

BİLGİSAYAR AĞLARINDA VERİ, GÖRÜNTÜ VE SES İLETİŞİM SİSTEMİ : ATM (Asynchronous Transfer Mode)

(The ATM: Data, Video and Voice Communication System in Computer Networks)

Doç.Dr. Levent TOKER*

ÖZ

ATM, yüksek hızlı ağ'lar üzerinde, "hücre" (cell) adı verilen küçük ve sabit uzunluktaki veri paketlerinin iletilmesinde kullanılan bir anahtarlama teknolojisidir. ATM, aynı yüksek hızlı ağ üzerinde, trafik tipine bağlı olarak farklı servis kalite seviyelerinin uygulanmasını destekleyerek, metin bilgisi, ses ve görüntünün entegre biçimde aktarılmasına olanak sağlar. Bu makalede, ATM'in temel kavramlarını ve prensiplerini açıklamaya ve incelemeye çalışacağız.

Anahtar Kelimeler : ATM, ağ teknolojisi, metin bilgisi, ses, görüntü, LAN, WAN

ABSTRACT

Asynchronous Transfer Mode (ATM) is a switching technology used to transport small fixed-length packets called "cells" over a high-speed network. ATM enables the integration and transport of data, voice and video over the same high-speed network by supporting different Quality of Services (QoS) levels depending on traffic types. In this paper, we will try to introduce and explain the basic concepts and principals of ATM.

Key words: ATM, network technology, voice, and video, LAN, WAN

GİRİŞ

ATM (Asynchronous Transfer Mode) teknolojisi, International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) tarafından ve daha sonra da, 1991 yılında Cisco Systems, NET, Newbridge ve Stratacom ortaklığı ile kurulmuş ve ticari amacı olmayan bir konsorsiyum olan "ATM Forum"un, çabaları sonucu, ses, görüntü ve verinin bilgisayar ağlarında yüksek hızlarla taşınabilmesi için standart olarak önerilmiş bir ağ teknolojisidir (Sackett ve Metz, 1997). Günümüzde de ATM, birçok üreticinin özel ve genel ağlar üzerinde kullanılan cihazlarının yaygınlaşmasıyla popüler bir ağ teknolojisi olma yolunda gelişmeye devam etmektedir.

ATM TEKNOLOJİSİNDE VERİ FORMATI

ATM, veriyi "hücre" (cell) olarak isimlendirilen küçük ve sabit boyda veri paketleri halinde iletir. Şekil.1.a.'da görülebileceği üzere her hücre, 5 oktet (sekizli) başlık (header) bilgisi ve 48 oktet

kullanıcı bilgisi (payload) içerir. Bu hücreler, başlık kısımlarında içerdikleri yönlendirme bilgileri yardımıyla, bir anahtardan (ATM switch) diğerine yönlendirilmek suretiyle ağ üzerinde dolaşırlar. ATM'de kullanıcı bilgilerinin aktarılmasında kullanılan hücrelerin sabit uzunlukta olması, fazla kompleks olmayan ve hızlı çalışabilen donanım cihazlarının tasarlanmasına olanak sağlamıştır (Walrand ve Varaiya, 2000).

ATM hücresinin başlık bölümündeki alanlar Şekil.1.(b)'de görüldüğü gibi, şu işlevleri üstlenmiştir (Manas, 2000):

GFC (Generic Flow Control): Bu alan, standart belirleyen kuruluşlar tarafından gelecekte kullanılmak üzere ayrılmıştır.

VPI (Virtual Path Identifier): Bu alandaki bilgi, hücrenin içerisinden geçeceği sanal yol (virtual path) numarasını içerir.

VCI (Virtual Channel Identifier): Bu alandaki bilgi, hücrenin içerisinden geçeceği sanal kanal (virtual channel) numarasını içerir.

PTI (Payload Type Identifier): Bu alandaki bilgi, hücre içinde taşınan bilginin,

* Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
e-posta: toker@staff.ege.edu.tr

kullanıcı verisi, ağ yönetim bilgisi, vs. gibi ne tür bilgi içerdiğini kapsar.

CLP (Cell Loss Priority): Bu alandaki 1 bit'lik bilgi, hücrelere iletim önceliği vermek için kullanılır. "1" değeri düşük, "0" değeri yüksek önceliği gösterir. Ağ üzerinde

tıkanma olduğunda düşük öncelikli hücreler ağ üzerinden alınır.

