İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATM AĞLARINDA TCP/IP BAŞARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Mehmet TOP

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Mayıs 2004

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Günsel DURUSOY 18.6.2

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Bilge GÜNSEL

Y. Doç. Dr. Demir ÖNER (M.Ü.)

MAYIS 2004

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Günsel Durusoy'a teşekkür ederim. Ayrıca bu çalışmanın tamamlanmasında katkıda bulunan herkese ve desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Nisan 2004 Mehmet Top

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR

AAL	:ATM Adaptation Layer
ABR	:Available Bit Rate
ACK	:Acknowledgement
ACR	:Allowed Cell Rate
ARP	:Address Resolution Protocol
ATM	:Asynchronous Transfer Mode
BUS	:Broadcast and Unknown Server
CAC	:Connection Admission Control
CBR	:Constant Bit Rate
CDV	:Cell Delay Variation
CDVT	:Cell Delay Variation Tolerance
CLR	:Cell Loss Ratio
CRC	:Cyclic Redundancy Check
CS	:Convergence Sublayer
CTD	:Cell Transfer Delay
DS-3	:Digital Signal Level 3
ECN	:Explicit Congestion Notification
EFCI	:Explicit Forward Congestion Indicator
ELAN	:Emulated LAN
EPD	:Early Packet Discard
ER	:Explicit Rate
FAST	:Frame Based ATM over SONET/SDH Transport
FATE	:Frame-based ATM Transport
FBA	:Fair Buffer Allocation
GFR	:Guaranteed Frame Rate
ICMP	:Internet Control Message Protocol
LANE	:LAN Emulation
LECS	:LANE Configuration Server
LES	:LANE Server
LIS	:Logically Independent Subnet
LLC/SNAP	:Logical Link Control / Subnetwork Attachment Point
MAC	:Media Access Control
MBS	:Maximum Burst Size
MCR	:Minimum Cell Rate
MPOA	:Multi-Protocol over ATM
MSS	:Maximum Segment Size
MTU	:Maximum Transmission Unit
NIC	:Network Interface Card
NNI	:Network-to-Network Interface
OUI	:Organizationally Unique Identifier
PCR	:Peak Cell Rate
PID	:Protocol Identifier
PPD	:Partial Packet Discard

PVC	:Permanent Virtual Circuit
QoS	:Quality of Service
RFC	:Request for Comment
RTT	:Round Trip Time
SAR	:Segmentation and Reassembly Sublayer
SDH/SONET	:Synchronous Digital Hierarchy / Synchronous Optical Network
SNAP	:Subnetwork Attachment Point Encapsulation
SPVC	:Semi-Permanent Virtual Circuit
SVC	:Switched Virtual Circuit
TAXI	:Transparent Asynchronous Transmitter / Receiver
TCP/IP	:Transmission Control Protocol / Internet Protocol
UBR	:Unspecified Bit Rate
UNI	:User-to-Network Interface
VBR	:Variable Bit Rate
VC	:Virtual Channel

TABLO LİSTESİ

ŞEKİL LİSTESİ

ATM AĞLARINDA TCP/IP BAŞARIMI

ÖZET

TCP/IP trafiğinin ATM ağları üzerinden taşınması durumunda iletim verimliliğinde önemli düşüşlere neden olabilen çeşitli sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Bu sorunların bir kısmı ATM ve TCP/IP protokol kümesi arasındaki farklılıklardan kaynaklanırken, bir kısmı da ATM ve TCP/IP'nin çeşitli özelliklerinin karşılıklı etkileşimlerinden kaynaklanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında ATM ağları üzerinden TCP/IP trafiğinin taşınması durumunda ortaya çıkan sorunlar ve bu sorunlar için öneriler çözüm yöntemleri incelenmiştir. Başarım düşüşlerine neden olan sorunlar altı başlık altında ele alınmıştır:

i. ATM ve AAL5 katmanlarından kaynaklanan protokol ek yükü nedeniyle kullanılabilir bantgenişliğinin azalması.

ii. ATM hücre kayıplarının TCP trafiği üzerindeki etkileri.

iii. TCP/IP trafiğinin bağlaşmalı sanal devreler (SVC) üzerinden taşınması durumunda SVC'lerin, işletim maliyetini ve paket gecikmelerini azaltacak biçimde yönetilmesi.

iv. TCP yığılma denetimi ve ABR hız denetiminin karşılıklı etkileşimi nedeniyle IP/ATM ağ geçitlerinde ani yığılmaların oluşması.

v. Geniş ATM MTU'ları nedeniyle ortaya çıkan TCP çıkmazı durumu

vi. TCP yığılma penceresi boyunun, yüksek hızlı geniş alan ATM bağlantıları üzerindeki sınırlayıcı etkisi

Başarımın artırılması için önerilen yöntemler iletim verimliliği, etkin TCP bağlantıları arasında ağ kaynakların adil paylaşımı anlamında incelenmiştir. Konuyla ilgili gerçekleştirilmiş simülasyon çalışmalarının sonuçlarından yararlanılarak, ATM ağları üzerindeki TCP/IP başarımının artırılmasının yolları araştırılmıştır.

PERFORMANCE OF TCP/IP OVER ATM NETWORKS

SUMMARY

Carrying TCP/IP traffic over ATM networks may cause important problems which decreases the performance. Some part of these problems occurs due to the differences between ATM and TCP/IP protocol suite and the other part is due to the interaction of various features of ATM and TCP/IP

In this thesis, problems related with TCP/IP over ATM networks and the proposed solutions for these problems are examined. These problems are divided in six sections:

i. Loss of bandwidth due to protocol overhead at ATM and AAL5 layers.

ii. Effects of ATM cell loss on TCP traffic.

iii. Managing switched virtual circuits (SVC) to reduce operational cost of SVC and packet delays.

iv. Interaction between TCP congestion control and ABR rate control which causes congestion at IP/ATM gateway.

v. Large ATM MTU which may cause TCP deadlock.

vi. Limitations of TCP window size for high speed wide area ATM connections.

Proposed solutions for improving performance are examined in the sense of throughput efficiency and fair allocation of network resources for active TCP connections. The results of simulations on this topic, are examined to improve the performance of TCP/IP over ATM

1. GİRİŞ

Asenkron Transfer Modu (ATM) günümüzde geniş alan ağlarında yaygın bir biçimde kullanılan bir teknolojidir. ATM'nin dört temel özelliği vardır: trafik yönetimi, garanti edilmiş hizmet kalitesi, işaretleşme ve gecikmeye duyarlı olan ve olmayan iletişim hizmetlerin tümleştirilmesidir. ATM tarafından kullanılan gelişmiş trafik yönetim teknikleri, özellikle yüksek hızlı ağlar için tasarlanmıştır. ATM kayıp olmaksızın trafik kaynaklarının kısılmasına olanak vermek için geri besleme ve müzakere yöntemlerini kullanır. ATM kullanıcıların çeşitli hizmet kalitesi (QoS) ihtiyaçlarını karşılamak için özel olarak tasarlanmış hizmet sınıflarına sahiptir. Gecikmeye duyarlı trafiğin, gecikmeye duyarlı olmayan trafikten etkilenmemesi için gecikmeye duyarlı trafik ayrı bir kuyruğa alınarak hizmet verilir. Hizmet kalitesi kavramı kullanıcının trafik yapısını ve hizmet kalitesi ihtiyaçlarını ağa bildirmesini gerektirir. Bu olgu işaretleşme olarak bilinir. Son olarak ATM gecikmeye duyarlı ve gecikmeye duyarlı olmayan sayısal verinin tümleştirilmesine olanak vermek için tasarlanmıştır.

Internet temel yapıtaşı TCP/IP protokol kümesidir. IP çok farklı donanım ve yazılım platformlarında çalışan, dünya genelindeki milyonlarca uç birimi birbirine bağlayan bir ortak-çalışabilirlik çözümüdür. IP katmanı fiziksel katmanla ilgili ayrıntıları saklayarak, tüm Internet kullanıcıları için ortak bir zemin oluşturur. IP geribesleme kullanmayan ve bağlantı yönelimli olmayan bir protokoldür. Bağlantı yönelimli olmayışı nedeniyle aynı kaynaktan gelen farklı IP paketleri, yönlendiriciler tarafından yolların kullanılabilirlik durumuna ve ağdaki yığılma durumlarına göre farklı yollardan gönderilebilir. IP'nin üst katmanında çalışan TCP uygulama katmanına güvenilir, bağlantı yönelimli hizmetler sağlayan bir taşıma katmanı protokolüdür. TCP güvenilir bir hizmet için gerekli olan akış ve yığılma denetimlerini gerçekleştirir. TCP ağda oluşan paket kayıplarını gidermek için yeniden iletim yöntemini kullanır.

