağlı.

Çalışma Sistemi;

- LSR1 bir fec için, LSR2'nin bir sonraki sıçrama olduğunun farkına varır,
- FEC'le bir etiket arasında bir bağı istemi LSR2'ye iletilir,

-LSR2 FEC'i tanır ve bunun için bir sonraki sıçraması varsa, bir yaratır ve bunu LSR1'e haber verir.

Her iki LSR'de ortak bir komşuluk anlayışı vardır [11].

4.7.2. LDP mesaj değişimi

Temel olarak 4 tane LDP mesajı türü vardır:

1- Keşif (Discovery) Mesajları: MPLS ağındaki bir LSR yönlendicisinin varlığının belirlenmesi ve varlığının sürdüğünün kontrol edilmesi için kullanılır.

2- Oturum (Session) Mesajları: LDP eşleri arasındaki oturumları kurmak, sürdürmek ve sona erdirmek için kullanılan mesajlar.

3- İlan (Advertisement) Mesajları: FEC'lere etiket atanması (eşlenmesi) sağlanması, değiştirilmesi ve silinmesi için kullanılan mesajlar.

4- Bilgilendirme (Notification) Mesajları: Yol gösterici mesajlar ve mesajlaşma hatasının bilgilerini içeren mesajlar.

4.7.3. LDP mesajının yapısı

Tüm LDP mesajları "Tip - Uzunluk - Değer" TUD (Type -Length - Value TLV) kodlama sistemi kullanılarak oluştururlar. Yani LDP mesajının Tip - Uzunluk (Type - Length) boyu her zaman sabittir (3 sekizli) ancak bunun içindeki bilgilerin ne olduğu ve nasıl yorumlanacağı "Tip" alanındaki değer ile belirlenir. "Boy" alanındaki bilgi ile yorumlanacak bilginin boyunun kaç bit olduğu öğrenilir. Mesajın içindeki "Değer" kısmında ise yorumlanacak değer yer almaktadır.

Bir LDP mesajında 2 bit, bu LDP mesajının tanımlanması halinde yapılması gereken işlerin kodlandığı bir alandır. Bu alan ileride gerçekleştirilecek yeni LDP mesajlarının kullanımına olanak sağlamak için konulmuştur.

Daha sonraki 14 bit ise tip alanını belirtir. Son olarak geriye kalan 16 bit de uzunluk alanını oluşturmaktadır. Uzunluğu burada belirtilen veri bu 32 bitlik alanın arkasına eklenir. Bu kısma ise değer alanı denilir.

4.7.4. LDP genişletilebilirliği ve ileriye dönük uyumluluk

LDP'ye ileride ek bir takım fonksiyonlar dahil edilebilmelidir. Gelecekte yeni mesaj tipleri olması (yeni TUD – “TLV” tipleri) muhtemeldir. Bu yeni mesaj tiplerini ve TUD'leri tanımayan eski uygulamaların kullanıldığı ağlarda bu yenilikler de kullanılabilir olmalıdır. Gelecekte yapılacak her geliştirmenin, geriye uyumluluğu desteklemeyeceği göz önünde bulundurulursa, MPLS teknolojisinin planlanması aşamasında yeni gelecek tekniklere verilecek desteği kolaylaştırma yollarına gidilmelidir. Bunun için tanımlanamayan mesaj tipleri ve TUD'leri (TLV) kotarılması konusunda bir takım kuralların tanımlanmasını gerektirir.

4.7.5. LDP işlemleri

4.7.5.1. Etiket uzayları

Etiket ataması ve dağıtımı konularını incelerken etiket uzaylarından bahsedelim. İki türlü etiket uzayı bulunmaktadır:

Her arabirim için bir etiket uzayı olabilir. Her arabirime özel giriş etiketleri tanımlanır. Buna örnek olarak VCI alanlarını etiket olarak kullanan ATM arabirimleri ya da DLCI alanlarını etiket olarak kullanan Frame Relay arabirimleri verilebilir. Ancak bu yöntem, LDP eşleri birbirleriyle belirli bir arabirim üzerinden doğrudan bağlıysa ve bu etiket sadece bu arabirim üzerinden akacak trafik için kullanılacak ise anlamlıdır.

Her platform için bir etiket uzayı. Aynı etiketleri paylaşabilen arabirimler için “giriş etiketleri” platform bazındadır (platform wide).

4.7.5.2. LDP belirleyicileri

LDP belirleyicisi, bir etiket anahtarlamalı yönlendiricinin (LSR) etiket uzayını belirtmek için kullanılan 6 sekizlik bir değerdir. İlk 4 sekizli LSR için atanan IP numarasını, diğer 2 sekizli ise LSR içindeki etiket uzayını belirler. Platform kapsamlı (platform wide) etiket uzaylarının kullanıldığı LSR’larda bu son iki sekizli sıfırdır. LDP belirleyicilerinin ifade biçimi şöyledir:

< IP adresi > : < etiket uzayı numarası >

Örneğin;

171.32.27.28:0 , 192.0.3.5:2

Birden fazla etiket uzayı kullanabilen LSR’ların her etiket uzayı için ayrı bir LDP belirleyicisi kullanmak zorunda olduğu unutulmamalıdır.

Bir LSR’ın LDP eşine birden fazla etiket uzayı kullandığını bildirmesi, yani birden fazla LDP belirleyicisi kullandığını belirtmesi gereken durumlardan birisi, bu LSR’ın LDP eşine iki bağlantısının olduğu ve bu iki bağlantının da ATM bağlantısı olduğu durumdur. Bir başka durum ise LSR’ın LDP komşusuna iki bağlantısının olduğu ve bu bağlantılardan biri ATM bağlantısı iken diğerinin ethernet bağlantısı olduğu durumdur.

4.7.5.3. LDP oturumları

Etiket değiş – tokuşu için iki LSR arasında LDP oturumu bulunmalıdır. Bir LSR, kullandığı birden fazla etiket uzayını bir diğer LSR’a iletmek istiyorsa, kullandığı her bir etiket uzayı için ayrı bir LDP oturumu açmak zorundadır.

LDP protokolü, oturumların güvenilir bir şekilde çalışabilmesini sağlamak üzere TCP protokolünü kullanmaktadır. İki LSR arasında birden fazla LDP oturumu kurulması gerektiği durumlarda, her bir LDP oturumu için ayrı bir TCP oturumu kurulur.

4.8. MPLS'in Getirdiği Yararlar

Günümüzde IP çekirdek ağları kurmak için yaygın olarak kullanılan iki yöntem vardır:

1- Datagram yönlendirici temelli ağlar

2- ATM çekirdek üzerinden iletişim yapan datagram yönlendiricilerden oluşmuş ağlar.

MPLS teknolojisinin yararlarını daha iyi anlatmak için şu anda kullanılmakta olan teknolojilerle karşılaştırmak faydalı olacaktır. Bunu yapabilmek için bu konu iki kısma ayrılmış bir tanesinde MPLS'in saf datagram yönlendirmenin yapıldığı bir ağa göre faydaları, diğerinde ise MPLS teknolojisinin ATM çekirdek üzerinden IP iletişiminin gerçekleştiği bir ağa göre faydaları anlatılmıştır.

4.8.1. MPLS'in yönlendiricilerden oluşmuş bir ağa göre yararları

4.8.1.1. Basitleştirilmiş aktarma

Etiket anahtarlamalı paket aktarımı paketdeki kısa bir etiket değeri kullanılarak yapılır. Oysa normal datagram yönlendirmesinde ise çok daha uzun adreslerin işlendiği en fazla uyan (longest match) algoritması çalıştırılmaktadır. Üstelik etiket anahtarlamada kullanılan MPLS başlıkları, IP gibi datagram protokollerinin kullandığı başlıklardan çok daha basittir. Bu ise aktarma işleminin MPLS teknolojisinde çok daha sade olduğunu ve yüksek hızlı MPLS yönlendiricilerinin daha kolay yapılabileceğini göstermektedir.

Datagram yönlendiricilerden çok daha hızlı aktarma yapabilen LSR'lar her ne kadar çok daha basit ve hızlı aktarma yapabiliyorsa da bu yönlendiricilerin kullanımı uygulama detaylarına bağlıdır. Örneğin hiyerarşi sınırları gibi ağır bazı kısımlarında yüksek hızlı IP datagram yönlendirmesi de gereklidir. Bu ise yüksek hızlı IP datagram yönlendirmesi yapabilen yönlendiricilerin gerçekleşmesini zorunlu kılmaktadır. Üstelik günümüzde birçok firma yüksek hızlarda IP paketi yönlendirmesi yapabilen yönlendiriciler üretmektedirler. Geliştirme çabaları sona erip bu yönlendiriciler tam olarak kullanılmaya başlanınca muhtemelen her bir paketin iletilmesinin maliyeti, toplam ekipman maliyeti yanında çok çok küçük kalacaktır.

Ancak günümüzde de MPLS'in getireceği basitleştirilmiş aktarma işleminin faydalarından yararlanabilecek yönlendiriciler bulunmaktadır.

4.8.1.2. Verimli açık yönlendirme

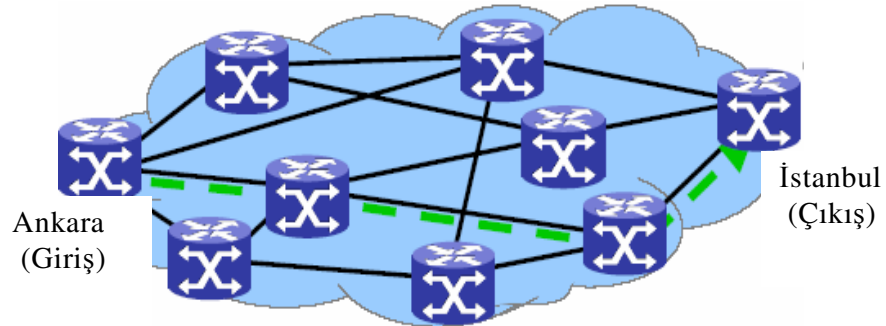
Açık yönlendirme ya da kaynaktan yönlendirme çok değişik amaçlar için kullanım alanına sahip güçlü bir tekniktir. Fakat, normal datagram yönlendirmesinde, her paketle birlikte paketin izleyeceği yolun tüm bilgisinin taşınmasının doğurduğu ek yük çok fazla olmaktadır.

MPLS teknolojisinde ise bu açık yönlendirme yani kaynaktan yönlendirme işlemi için gerekli olan ek bilgiler her paketle taşınmaz, sadece etiket anahtarlamalı yol – LSP – kurulurken taşınır ve bir kez bu LSP kurulduktan sonra bu bilgilere ihtiyaç kalmaz. Bu ise açık yönlendirmenin MPLS teknolojisinde çok pratik olarak gerçekleştirildiğini göstermektedir. Üstelik MPLS teknolojisinde, kaynaktan yönlendirmede kullanılacak birkaç gelişmiş yönlendirme özelliğinin devreye alınmasını sağlanabilmektedir.

4.8.1.3. Trafik mühendisliği

Trafik Mühendisliği, bir ağın içinden trafik akışının kontrol edilerek, ağ performansını optimize etmek ve kaynak kullanımından maksimum yararlanma işlemleridir. Trafik mühendisliği, birden fazla alternatif ya da paralel yolun bulunduğu durumlarda çok önemlidir. İnternet dünyasında meydana gelen hızlı büyüme, bantgenişliği isteklerinin de çok hızlı bir şekilde büyümesini ve bazı çekirdek ağların çok aşırı “dallanması” (branchy) sonucunu doğurmuştur.

Trafik Mühendisliği MPLS için birincil uygulamadır. Çünkü IP'nin kritik görev uygulamaları ve servis sağlayıcılar pazarındaki rekabetin artması, ağ kaynakları için tahmin edilmesi zor gelişmelere neden olmuştur. Trafik mühendisliğinden, çoğunlukla internette yararlanır. ISS'ler sayesinde ağ içindeki fiziksel yollardan akan trafiği, IGP'nin hesapladığı potansiyel olarak en az tıkanmış ve en kısa yoldan trafiğin taşınması sağlamak için kullanılır. (Şekil 4.8) [10], [15].



Şekil 4.8. MPLS ile Trafik Mühendisliği.

MPLS teknolojisi herhangi bir giriş yönlendiricisinden ağa giren ve herhangi bir çıkış yönlendiricisinden ağdan çıkan bir akışı tek olarak tanımlayabilmektedir. Yani MPLS, her bir giriş – çıkış yönlendiricisi arasında akan trafiğin ölçülmesinde ve kontrol edilmesinde çok kullanışlı yöntemler sunmaktadır.