HEC (Header Error Control): Hücrenin başlık bölümüne ilişkin hata kontrolü yapmak için kullanılan alandır.

Hücre Başlığı (Header) 5 oktet	Kullanıcı Bilgisi Alanı (Payload) 48 Oktet
--------------------------------------	--

a) ATM Hücre Formatının Genel Görünümü

1	2	3	4	5	6	7	8
GFC			VPI				
VPI			VCI				
VCI							
VCI			PTI		CLP		
HEC							

b) ATM Hücre Formatının Başlık Bilgisindeki Alanlar

Şekil.1. ATM Hücre Yapısı ve Başlık Bilgisi Alanları

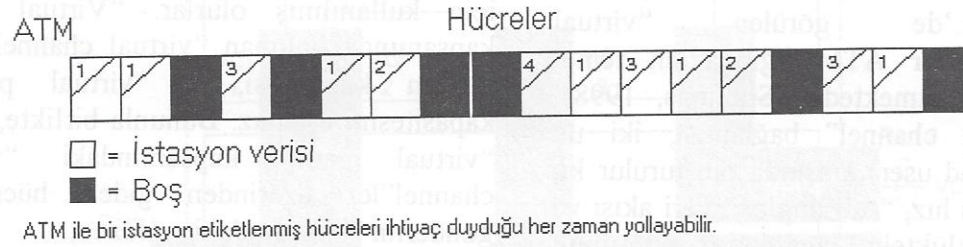
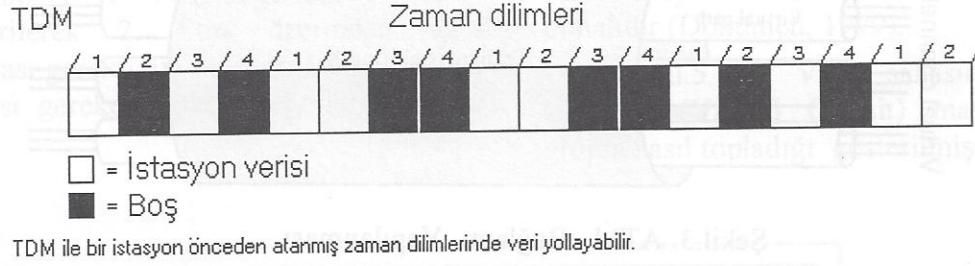
ATM TEKNOLOJİSİNDEKİ ANAHTARLAMA YAKLAŞIMI

ATM, devre anahtarlama (sabit "aktarım gecikmesi" ve "garanti edilmiş kapasite") ile paket anahtarlama ("esneklik" ve "aralıklarla çalışma biçimiyle verimlilik") teknolojilerinin yararlarını birleştiren bir hücre anahtarlama teknolojisidir.

ATM TEKNOLOJİSİNDE VERİ GÖNDERME YAKLAŞIMI

ATM zamanuyumsuz (asynchronous) bir ağ mimarisi olduğu için, kullanıcılara zaman dilimlerini önceden atamak için TDM (Time Division Multiplexing)

tekniklerinin kullanıldığı zamanuyumlu (synchronous) iletişim mimarilerinden farklıdır. TDM, eğer bir istasyon kendisine ayrılmış zaman dilimi geldiğinde yollayacak bir bilgisi yoksa, zaman dilimini boşa harcadığından ve bir istasyonun aktaracak pek çok bilgisi varsa da, o istasyon, bütün diğer istasyonlara ayrılmış olan zaman dilimleri boş olduğu halde, sadece sırası geldiğinde kendisine ayrılan zaman diliminde aktarım yapabileceğinden, ATM'e göre, iletim ortamının daha verimsiz kullanımına neden olabilmektedir. Oysa, ATM ile bir istasyon gereken her durumda hücre yollayabilir. Şekil.2, TDM ve ATM birleştirme tekniklerini karşılaştırmaktadır (Dökümcü, 1999).