ATM ve TCP/IP protokol kümesi arasında önemli farklılıklara vardır. ATM veri iletimi için 48 bayt veri alanı ve 5 bayt başlık alanından oluşan sabit boylu hücreler

kullanırken, IP değişken başlık uzunlukları ve değişken veri alanı uzunlukları olan geniş paketler kullanır. ATM'nin hücre boyunun küçüklüğünün nedeni, gecikmeye duyarlı trafiğin gerektirdiği gecikmeyle ilgili sınırlamaların sağlanabilmesidir. ATM ağlarında uygulamaların ihtiyaçlarına uygun olarak garanti edilmiş bir hizmet kalitesi sağlanır. IP'de hizmet kalitesinin sağlanması içinse yeni yöntemler geliştirilmektedir. IP ve ATM arasındaki önemli bir farklılıkta, IP'nin bağlantı yönelimli olmayan bir protokol oluşudur buna karşın ATM üzerinde veri aktarımına başlanmadan önce bağlantıların kurulması gerekmektedir.

ATM özellikle uzun mesafeli büyük taşıyıcı telekomünikasyon ağlarında kullanılmaktadır. Kesin istatistikler olmamakla birlikte, günümüzde yüksek hacimde TCP/IP trafiğinin ATM ağları üzerinden taşındığı düşünülmektedir. Bu nedenle ATM ağları üzerindeki TCP/IP başarımının artırılması için gerekli yöntemlerin belirlenmesi önemli bir konudur.

Bu tez çalışmasında TCP/IP trafiğinin ATM ağları üzerinden taşınması durumunda iletim verimliliğinde önemli düşüşlere neden olabilen çeşitli sorunlar ve bu sorunların aşılması için önerilen yöntemler incelenmiştir. Bu sorunların ortaya çıkmasına neden olan etkenleri daha iyi açıklayabilmek ve konunun bütünlüğünü sağlayabilmek için ATM teknolojisinin önemli kısımları bölüm 2'de, TCP/IP protokol kümesinin konuyla ilgili özellikleri de bölüm 3'de açıklanmıştır.

Bölüm 4'de ATM ağları üzerinden TCP/IP trafiğinin taşınmasında kullanılan yapılar açıklanmıştır.

TCP/IP trafiğinin ATM ağları üzerinden taşınması durumunda ortaya çıkabilecek sorunlar bölüm 5'de ortaya konulmuş ve her bir sorunun ortaya çıkış nedeni açıklanmıştır.

İletim verimliliğini önemli ölçüde düşüren toplam protokol ek yükünün azaltılması için önerilen yöntemler bölüm 6'da incelenmiştir. Bölüm içerisinde özellikle kısa IP datagramlarının neden olduğu protokol ek yükünün nasıl azaltılabileceği ele alınmıştır.

Bölüm 7'de ATM seçicilerindeki yığılma nedeniyle ortaya çıkan ATM hücre kayıplarının TCP başarımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. TCP/IP trafiğinin taşınmasında kullanılan ABR ve UBR hizmet sınıflarının başarımları simülasyon çalışmalarının sonuçlarından faydalanılarak karşılaştırılmıştır.

ABR hız denetimi ve TCP yığılma denetiminin karşılıklı etkileşimi sonucunda IP/ATM ağ geçidinde oluşabilecek olan yığılmanın giderilmesi ve uçtan uca etkin bir trafik yönetiminin sağlanması için önerilen yöntemler bölüm 8'de incelenmiştir.

Tez kapsamında elde edilen sonuçlar son bölümde maddeler halinde sıralanmıştır.

2. ASENKRON TRANSFER MODU

2.1 Giriş

ATM sayısal verinin *hücre* adı verilen 53-baytlık sabit uzunluklu veri paketlerine bölünerek iletilmesini sağlayan, bağlantılı hizmet veren ve asenkron zaman çoğullama yöntemini kullanan bir hızlı paket bağlaştırma tekniğidir. ITU, B-ISDN gerçekleştirecek ağ teknolojisi olarak ATM'yi seçmiştir. Bu bölümde konu bütünlüğünü sağlamak amacıyla ATM'nin genel yapısı açıklanacaktır.

B-ISDN ve ATM'nin gelişiminde geleneksel telekomünikasyon ağlarındaki çeşitli sınırlamalar etkili olmuştur:

- Hizmet Bağımlılığı: Geleneksel ağlar belirli hizmetleri vermek için tasarlanmıştır. (örneğin telefon şebekesi, ses taşımak için uygundur ve veri taşımaya elverişli değildir)
- Donanım Esnekliğinin Sınırlı Oluşu: Seçiciler ve diğer donanımlar belirli bantgenişlikleri için tasarlanır. (örneğin darbantlı ISDN için 64 kbit/s gibi) Bu tür tasarımlar ortaya çıkan yeni teknolojileri desteklemek üzere kolaylıkla güncellenemezler.
- Devre Bağlaşmasından Kaynaklanan Verim Düşüklüğü: Geleneksel telekomünikasyon ağları devre bağlaşması kullanmaktadır. İki uç nokta arasında devre kurulduktan sonra bantgenişliği tümüyle bu uç noktalara ayrılmaktadır. Ayrılan bantgenişliği tümüyle kullanılmasa bile, diğer kullanıcılar bu bantgenişliğinden yararlanamaz. Özellikle veri iletişinin kullanıldığı durumlarda, bu kaynakların israfı anlamına gelir. Veri iletişiminin patlamalı doğası gereği, devreye ait bantgenişliğini tümüyle kullanılmayacaktır.

ITU, 1980'lerin sonunda, yukarıda tanımlanan sınırlamaları aşmak ve ortaya çıkabilecek yeni hizmetlerin, temel ağ yapısının bütünüyle değiştirilmeksizin karşılanabilmesi amacıyla B-ISDN olarak bilinen yeni bir ağ teknolojisi üzerinde

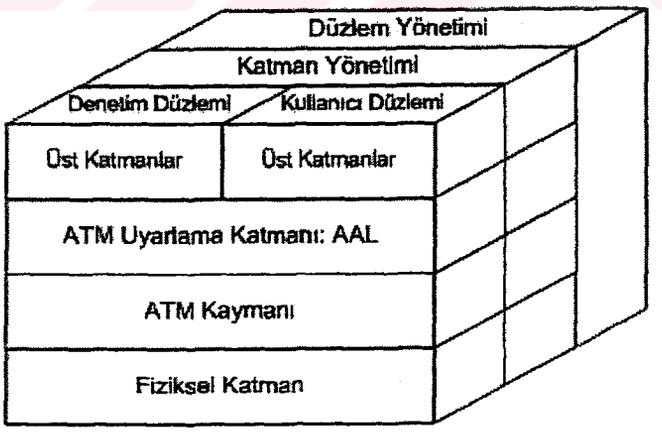
çalışmaya başlamıştır. Böyle bir ağ teknolojisinin başarılı olabilmesi aşağıdaki özelliklerin sağlanmasının gerektiği belirlenmiştir:

- Paket Bağlaşması yada Asenkron İletim: Paket bağlaşması iki uç nokta arasında ayrılmış senkron bir devre olmaksızın, asenkron veri akışını sağlar. Birden çok kaynaktan gelen veriler çoğullanıp tek bir bağlantı üzerinden iletildiğinden, bant genişliği boşa harcanmaz. Bunlara ek olarak paket bağlaşması farklı bantgenişliği ihtiyaçlarına göre özelleştirilebileceğinden, yapılan yatırımın korunması sağlanır.
- Yüksek Hız: Paket bağlaştırıcıları gelecekte çıkabilecek yüksek bantgenişliği ihtiyaçlarını karşılayabilecek ölçüde yüksek hızlarda çalışabilir. (HDTV)

2.2 ATM Protokol Yapısı

ATM çoklu mantıksal bağlantıların, tek bir fiziksel ortam üzerinden çoğullanıp ayrık parçalar halinde iletimini gerektirir. ATM' de, mantıksal bağlantılardaki bilgi akışı hücre adı verilen 53-bayt, sabit uzunluklu paketler biçiminde düzenlenmiştir.

ATM zayıf hata denetim yeteneklerine sahip bir protokoldür. Bu ATM hücrelerinin işlenmesindeki ek yükü ve her hücre için gerekli olan ek bit sayısını azaltır. Sabit boyutlu hücrelerin kullanılması, her ATM düğümünde gerekli olan işlemleri azaltarak, ATM'nin yüksek veri hızlarında kullanımını destekler.