MPLS'de trafik mühendisliğinin en zor yanı, her etiket anahtarlamalı yolun – LSP - yönlendirmesinin (LSP'nin hangi yönlendiricilerden geçeceği) nasıl olacağı sorusudur. Bunun için birden fazla yöntem vardır. Bu kararlar elle

ayarlayarak verilebilir ya da arkaplanda çalışarak sürekli yolların maliyetlerini ve yoldaki trafik yoğunluğunu hesap edip alternatif yollar bulmaya çalışan yönlendirme protokolleri kullanılabilir.

4.8.1.4. QoS yönlendirmeler

Zamana duyarlı uygulamalar gecikme yaşamayacaktır. Varılan noktada alınacak olan karar şudur: mevcut bant genişliği öyle verimli kullanılmalıdır ki hem yeterli bant genişliği gereksinimine cevap verebilmeli, hem de en etkin biçimde kullanılabilirdir. İşte bu eforu tanımlamak için kullanılan deyiş “Servis Kalitesi”dir (Quality of Service –QoS) [16].

Servis Kalitesi alanındaki en son gelişmeler paket tabanlı sistemlerde aynı anda veri, ses ve çoklu ortam uygulaması dediğimiz içerik-zengin uygulamaların IP paketleri üzerinden taşınabilmesini destekleyecek niteliktedir.

Servis Kalitesi çok farklı yöntem ve teknolojileri kullanarak bir ağ üzerindeki trafik akışının istikrarlı bir şekilde düzenlenmesini sağlayan teknikler bütünüdür. Bir ağ sahip olduğu bant genişliğinin kullanımını aktif bir biçimde monitör eder ve herhangi bir zamanda kalabalık oluşup oluşmadığının izini tutar. Bilgisayar ağı aktif bir biçimde kullanım modellerini üretir ve bant genişliği istatistiklerini tutar. Bunun yanında hizmet sağlama, kullanım ve mevcut bant genişliğinin dağıtımına bağlı olarak hali hazırdaki kurallara uyulmasını zorlar [17].

Servis kalitesine göre (QoS) yönlendirme işlemi, belirli bir akışın izleyeceği yolun seçilirken, o akışın gerektirdiği servis kalitelerini sağlayacak şekilde bir yolun seçilmesi anlamına gelir. Çok kere servis kalitesine göre yönlendirme, açık yönlendirmenin kullanılmasını gerektirir:

Bazı durumlarda her bir veri akışı belirli bir bantgenişliğinin rezerve edilmesi ve bu aralığın sadece ilgili akış tarafından kullanılması istenilir. Bu şekilde birden fazla istek olduğu durumlarda, tüm akışların ihtiyaç duydukları toplam

band genişliği, belirli iki düğüm arasındaki bağlantının kaldırabileceği toplam bandgenişliğinin üstünde olabilir ve böyle bir durumda ağa aynı giriş yönlendiricisinden giren ve ağdan aynı çıkış yönlendiricisinden çıkan akışların ağ içerisinde aynı yoldan iletilmesi mümkün olmamaktadır. Bunun için her bir akış, ayrı olarak yönlendirilmektedir. Bu işlem de bir anlamda trafik mühendisliği sayılmaktadır fakat akışların birbirlerinden çok dikkatli bir şekilde ayrılmasını gerektirmektedir. Her akışın ayrı olarak yönlendirilmesini sağlamak ve anahtarın tekrar ilgili akışın izleyeceği yolu yeniden belirlemesini önlemek için açık (explicit) yönlendirme gereklidir.

Belirli bir bandgenişliğine gereksinim duyan bir akışın yönlendirilmesini gözönüne alalım. Bu durumda seçilecek yolun, bu belirli bandgenişliğini sağlayabilecek bir yol olması gerekecektir. Sadece belirli seviyelerde bandgenişliklerine ihtiyaç olsa bu yol seçme işlemi kolay olacaktır ancak kuramsal olarak ihtiyaç duyulabilecek bandgenişliği seviyeleri çok çeşitlilik göstermektedir. Bundan dolayı olası her bandgenişliği ihtiyacını karşılayabilecek yolların önceden belirlenmesi imkansızdır. Eğer belirli bir akışın izleyeceği yolun belirlenmesi (hesaplanması) isteniliyorsa, yol üzerindeki her etiket anahtarlamalı yönlendiricisini – LSR'ın – bu hesabı tekrar yapması istenmez. Bunun yerine ilk düğümün bu hesabı bir kez yapması, daha sonra akışın iletileceği yolu belirlemesi ve artık kaynaktan (açık) yönlendirme ile bu akışı ilgili yoldan göndermesi yeğlenir.

Çeşitli nedenlerden dolayı bazen servis kalitesine göre yönlendirme yapmak için kullanılan birtakım bilgiler güncelliğini yitirmiş olabilir. Bu ise servis kalitesine duyarlı bazı akışların (QoS sensitive streams), izleyecekleri yoldaki bir düğümün ya da bağlantının gereksinim duyulan kaynakları (resource) karşılayamaması durumunda, iletilememesine yol açar. Buna benzer durumlarda, diğer ağ elemanlarına, ilgili ağ elemanının ihtiyaç duyulan gereksinimleri karşılayamadığını bildirmek her zaman mümkün olmayabilir. Ancak eğer kaynaktan (açık) yönlendirme kullanılıyorsa, ağdaki bir elemanın ilgili akışı taşıyamadığı bilgisi, o akışın ağa giriş (ingress) yönlendiricisine

ulaştırılabilir. Bu giriş yönlendiricisi de bunun üzerine yeni alternatif yollar aramaya başlayacaktır.

Bu ve buna benzer örnekler, iyi seviyede bir servis kalitesine göre (QoS) yönlendirme hizmeti vermek için kaynaktan (açık) yönlendirmenin mutlaka gerekli olduğunu göstermektedir. MPLS teknolojisinde açık (kaynaktan) yönlendirme işleminin çok verimli bir şekilde yapıldığı bilindiğine göre MPLS'in servis kalitesine göre yönlendirme hizmetleri vermek için çok uygun olduğu görülür.

4.8.1.5. Değişik servis düzeyleri desteği

MPLS teknolojisi, aynı ağ üzerinde birden fazla servis tipi hizmeti vermeyi sağlamak üzere tek bir aktarım yöntemi kullanmazdır. Kontrol amacıyla etiket anahtarlama yönlendiricilerin – LSR'ların – tabloları için kullanılan protokollerden bağımsız olarak sadece kullanılan aktarma yönteminden dolayı aynı ağ üzerinden çok değişik servislerin iletilmesi mümkün olmuştur.

Etiket anahtarlama yönlendiriciler – LSR'lar- üzerinden aktarılması uygun olan bazı servisler şunlardır: IP trafiği, frame relay trafiği, ATM trafiği, IP tünelleme (tunneling), sanal kurumsal ağlar (VPN'ler) ve diğer datagram protokolleridir.

İlgi çekici bir diğer nokta da MPLS teknolojisinin, tüm bu iletim ortamları (media) için zorunlu olarak tek bir başlık gerektirmediğidir. Ancak gene de belirli bir iletim ortamı için geçerli olabilecek tek bir başlık formatı vardır.

4.8.2. MPLS'in ATM ya da Frame Relay anahtarlarından oluşmuş bir ağa göre faydaları

Bu kısım, MPLS'i, yönlendiricileri, anahtarlama temelli çekirdek ağlar üzerinden birbirlerine bağlayan diğer metodlarla karşılaştırmaktadır.

Günümüzde yönlendiricileri birbirlerine bağlamak üzere ATM üzerinden IP türünde bir yapı kullanan metodlar şunlardır:

ATM ağına bağlanmış “n” adet yönlendirici için “n2” tane sanal devre kullanarak yönlendiricileri birbirlerine bağlamak (full mesh).

Yönlendiriciler arasında “n2” taneden daha az sayıda sanal devre (VC) kullanmak (partial mesh).

Sadece bazı yönlendiriciler arasında sanal devrelerle bağlantı kurma (partial mesh) ile birlikte anahtarlamalı sanal devrelerin (SVC – Switched Virtual Circuits) kullanımını sağlamak üzere NHRP protokolünün uygulanması.

4.8.2.1. Yönlendirme protokolünün ölçeklenebilirliği

Bir ATM çekirdek üzerinden yönlendiricilerin birbirlerine bağlandığı bir yapı ile karşılaştırıldığında MPLS, eşlerin (peers) sayısını azalttığı, yönlendirme protokollerinin düzgün çalışmasını sağlamak üzere kurulması gereken “n2” tane sanal devreye (VC) olan ihtiyacı ortadan kaldırdığı için yönlendirme işleminin ölçeklenebilirliğini çok arttırmıştır.

Tüm etiket anahtarlamalı yönlendiriciler (LSR) aynı standart protokolleri çalıştırdığı için birbirleri ile iletişimde olması gereken komşu yönlendirici (peer) sayısı, bir LSR’ın doğrudan bağlı olduğu LSR ve yönlendirici (router) sayısına indirilmiştir. Diğer metodlarda ise anahtarlamalı 2. katman yolunun uçlarındaki birçok yönlendiricinin birbirleriyle iletişim kurması gerekmektedir. Bu şekilde iletişim kurulması gereken komşu sayısının azalmasının nedeni, sınırdaki (edge) etiket anahtarlamalı yönlendiricilerin, ağın sınırlarındaki diğer tüm etiket anahtarlamalı yönlendiriciler (LSR) ile komşuluk kurmasının gerekmemesidir.

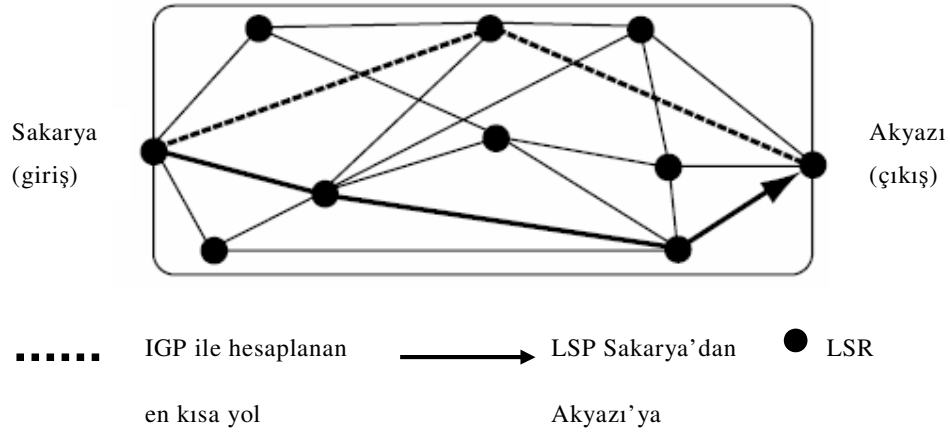
4.8.2.2. Ortak özellikler – işlemler

MPLS teknolojisi, paket ve hücre ortamları (packet and cell media) üzerinden ortak yönlendirme ve aktarma (forwarding) metodlarının kullanılmasını sağlamakta ve trafik mühendisliği, servis kalitesine göre QoS yönlendirme ve benzer diğer tüm konulara ortak bir bakış açısı getirmektedir. Bunun sonucu olarak örneğin, ATM ya da Frame Relay ağlarında veya özel MPLS başlığının (shim header) kullanıldığı noktadan noktaya (PPP) ve yerel ağlar (LAN's) gibi ağlarda aynı etiket dağıtım protokolünün kullanılması gösterilebilir.

4.9. MPLS Uygulamaları

4.9.1. Trafik mühendisliği

Trafik mühendisliği yaygın olarak internet servis sağlayıcıları tarafından, ağlarından akan trafiği, IGP protokolü tarafından hesaplanan en kısa yoldan farklı bir yol üzerinden ve potansiyel olarak daha az yığılma olabilecek yollardan akmasını sağlamak üzere kullanılmaktadır (Şekil 4.9). Trafik mühendisliği hali hazırda MPLS için en yaygın uygulama alanıdır. Bunun sebebi olarak da ağ kaynaklarında meydana gelen önceden tahmin edilmesi çok güç gelişmelerin olması, IP uygulamalarının kritik görevler yüklenmesi ve servis sağlayıcılar pazarında hızla büyüyen rekabet ortamı gösterilmektedir. Başarılı bir trafik mühendisliği çözümü ağın toplam trafik yükünü tüm bağlantılar, yönlendiriciler ve anahtarlar üzerinde dengeli bir şekilde dağıtmalı ve ağ bileşenlerinden hiçbirinin kapasitesinin çok altında ya da çok üstünde çalışmamasını sağlamalıdır. Bu sayede ağın performansı yükseltilebilir ve önceden tahmin edilebilir servisler sunulabilir.