Şekil.2. TDM ve ATM Zaman Dilimi Kullanma Biçimleri

ATM AĞLARINDA AĞ TOPOLOJİSİ

ATM tasarımındaki karakteristik diğer bir nokta, “yıldız topoloji” olmasıdır. ATM anahtar (ATM switch), ATM ağda bütün cihazların doğrudan bağlandığı bir merkez gibi davranır. Bu daha kolay müdahale ve ağ konfigürasyonu değişiklikleri ve eklemelerine ilişkin olanaklar da dahil olmak üzere yıldız topolojisinin bütün geleneksel yararlarını sağlar.

ATM AĞLARINDA KULLANILAN İLETİŞİM ORTAMI ÖZELLİĞİ

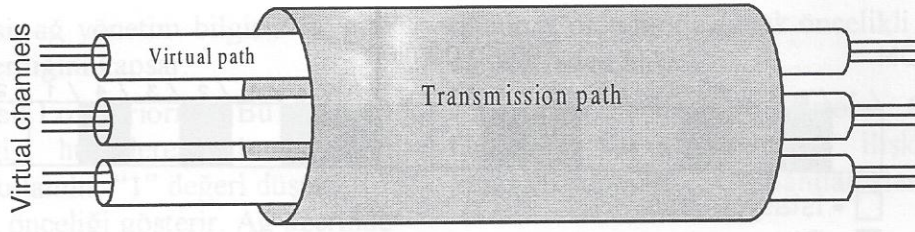
ATM, ATM hücrelerini taşımak için herhangi bir fiziksel medyayı kullanabilir. SONET (Synchronous Optical Network)/SDH, DS-3/E3, 100-Mbps yerel fiber (Fiber Distributed Data Interface [FDDI] fiziksel katmanı), ve 155-Mbps yerel fiber (Fiber Channel fiziksel katmanı), mevcut olan ATM hücrelerini taşıyabilen standartlardan bazılarıdır (Tanenbaum, 1994).

ATM AĞLARINDA KULLANILAN “ANAHTAR” (SWITCH) CİHAZLARI ve KULLANIMI

ATM anahtarlar, hücre başlığını, bir hücrenin son hedefine ulaşmak için transit geçmesi gereken bir sonraki rotayı tespit edebilmek amacıyla kullanırlar (Black, 1994).

Bir ATM anahtarının ana işlevi, hücreleri, bir porttan almak ve en uygun çıkış portuna anahtarlama işlemi, şekil.4’de görüleceği gibi, giriş portlarının VPI (Virtual Path Identifier) ve VCI (Virtual Channel Identifier) değerlerine bağlı olarak çıkış portlarına eşlenmesini sağlayan bir “anahtarlama tablosu” yardımıyla yapılır.

Şimdi, anahtarlama tablosu yardımıyla, hücrelerin rotalarının nasıl tayin edildiğine ilişkin bir örneğe geçmeden önce, Şekil.3.’de görüldüğü üzere, ATM iletişim ortamında kullanılan “virtual path” ve “virtual channel” kavramlarını ele alalım.



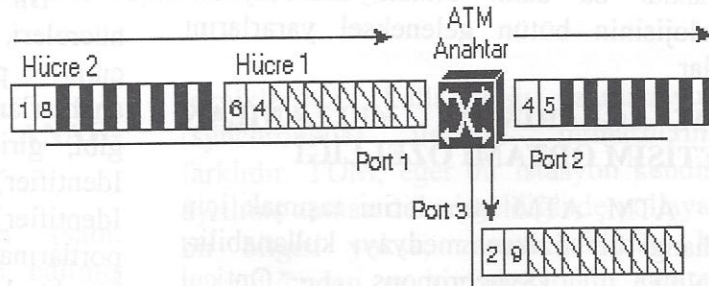
Şekil.3. ATM Bağlantı Yapılanması

Şekil.3.'de görülen "virtual channel"lar, bir ATM ağında en temel birimi teşkil etmektedir (Stallings, 1998). Bir "virtual channel" bağlantısı, iki uç kullanıcı (end user) arasında oluşturulur ki, bu, değişken hız, "full duplex" veri akışı ve sabit büyüklükteki hücrelerin aktarımını sağlar.