Şekil 2.1: ATM protokol yapısı

ITU-T tarafından yayınlanan ATM standartları, kullanıcıyla ağ arasındaki arabirimin temel yapısını gösteren şekil 2.1' deki protokol yapısını [1] temel alır. Fiziksel katman iletim ortamı ve işaret kodlama düzeninin özellikleriyle ilgilidir. Protokol

yapısının diğer iki katmanı ATM işlevleriyle ilgilidir. ATM katmanı verinin sabit uzunluklu hücrelerde iletilmesini ve ayrıca mantıksal bağlantıların kullanımını tanımlar. ATM'nin kullanımı ATM tabanlı olmayan protokollerde de bilgi iletimini desteklemek için bir uyarlama katmanına ihtiyaç doğmasına neden olmuştur. AAL üst katman verisinin ATM ağı üzerinden taşınabilmesi için, ATM hücrelerine dönüştürülmesinden ve ATM hücrelerinden üst katmanlara taşınmak üzere veri toplanmasında sorumludur. Protokol yapısındaki düzlemlerin görevleri şöyledir:

- Kullanıcı Düzlemi: Akış denetimi ve hata denetimi eşliğinde, kullanıcı bilgilerinin aktarılmasını sağlar.
- Denetim Düzlemi: Çağrı denetimi ve bağlantı denetimi işlevlerini gerçekleştirir.
- Yönetim Düzlemi: Sistemin bütününe ilişkin yönetim işlevlerini yürüten ve düzlemler arasındaki ilişkileri düzenleyen düzlem yönetimini, kaynaklar ve protokol öğelerinin parametrelerinin yönetimiyle ilgili işlevleri yerine getiren katman yönetimini içerir.

2.3 ATM Ağlarının İşleyişi

Veri haberleşme ağlarının çoğunluğunda olduğu gibi ATM de paket bağlaşması kullanır. Paket bağlaşması ağın bantgenişliği kullanımını artırmak amacıyla patlamalı trafik üreten kaynaklardan gelen verinin çoğullanmasına olanak verir. Pek çok veri haberleşmesi ağının aksine ATM bağlantısız protokoller kullanan gerçek zamanlı uygulamalar için gerekli QoS sağlamak için bağlantı yönelimlidir. Veri haberleşmesi başlamadan önce bağlantının kurulması gereklidir. Burada kurulan bağlantı fiziksel bir bağlantı olmayıp mantıksal bir bağlantıdır ve VCI/VPI adresleriyle tanımlanmış sanal kanallardan oluşur.

2.3.1 Hücre boyu

Ağlar haberleşme hatlarıyla birbirine bağlı yönlendirici ve seçici gibi ağ öğelerinden oluşur. Yönlendiricinin veya seçicinin girişine gelen paket, ilgili yol seçildikten sonra çıkışa yönlendirilir. Çıkışta yığılma olması durumda paketler yığılma geçtikten sonra iletilmek için kuyruklanır. Paketlerin kayıp ve gecikme önceliklerine göre çeşitli kuyruklama yöntemleri kullanılabilir.

Paket bağlaşmalı ağların (IP gibi) pek çoğu geniş değişken uzunluklu paketler kullanırken ATM 5 bayt başlık alanı ve 48 bayt veri alanından oluşan küçük sabit boylu hücreler kullanır. Bir yönlendirici değişken uzunluklu bir paketi yönlendirirken, işlemin bitmesi için gereken sürenin tahmini mümkün değildir. Eğer gerçek zamanlı bir uygulamaya ait bir paket, gerçek zamanlı olmayan bir uygulamaya ait olan uzun bir paketinin ardından iletiliyorsa, gerçek zamanlı uygulama için garanti edilen hizmet kalitesi (QoS) sağlanamayabilir. Küçük hücre boyları, gecikmeye duyarlı uygulamalar için garanti edilmiş bir QoS sağlanmasını olanaklı kılar. Hücre boyu sabit seçilerek işlem yükü azaltılmış ve tasarım kolaylaştırılmıştır.

2.3.2 Trafik sözleşmesi

Bir ATM bağlantısı kurulduğunda kullanıcı ve ağ bağlantı boyunca uymak zorunda oldukları bir trafik sözleşmesi yaparlar. Tablo 2.1'de görüldüğü gibi trafik sözleşmesinin iki tarafı vardır. Trafik tanımlama tarafı kaynağın uyması gereken trafik yapısını gösterir. QoS tanımlama tarafı ağın bu bağlantı için kullanıcıya sağlayacağı kaynakları belirtir. Trafik ve QoS tanımlayıcıları aşağıda tanımlanmıştır.

Tablo 2.1: Trafik sözleşmesi

Trafik Sözleşmesi	
Trafik Tanımlama Bölümü (kullanıcı uymakla yükümlüdür)	QoS Tanımlama Bölümü (ağın garanti ettiği parametreler)
Trafik Parametreleri PCR, SCR, MBS, MCR, CDVT	QoS Parametreleri maxCTD, CDV, CLR

Trafik Tanımlayıcıları: Aşağıdaki parametrelerle verilen bağlantı için kaynak trafiğinin yapısı tanımlanır.

Tepe Hücre Hızı (PCR): Bu bağlantı üzerinden kaynağın ağa en yüksek hangi hızla veri gönderilebileceğini tanımlar.

Karşılanılabilir Hücre Hızı (SCR): Bağlantı için ortalama hücre hızının üst sınırını belirtir. Eğer ortalama hücre hızı SCR'den daha fazlaysa, kaynak trafik sözleşmesini ihlal etmiştir.

Maksimum Patlamalılık Boyu (MBS): Tepe hücre hızında arka arkaya gönderilebilecek maksimum hücre sayısıdır.

Minimum Hücre Hızı (MCR): Ağdan istenen en düşük hücre hızını tanımlar.

Hücre Gecikme Varyansı Duyarlılığı (CDVT): Kaynak PCR hızıyla iletim yapsa bile, kullanıcı-ağ arayüzünde hücreler arasındaki gecikme her zaman sabit değildir. Gecikmede ki değişim hücre çoğullanması, fiziksel katmanın getirdiği hücre ek yükünün iletilmesi gibi etkenlerle ilgilidir. CDVT maksimum hücre gecikme varyansını belirler.

QoS Tanımlayıcıları: Aşağıdaki QoS tanımlayıcıları [2] ATM Forum tarafından tanımlanmıştır:

Maksimum Hücre Aktarım Gecikmesi (maxCDT): CTD hücrenin ağda harcadığı süredir. Bu süre iletim ve bağlaştırma gecikmeleri gibi sabit gecikmeler ve kuyruklama gecikmeleri gibi değişken gecikmelerin toplamıdır. maxCTD, CTD için tanımlanmış üst sınırdır.

Hücre Gecikme Varyansı (CDV): CDV, CTD'nin en iyi durum ve en kötü durumu arasındaki farktır. En iyi durumda sabit gecikme ve en kötü durumda maxCTD'dir.

Hücre Kayıp Oranı (CLR): Kaybolan hücrelerin toplam iletilen hücrelerin sayısına oranıdır. ATM ağlarında hücrelerin kaybolmalarının temel nedeni, ara seçicilerdeki tampon belleklerde oluşan taşmalardır. Ayrıca hücrelerin yanlış yönlendirilmeleri de kayıplara neden olabilir.

2.3.3 Hizmet sınıfları

ATM'de her biri farklı seviyede QoS sağlayan çeşitli hizmet sınıfları bulunmaktadır. Bağlantı kurulurken, kaynaklar tarafından hizmet sınıfı belirtilir. İstenen hizmete bağlı olarak, ağ QoS gereksinimlerini karşılayacak biçimde gerekli ağ kaynakları ayırtır. ATM Forum tarafından aşağıdaki hizmet sınıfları [2] tanımlanmıştır.

i. Sabit Hücre Hızı (CBR) Hizmeti: PCR ile tanımlanan sabit bir bantgenişliğine ve sıkı bir gecikme ve gecikme varsansı sınırlamasına ihtiyaç duyan uygulamalar için tasarlanmıştır.

ii. Gerçek Zamanlı Değişken Bit Hızı (rt-VBR) Hizmeti: Gecikme ve gecikme değişimlerine duyarlı, patlamalı trafik üreten kaynaklar için tasarlanmıştır. PCR, SCR ve MBS ile tanımlanır.

iii. Gerçek Zamanlı Olmayan Değişken Bit Hızı (nrt-VBR) Hizmeti: Gecikmeye duyarlı olmayan, patlamalı trafik üreten kaynaklar için tasarlanmıştır. PCR, SCR ve MBS ile tanımlanır.

iv. Kullanılabilir Bit Hızı (ABR) Hizmeti: Veri uygulamaları için tanımlanmıştır. Ağdaki yığılmayı denetlemek amacıyla hız-tabanlı bir yığılma denetimi kullanılır. Yığılmanın gerçekleşmesi durumunda, ağ trafik kaynaklarına hızlarını azaltmalarını bildirmek için geribesleme kullanır. MCR bağlantı kurulumu aşamasında belirlenir. (MCR = 0 seçilebilir) Geribesleme kaynak yönetim (RM) hücreleri tarafından sağlanır. ABR kaynakları periyodik olarak RM hücreleri gönderirler. Bu hücrelere seçiciler tarafından yığılma bilgisi ve seçicilerdeki kullanılabilir bantgenişliği bilgileri yerleştirilir. Varış noktası kaynaktan gelen RM hücrelerini kaynağa doğru tekrardan iletir. RM hücrelerini alan trafik kaynakları hücre gönderme hızlarını ağın koşullarına göre ayarlarlar. ABR bağlantısının işleyişi çeşitli kaynak, alıcı ve ağ kuralları tarafından belirlenir. ABR bağlantılarındaki kayıp oranı çok düşüktür.