Şekil 4.9. Geleneksel Trafik Mühendisliği.

MPLS'in büyük internet servis sağlayıcılarının ağlarında trafik mühendisliği uygulamaları geliştirmek için kullanılmasının uygun olmasının nedenleri şunlardır:

- MPLS'in açık (kaynaktan - explicit) yönlendirmeye verdiği destek. Bir akışa ait paketlerin, servis sağlayıcının ağında fiziksel olarak hangi yolu izleyerek gideceğinin, ağ yöneticileri tarafından belirlenebilmesi imkanı.
- Her LSP bazında tutulan istatistiklerin ileriye dönük planlamalar yapmak, darboğazların belirlenebilmesine yardımcı olmak üzere ağ planlama ve ağ analizi araçlarına girdi olarak kullanılabilmesi.
- Belirli kriterlere göre yönlendirme yaparak bazı etiket anahtarlamalı yolların - LSP'lerin - ihtiyaç duyulan performans gereksinimlerine cevap verecek şekilde kurulmasını sağlayabilme.
- MPLS tabanlı bir çözümün paket tabanlı ağlarda da çalışabilmesi, sadece ATM altyapısı üzerinde çalışacak şekilde sınırlı olmaması.

Ağ tabanlı entegre servisler tarafından verilen Servis Kalitesi hizmetinden etkilenen pek çok uygulama bulunmaktadır. Bu uygulamalara genel olarak

bakıldığında karşılan şey, her bir uygulamanın kendisine göre özel sayabileceğimiz farklı nitelik ve ölçülerde hizmet gereksinim duymasındır. Aşağıda yer alan örnekler bunu daha iyi açıklayacaktır;

- Paketlenmiş Ses Trafiği: Yüksek kalitede ses için çok az gecikme toleransı vardır. Ancak bant genişliği açısından çok yüksek bir seviyeye gerek yoktur. Ortalama 8 Kbps.

- Video Trafiği: 128 ile 384 Kbps. lik bant genişliği gibi yüksek aktarım seviyelerine gereksinim duyar. Gecikmeye tahammülü yoktur.

- Dosya Transferi: Yüksek seviyedeki bant genişlikleri rahatlatır. Gecikme çok sorun olmaz.

- E-posta Trafiği: Düşük seviyeli bant genişliğine gerek duyar. Gecikmeye karşı sorun yaşamaz [18].

Bu sayılan örnekler düşünüldüğünde Servis Kalitesini etkileyen faktörler ve çözümler şu şekilde sıralanabilir;

1- Büyük paketler daha alt seviyedeki önceliklerle önceliklendirilir. Çünkü büyük bir paketin aktarılması küçük bir pakete göre ağda daha fazla gecikmeye neden olacaktır.

2- Ağda yer alan farklı hızlardaki bağlantılar içsel olarak bir takım kuyrukların oluşmasına neden olabilir. Bu durumda gecikme ve paket kaybı artacaktır. Ayrıca Servis Kalitesi de bundan etkilenecektir.

4.9.2. Servis sınıfları

Servis Sınıfları, uygulamaların belirli karakteristik özellikleri göz önüne alınarak özel Servis Kalitesi gruplarına ayrılması demektir. Her kategori içerisinde yer alan uygulamalar kendilerine has diyebileceğimiz gereksinimlerini

kendi kendilerine karşılamakta olup, genel anlamda düşünülduğünde her bir kategori ortak bir Servis Kalitesine atanmıştır [19].

İnternet servis sağlayıcılarının, farklılaştırılmış hizmetler (differentiated services) için destek vermeleri arttıkça MPLS'in getireceği faydalar da artacaktır. Farklılaştırılmış hizmetler modeli, tüm trafiği küçük bazı servis sınıflarına dağıtmak için çeşitli mekanizmalar tanımlar. Müşteriler, interneti kendi kurumsal ağları (private network) gibi, klasik dosya transferinden ses ve video gibi gecikmeye duyarlı uygulamalar benzeri çok değişik servislerden faydalanmak için kullanırlar. İnternet servis sağlayıcıları da müşterilerinin isteklerini karşılamak üzere sadece trafik mühendisliği tekniklerini değil aynı zamanda trafik sınıflandırma tekniklerini (traffic classification techniques) geliştirmelidir.

Bir internet servis sağlayıcısı MPLS tabanlı servis sınıfları desteği verecekse bunu iki yaklaşımla yapabilir:

MPLS başlığında taşınan öncelik değerine göre etiket anahtarlama yönlendiricinin – LSR'ın- çıkış arabiriminde paketler, belirli bir etiket anahtarlama yoldan –LSP'den- akan trafiğe iletilmek için kuyruğa alınabilir.

Bir İSS (İnternet Servis Sağlayıcı) ağ sınırındaki her etiket anahtarlama yönlendirici arasında birden fazla etiket anahtarlama yolu LSP kurabilir. Her etiket anahtarlama yolu (LSP) de değişik bantgenişliklerini ve değişik performans kriterlerini sağlayacak şekilde ayarlanabilir. Giriş yönlendiricisi yüksek öncelikli bir trafiği belirli bir etiket anahtarlama yolu (LSP), orta derecede öncelikliye sahip trafiği ise bir başka LSP, elden gelenin en iyisi (best effort) şeklinde bir aktarımı kabul edebilen bir trafiği üçüncü bir LSP, elden gelenin en iyisinden daha da az önceliğe gereksinim duyan bir trafiği (örneğin haber grupları) de dördüncü bir LSP üzerinden aktarabilir.

MPLS teknolojisi bir internet servis sağlayıcısına, müşterilerine sunduğu servis tiplerini kullanmada mükemmel bir esneklik sağlar. Her paketdeki öncelik

bitleri, sadece paketlerin değişik servis sınıflarından bir tanesine dahil edilmesi için kullanılır. Her servis sınıfında desteklenecek servislerin neler olduğu servis sağlayıcı tarafından belirlenmektedir.

4.9.3. MPLS ve farklılaştırılmış hizmetler

Bir MPLS ağında, herhangi bir veri akışı bir yol üzerinden aktarılıyorsa burada bir etiket anahtarlamalı yol – LSP – kurulabilir. Herbir giriş (ingress) etiket anahtarlamalı yönlendiricide – LSR – gelen her pakete bir etiket yapıştırılır ve sonraki LSR’a aktarılır. Paketin izleyeceği LSP üzerindeki her LSR’da etiketler kullanılarak paket sonraki düğüme iletilir.

Farklılaştırılmış hizmetler (Differentiated Service - Diff-Serv) verilen bir ağ da ise, belirli bir bağlantıdan geçen ve aynı Diff-Serv davranışının uygulanması gereken paketlerin tümü bir Behavior Aggregate – BA oluşturur. Diff-Serv ağının giriş düğümünde paketler sınıflandırılır ve paketler, karşılık düştükleri BA’ları belirtmek üzere, Diff-Serv Code Point ile (DSCP) işaretlenirler. Paketin geğtiği her düğümde bu DSCP değeri pakete uygulanacak davranışın belirlenmesi, hatta bazı durumlarda paketin çöpe atılma olasılığının belirlenmesi için kullanılır. Bir BA sınıfına uygulanacak bir ya da daha fazla PHB (Per Hop Behavior) ise bir “PSC” (PHB Scheduling Class) oluşturur.

4.9.4. EXP ile belirlenen PSC’li LSP’ler

Tek bir etiket anahtarlamalı yol – LSP – her bir fonksiyonel denklik sınıfı – FEC – için en fazla sekiz adet BA’yı destekleyebilmektedir. Bu LSP’ler üzerinden aktarılan paketlerdeki MPLS başlığının EXP alanı, etiket anahtarlamalı yönlendirici - LSR – tarafından pakete uygulanacak olan davranışların yani PHB’nin (Per Hop Behavior) belirlenmesi amacı ile kullanılır. Buna hem PSC (PHB Scheduling Class - PSC) hem de paketin atılma tercihlerini içermektedir.

Buna benzer etiket anahtarlama yolları – LSP'lere – “EXP ile belirlenen PSC'li LSP'ler” (“EXP-inferred-PSC LSPs”) (E-LSP) adı verilir çünkü ilgili LSP üzerinden aktarılan paketin PSC bilgisi, paketin MPLS başlığındaki EXP alanı ile belirlenmektedir.

EXP alanından PHB bilgisinin (örneğin PSC ve atılma öncelikleri) yorumlanması için ya etiket atanmasının yapıldığı sırada yapılan özel mesajlaşmalarla sağlanır ya da daha önceden belirlenmiş bir yöntem kullanılır.

4.9.4.1. Etiket ile belirlenen PSC'li LSP'ler

Her bir FEC – OA (Ordered Aggregate) için ayrı bir etiket anahtarlama yolu – LSP - da kurulabilir. Bu LSP'lerde, etiketlerin atanması ve etiket dağıtım esnasında PSC bilgisi de özel olarak dağıtılır ve tüm etiket atamaları tamamlandıktan sonra her bir etiket anahtarlama yönlendirici – LSR – paketlerin etiket değerlerinden paketlere uygulayacakları PSC bilgilerini çıkartabilir hale gelir. Aktarım sırasında MPLS başlığı (Shim Header) kullanılıyorsa, etiketlenmiş bir pakete uygulanacak “atılma öncelikleri” (drop precedence) bilgisi, paketin MPLS başlığındaki EXP alanından öğrenilir. Eğer ATM gibi bir altyapı kullanılıyorsa yani MPLS başlığı (Shim Header) kullanılmıyorsa, bir LSR'in etiketlenmiş bir paketin atılma önceliklerini belirleyebilmesini sağlamak üzere, veri-bağı (link layer) katmanının başlığında bu iş için özel olarak ayrılan bir alan (örneğin ATM'de Cell Loss Priority alanı) kullanılır.

Bu tarz etiket anahtarlama yolları – LSP'lere – “Etiket ile Belirlenen PSC'li LSP'ler”(Label-Only-Inferred-PSC LSP) (L-LSP) adı verilir. Belirli bir fonksiyonel eşitlik sınıfı – FEC – için aşağıdakilerin kombinasyonlarından birisi MPLS Diff-Serv ağında uygulanabilir:

- Sıfır veya istenilen sayıda E-LSP.

- Sıfır veya istenilen sayıda L-LSP.

Ağ yöneticisi, kullanılacak olan E-LSP ve L-LSP sayısı kombinasyonunu mümkün olan sınırlar içerisinde seçer ayrıca bu LSP kombinasyonları üzerinden iletilecek olan BA'ları (Behavior Aggregates) verilmek istenen Diff-Serv desteği seviyesine göre ve istenilen trafik mühendisliği kriterlerine sağlayacak şekilde seçer.

4.9.4.2. Etiketler ve FEC'ler arasındaki ilişkiler

Daha önceki konularda da belirtildiği gibi bazı LSR'lar sadece paketin aktarılacağı bir sonraki düğümü seçmekle kalmaz ayrıca paketin önceliklerini ve servis sınıfını (CoS) da değerlendirirler. Bu şekilde farklı paketlere uygulayacakları çöpe atma ve sıralama kriterlerini belirleyebilirler. MPLS de paketlerin etiketlerinden tam ya da kısmi olarak servis sınıfının belirlenmesine olanak verir (fakat zorunlu değildir). Bu durumda bazen belirli bir etiket bir fonksiyonel denklik sınıfını – FEC- ve bir servis sınıfının kombinasyonunu temsil eder. Yani;

E-LSP'lerde, etiket değeri bir FEC ve bir (Behavior Aggregates) kombinasyonunu temsil eder. Eğer desteklenen tüm BA'lar bir LSP üzerinden taşınıyorsa bu durumda etiket komple fonksiyonel eşitlik sınıfını – FEC – temsil eder hale gelir.

L-LSP'lerde, etiket değeri bir FEC ve bir Ordered Aggregate (OA) kombinasyonunu temsil eder.

4.9.4.3. E-LSP'ler ve L-LSP'ler için bandgenişliği rezervasyonu

Hangi etiket atama protokolünün kullanıldığından bağımsız olarak E-LSP'ler ve L-LSP'ler bandgenişliği rezervasyonu yaptırılarak veya yaptırılmadan kurulabilirler.

Bir E-LSP'yi veya L-LSP'yi bandgenişliği rezervasyonu yaparak kurmak demek, bu LSP için gerekecek bandgenişliği ihtiyacının LSP kurulumu

aşamasında mesajlaşarak dağıtılmasıdır. Bu şekilde yapılan bandgenişliği ihtiyaçı haberleşmeleri sayesinde herbir LSR ilgili LSP'nin kuruluşu aşamasında, ilgili PSC'ler için öngörölmüş Diff-Serv kaynaklarının kontrolünü yapabilir ayrıca bu PSC'lere ayrılmış kaynaklar üzerinde düzenleme yapmakta kullanabilir.