Şekil.3.'de görülen diğer bir kavram ise, "virtual path"dir. Bir "virtual path", aynı uç'lar arasında oluşturulmuş, birçok "virtual channel"ın birlikteliğinden oluşmaktadır. Böylece, bir "virtual path" kapsamındaki birçok "virtual channel" üzerinden gönderilen hücreler, aynı uç'lar

için kullanılmış olurlar. "Virtual path" kapsamında bulunan "virtual channel"lerin toplam kapasitesi, o "virtual path"ın kapasitesini aşamaz. Bununla birlikte, aynı "virtual path" kapsamındaki "virtual channel"ler üzerinden giden hücrelerin gönderim sırasındaki düzen, ATM tarafından garanti edilir. Bu arada, farklı "bandwidth"lere sahip "virtual path"lar bir fiziksel hattı paylaşabilir. Bu paylaşım içinde "Virtual path"lerin toplam "bandwidth" değeri fiziksel hattın "bandwidth" değerini kesinlikle aşmamaktadır.

Giriş			Çıkış		
Port	VPI	VCI	Port	VPI	VCI
1	1	8	2	4	5
2	4	5	1	1	8
1	6	4	3	2	9
3	2	9	1	6	4
.
.



Şekil.4. Sanal Bağlantıların ATM Anahtar Üzerinden Yönetilmesi

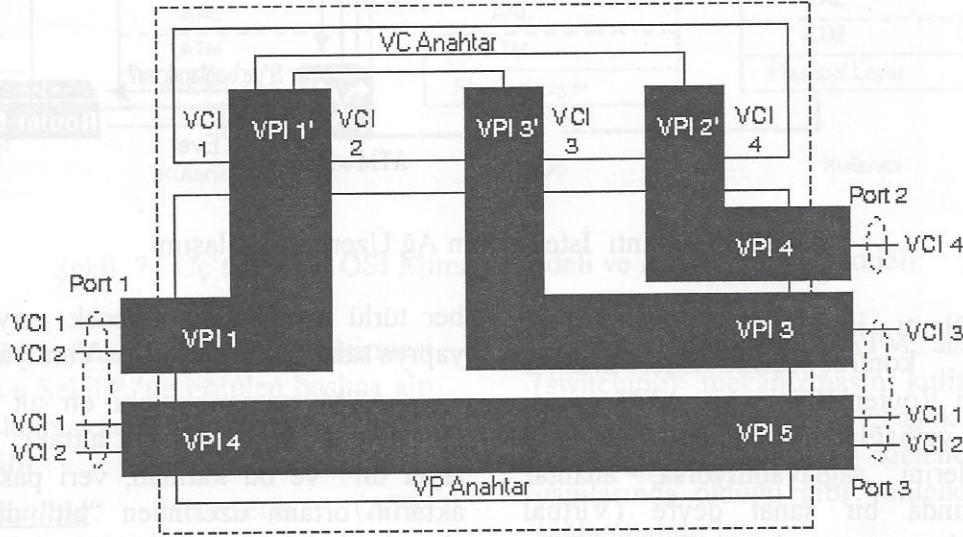
Şekil.4.'deki örneğe göre, iki hücre ATM anahtarın 1. Portuna gelirler. İlk olarak anahtar 1. hücrenin VPI ve VCI değerlerini inceler ve sahaların 6 ve 4 değerlerine sahip olduğunu bulur. Anahtar, hücreyi hangi çıkış portuna yollayacağını bulmak için anahtar tablosunu inceler. 1. porttan VPI değeri 6 ve VCI değeri 4 olan bir hücre geldiğinde, bunu 3. porta VPI

değeri 2 ve VCI değeri 9 olarak yollayacağını tespit eder. Böylece, anahtar VPI değerini 2 ve VCI değerini 9 olarak değiştirir ve hücreyi ağ'a 3. port üzerinden yollar. Daha sonra anahtar VPI değeri 1 ve VCI değeri 8 olan ikinci hücreyi incelemeye alır. Anahtar tablosu, anahtarın, VPI değeri 1 ve VCI değeri 8 olan bir hücrenin 1. porttan gelmesi durumunda, hücreyi VPI

değerinin 4 ve VCI değerinin 5 olarak değiştirilerek 2. Port üzerinden ağ'a yollaması gerektiğini belirler. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, değerlerin sadece

yerel arayüzler tarafından tanınabileceği olmalıdır (Dökümcü, 1999).

Şekil.5.'de VPI sahasının, sanal kanalları (Virtual Circuit) mantıksal bir grupta nasıl topladığı gösterilmiştir.