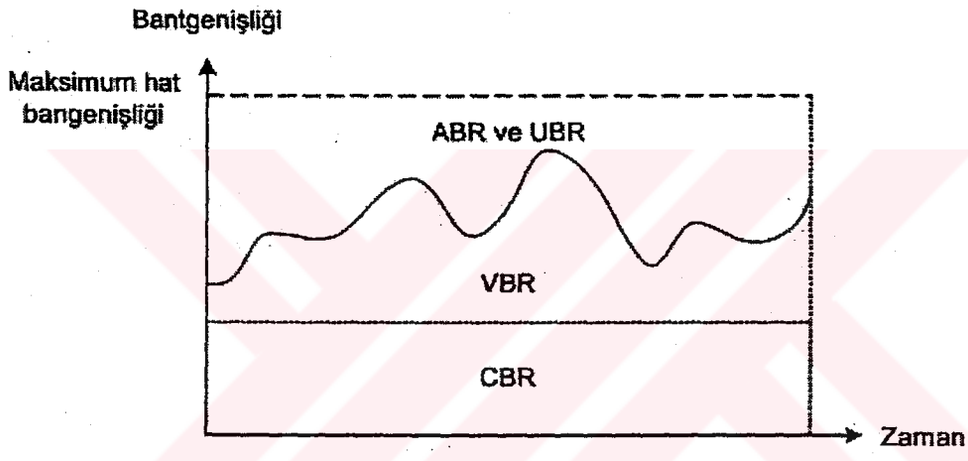
v. Belirlenmemiş Bit Hızı (UBR) Hizmeti: Bu hizmet sınıfı kullanıcılara herhangi bir bantgenişliği veya gecikmeyle ilgili garanti vermez. Yığılma olması durumunda, seçicilerde hücreler atılmaya başlanır ve uç birimlerdeki uygulamaların (TCP gibi) bu tür kayıpları belirleyip, kaybolan hücrelerin yeniden iletimini isteyemesi beklenir. UBR IP tarafından sağlanan en-iyi-çaba hizmetine eşdeğer bir hizmet sağlar.

vi. Garanti Edilmiş Çerçeve Hızı (GFR) Hizmeti: Önceleri UBR+ olarak bilinen GFR, gerçek zamanlı olmayan uygulamalar için tasarlanmıştır. GFR çerçeve seviyesinde bir minimum hız garantisi sağlar ve uç sistemlerin değişken uzunluklu çerçeveler iletmesini ve ATM seçicilerinin de bu çerçeve sınırlarını belirleyebilmesini gerektirir. GFR akış denetimi içermez. Seçicide yığılma olması durumunda aynı çerçeveye ait hücreler toptan atılır.

Tablo 2.2: Hizmet sınıflarının trafik ve QoS parametreleri

Hizmet Sınıfı	Trafik Parametreleri	QoS Parametreleri
CBR	PCR	maxCTD, CDV, CLR
rt-VBR	PCR, SCR, MBS	maxCTD, CDV, CLR
nrt-VBR	PCR, SCR, MBS	CLR
ABR	PCR, MCR	CLR
UBR	PCR	-
GFR	PCR, MCR, MBS	-

Tablo 2.2'de her bir hizmet sınıfı için trafik ve QoS parameterlerinin ilişkisi gözükmektedir.



Şekil 2.2: Kararlı durumda bantgenişliğinin hizmet sınıfları arasındaki paylaşımı

Şekil 2.2'de kararlı durum halinde (herhangi bir sanal devre kurulmaksızın veya kaldırılmaksızın) çeşitli hizmet sınıflarının arasında bağlantı bantgenişliğinin paylaşımı gözükmektedir. CBR kaynakları için sabit bir bantgenişliği ayrılmıştır. Değişken bir miktarda bantgenişliği VBR kaynakları için kullanılır. CBR ve VBR bağlantılarını yavaşlatacak bir mekanizma yoktur. Bu nedenle ATM ağlarındaki yığılma denetimi, ABR kaynaklarının hızını azaltarak sağlanır. ABR kaynakları için bir minimum bantgenişliği ayrılabilir. ABR, CBR ve VBR kaynaklarından arta kalan bantgenişliğini kullanır. CBR, VBR ve ABR tarafından kullanılmayan trafik UBR trafiğini iletmek için kullanılır.

2.3.4 Yığılmanın denetlenmesi

ATM paketlerin istatistiksel olarak çoğullanması yöntemine dayanır. Temel fikir belirli bir zaman aralığında kullanıcıların tümünün tepe hücre hızıyla iletime geçmeyeceğidir. Bununla birlikte herhangi bir zaman aralığında çok sayıda kullanıcı tepe hücre hızıyla iletime geçerse, ağda yığılma oluşur ve hücre kayıpları gerçekleşir. Varolan bağlantılar için garanti edilen hizmet kalitesinin sağlanması ve yığılmanın denetlenmesi amacıyla ATM çeşitli yöntemler kullanır. Bu yöntemlerden biri bağlantı kabul denetimidir (CAC). Kaynak veri iletimine başlamadan önce ağa gerekli parametrelerle birlikte bağlantı isteğini gönderir. Ağ mevcut bağlantılar için sağlanan QoS etkilemeksizin, istenen bağlantıyı gerçekleştirebilecek yeterli imkana sahip olup olmadığına bakar. Eğer bağlantıyı kabul etmeye yetecek kaynağı yoksa bağlantı isteğini reddeder. Yığılmayı engellemek için bir diğer yöntem ağın izlenmesidir. ATM ağı her bağlantının gönderdiği trafiğin, CAC aşamasında (bağlantı kabul aşaması) belirlenen trafik sözleşmesine uygun olup olmadığını denetler. Aşırı trafik ağ tarafından atılabileceği gibi, düşük öncelikli olarak işaretlenip yığılmanın gerçekleştiği ilk durumda atılabilir. Üçüncü yöntemde ağa giren trafiğin hızının azaltılarak yığılmanın denetlenmesidir. Yığılma durumunda ABR kaynaklarına denetim paketleri gönderilerek iletim hızlarını azaltmaları istenebilir.

2.3.5 Hata denetimi

ATM ağları çok düşük hata oranlarına sahip yüksek-hızlı bağlantılar (örneğin fiber-optik hatlar) üzerinde çalışmak üzere tasarlanmıştır. Bu nedenle veri alanında hata denetimi gerçekleştirilmez. Veri alanında hata denetimini gerçekleştirip, hatalı hücrelerin yeniden iletimin istemek üst katmanların görevidir. ATM yalnızca hücrelerin hatalı yönlendirilmelerini engelemek amacıyla herbir ara düğümde, hücre başlık alanında hata denetimi gerçekleştirir.

2.4 ATM Bağlantı Türleri

ATM bağlantı-yönelimli bir ağ olduğunda, veri iletimine başlanmadan önce belirli bir gecikmeye neden olan bağlantı kurulumunun gerçekleştirilmesi gerekir. Kullanıcı ihtiyaçlarına göre üç farklı bağlantı kurulabilir.

Kalıcı sanal bağlantılar (PVC) iki uç nokta arasında ağ işletmecileri tarafından kurulur. PVC'ler yüksek hacimli veri iletimine uygundur ve genellikle ağ işletmecisi tarafından kaldırılmadan önce aylarca işler durumda tutulur. Yarı-kalıcı VC'ler ihtiyaç duyulduğunda kurulur. Yarı-kalıcı VC'lerin süresi genellikle birkaç günden bir aya kadardır. PVC ve yarı-kalıcı PVC'ler ATM ağları üzerinde sanal kiralık hatlar oluşturmak için kullanılır. PVC'ler çok daha önceden kurulduğundan veri iletimi için herhangi bir gecikmeye neden olmazlar.

Küçük hacimli, patlamalı veri aktarımı için (süre birkaç saniyeden birkaç dakikaya kadardır) bağlaşmalı VC (SVC), uygulamadan işaretleşme kullanılarak kurulup kaldırılabilir. Bağlantıların kurulması için belirli bir süre gereklidir. PVC'ler ATM ağları için ölçeklenebilir çözümler sağlamamaktadır. Çok sayıda trafik kaynağın olduğu durumlarda, PVC-tabanlı çözümler çok sayıda trafik kaynağının ağ tarafından denetlenmesi gerektirir. (Yönetiminin daha basit oluşu nedeniyle PVC kullanılmaktadır ancak SVC çok daha büyük esneklik sağlamaktadır)

2.5 ATM Uyarlama Katmanı Katmanları

Farklı uygulamalar farklı hizmet ihtiyaçlarına (gecikme ve iletim hızının değişkenliği gibi) sahiptir. ATM'nin üst katmanınıda yer alan ATM uyarlama katmanı (AAL) farklı türdeki hizmetlerin veya protokollerin ATM'ye ulaşmasından sorumludur. AAL katmanı diğer protokollerden gelen veriyi alır ve veriyi sabit uzunluklu ATM hücreleri olarak iletir. Her uyarlama katmanı iki alt katmandan oluşur. (i) Parçalara ayırma ve birleştirme katmanı (SAR) (ii) Yakınsama katmanı (CS)

CS uygulamaya bağlı olarak üst katmanlara hizmet verilmesinden, SAR göndermede paketlerin hücrelere bölünmesine ve almada hücrelerin birleştirilerek üst katmana ait paketlerin oluşturulmasından sorumludur.