4.9.4.4. Diff-Serv LSR'lar için etiket aktarma modeli

Belirli bir FEC'in değişik OA'ları (Ordered Aggregate) değişik LSP'ler üzerinden aktarılabilidiğinden dolayı, Diff-Serv LSR'ın etiket değiştirme (label swapping) kararı tümüyle aktarılacak paketin BA'sına (Behavior Aggregate) dayanmaktadır. Ayrıca paketin IP başlığının DS (Diff-Serv) alanının etiket anahtarlamalı yönlendiriciler tarafından doğrudan incelenmeyeceği de göz önüne alınır, gelen bir pakete uygulanacak PHB (Per Hop Behavior) bilgisini edinmek için ve gönderilecek bir pakete bu PHB bilgisini yerleştirmek için kullanılacak teknikler, MPLS Diff-Serv yönlendiricisi olmayan diğer yönlendiricilerde kullanılan tekniklerden farklı olacaktır. Diff-Serv etiket anahtarlamalı yönlendiriciler – Diff Serv LSR'lar – tarafından gerçekleştirilen etiket aktarma işlemi dört aşamadan oluşacak şekilde modellenenebilir.

- Gelen paketin PHB bilgisinin belirlenmesi (A)
- Opsiyonel olarak giden paketlerin PHB bilgisinin belirlenmesi (Local Policy and Traffic Conditioning) (B)
- Etiket değiştirme (C)
- Diff-Serv bilgisinin pakete iliştirilmesi (EXP,CLP,DE,User_Priority) (D)

İliştirilmiş Diff-Serv bilgisi, MPLS başlığında (ya da diğer bağlantı katmanı başlıklarına) ilgili alanlara yerleştirilmiş Diff-Serv ile ilgili bilgileri simgelemektedir.

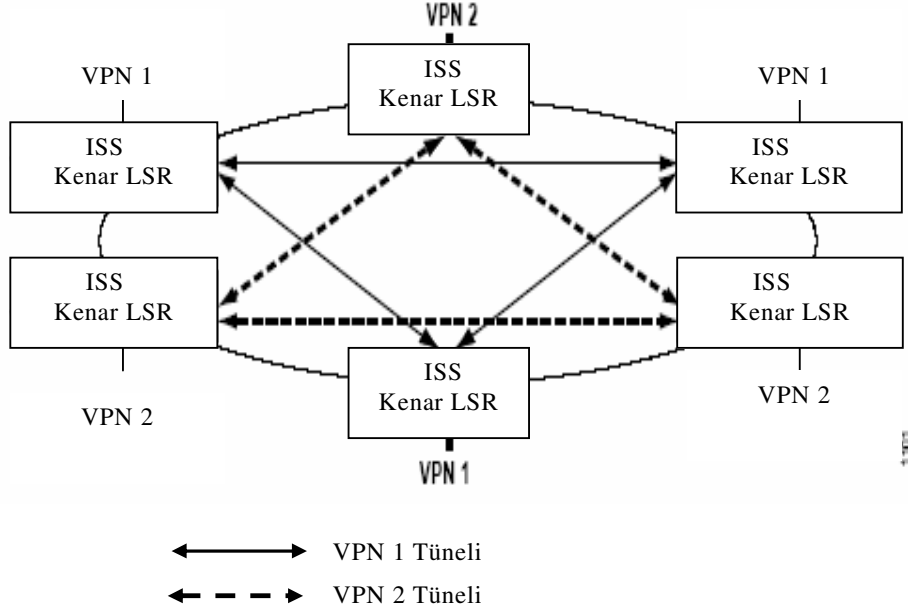
4.9.5. VPN

Hizmet sağlayıcılara çok büyük yararı olan MPLS uygulamalarının bir tanesi de sanal ağları desteklemesidir.

Sanal kurumsal ağlar (VPN'ler) temel olarak aşağıdaki 4 yapıtaşının gerçekleşmesi ile kurulurlar:

- Her müşterinin ağını koruyacak ve internet ile güvenli bir arabirim oluşturacak Güvenlik Duvarları (Firewall).
- Her bir müşteri ağının sadece izin verilen diğer ağlarla veri haberleşmesini sağlamak üzere yetkilendirme işlemleri (authentication).
- Verinin, internette dolaşırken okunup değiştirilmesini engellemek üzere şifreleme mekanizmaları.
- Çok katmanlı iletişim servislerini kullanabilmek ve VPN içerisinde yöresel anlamlı IP adres uzayları kullanılmasına olanak vermek için "Tünelleme" işlemi.

MPLS, internet servis sağlayıcılarına basit, esnek ve güçlü bir tünelleme mekanizması sağlayarak, ISS'lere VPN servisleri hizmetleri verme imkanını sunmaktadır.



Şekil 4.10. MPLS ile VPN'lerin Yerleştirilmesi.

Şekil 4.10.'da olduğu gibi İnternet servis sağlayıcısı VPN'deki değişik ağ parçalarını (site) birbirlerine bağlamak üzere bir etiket anahtarlamalı yol LSP kümesi kurulmalıdır. Bu bağlantılar kurulduktan sonra her ağ parçası, kendi içerisinde ulaşılabilir olan IP öneklerini (prefix) servis sağlayıcıya bildirir. Servis sağlayıcının yönlendirme sistemi de bu bilgileri ya etiket dağıtım protokolü – LDP - aracılığı ile ya da yönlendirme protokolü güncellemeleri ile ağ içerisinde dağıtır. Sanal kurumsal ağ belirteçleri ile (VPN identifiers) tek bir yönlendirme sistemi kullanılarak, kendi içerisinde aynı adres uzaylarını kullanan birden fazla değişik sanal kurumsal ağa (VPN) destek verilebilir.

4.10. MPLS'in IP şebekelere getirdiği faydalar

- VPN 1: Hizmet sağlayıcılar, şifreleme ve son kullanıcı uygulamalarına gerek kalmadan MPLS kullanarak şebekelerinde IP tünelleri oluşturabilmektedir.
- MPLS ATM'den farklı olarak IP ile birlikte çalışmak için tasarlanmıştır.
- Trafik Mühendisliği: Şebeke boyunca akan trafiği önceden belirleyebilme, izleme ve trafiğin performansını ayarlama kabiliyeti getirilmektedir.

- Çok Katmanın Elenmesi: Bir çok taşıyıcı şebekesinde 1. katmanda SONET2/SDH, 2. katmanda ATM ve 3. katmanda IP kullanılmaktadır. Taşıyıcılar MPLS kullanarak IP-ATM-SDH gibi çok katmanlı yapıdan IP-MPLS'e geçecek böylece katman sayısında azalma olacak ve şebeke karmaşıklığı azalıp yönetimi kolaylaşacaktır. ATM de paketler 48+5 baytlık hücrelere bölünmekte ve bu 5 baytlık eklentiler verimliliği olumsuz etkilemektedir. Sonunda şebeke SONET/SDH ve ATM'den uzaklaşmış olabilecek ve IP trafiğinin taşınmasında ATM in verimsizliği ortadan kalkabilecektir [20], [21].

- Layer 2 Taşıma: Yeni standartlar sayesinde servis sağlayıcılar artık Ethernet, Frame Relay ve ATM gibi Layer 2 servisleri IP/MPLS omurga üzerinden verebiliyorlar.

- Yedeklilik: Trafiğin akacağı patika için alternatiflerinin hazır bulundurulması, servislerin link kesintilerinden minimum etkilenmesi (Fast Re-Route).

4.11. MPLS'in ATM ile Karşılaştırılması ve MPLS'in Avantajları

- ATM de PVC bir çok noktadan da geçse de IP seviyesinde tek hopcount gibi gözüktüğünden verimli bir trafik akışı yapılamamaktaydı fakat MPLS'in IP duyarlı olması buna olanak sağlamaktadır.

- ATM'de hücre başlığına göre yapılan trafik sınıflandırması, MPLS'de direkt IP başlığına göre yapılabilmektedir. Bu daha verimli Servis Sınıflandırmasını (CoS) sağlamaktadır.

- ATM IP, MULTICAST ve RSVP gibi ileri IP servisleri de dezavantajlara sahiptir, MPLS aksine IP adresini etiketine kopyaladığı için bu servisleri sağlayabilmektedir.

- İnternet hizmeti ATM/FR'de omurgadan gelen müşteriler Router'lar üzerinden sonlandırılıp internet'e çıkarılıyor, MPLS ile İES Genişletilmiş İnternet hizmeti Router' lar üzerinden veriliyor.

- ATM/FR'de omurga üzerinden devreler noktadan noktaya veriliyor, MPLS'de çok noktalı sanal LAN servisi VPLS.

- MPLS ile Layer-3 VPN, IP sayesinde müşterilere VPN hizmeti VPRN ve noktadan noktaya sanal kiralık hat hizmetleri de (VLL) verilmektedir.

- MPLS'in ISS'lara getirdiği en önemli yarar geleneksel IP yönlendirme teknikleri sayesinde yüksek hız veri iletimi;

a- Mevcut omurgada en yüksek hız: STM-16 (2.5 G/sec.)

b- Yeni omurgada en yüksek hız: STM-64 POS ve 10 Gig Ethernet

Yeni hizmetlerin verilmesi;

a- Uçtan uca hizmet garantisi,

b- Kiralık hat, erişim ve veri şebekeleri için yüksek kalitede servis koruması,

c- Müşteriler için daha yüksek hızda kiralık hat imkanları,

d- Yeni nesil servislere açık / hazır (Üçlü servis, VLL,VPLS),

e- Servislerin yüksek derecede ölçeklenebilmesi,

MPLS sayesinde servis sağlayıcıları fiyat kontrol imkanını, en iyi hizmet seviyelerini ve kullanıcılara yeni hizmetleri sunar.

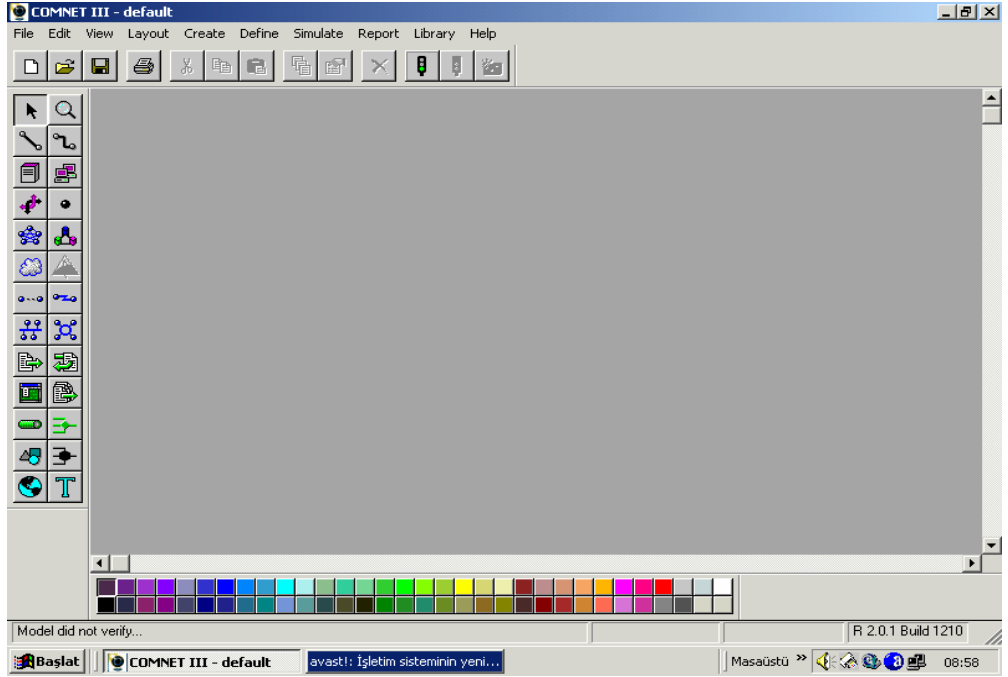
İyi bir ağ planlaması ile MPLS, ISS'lere ağ içinde iyi bir trafik ve kontrol seviyesi sağlar. Bunun sonucu olarak çok etkili olarak işletilir. Daha fazla hizmetleri destekler ve kullanıcı beklentilerinde sürekli olarak karşılaşılan değişiklikler için gerekli esnekliği sağlar [1].

BÖLÜM 5. MPLS SİMÜLASYONU

5.1. Simülasyona Giriş

Ortak bir hedefi başarmak için birlikte hareket eden elemanların bütününe sistem denir. Sistemin karakteristiklerini gösterimine ise model denir.