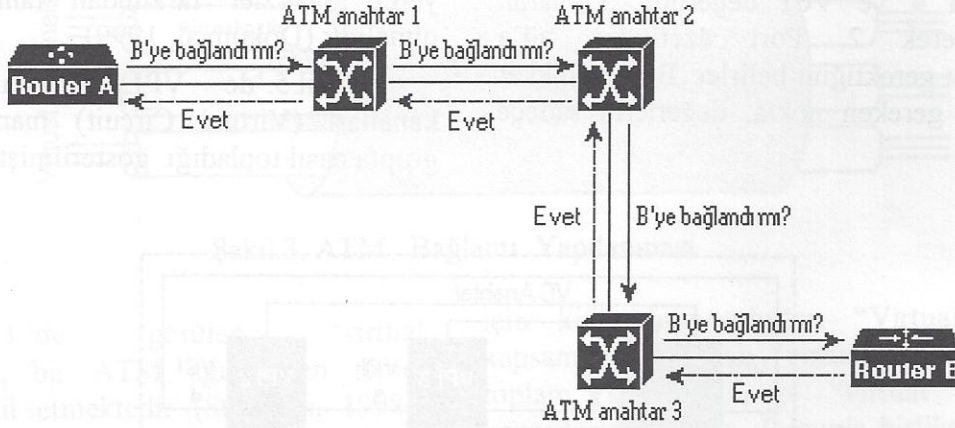
Şekil.5. Sanal Yolların, Sanal Kanalların Mantıksal Grubunu Oluşturması

Şekil.5'de, anahtara 1. porttan gelen ve VPI değeri 4 olan hücreler, her hücrenin VPI değerini 5 olarak değiştiren ve VCI değerine dokunmayan "VP anahtar" üzerinden işlem görürler ve ağ'a 3. porttan yollanırlar. VPI değeri 1 olan hücreler "VC anahtar" üzerinden işlenirler. VCI değeri 1 olan hücreler için, "VC anahtar" VPI değerini 4 ve VCI değerini 4 olarak değiştirirse, hücreleri 2. porttan ağ'a yollar. VCI değeri 2 olan hücreler için, "VC anahtar" VPI değerini 3 ve VCI değerini 3 olarak değiştirirse, hücrelerin 3. porttan ağ'a yollanmasını sağlar (Dökümcü, 1999).

Bir istasyon, ATM ağına bağlandığında, aslında QoS (Quality of Service) parametrelerine bağlı olarak ağ ile bir anlaşma yapmaktadır. Bu anlaşma kararlaştırılan trafik akışına uygun bir "mutabakat"ı tanımlar ki, bu anlaşmaya sadık kalmak, ATM cihazının sorumluluğundadır.

ATM anahtarlarının anlaşmayı korumak için trafik yönetimi seçenekleri vardır. Anahtar, güncel trafik akışını, mutabakat kalınan trafik parametreleri ile karşılaştırabilir. Eğer ağ üzerindeki o an'a ilişkin trafik, anlaşılan değerlerin dışında ise, anlaşmayı bozan hücrelerin ilgili bitini ayarlayabilir. Bu biti ayarlamak, belirtilen anahtarın veya hücreyi işleyen herhangi bir anahtarın tıkanıklık zaman dilimi süresinde hücreyi silebilmesine uygun hale getirir.

Şekil.6'ya bakıldığında, Router A gibi bir ATM cihazı, Router B gibi başka bir ATM cihazı ile bağlantı kurmak istediğinde, Router A kendisine doğrudan bağlı ATM anahtarına bir "bağlantı istek paketi" yollayacaktır. Bu istek paketi içinde bağlantı için ihtiyaç duyulan QoS parametrelerinin yanı sıra bağlantı kurulması talep edilen ATM istasyonunun (bu durumda Router B) adresi bulunacaktır.