Farklı hizmetleri karşılamak üzere, aşağıdaki dört AAL tanımlanmıştır.

AAL1: CBR hizmetlerini karşılamak içindir. (Örnek 64kbit/s ses)

AAL2: VBR hizmetleri içindir. (MPEG2 kodlanmış görüntü)

AAL3/4: Bağlantı yönelimli paket bağlaştırmalı ağlardan gelen veriyi taşımak için

AAL5: TCP/IP trafiği gibi, bağlantısız veri haberleşmesi içindir.

AAL5 paketlere 8 bayt uzunluğunda bir kuyruk ekler. Şekil 2.3'de AAL5 PDU'sunun CS katmanındaki durumu gösterilmiştir. AAL5 kuyruğundaki alanlar aşağıda açıklanmıştır:

Veri alanı (0-65535 Bayt): Değişken uzunluklu bu alan üst katmandan gelen veriyi taşır.

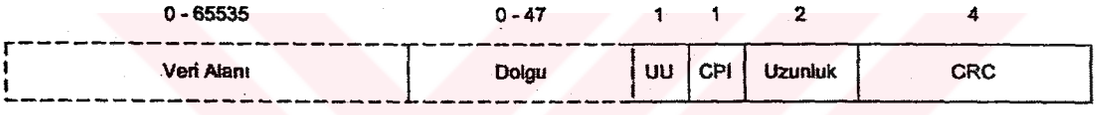
Dolgu (0-47 Bayt): AAL5 PDU'sunun 48 baytın tam katı yapmak için kullanılır.

Kullanıcıdan-Kullanıcıya (UU): AAL tarafından doğrudan kullanılmaz. Üst katmanlar sıralama ve çoğullama gibi amaçlar için kullanılır.

Ortak Parça Belirteci (CPI): Kullanılmaz

Uzunluk (2 Bayt): Veri alanındaki verinin uzunluğunu belirtir.

CRC alanı (4 bayt): AAL5 PDU'sundaki bit hatalarını CRC kullanarak denetlemek için kullanılır.



Şekil 2.3: AAL paketinin biçimi

AAL5 CS-PDU 48 bayt uzunluğundaki parçalara ayrılarak, ATM hücrelerinin veri alanlarına yerleştirilir. Daha sonra veri alanına beş baytlık başlık eklenerek, ATM hücreleri oluşturulur.

2.6 Fiziksel Katmanlar

ATM herhangi bir fiziksel katmana bağımlı değildir. Bununla birlikte ATM Forum ve ITU ATM trafiğini taşıyacak çeşitli fiziksel katman standartları tanımlamışlardır. Bu bölümde ATM hücrelerini taşımakta kullanılan üç farklı fiziksel katman protokolünün çerçeveleme yapısı açıklanacaktır.

2.6.1 DS3

DS3 pek çok veri haberleşmesi sağlayıcısı tarafından kullanılan bir sayısal veri hizmetidir. ATM Forum DS3'ün UNI'de [3] nasıl kullanılacağını tanımlamıştır. Fiziksel katman yakınsama protokolü (PLCP) 53 baytlık ATM hücrelerinin DS3 devrelerinin veri alanına eşleştirilmesinde kullanılır. PLCP çerçevesi her biri ayarlama, eşzamanlama ve parite denetimi için kullanılan 4 baytı ve ATM hücresini

içeren 12 satırdan oluşturur. PLCP çerçeveleri DS3 veri alanında taşınır ve her 125μs'de bir PLCP çerçevesi iletirler. Etkin veri hızı $12 \times 53 \times 8 \times 1/25.10^{-6}$ = 40,704 Mbit/s'dir. (DS3 standartlaştırılmış hat hızı 44,736 Mbit/s dir)

2.6.2 TAXI

FDDI ağları için gerçekleştirilmiş 100 Mbit/s hızındaki bir ağ arayüzüdür. TAXI arayüzü için özel çerçeveleme uygulanmaz. ATM hücreleri her biri bir bayt uzunluğunda olan iki özel kodla ayrılır: hücre başlangıcı (TT) kodu ve boş (JK) kodu. Her hücrenin başına TT ve birbirini takip eden hücrelerin arasına JK yerleştirilerek hücreler birbirlerinden ayrılır. Fazladan eklenen iki bayt nedeniyle ATM katmanı için ayrılan bant genişliği % 96.36 ve dolayısıyla 100Mbit/s TAXI bağlantısından 96,36 Mbit/s'lik bölümü ATM tarafından kullanılır.

2.6.3 SDH/SONET

ITU tarafından SDH adıyla standartlaştırılmıştır optik bir ağdır. Tek kanal üzerinde TDM çoğullaması kullanır. SONET için çeşitli hat hızları tanımlanmıştır. (OC1 51,840 Mbit/s OC3 155,520 Mbit/s ve OC12 622,080 Mbit/s gibi)

SONET çerçevesinin boyu ve biçimi hat hızına bağlıdır. OC1 hızında SONET/SDH çerçevesi, herbiri 90 sütundan oluşan 9 satırdan oluşur. ilk üç sütun yönetim ve çoğullamayla ilgili bilgileri taşırken kalan 87 sütun kullanıcı verisini taşır. Bu 3 sütundan başka, yol ek yükü olarak adlandırılan bir diğer sütun farklı bağlantılardan gelen eşzamanlı iletim işaretleri (STS) çoğullandığında gereklidir. Aynı bağlantıdan gelen STS kanalları çoğullandığında yol ek yükü gereksizdir ve tüm 87 sütun kullanıcıya ayrılır. SONET çerçeveleri OC1 hızında 125μs bir gönderilir. Toplam veri hızı $810 \times 8 \times 8000$ bit/s = 51,84 Mbit/s (STS-1). Çeşitli STS-1 kanalları çoğullanarak daha yüksek hızlar elde edilebilir.

Farklı kanallardan gelen üç STS-1 çerçevesinin çoğullanmasıyla OC-3 çerçevesini oluşturur. Bu durumda hat hızı 155,52 Mbit/s ve kullanılabilir veri hızı 148,608 bit/s'dir ($86 \times 9 \times 8 \times 3 \times 8000$ bit/s). Eğer aynı kanaldan gelen üç STS-1 çoğullanırsa, OC-3c çerçevesi oluşur. Bu durumda yol ek yükü yalnızca ilk STS-1 çerçevesi için gerekli olacağından, OC-3c hızında kullanılabilir bantgenişliği 149,76 Mbit/s $((86 + 87 \times 2) \times 9 \times 8 \times 8000$ bit/s) olacaktır. Bunun sonucu olarak OC-3c

için iletim verimliliği % 96,3'dür. OC-12c hızı için kullanılabilir bantgenişliği 600,768 Mbit/s ve iletim verimliliği % 96,57'dir.

3. TCP/IP

3.1 Giriş

ATM üzerinden taşınan TCP/IP trafiğine ilişkin başarım sorunları TCP/IP ile ATM protokolleri arasındaki çeşitli etkileşimlerden kaynaklanmaktadır. Bu sorunların anlaşılması amacıyla TCP/IP protokol kümesinin ATM ile etkileşimiyle ilgili temel özellikleri bu bölümde açıklanacaktır.

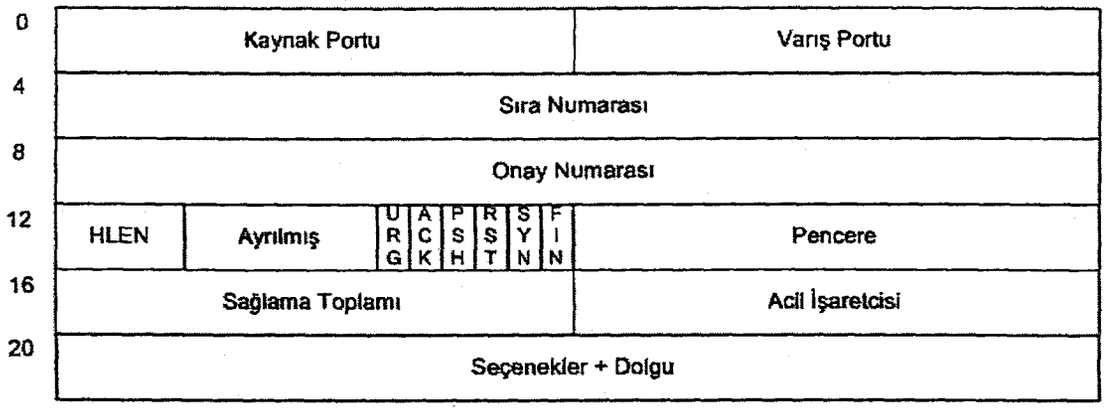
3.2 TCP

TCP uçtan uca güvenilir veri iletişimi için tasarlanmış, bağlantı yönelimli bir taşıma katmanı protokolüdür. TCP güvenilir veri iletişimi sağlamak için akış ve yığılma denetimleri kullanmaktadır. Ağda fiziksel katmanda oluşabilecek bit hataları nedeniyle paketler bozulabilir veya yönlendiricilerdeki yığılmalar nedeniyle paketlerin atılması gerekebilir. TCP bu sorunları aşmak için yeniden iletim yöntemini kullanır. TCP gönderdiği her paket için bir zamanlayıcı başlatır ve alıcı tarafın paketi doğru biçimde aldığını belirten bir onay göndermesini bekler. Eğer onay gelmeden önce zamanlayıcının süresi dolarsa, TCP paketin kaybolduğunu yada bozulduğunu varsayarak tüm paketi yeniden iletir.