Bir sistemin simülasyonu, bu sistemi temsil edebilecek bir model oluşturma işlemidir. Bu model temsil ettiği sistem üzerinde yapılması çok pahalı olan veya mümkün gözükmeyen işlemlerin yapılmasına olanak verir [23].



Şekil 5.1. COMNET III Simülasyon Programı Görünümü.

Bu çalışmalarda ağ uygulama modelleri için bilgisayar ağlarının tasarım ve performans analizinde kullanılan bir simülasyon programı olan COMNET III kullanılmıştır.

Ağ benzetim modelinde kullanılan bu paket program yardımıyla geniş ve çeşitli ağ topolojileri ve yönlendirme algoritmaları uygun bir şekilde tasarlanabilir. Bu topolojiler,

- 1- LAN, WAN ve Internet alışma sistemleri,
- 2- Devre, mesaj ve paket anahtarlama ağlar,
- 3- Bağlantı tabanlı ve bağlantısız trafik,
- 4- Statik, uyarlamalı ve belirli kullanıcı algoritmalarıdır.

5.2. COMNET III Simülasyon Elemanları

Bazı önemli elemanların görevleri;

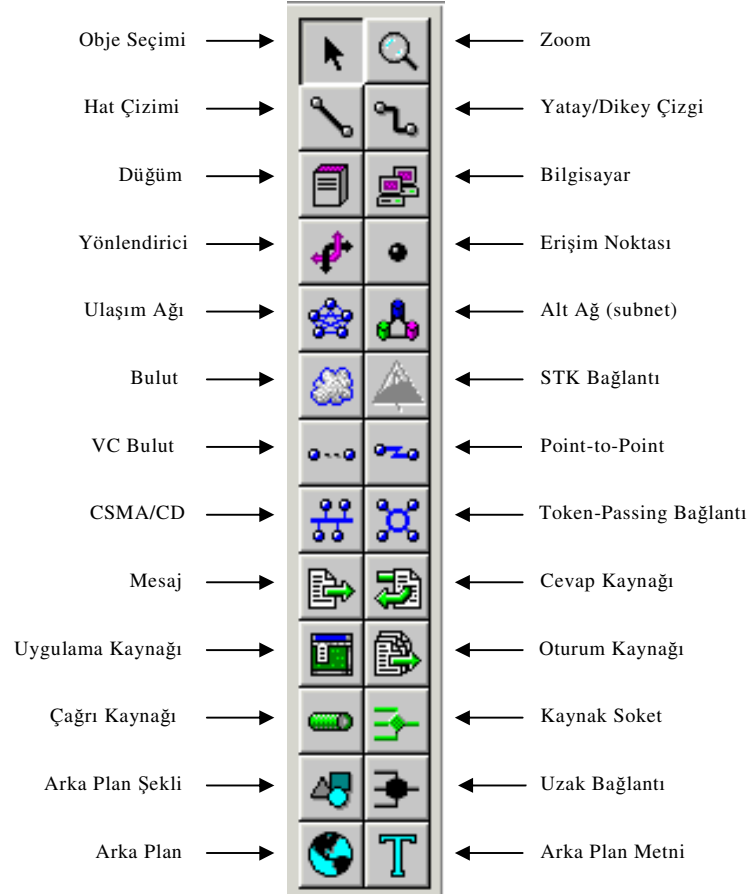
Message Source: Bir mesajın karakteristik özelliklerini tanımlamak için temel objedir. retilecek mesajın ses, veri veya video için gerekli tanımlamanın bir bölümü bu kısımda yapılır. Hangi servis sınıfında mesaj mesaj üretileceği belirlenir. Kaynak.

Processing Node: Mesaj trafiğin üretilip iletildiği işlem bölümüdür.

Point-to-Point Link: Noktadan-noktaya bağlantı sağlamada kullanılan objedir.

Network Device: Trafiği diğer birimlere yönlendirir bir yönlendirici veya anahtar olabilir. LSR

Transit Network: MPLS Sisteminin işlendiği bölümü.

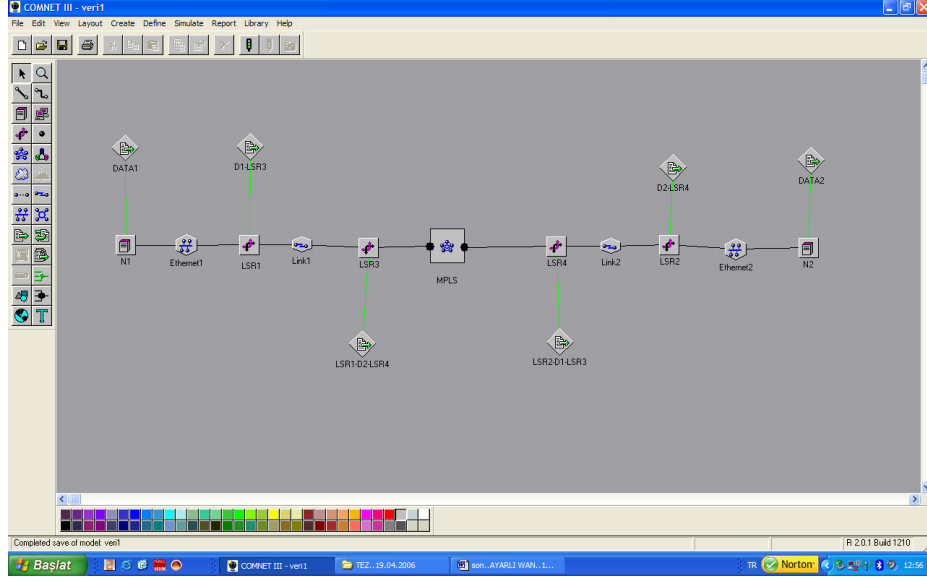


Şekil 5.2. COMNET III Elemanları.

COMNET III Paket Programı CACI firması tarafından geliştirilmiştir. Bu programla ses, veri ve video trafiği transfer simülasyonları yapılabilir.

5.3. Uygulama 1

Şekil 5.3.'de COMNET III ile yapılan ATM üzerinden MPLS simülasyon programında veri transferi uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 5.3. MPLS Kullanarak ATM Üzerinden Veri Transferi.

Data1 adlı mesaj kaynağından N1düğümü üzerinden 1 saniye periyotlarla ve (5000-50000) bayt aralığında veri üretilmektedir. Bu veri paketleri IP ile ATM tabanlı bağlantı ağı üzerinden LSR1 kenar yönlendiricisine gönderilir. Burada alınan bu pakete 4 bayt'lık MPLS etiketi eklenir. ABR hizmet sınıfı desteği ile MPLS etiketlenmiş paketler MPLS bulutuna gelir. Burada ise, paketler etiket değerine göre LSP boyunca iletilir. Paketler ATM anahtar veya yönlendiriciler tarafından etiket değerlerine bakılarak anahtarlanır. MPLS içinde AAL3/4-ABR ile 53 bayt'lık ATM hücrelere ayrılan paketler LSR4 kenar yönlendiricisine gönderilir. LSR4 kenar yönlendiricisi 4 bayt'lık etiketi atar ve paket N2 düğümüne ulaşır. Aynı işlemin tersi yapılarak yani en son N2 düğümüne gelen veri N1 düğümüne gönderilir. Bu kez N2 kaynak, N1 hedef düğüm olur. Böylece simülasyon tamamlanmıştır.

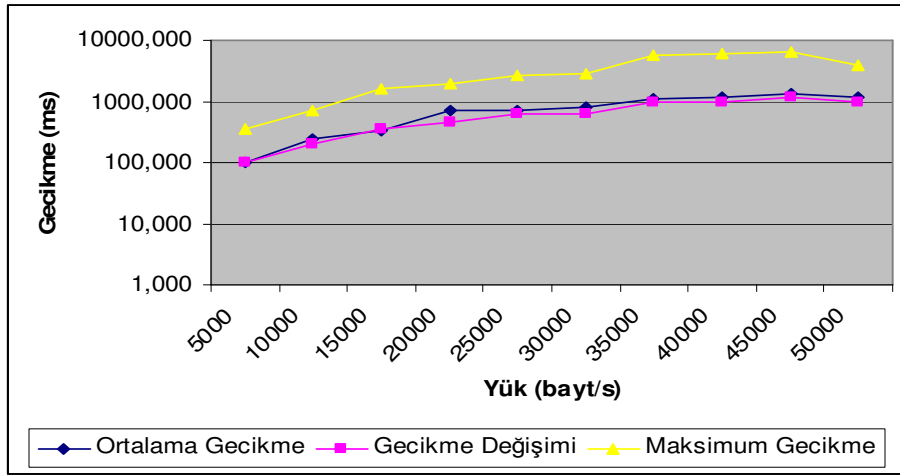
Verinin N1 düğümden N2 düğümüne ulaşabilmesi için geçen süreye mesaj gecikmesi denir. Uygulama 1 için Tablo 5.1.'de veri gecikme değerleri görülmektedir.

Tablo 5.1. Veri Trafığı Gecikme Değerleri.

VERİ Gecikme Değeri			
Veri Miktarı (bayt)	Ortalama Gecikme (ms)	Gecikme Değişimi (ms)	Maksimum Gecikme (ms)
5000	101,030	99,009	344,777
10000	240,077	200,767	700,016
15000	332,142	350,888	1580,099
20000	700,345	444,091	2000,333
25000	720,876	620,120	2599,681
30000	785,090	641,102	2800,775
35000	1109,443	980,776	5682,098
40000	1150,009	990,881	5999,098
45000	1310,887	1179,908	6500,349
50000	1200,098	945,091	3908,675

Bu uygulamada gecikme değeri 102 ms ile 1311 ms arasında, Maksimum gecikme değeri 6501 ms veri transferi uygulaması açısından uygun bir sonuçtur.

Şekil 5.4.'de veri trafiği transferi gecikme değerlerinin grafiği görülmektedir.

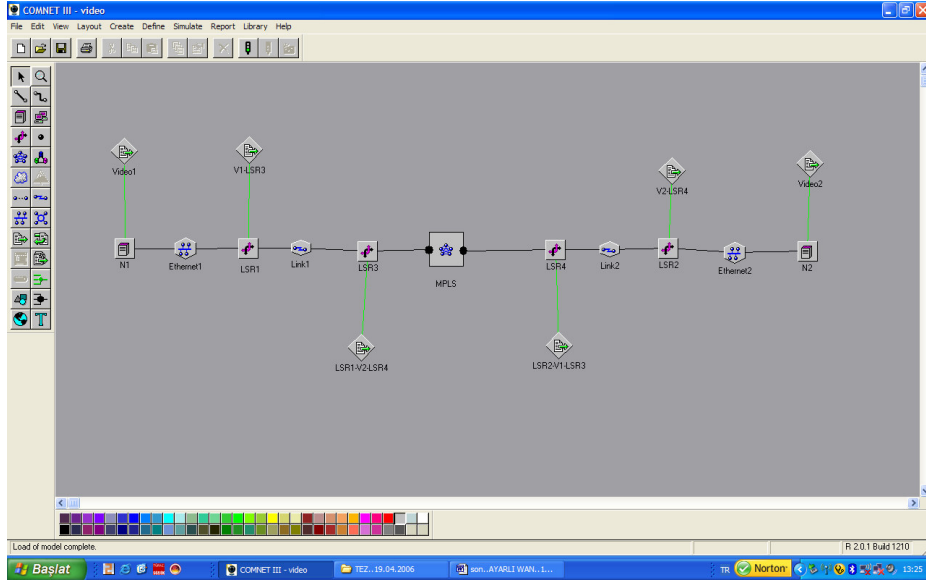


Şekil 5.4. Veri Trafığı Gecikme Değerleri Grafiği.

Şekil 5.4.'deki grafikte, mesaj değerlerinin 5000-50000 bayt arasında değiştirilmesi sonucunda gecikme değerlerindeki de artış gözlenmektedir. Özellikle 15000 bayt/s. ile 25000 bayt/s. değerlerinde varış zamanının değişiminde önemli bir artışın olduğu gözlenmektedir.

5.4. Uygulama 2

Şekil 5.5.'de COMNET III ile yapılan ATM üzerinden MPLS simülasyon programında görüntü transferi uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 5.5. MPLS Kullanarak ATM Üzerinden Görüntü Transferi.

Bu uygulamada video transferi gerçekleştirilmiştir. Video1 ve Video2 mesaj kaynaklarından karşılıklı olarak üretilen belirlenmiş büyüklükteki paketler (5000-50000) bayt aralığında düğümler arasında transferi yapılmıştır. Görüntü iletimi olduğu için AAL2-VBR hizmet sınıfı kullanıldı.