Şekil.6. Bağlantı İsteklerinin Ağ Üzerinde Dolaşımı

“Bağlantı istek paketi”, anahtar tarafından kontrol edilir. Eğer anahtar tablosunda Router B için bir ATM adresi mevcutsa, ve bağlantı için talep edilen QoS parametrelerini sağlayabiliyorsa, anahtar giriş hattında bir sanal devre (Virtual Circuit) oluşturur ve isteği Router B’ye yollar. Son noktaya kadar yol üzerinde bulunan bütün anahtarlar, istek paketini tekrar birleştirip kontrol ederler ve sanal bağlantı için, paketi bir sonraki anahtara yollarlar. “Bağlantı istek paketi” son noktaya (Router B) ulaştığında, tekrar değerlendirilir. Eğer hedef talep edilen QoS parametrelerini sağlıyorsa, göndericiye bir kabul mesajı yollanır. Kabul mesajı istek yapana doğru ilerledikçe, anahtarlar bir sanal devre oluştururlar.

ATM MİMARİSİ VE PROTOKOLLERİ

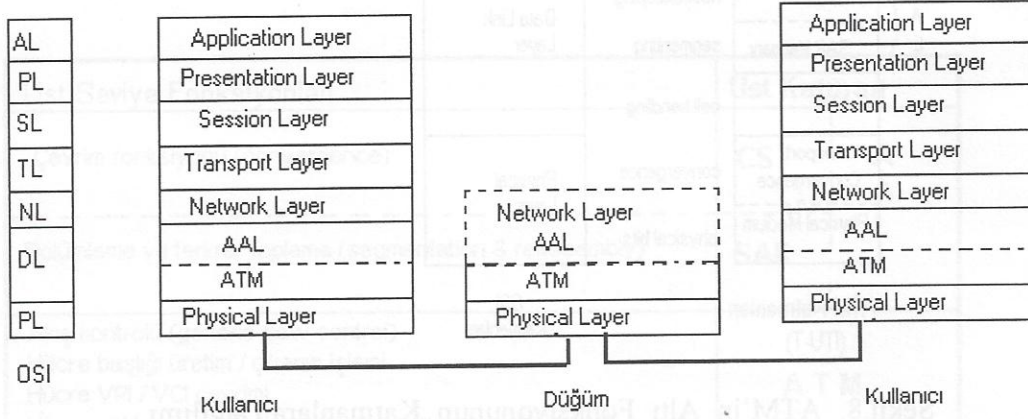
ATM ağları, OSI açık sistem bağlantı modelinde (Open System Interconnect reference model) belirtilen katmanlı yapı ile benzerlik taşımakta ve Şekil.7.’de görüldüğü gibi, OSI mimari modelinin alttaki iki katmanına karşılık gelen bir mimari içermektedir. Dolayısıyla, 3. katmanda çalışan IP ve IPX gibi protokollerin yani yönlendirme işlevlerinin yürütüldüğü “network layer”ı kapsamaz. Böylelikle de ATM, protokol bağımsız ve

her türlü trafiği aktarabilecek saydam bir yapıya sahiptir (Walrand ve Varaiya, 2000).

ATM mimarisindeki en alt katman, OSI mimari modelinin en alttaki “physical layer”dır ve bu katman, veri paketlerinin aktarım ortamı üzerinden “bit” düzeyinde aktarılması işini yürütür.

En alttaki “physical layer”ın bir üstündeki ve OSI mimari modelindeki “data link layer”a karşılık olarak iki alt katman yer almaktadır. Bunlardan alttaki alt katman (sublayer) olan ATM katmanı, hücrelerin içerisinde taşınan bilgi türüyle ilgilenmez ve uçlar arasında bağlantı kurulması, akış kontrolü ve hücrelerin anahtarlanması işlevlerini yürütmektedir. Üstteki alt katman ise, “ATM Adaptation Layer” adında olup, uygulama programları ve servislerin gereksinim duyduğu farklı türlerdeki trafiğin ATM katmanı üzerinden aktarılması işlevini yürütmektedir.

Bunun yanı sıra, ATM ağları iki farklı biçimde oluşturulması düşünülen ağlardır. Birincisinde, mevcut olan LAN’lerin, LAN tipindeki ATM anahtarlarının kullanılmasıyla oluşturulan ATM-LAN adacıklarının genel bir ATM omurgasına (backbone) bağlanmasıyla olacaktır. İkincisi ise oluşturulacak ATM-LAN adacıklarının daha büyük anahtarlarla (switches) ATM-WAN’lere bağlanmasıyla oluşmaktadır.