TCP uygulama katmanı verisini segment olarak adlandırılan değişken uzunluklu paketler halinde iletir. En büyük segment boyu (MSS), bir TCP bağlantısının bir segment içerisinde taşıyabileceği en büyük uzunluklu uygulama katmanı verisidir. Her bir segment için alt katmanlardan, TCP'den ve IP'den kaynaklanan ek yükler olduğu için gönderilen uygulama verisine karşı düşen protokol ek yükünü azaltmak için MSS'nin mümkün olduğunca büyük seçilmesi istenir. Bununla birlikte, TCP MSS'yi MTU olarak bilinen fiziksel katmandaki ağın çerçeve büyüklüğünün en büyük değerine göre seçer. (örneğin Ethernet üzerinden iletim için MTU 1500 bayttır, TCP/IP ek yükü genellikle 40 bayt olduğundan MSS 1460 bayt olarak seçilir.)

3.2.1 Başlık biçimi

TCP segmenti iki bölümden oluşur: Başlık ve başlığı takip eden veri alanı. Başlıkta gerekli denetim ve tanımlama bilgilerini taşınır. Şekil 3.1'de TCP başlık biçimi gözükmektedir. TCP başlığında her biri farklı bir amaca hizmet eden çok sayıda bölüm bulunmaktadır.



Şekil 3.1: TCP başlık biçimi

TCP başlığındaki alanlar şu şekilde tanımlanmaktadır:

- Kaynak Portu: 16-bit uzunluğundaki kaynak portu alanı TCP kaynağındaki uygulamayı tanımlamak için kullanılan TCP port numarasını taşır. Port numaraları kullanılarak, TCP kullanan farklı uygulamalara ait verilerin çoğullanması sağlanır.
- Varış Portu: 16-bit uzunluğundaki varış portu alanı gönderilen verinin alıcıdaki hangi uygulama tarafından kullanılacağını belirtir.
- Sıra numarası: Veri taşıyan segmentler için 32-bitlik sıra numarası alanı uygulama katmanı verisini taşıyan veri alanındaki ilk baytı belirtir. Örneğin sıra numarası 1000'se ve segment 1000 bayt taşıyorsa sonraki segmentin sıra numarası 2001 olacaktır. TCP her bir segmente ayrı bir sıra numarası vermek yerine, segmentlerin taşıdığı veriyi bayt türünden sıralar. Eğer segment SYN segmentiyse (TCP bağlantısı kurulurken kullanılan ilk segment) veri alanı boş olacağından, sıra numarası alanı bağlantının başlangıç sıra numarasını (ISN) taşır. Buna göre ilk veri segmenti ISN+1 olarak numaralandırılır.
- Onay Numarası: Bu alan alıcı tarafından, alıcının almayı beklediği ilk baytı belirtmek için kullanılır. Alıcı onay numarası alanını kullanarak, bu alanda belirtilen bayttan önceki tüm baytları doğru biçimde aldığını onaylar.

Onaylama işlemi alınan her bir segment için doğrudan gerçekleştirilmez. Alıcı işlem yükünü azaltmak için ancak belirli sayıda segmenti doğru biçimde aldığında kaynağa onay gönderir.

- HLEN: Olabilecek en küçük uzunluklu TCP başlığı 20 bayttır. Ancak seçenekler alanı kullanılmışsa, TCP başlığının boyu değişecektir. TCP başlığının boyu 32-bitin tam katı olacak şekilde 4-bitlik HLEN alanına yerleştirilir.
- Ayrılmış: 6-bit uzunluğundaki bu alan, ileriye dönük kullanım için ayrılmıştır.
- Denetim Bitleri: Tablo 3.1'de açıklaması yapılan denetim bitleri, segmentin içeriğinin belirlenmesi için gerekli olan veriyi taşır

Tablo 3.1: TCP başlığındaki denetim bitlerinin anlamları

URG	Acil işaretçisi geçerlidir
ACK	Onay alanı geçerlidir (Segment onay taşıyor)
PSH	İtme işlevi: TCP geniş bir segment oluşturmak için gerekli veri gelene kadar verileri biriktirir. Eğer PSH biti atanmışsa TCP başka veri gelmesini beklemeksizin, bekletilen verilerin tümünü gönderir.
SYN	Yeni bağlantı kuruluyor (Sıra numaralarının eş zamanlanması)
FIN	Aktarım tamamlandı (Göndericinin ilettiği son segment)

- Pencere: TCP pencere–tabanlı bir akış denetim yöntemi kullanır. Bu 16-bitlik pencere alanı, alıcı tarafın göndericinin pencere boyunun mevcut kaynaklarının durumuna göre güncelleyerek, veri akışını denetlemesinde kullanılır. Bu şekilde yavaş alıcının hızlı gönderici tarafından boğulmasını önlenir.
- Sağlama Toplamı: Başlık ve veri alanındaki verinin bütünlüğünü sınamak için 16 bit uzunluğundaki sağlama toplamı alanı kullanılır.
- Acil İşaretçisi: TCP segmenti, alıcının önem göstermesini gerektiren öncelikli veri taşıyor olabilir. 16-bitlik acil işaretçisi alanı segment içerisinde taşınan

acil verinin son baytını gösterir. (Yalnızca URG = 1 olduğu durumlarda önemsenir.)

- Seçenekler: Bu alanın uzunluğu değişkendir. Her bir seçenek 8-bitin tam katı olmalıdır. Seçenekleri belirtmek için RFC 793'de [4] iki yöntem önerilmiştir. İlk yöntemde her bir seçeneğin öncesinde bir baytlık seçenek türü alanı bulunur. İkinci yöntemde her bir seçeneğin öncesinde iki baytın gelmesini ve bunlardan ilkinin seçeneğin türünü, ikincisinin bu iki baytı da içerecek şekilde seçeneğin toplam uzunluğunun belirtilmesini gerektirir. Üç önemli seçenek tanımlanmıştır:

i. MSS: Bu 16-bit uzunluğundaki seçenek yalnızca SYN segmentinde kullanılır. Bağlantıyı başlatan tarafın MSS'yi müzakere etmesini sağlar. (MSS_{max} = 64 KB)

ii. Pencere Ölçekleme Çarpanı: 8-bit uzunluğundaki bu seçenek RFC 1323'de, [5] uzun gecikmeli bağlantılarda TCP pencere boyunun neden olacağı tıkanıklığı aşmak için tanımlanmıştır. TCP başlığındaki pencere alanı kullanılarak, en fazla 64 KB uzunluğunda pencere boyu tanımlanır, bu değer yüksek hızlı bağlantılarda kanalı doldurmaya yetmez. Pencere ölçekleme çarpanı kullanılarak, TCP bağlantı kurulumunda SYN segmenti aracılığıyla daha geniş pencerelerin belirlenmesi mümkündür. Bu seçenek kullanıldığında bu alandaki verinin değeri F olursa, pencere boyu 2^F ile çarpılacaktır. TCP tarafından kabul edilen en büyük pencere ölçekleme çarpanı 14'dür ve bu durumda en büyük pencere boyu $2^{16} . 2^{14} = 2^{30}$ (1GB) olur.