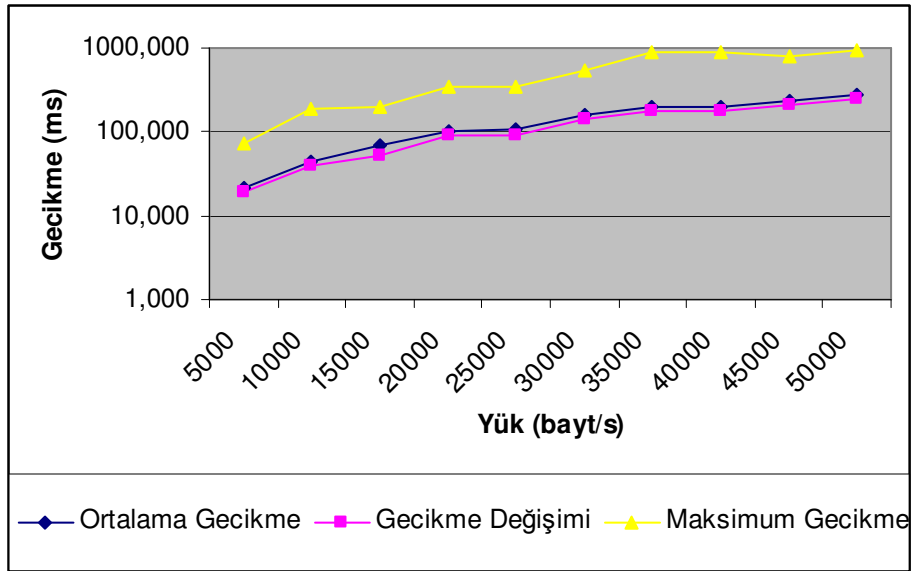
Tablo 5.2.'de simülasyon sonucunda N1 ile N2 arasında görüntü mesajları için gecikme değerleri görülmektedir.

Tablo 5.2. Görüntü Trafiği Gecikme Değerleri.

GÖRÜNTÜ Gecikme Değeri			
Görüntü Miktarı (bayt)	Ortalama Gecikme (ms)	Gecikme Değişimi (ms)	Maksimum Gecikme (ms)
5000	21,615	19,005	72,006
10000	45,121	40,457	185,451
15000	69,128	51,005	198,100
20000	100,564	89,099	350,532
25000	109,632	90,685	345,237
30000	158,854	139,401	550,906
35000	198,659	180,084	909,229
40000	202,673	182,442	880,630
45000	231,076	206,222	795,305
50000	274,856	249,306	930,039

Bu uygulamada gecikme değeri 22 ms ile 275 ms arasında, Maksimum gecikme değeri 930 ms görüntü transferi uygulaması açısından uygun bir sonuçtur.

Şekil 5.8.'de görüntü trafiği transferi gecikme değerlerinin grafiği görülmektedir.

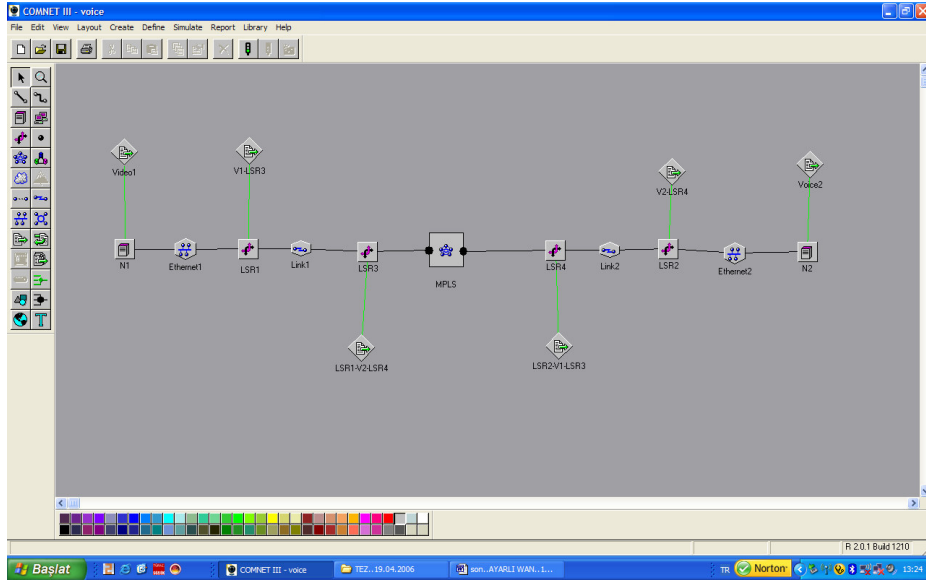


Şekil 5.6. Görüntü Trafiği Gecikme Değerleri.

Şekil 5.6.'daki grafikte, mesaj değerlerinin 5000-50000 bayt arasında değiştirilmesi sonucunda gecikme değerlerinde de artış olup, Özellikle 10000 bayt/s. İle 20000 bayt/s. değerlerinde varış zamanının değişiminde önemli bir artışın olduğu gözlenmektedir.

5.5. Uygulama 3

Şekil 5.7.'de COMNET III ile yapılan ATM üzerinden MPLS simülasyon programında ses transferi uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 5.7. MPLS Kullanarak ATM Üzerinden Ses Transferi.

Bu uygulamada ses transferi gerçekleştirilmiş olup Voice1 olarak üretilen ses N1'düğümünden N2 düğümüne iletilmiştir. Sistemin çalışması Şekil 5.3.'nın aynısıdır. Ses iletimi olduğu için AAL1 servis sınıfı kullanıldı.

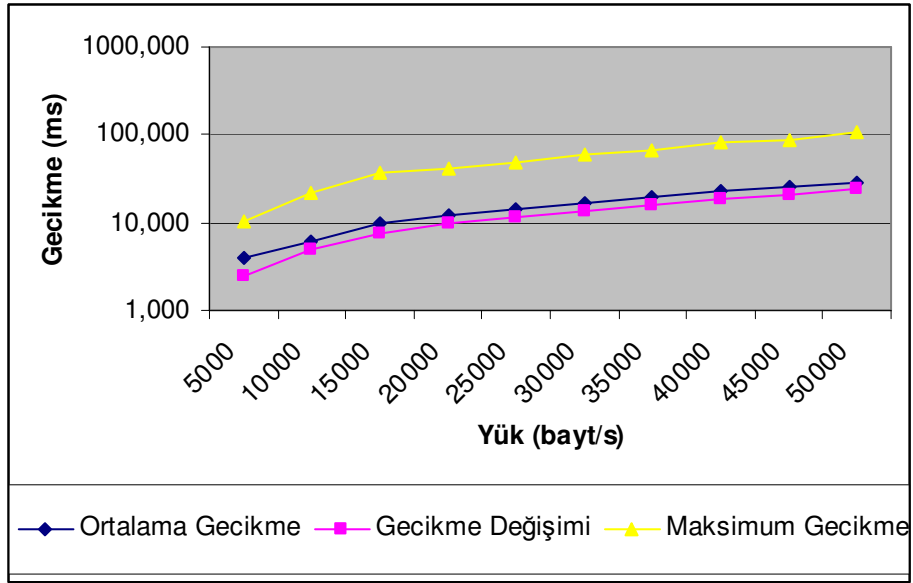
Tablo 5.3.'de simülasyon sonucunda N1 ile N2 arasında Voice1 mesajının gecikme değerleri görülmektedir.

Tablo 5.3. Ses Trafığı Gecikme Değerleri.

Ses Gecikme Değeri			
Ses Trafığı Miktarı (bayt)	Ortalama Gecikme (ms)	Gecikme Değişimi (ms)	Maksimum Gecikme (ms)
5000	3,998	2,449	10,408
10000	6,088	4,992	22,009
15000	9,665	7,621	36,448
20000	12,170	9,701	42,225
25000	14,009	11,702	49,554
30000	16,455	13,496	60,380
35000	19,333	16,001	66,664
40000	22,996	19,005	82,548
45000	25,991	20,211	85,006
50000	28,335	24,301	110,003

Bu uygulamada gecikme değeri 4 ms ile 29 ms arasında, Maksimum gecikme değeri 110 ms ses transferi uygulaması açısından uygun bir sonuçtur.

Şekil 5.8.'de ses trafiği transferi gecikme değerlerinin grafiği görülmektedir.



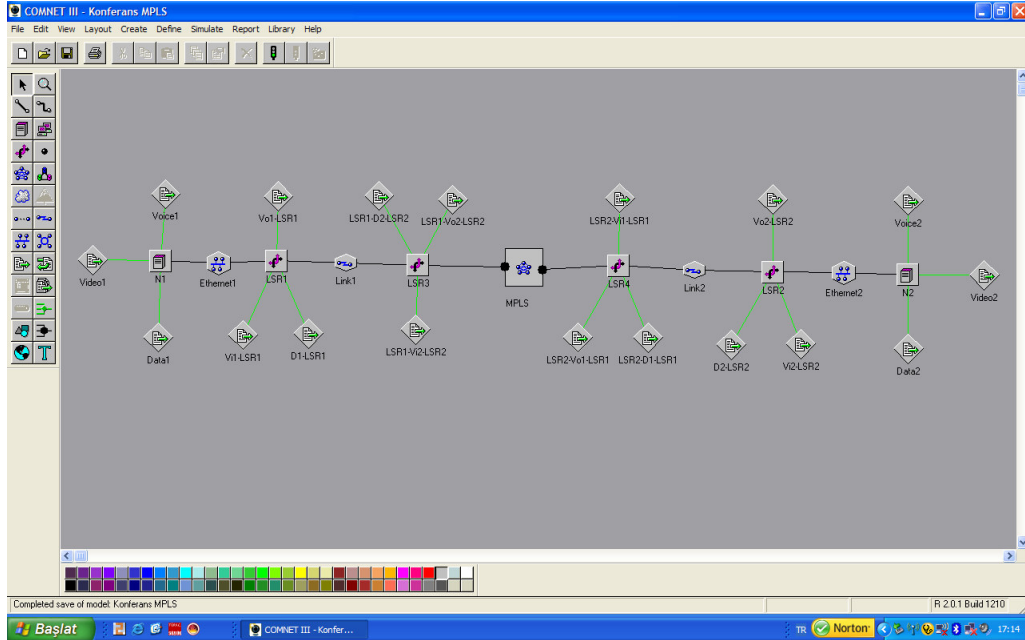
Şekil 5.8. Ses Trafığı Gecikme Değerleri.

Şekil 5.8.'deki grafikte, mesaj değerlerinin 5000-50000 bayt arasında değiştirilmesi sonucunda gecikme değerlerindeki artış olup özellikle 10000 bayt/s. İle 25000 bayt/s. değerlerinde varış zamanının değişiminde önemli bir artışın olduğu gözlenmektedir.

Sonuç olarak; Değerlerde görüldüğü gibi ses trafiği veri ve video trafiklerine göre daha az bir gecikmeyle gönderilmiştir. Bu bant genişliği ile ilgilidir. Veri ve video trafiklerinin transferlerinde daha fazla bant genişliğine ihtiyaç vardır. Özellikle veri trafiklerinin modellemelerden anlaşılacağı gibi daha fazla bant genişliğine ihtiyaç duyduğu anlaşılmaktadır.

5.6. Uygulama 4

Şekil 5.9.'da COMNET III ile yapılan ATM üzerinden MPLS simülasyon programında Konferans (Ses, Görüntü ve Veri) transferi uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 5.9. ATM Kullanarak MPLS Konferans Simülasyon Modeli.

Bu uygulamada kaynak ve aynı zamanda hedef olan N1 ve N2 düğümlerinde üretilen ses, görüntü ve veri mesajları karşılıklı olarak transfer edilmektedir.