Şekil 7. Uç'tan uc'a OSI Mimari Modeli ve ATM Mimari Modeli

ATM katmanlarının yerine getirmesi gereken ve Şekil.8.'de görülen başlıca altı görev bulunmaktadır. Bu altı görev şöyle sıralanabilir :

1.Routing: Hücrelerin (ATM paketlerinin) yönlendirilmesi işlevidir.

2.Housekeeping: ATM bağlantıları için her türlü veri tipinin ATM hücre tipine dönüştürülebilmesi, bir diğer ifadeyle adapte edilerek tek bir hücre formatına dönüştürülmesi işleminin gerçekleştirilmesi gerekir. Örneğin ses iletiminin hızı ve veri tipi formatı ile, görüntünün veri tipi ve hızı farklı olmasına karşın bunlar ATM hücrelerinde aynı formata dönüştürülmektedirler.

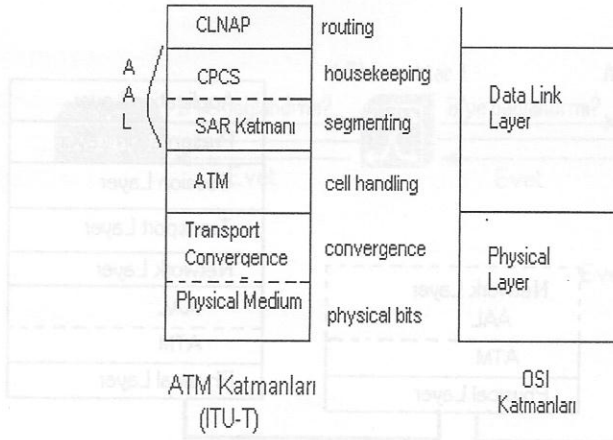
3.Segmenting: Paketlerle uygulama katmanından gelen büyük ve farklı boyutlu "frame"lerin bölümlenmesi (segmentation) ve hücrelerle gönderilmesi, alıcı tarafında ise bu bölümlerin birleştirilerek (reassembly) orjinal veri paketinin elde edilebilmesi gerekmektedir.

4.Cell handling: ATM, anahtarlama (switching) mekanizmasını kullanmalıdır. Bu yüzden hücrelerin başlık bilgileri işleme tabi tutulup, geleneksel ağ yapılarında olduğu gibi yönlendirilmeleri sağlanmalıdır.

5.Convergence: ATM değişik tiplerdeki veri birimlerini desteklemektedir (peer entities). Böylece gelen hücredeki bilgi, doğru formatlar korunarak iletimi sağlanabilecektir.

6.Physical bits : Gönderici taraf, hücreleri 1'ler ve 0'lar şeklinde göndermeli ve bu gönderimi alıcı taraf algılayabilmeli, bu gönderim işlemi sıralı olarak gerçekleştirilmelidir.

Yukarıda sözü edilen altı işlev ATM'in değişik katmanlarında adanmış olarak sunulmaktadır. Ancak 6 madde her kurum tarafından farklı katmanlarla ifade edilmektedir. Bunu Şekil.8.'de daha iyi görmek mümkün olacaktır.



Şekil.8. ATM'in Altı Fonksiyonunun Katmanlara Dağılımı

Yukarıda da sözü edildiği gibi, ATM'in katmanları sırasıyla, fiziksel katman (Physical Layer), ATM katmanı (ATM Layer), AAL (ATM Adaptation Layer) katmanı olarak üç seviyelidir. Şekil.9.'da bu katmanlar ve alt katmanları görülmektedir.

Fiziksel katman başlıca iki katmanı içerir: TC (Transmission Convergence) bölümü ve PM (Physical Media) bölümü. TC katmanı, hücrelerin gönderimini kontrol eder, her bir hücre arasındaki boşlukların kontrolünü sağlar, hücrelerin başlık bilgilerini kullanarak hata kontrolünü yürütür ve taşınan bilginin tipine göre çerçeve yapısını oluşturmaya çalışır.

ATM katmanı, kullanıcı-anahtar arasındaki akış kontrolünü sağlar, bunun yanı sıra hücrelerin başlık kısımlarının üretilip/çıkarılmasını gerçekleştirir (Stallings, 1995).