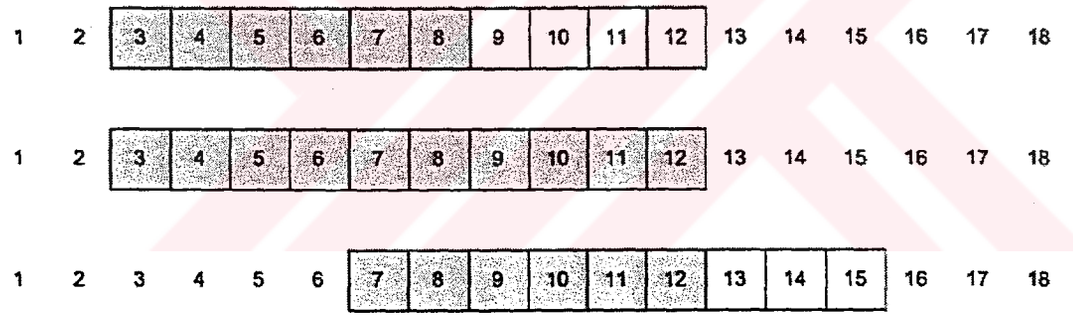
iii. Zaman (8 Byte) RFC 1323'de [5] tanımlanan bu seçenek, iki tane dört baytlık zaman-damgası alanından oluşur. İlk dört bayt gönderici tarafından segmentin gönderilme zamanını belirtmek için kullanılır. Alıcı taraf ikinci dört bitlik zaman-damgası alanına segmenti alış zamanını yazarak, onay segmentiyle göndericiye iletir. Diğer seçeneklerin aksine bu seçenek herhangi bir segmentte kullanılabilir ve TCP bağlantılarının çevrimsel yolculuk sürelerinin (RTT) daha büyük bir kesinlikle ölçülmesi için kullanılır.

- Dolgu: TCP başlığının 32 bitin tam katı olması için kullanılır. Tümü sıfırlardan oluşur.

3.2.2 Akış denetimi

TCP iletilmiş ancak henüz onaylanmamış baytların sayısını sınırlandırmak amacıyla akış denetimi kullanır. TCP başlığında belirtilen pencere boyu alanı geçiş halindeki baytların sayısını sınırlandırmak amacıyla kullanılmaktadır. Daha geniş pencere boylarıyla, onay beklemeksizin çok daha fazla veri iletilebilir. Pencere dolduğu zaman, TCP iletimi durdurmak ve alıcının onay göndermesini beklemek zorundadır. Onay geldiğinde, TCP onaylanan veri uzunluğu kadar yeni veri gönderebilir.

Şekil 3.2'de 10 bayt uzunluğundaki pencere boyu için 3 farklı zaman diliminde, akış denetiminin işleyişi göstermiştir. t1 anında bayt 1 ve 2 onaylanmıştır. TCP bayt 3-8 göndermiş ve onay gelmeksizin 9-12 arasındaki baytları gönderebilmektedir. t2 anında 9-12 arasındaki baytların iletimi tamamlanmış ve TCP onayları beklemeye başlamıştır. t3 anında 3-6 arası baytlar onaylanmış ve pencere boyu dört bayt uzatılmıştır.



Şekil 3.2: TCP akış denetiminin işleyişi

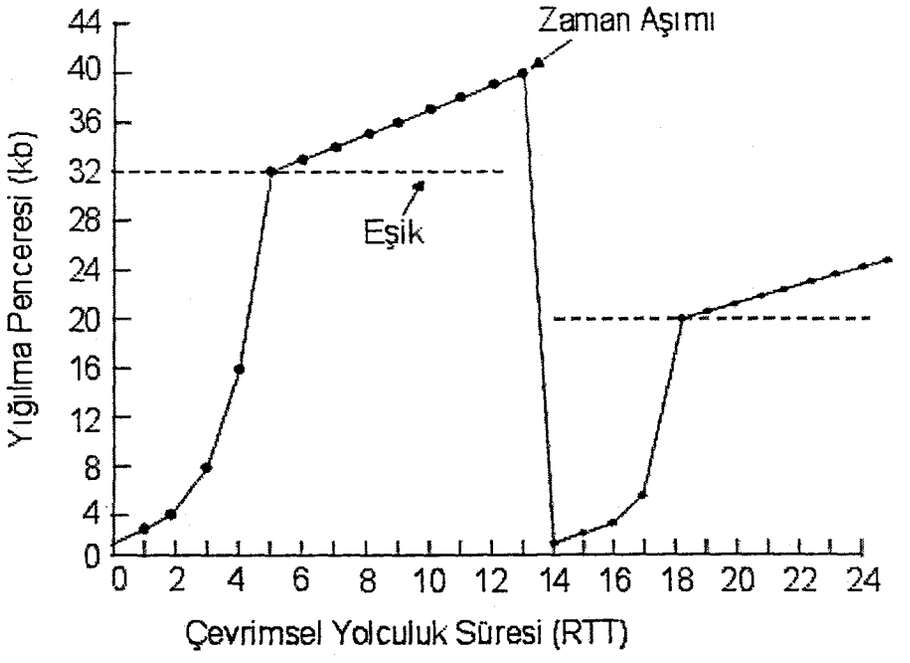
TCP pencerenin boyunun belirli bir TCP oturumunda değişebildiği dinamik bir pencere akış denetimi kullanır. Göndericinin pencere boyu alıcı tarafından dinamik olarak güncellenerek, yavaş alıcının hızlı gönderici tarafından boğulması önlenir.

3.2.3 Yığılma denetimi

Ağdaki bir IP yönlendiricisine, yönlendirebileceğinden daha hızlı paket geliyorsa, yönlendirici gelen veriyi, daha az paketin geldiği bir zamanda yönlendirmek üzere tampon belleğinde kuyruklamaya başlar. Ancak kuyruk uzunluğunun artışı sürekliyse, bu durum yığılma olarak adlandırılır. Yönlendiricilerin belleği sonlu boydadır ve yığılma gerçekleşirse, bellek dolu olacağından gelen paketlerin bir kısmı

yönlendiricide kaybolacaktır. Ağdaki yığılmayı denetlemek için, TCP yığılma giderilene kadar veri akışını azaltmak zorundadır. Alıcı tarafın dinamik pencere denetimiyle, göndericinin penceresini güncellemesi, ağdaki yığılmayı denetlemek için verimli bir yöntem değildir. Gönderici ağdaki yığılmanın farkında olmadığından pencere boyunu azaltamayacaktır. Sonuç olarak TCP zaman aşımına uğrayacak ve yeniden iletime geçecektir. Yeniden iletimler daha fazla yığılmaya, artan yığılma gecikmenin artmasına ve paket kayıplarına, oluşan yeni paket kayıpları tekrarlanan yeniden iletimlere sebep olacaktır. Bu durum ağın bütünü iş yapamaz hale gelene kadar devam edecektir. Bu kavram *yığılma çökmesi* olarak adlandırılır. Yığılma çökmesinden kaçınmak amacıyla TCP'de ek mekanizmalar bulunmaktadır: Çarpanlı azalma, yavaş başlama ve yığılma engelleme. Çarpanlı azalmayla TCP pencere boyunu her bir zaman aşımı gerçekleşmesinde en az bir bayt olana kadar yarıya indirir. Bu ağdaki yığılmayı azaltmak için hızlı ve etkili bir yöntemdir ve trafiğin üstel olarak azalmasıyla sonuçlanır. Yığılma geçtiğinde (TCP yeniden onay almaya başlıyor veya TCP yeni bir bağlantı kurmak üzere ve ağdaki yığılmadan habersiz.) TCP *yavaş başlama* yöntemini kullanır. Yavaş başlama yönteminde fikir iletim hızının yavaşça artırılmasıdır. TCP pencere boyunu bir segmente ayarlayarak başlar ve gelen her bir onayda pencere boyunu bir artırır. Yavaş başlama sürecinde pencere boyunun RTT'nin (çevrimsel yolculuk süresi) işlevi olarak üstel arttığı görülür. Üstel artışı anlamak için pencere artış sürecini baştan incelemek gerekir. Başlangıçta pencere boyu birdir. İlk onayın bir RTT süresinde gelmesinden sonra, pencere boyu iki olur. TCP sırasıyla iki segment gönderir ve bir RTT sürede iki onay gelir. Yeni pencere boyu dörttür ve dört segment sırasıyla gönderilir. Bu işlemin bu şekilde tekrarlanması pencere boyunun üstel olarak artışına neden olur. Trafiğin yavaş başlangıç süresince üstel artışı, yığılmaya neden olabilir. Bu tür periyodik bir yığılmayı engellemek için TCP yığılma engelleme algoritmasını kullanır. Yığılma gerçekleştiğinde pencere boyu yarıya indirilir ve her bir RTT'de bir arttırılır.

Şekil 3.3'de yavaş başlama ve yığılmadan kaçınma durumları için pencere boyu, RTT'nin işlevi olarak çizilmiştir. Pencere boyu 40 KB olacakken, zaman aşımı gerçekleşmiştir. Şekilde pencere boyu 20 KB'ye ulaşana kadar üstel artmış, ondan sonra doğrusal olarak devam etmiştir.



Şekil 3.3: TCP yığılma denetiminin işleyişi

3.3 IP

IP, TCP/IP protokol kümesindeki tüm protokoller tarafından kullanılan genel bir ağ katmanı protokolüdür. Bu bölümde IP protokolünün konuyla ilgili özellikleri incelenecektir.