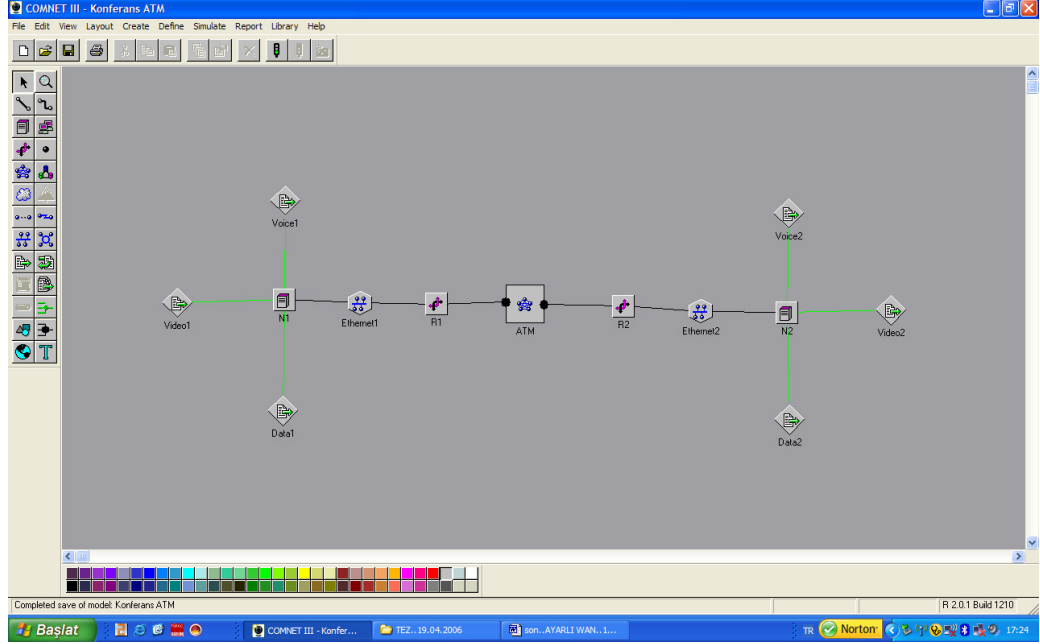
Mesaj kaynaklarında 1 saniye aralıklarla, (100-1000) bayt arasındaki belirli büyüklükteki ses, görüntü ve veri paketlerine LSR1’de (N2 için LSR2) MPLS başlığı (4 bayt) eklenir. Ses için AAL1 CBR, görüntü için AAL2 VBR, veri için AAL3/4 ABR ATM hizmet sınıfları kullanılarak çıkış yönlendiricisine LSR4’e (N2 için LSR3) gönderilir. MPLS bulutu içinde 53 bayt’lık ATM hücrelere ayrılan paketler etiket anahtarlamalı yol boyunca çıkış yönlendiricisine iletilir. LSR4’te (N2 için LSR3) 4 bayt’lık başlıkları atılan paketler IP teknikleri ile hedefe yönlendirilir. Simülasyon tamamlanmış olur.

Bu şekilde ATM ve IP’nin paket ve hücre ortamları üzerinden MPLS teknolojisi kullanarak konferans transferi iyi bir QoS desteği ile gerçekleştirilmiştir.

5.7. Uygulama 5

Şekil 5.10.’da COMNET III ile yapılan IP kullanarak ATM üzerinden Konferans (Ses, Görüntü ve Veri) transferi uygulaması gösterilmiştir. Bu uygulamada IP’nin “elden gelenin en iyisi” hizmet sınıfı kullanılmasıyla farklı trafikler için sınıflandırma yapılamadığından konferans transferleri ATM ağ içerisinde UBR hizmet sınıfı ile gerçekleştirilmektedir.

Bu modelde ağ omurgasında ATM anahtar kullanılmıştır. N1 ve N2 düğümlerinde mesaj kaynaklarından aynı anda 1 saniye aralıklarla (100-1000) bayt arasındaki belirli büyüklükteki ses, görüntü ve veri paketleri, R1 ve R2 yönlendiricileri kullanılarak ATM üzerinden hedefe (N1 ve N2) iletilmiştir. UBR hizmet sınıfı kullanıldığından paketler herhangi bir sınıflama olmadan IP protokolü kullanılarak transfer yapılmıştır.



Şekil 5.10. ATM Üzerinden IP Konferans Simülasyon Modeli.

5.8. MPLS-ATM ve ATM-IP Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Uygulama 4’te ATM üzerinden MPLS ve Uygulama 5’te ATM üzerinden IP kullanılarak yapılan konferans (ses, görüntü ve veri) simülasyonları sonucunda ayrıntılı olarak karşılaştırma yapalım.

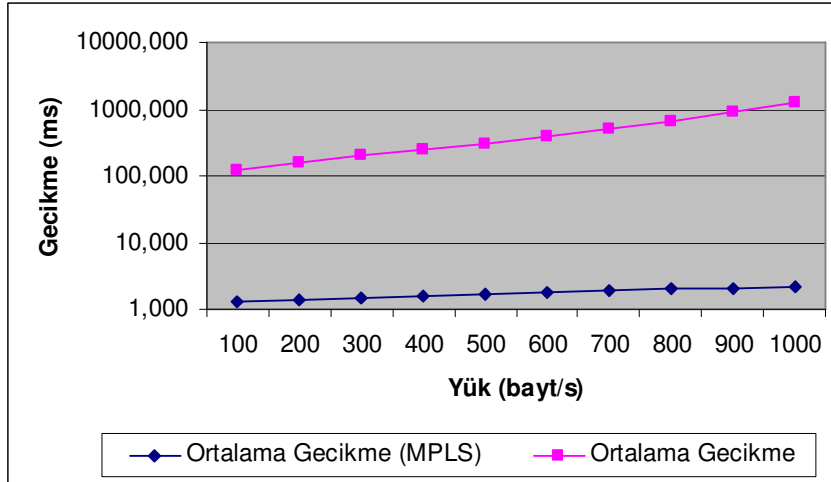
Tablo 5.4. MPLS-ATM Kullanarak Ses Gecikme Değerleri.

SES Gecikme Değeri (MPLS Kullanarak)			
Ses Trafiği Miktarı (bayt)	Ortalama Gecikme (ms)	Gecikme Değişimi (ms)	Maksimum Gecikme (ms)
100	1,321	0,100	1,783
200	1,419	0,201	2,336
300	1,516	0,300	2,893
400	1,614	0,405	3,473
500	1,713	0,505	4,032
600	1,812	0,605	4,583
700	1,910	0,707	5,138
800	2,010	0,807	5,699
900	2,108	0,910	6,276
1000	2,208	1,012	8,831

Tablo 5.5. ATM-IP Kullanarak Ses Gecikme Değerleri.

SES Gecikme Değeri			
Ses Trafiği Miktarı (bayt)	Ortalama Gecikme (ms)	Gecikme Değişimi (ms)	Maksimum Gecikme (ms)
100	123	36	452
200	155	74	856
300	203	177	2243
400	249	278	3421
500	302	358	3989
600	379	506	4994
700	492	651	5397
800	664	889	6042
900	895	1081	6521
1000	1260	1328	7420

Tablo 5.4. ile Tablo 5.5.'deki ses gecikme değerleri incelendiğinde, MPLS-ATM kullanılan modelin ATM-IP kullanılan modele oranla ses mesajları gecikme değerleri oldukça az olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.11. Ortalama Ses Mesajları Gecikme Değerleri Grafiği.

Şekil 5.11.'de ATM üzerinden MPLS ve ATM üzerinden IP kullanılarak yapılan konferans transferinde ses mesajlarının ortalama gecikme değerlerinin grafiği verilmiştir. MPLS-ATM Modelin çok avantajlı olduğu görülmektedir.

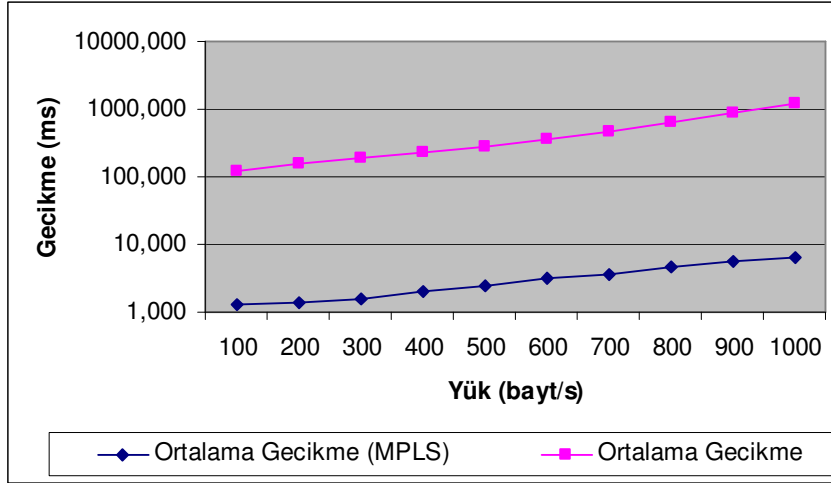
Tablo 5.6. MPLS-ATM Kullanarak Görüntü Gecikme Değerleri.

GÖRÜNTÜ Gecikme Değeri (MPLS Kullanarak)			
Görüntü Trafikçi Miktarı (bayt)	Ortalama Gecikme (ms)	Gecikme Değişimi (ms)	Maksimum Gecikme (ms)
100	1,317	0,076	1,533
200	1,408	0,154	1,835
300	1,568	0,570	4,734
400	1,996	1,636	8,710
500	2,507	2,274	8,965
600	3,076	2,959	12,473
700	3,615	3,624	16,405
800	4,689	5,125	22,300
900	5,552	6,194	26,242
1000	6,512	6,902	29,935

Tablo 5.7. ATM-IP kullanarak Görüntü Gecikme Değerleri.

GÖRÜNTÜ Gecikme Değeri			
Görüntü Trafikçi Miktarı (bayt)	Ortalama Gecikme (ms)	Gecikme Değişimi (ms)	Maksimum Gecikme (ms)
100	123	30	357
200	154	60	610
300	190	121	1993
400	231	183	2423
500	275	239	3721
600	355	409	4395
700	468	580	4889
800	646	811	5568
900	875	1015	6159
1000	1218	1241	6967

Tablo 5.6. ile Tablo 5.7.'deki görüntü gecikme değerleri incelendiğinde, MPLS-ATM kullanılan modelin ATM-IP kullanılan modele oranla görüntü mesajları gecikme değerleri oldukça az olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.12. Ortalama Görüntü Mesajları Gecikme Değerleri Grafiği.

Şekil 5.12.'de ATM üzerinden MPLS ve ATM üzerinden IP kullanılarak yapılan konferans transferinde görüntü mesajlarının ortalama gecikme değerlerinin grafiği verilmiştir. MPLS-ATM Modelin çok avantajlı olduğu görülmektedir.

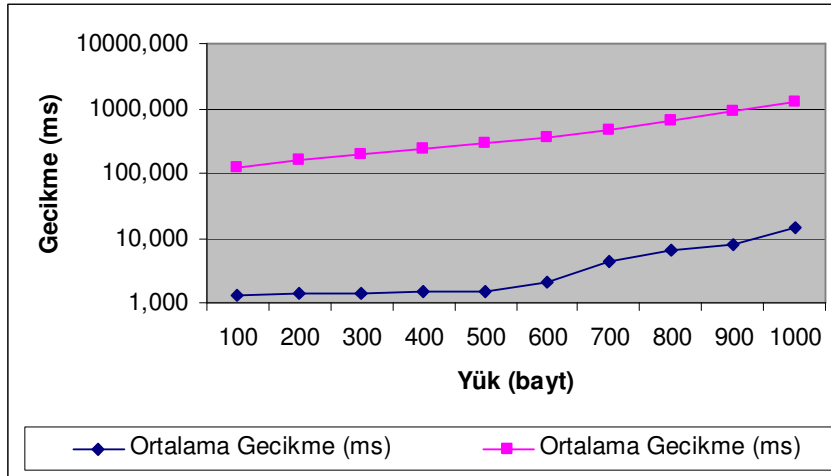
Tablo 5.8. MPLS-ATM Kullanarak Veri Gecikme Değerleri.

VERİ Gecikme Değeri (MPLS Kullanarak)			
Veri Trafiği Miktarı (bayt)	Ortalama Gecikme (ms)	Gecikme Değişimi (ms)	Maksimum Gecikme (ms)
100	1,301	0,149	1,811
200	1,356	0,197	1,849
300	1,415	0,241	1,962
400	1,460	0,266	2,018
500	1,511	0,281	2,063
600	2,113	4,925	42,213
700	4,229	12,774	67,481
800	6,427	16,302	72,438
900	8,168	23,877	120,390
1000	14,616	36,624	148,981

Tablo 5.9. ATM-IP Kullanarak Veri Gecikme Değerleri.

VERİ Gecikme Değeri			
Veri Trafığı Miktarı (bayt)	Ortalama Gecikme (ms)	Gecikme Değişimi (ms)	Maksimum Gecikme (ms)
100	126	30	319
200	159	64	674
300	197	126	2107
400	239	196	3423
500	288	256	3850
600	360	393	4524
700	471	568	5116
800	638	766	5723
900	908	1006	6395
1000	1263	1266	7042

Tablo 5.8. ile Tablo 5.9.'deki veri gecikme değerleri incelendiğinde, MPLS-ATM kullanılan modelin ATM-IP kullanılan modele oranla veri mesajları gecikme değerleri oldukça az olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.13. Ortalama Veri Mesajları Gecikme Değerleri Grafiği.