AAL katmanı ise SAR (Segmentation Sublayer) ve CS (Convergence Sublayer) katmanları olmak üzere iki kısımdan oluşmuştur. SAR katmanı üst katmandan gelen çerçeve bilgisinin hücrelere bölünmesini ve alıcı tarafta ise bu hücrelerin tekrar birleştirilip çerçeve oluşturulmasında görev yapar. CS katmanı ise üst katmandan gelen değişik tipte paketlerin çevrimleriyle ilgilenmektedir ve alıcı tarafta hücrelerden gelen bilginin ilgili tipe dönüştürülmesini sağlamaktadır (Stallings, 1995).

SONUÇ

Günümüze kadar varlığını korumuş olan klasik ağ yapılarında bilgi "frame"ler şeklinde taşınmaktaydı. Kullanılan "frame"lerin uzunluklarının değişken olması, bilgilerin taşınmasında esneklikten çok karmaşayı ve kayıpları arttırmaktaydı. ATM ağlarının sabit büyüklükteki hücreler ile iletişim sunması, bilginin ağ üzerinde daha yüksek performans ile taşınmasını sağlamıştır. Sabit uzunluklu hücrelerin yüksek hızlı ağlar üzerinde yönetiminin daha etkin oluşu endüstrinin ATM'e doğru yönelmesine sebep olmuştur. ATM, üzerinde ses, görüntü ve veri gibi üç farklı tipte bilginin taşınmasına olanak verdiği için de tercih edilecek bir ağ yapısı olduğunu gösterdi. Sağladığı 155 Mbit – 622 Mbit 'lik hızlarla bu üç farklı tipteki bilgiyi taşıyabilmesi özelliği ile ağ üzerinde "Multimedia" uygulamaları için kaçınılmaz bir çözüm olarak gündeme gelmektedir.

Bunun yanı sıra, hücrelerin sabit büyüklükte oluşu (53 oktet; "5 header"+"48 payload") ağ yapısı üzerinde yönlendirmenin daha hızlı olmasını sağlamaktadır. "Router" mekanizmalarında yönlendirme yapılırken tüm "frame", OSI'nin üçüncü katmanına kadar çıkarılırken, ATM'de yönlendirme iki katman aracılığı ile ve sadece beş oktetlik başlık bilgisinin kontrolü ile sağlanır. Bu

sayede ATM, yönlendirmede daha popüler olmuştur.

Üst Seviye Fonksiyonları	Üst Katman	
Çevrim fonksiyonu (convergence)	CS	A
Bölümlene ve tekrar toplama (segmentation & reassembly)	SAR	A L
Akış kontrolü (generic flow control) Hücre başlığı üretim / çıkarma işlemi Hücre VPI / VCI çevrimi Hücre çoklama, çözümüleme (multiplexing, demultiplexing)	ATM	
Hücre oranı kontrolü Hücre kontrol ve doğrulama mekanizması Hücre bitimi kontrolü İletilecek çerçeve adaptasyonu İletilecek çerçeve üretimi	TC	Physical Layer
Bit zamanlama (senkronizasyon) Fiziksel yapı kontrolü	PM	

Şekil.9. ATM Katmanları ve Görevleri.

Bunların yanısıra, ATM'in önemli bir diğer avantajı, günümüze kadar ayrı olarak gelmiş LAN ve WAN teknolojilerini tek bir çatı altında toplayarak gecikme ve uyumsuzlukları

engellemesi ve aynı zamanda ağ yöneticilerini farklı teknolojilerin karmaşıklığından kurtarmasıdır.

KAYNAKÇA

- Black, U. (1994). **Emerging Communications Technologies**. Prentice Hall.
- Dökümcü, B. (1999). "İnternette Adresleme, Domain Name System Yapısı, Yönlendirme Algoritmaları ve Yeni Doğan Teknolojiler". Bitirme Tezi.
- Manas, O. "ATM". www.bilismrehber.com.tr/whitepaper/ATM (Ziyaret Tarihi: 2000).
- Sackett, G.C. ve Metz, C.Y. (1997). **ATM and Multiprotocol Networking**. Mc Graw Hill.
- Stallings, W. (1998). **High Speed Networks**. Prentice Hall
- Stallings, W. (1995). **ISDN and Broadband ISDN with Frame Relay and ATM**. Prentice Hall.
- Tanenbaum, A.S. (1994). **Computer Networks**. Prentice Hall.
- Walrand, J. ve Varaiya, P. (2000). **High Performance Communication Networks**. Morgan Kaufmann Publishers.