Şekil 5.13.'de ATM üzerinden MPLS ve ATM üzerinden IP kullanılarak yapılan konferans transferinde veri mesajlarının ortalama gecikme değerlerinin grafiği verilmiştir. MPLS-ATM Modelin çok avantajlı olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak tablo ve grafiklerden görüldüğü gibi MPLS kullanılan modelden elde edilen gecikme değerlerindeki farklılıklar açık olarak gözlemlenmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda, MPLS'nin IP ve ATM'nin avantajlı taraflarını bir araya getiren ve konferans trafik için uygun bir teknoloji olduğu anlaşılmaktadır.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

İletişim bilginin değişimi veya bilginin dağıtımını, mesaj değiştirilen veya dağıtılan bilgiyi, telekomünikasyon ise genellikle uzaktan yapılan iletişimde kullanılan teknolojiyi ifade etmektedir. Amaç kullanıcılar arasında değiştirilen bilgilerin taşındığı ortamları, kullanıcıları birbirlerine bağlayan yolları ve herhangi bir yerde yaratılan mesajın (ses, görüntü, veri..vb.) bir başka yerde kullanılabilmesini sağlamaktır. Hızla ilerleyen teknolojik çalışmalarla ilk etapta Yerel Alan Ağları (LAN-Local Area Network), devamında Geniş Alan Ağları (WAN-Wide Area Network) geliştirilmiştir. Daha sonraları bunlarda büyüyerek şehirleri, ülkeleri ve kıtaları birbirine bağlayacak kadar genişlemiştir.

Dünya üzerinde world wide web (www) yani internetin bir anda doğup geniş bir kullanım alanı bulmasının ardından internet teknolojilerinde önemli ölçüde gelişmeler meydana gelmiş, milyonlarca bireysel internet kullanıcısı ortaya çıkmıştır. Artık ağ üzerindeki uygulama ve servislere göre tüm trafiğin, güvenli, modüler, genişleyebilir ve dünyada yaygın kabul görmüş teknolojilerle uyumlu, yönetimi kolay bir veri iletişim ağ omurga yapısından geçmesi gerekmektedir.

1990'lı yıllarda birçok internet servis sağlayıcısı, trafik mühendisliği (traffic engineering) uygulamalarına imkan veren, zamanın mükemmel sayılabilecek bir performans sağlayan geniş bantlı ağların temelini oluşturan ATM üzerinden IP (IP Over ATM) modeline geçtiler. Günümüzde ise çekirdek ağlarda, fiber teknolojisinin getirdiği avantajlar ve müşterilerin isteklerindeki artışlar, internet trafiğini, bu işe ayrılmış devreler (dedicated circuits) ve dalga boyları üzerinden taşınması fikrini cazip hale getirmiştir. Aynı zamanda çoklu servislerin verildiği ortamlarda ATM üzerinden IP modelinin sağladığı çoğullama (multiplexing) yeteneği, trafik mühendisliği ve performans getirilerinin kullanılması gereklidir. MPLS ise ATM üzerinden IP modelinin sağladığı avantajların yanında fazladan

getirilere de sahiptir; MPLS tabanlı VPN ağı, Frame Relay ve ATM'in güvenlik ve servis kalitesini, IP'nin de ölçeklenebilirlik özelliklerini aynı anda kullanıcıya sunmaktadır. MPLS IP yönlendirme yapan bir omurga üzerinde çalışmakta ve verilen servisle ilgili kararlar omurganın uç noktalarında ek bir işlem yükü gerektirmeden yapılabilmektedir. MPLS-VPN aynı zamanda Frame Relay'de ve ATM'de yapılması gereken karmaşık protokol ve adres dönüşümlerini ortadan kaldırmaktadır.

MPLS, ATM şebekelerinin IP'nin farkına varmasına ve internet trafiğini bir IP şebekesi ile aynı ölçeklerde idare edebilmesine izin veren, IP ve ATM özelliklerinin benzersiz bir evliliğidir. MPLS aynı zamanda IP şebekelerinin sanal devre benzeri yapılar sunmasına da olanak sağlar.

MPLS'in en önemli faydalarından bir tanesi de, internet servis sağlayıcılarına, klasik IP yönlendirme teknikleri ile kolayca sağlanamayacak yeni servisleri sunmasıdır. MPLS, sadece varış adresine göre aktarmadan çok daha fazlasını gerçekleştirerek yönlendirme yeteneklerini çok arttırmıştır. Kontrol ve aktarma (forwarding) bileşenlerinin de birbirlerinden ayrılması ile aktarma bileşenin değiştirilmeden yeni kontrol fonksiyonlarının geliştirilebilmesine olanak verilmiştir.

Çok kullanıcı bir ağ olan internet üzerinden MPLS-VPN ve buna bağlı servislerin verilebiliyor olması hem servis sağlayıcılar, hem de kullanıcılar açısından yeni pazar alanlarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Şehirlerarası veya milletlerarası hatların kullanılması yerine şehir içi hatlar üzerinden sanal özel ağların düşük bir maliyetle ve Frame Relay veya ATM'in güvenliğinde taşınabilmesi MPLS-VPN teknolojisi açısından gelecek vaat etmektedir.

Bu tez aşamasında; COMNET III simülasyon programı yardımıyla ATM üzerinden IP ve ATM üzerinden MPLS kullanılarak konferans transferi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiş olan modellerden elde edilen ortalama gecikme, gecikme değişimi ve maksimum gecikme değerleri verilmiştir. Tablolardan

anlaşılacağı gibi MPLS kullanılan modelden elde edilen gecikme değerlerindeki farklılıklar açıkça görülmektedir. Özellikle ortalama gecikme değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmuş olup; tablo ve grafiklerden anlaşılacağı gibi MPLS ile kullanılan modelde ses için ortalama $(123+1260) / (1,321+2,205) = 392$ kat, video için ortalama $(123+1218) / (1,317+6,512) = 171$ kat, veri için ortalama $(126+1263) / (1,301+14,616) = 87$ kat daha iyi sonuç vermiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda MPLS'nin IP ve ATM'nin avantajlı taraflarını bir araya getiren ve konferans transferi için uygun bir teknoloji olduğu anlaşılmaktadır. Bir ATM ağı en önemli özelliği olan tüm trafik çeşitlerine uygun ve gerekli hizmet kalitesi desteğinden faydalanabilen MPLS trafiği, herhangi bir hizmet kalitesi desteği bulunmayan klasik ATM üzerinden IP yaklaşımına kıyasla oldukça iyi ve tahmin edilebilir gecikme değerleri transfer edilebilmektedir. ATM üzerinden MPLS yöntemi konferans uygulamalarına daha elverişli bir transfer ortamı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] KOÇAK C., “ATM ve LMDS Ağlarda MPLS Kullanarak Servis Kalitesi Desteği Sağlanmış Gerçek Zamanlı Veri Transferi”, Doktora Tezi, s-108, SaÜ, Sakarya, 2004.
- [2] TAŞKIN, C., “Next Generation Optical Networking: An Overview of MPLS, MPLmS, GMPLS and IP over WDM Networks”, International Electronics and Computer Conference, IKECCO 2004.
- [3] TOLUN B., “ATM Ağlarda MPLS Uygulaması ve Simülasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, s-2, SaÜ, Sakarya, 2002.
- [4] ÇÖLKESEN, R., Bilgisayar Haberleşmesi ve Ağ teknolojileri”, Papatya Yayıncılık Eğitim, (2. baskı), Ekim 2000.
- [5] RYAN, J., “Multiprotokol Label Switching (MPLS)”, The Applied Technologies Group Inc., 1998.
- [6] LAWRENCE, J., “Designing MPLS Networks”, IEEE 2001.
- [7] XIAO X., HANNAN A., BAILEY B., “Traffic Engineering with MPLS in the internet”, 2000.
- [8] DEVA M., “Çoklu Protokol Etiket Bağlaşması”, ITU, Aralık 2004.
- [9] VISWANATHAN, A., FELDMAN, N., WANG, Z. And CALLON, R., “Evolution of Multiprotokol Label Switching”, IEEE Communications Magazine, s-164-173, 1998.

- [10] XIOA, X., HANNAN, A., BAILEY, B. And LIONEL, M.N., “Traffic Engineering with MPLS in the Internet”, IEEE Network Magazine, s-28-33, 2000.
- [11] ARKUT C. Refik, MPLS Forum, 2000.
- [12] DAVIE B., LAWRENCE J., MCCLOGHRIE K., “MPLS Using LDP and ATM VC Switching”, Internet Draft <draft-ietf-mpls-atm-04.txt>, 2000.
- [13] AWDUCHE D., HANNAN A., XIAO X., “Applicability Statement for Extensions to RSVP for LSP-LSPs, “Internet Draft < draft-ietf-mpls-ldp-06.txt>, 1999.
- [14] AWDUCHE, A., MALCOLM, J., AGOGBUA, J., O’DELL, M. And Mc MANUS, J., “Requirements for Traffic Engineering over MPLS”, September 1999.
- [15] SEMERIA, C.,”Multiprotocol Label Switching:Enhancing Routing in the New Public Network”, Juniper Network Inc., White Paper, 2000.
- [16] Quality of Service (QoS) An Alcatel Executive Brief, February, 2002.
- [17] Using Content Networking to Provide Quality of Service White Paper, 2000.
- [18] Panos Trimintzios, George Pavlou, Paris Flegkas, University of Surrey Panos Georgatsos, Algonet S.A., Abolghasem (Hamid) Asgari, Thales Research Ltd. Eleni Mykoniati, National Technical University of Athens, Service-Driven Traffic Engineering for Intradomain Quality of Service Management IEEE Network, Haziran, 2003.

- [19] An Overview of Quality of Service (QoS) and QoS Routing in Communication Networks, Abdullah M. S. Alkahtani, M. E. Woodward and K. Al-Begain, 2001.
- [20] The Economics of IP Networks, Market, Technical and Public Policy Issues Relating to Internet Traffic Exchange s. 206, wik-Consult, Bad Honnef, Mayıs 2002.
- [21] Gray T., Why Not ATM?, 1999,
<http://staff.washington.edu/gray/papers/whynotatm.html>.
- [22] ROUHANA, N., HORLATIT, E., Differentiated Services and Integrated Services use of MPLS”, Computer and Communications 2000, Proceeding, ISCC 2000, 5th IEEE Symposium on 2000, s-194, 1999.
- [23] ERKUT H., “Yönetimde Simülasyon Yaklaşımı”, İrfan yayıncılık, s-1, 1992.
- [24] YOO, S.B.J. “Optimal Label Switching, MPLS, MPLSmS and GMPLS” Optical Network Magazine, s-17-31 2003,
- [25] ROSEN, E., VISWANATHAN, A., and CALLON, R., “Multiprotocol Label Switching Architecture”, RFC 3031, 2001.
- [26] ROSEN, E., VISWANATHAN, A., and CALLON, R., “Multiprotocol Label Switching Architecture”, draft-ietf-mpls-arch-06-txt, 1999.
- [27] MANAS, O., “Çoklu Protokol Etiket Anahtarlama MPLS”.
- [28] INTERNATIONAL ENGINEERING CONCERTIUM (IEC) Web Proforum Tutorials, “Multiprotocol Label Switching (MPLS)”, 1998
- [29] <http://www.mutasyon.net/makaleoku.asp?id=187>.

[30] <http://www.veritim.com.tr/wan.htm>.

[31] hacettepe.edu.tr/~b0343623/baglantilar/tcp-ip.htm - 14k.

[32] <http://www1.ericsson.com.tr/mobilityworld/articles/technical>.

[33] www.cs.itu.edu.tr/buzluca/tezler.

ÖZGEÇMİŞ

1966 yılında Sakarya Akyazı Vakıf Köyünde doğan İhsan ÖZ ilköğrenimini aynı yerde 1976 yılında, Orta ve lise öğrenimini Akyazı Lisesi'nde 1982 yılında tamamladı. Yıldız Üniversitesi, Kocaeli Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünden 1989 yılında mezun olduktan sonra serbest olarak çalışma hayatına atıldı. 1993 yılında Sakarya PTT Başmüdürlüğü'nde Kontrol Mühendisi olarak memuriyet görevine başladı. 2002 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Elektrik Bölümü'nde yüksek lisans yapmaya başladı. Halen Türk Telekomünikasyon A.Ş. Sakarya İl Müdürlüğü Erişim Şebekesi Müdürlüğü'nde Şef Mühendis olarak görev yapmaktadır.