3.3.1 Bağlantısız dağıtım

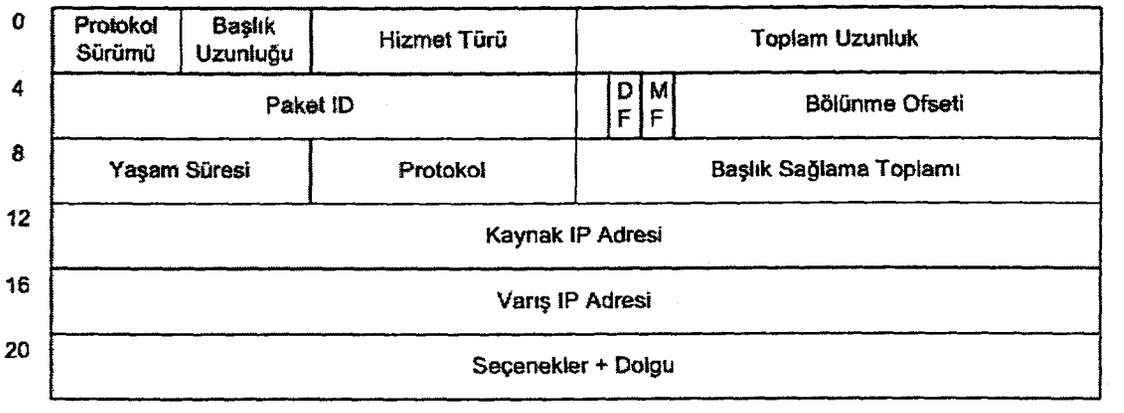
IP bağlantı yönelimli olmayan bir protokoldür. Veri iletimine başlanması için alıcı ve verici arasında bir bağlantı kurulmasını gerektirmez. IP üst katman verisini datagram adı verilen değişken uzunluklu paketler biçiminde iletir. Her bir IP datagramı başlığında alıcının ve göndericinin adresini taşıyan bağımsız bir ileti olarak değerlendirilir. Bağlantısız dağıtım yönlendiricilere aynı alıcı ve verici arasındaki farklı datagramların ağdaki yığılmaya ve bağlantıların uygunluğuna göre farklı yollardan gönderilebilmesi olanağını verir. Bunun sonucu olarak sıralı datagramlar farklı yollarda farklı gecikmelere uğrayabileceklerinden, alıcıya sıraları bozulmuş olarak ulaşabilirler. IP datagramların alıcılarına doğru biçimde ulaşıp ulaşmadığını denetlemez, bu işlem TCP'ye bırakılmıştır.

3.3.2 IP Başlık biçimi

TCP segmentlerinde olduğu gibi IP datagramlarında da başlığı, veri alanı takip eder. Başlık gerekli tanımlama ve denetim bilgilerini, veri alanıysa TCP, UDP yada IP üzerinde çalışan diğer üst katman protokollerine ait verilerini taşır. Internet'te kullanılan güncel IP protokolü IP sürüm 4 (IPv4) olarak bilinir. IETF IP sürüm 6 (IPv6) adıyla yeni bir sürümü standartlaştırmıştır. Bu IPv6'nın zaman içerisinde IPv4'le yer değiştirmesi beklenmektedir. IPv6 IPv4'den farklı olarak 40 bayt sabit uzunluğa sahiptir. Şekil 3.4'de IPv4 başlık biçimi gözükmektedir. TCP segmentlerinde olduğu gibi olabilecek en küçük IP başlığı 20 bayt uzunluğundadır. IPv4 başlığında bulunan alanlar şöyledir:

- Protokol Sürümü (4 bit): IP protokolünün sürümünü belirtir.
- Başlık Uzunluğu (4 bit): IP datagramının başlık uzunluğu değişken olduğundan, bu alanda IP başlığının boyu 32-bitin tam katı olarak belirtilir.
- Hizmet Türü (8 bit): IP kaynağı bu alanı kullanılarak, varışa kadar olan ara yönlendiricilerden datagrama özel işlem yapılmasını isteyebilir. (öncelik verilmesi gibi) Bununla birlikte yönlendiriciler bu istekleri gerçekleştirme zorunda değildir.
- Toplam Uzunluk (16 Bit): Datagramın toplam uzunluğu değişken olduğundan, bu alan datagramın toplam uzunluğunu bayt türünden belirtmek için kullanılır.
- PaketID (16 Bit): Datagramın sıra numarasıdır. Gönderilen her datagramda bir artırılır.
- Bayraklar (3 Bit): IP, datagramları fiziksel katmanın paket yapısına uydurulabilmek için parçalara ayrılabilir. Datagram parçalara ayrıldığında, MF (More Fragment) biti parçaların alıcıda birleştirilmesi gerektiğini bildirmek için kullanılır. Kaynak DF (Don't Fragment) bitini kullanarak, datagramın bölünmemesi gerektiğini bildirebilir. Diğer bit kullanılmamaktadır.
- Parçalama Ofseti (13 Bit): Parçalanmış datagramda, parçalanmanın yerini belirtmek için kullanılır.

- Yaşam Süresi (8 Bit): Bu alan datagramın üzerinden geçebileceği maksimum sekme sayısını belirtmek için kullanılır. Yönlendirici işlem yaptığı her datagramda bu alanı bir azaltır. Eğer yaşam süresi sıfırlanmışsa, yönlendirici paketi atar. Sekme sayısının sınırlandırılması datagramın Internet'te sonsuza kadar dolaşmasını engellemek için konulmuştur.
- Protokol (8 Bit): Göndericide TCP veya UDP gibi farklı protokoller, kendi verilerini göndermek üzere IP'yi kullanıyor olabilir. Bu nedenle alıcıda gelen verinin doğru protokolle eşleştirilmesi için bu alana ihtiyaç duyulur. TCP 6 ile UDP 17 ile belirtilir.
- Başlık Sağlama Toplamı (16 Bit): IP başlığını bit hatalarına ve dolayısıyla da başlığın sebep olabileceği yanlış yönlendirmelerden kaçınmak için kullanılır.
- Kaynak IP Adresi (32 Bit): Bu alan kaynağın IP adresini taşır. Tüm IP arayüzlerine tüm Internet'de tek olan IP adresleri verilmiştir.
- Varış IP Adresi: Paketin varış noktasının IP adresidir.
- Seçenekler: Bu alanın kullanılması zorunlu değildir. Kullanıldığında kaynak IP'si tarafından belirtilen bir yada daha fazla seçeneği içerebilir. Tanımlanmış dört seçenek vardır: Güvenlik, kaynak yönlendirmesi, yol kaydı ve zaman kaydı. Kaynak değişken sayıda seçenek seçebileceğinden, bu alanın boyuda değişkendir.
- Dolgu: IP başlığını 32-bitin tam katı yapmak için kullanılır.



Şekil 3.4: IPv4 başlığı

3.3.3 Internet denetim mesajlaşma protokolü (ICMP)

Internet de bir IP datagramı alıcıya varmadan önce pek çok ara yönlendirici üzerinden geçer. Bazı durumlarda bir yada daha çok yönlendirici çökmüş olabilir. Alıcının çökmüş olması nedeniyle, datagram alıcıya ulaşamamışsa yada yönlendirici alıcıya giden yolu bulamamışsa, yönlendiricinin bu tür durumları uç noktalara bildirebilmesi için bir yöntem gereklidir. ICMP IP protokolünün bir parçası olarak bu işlemleri yerine getirir. ICMP kullanılarak, yönlendiriciler hata durumlarıyla ilgili olarak kaynak noktalarını bilgilendirebilirler. ICMP iletileri IP datagramlarının veri alanına yerleştirilerek gönderilirler.

3.4 IP'de Hizmet Kalitesi (QoS)

IPv4 üst katmanlardaki uygulamalar için garanti edilmiş bir hizmet kalitesi sağlamaz. IPv4 tarafından sağlanan hizmet "*en-iyi-çaba*" hizmeti olarak adlandırılır. Günümüzde kullanılan IP yönlendiricileri tüm IP datagramlarına eşit davranırlar. Yönlendiriciler gelen tüm datagramları sıralı iletim için tek bir FIFO kuyruğuna alıp, en kısa sürede iletimini gerçekleştirmeye çalışırlar. Bunun sonucunda, en-iyi-çaba hizmeti belirli bir paket kayıp oranını yada ağda oluşacak ortalama gecikmeye ilişkin bir garanti vermez. Tüm bunların sonucu olarak, günümüzdeki IP ağlarının öncelikli olarak veri iletim uygulamalarına uygun olduğu, ses ve görüntü gibi çoğulortam uygulamalarının gerektirildiği gecikmeyle ilgili sıkı kısıtlamaları yeterince sağlayamadığı sonucuna varılabilir.

IETF IP'de QoS sağlamak üzere çeşitli yeni yapılar üzerinde çalışmaktadır. Böylece varolan veri haberleşmesiyle birlikte çoğulortam uygulamalarının da tatmin edici ölçülerde desteklenmesi istenmektedir. Bu tür çabaların bir sonucu olarak IPv6 standartlaştırılmıştır. IPv6 başlığı akışı tanımlamak üzere bir akış belirteci alanı içerir. IETF IP üzerinde QoS sağlamak için üç yöntem [6] önermiştir: Int-Serv, DiffServ ve MPLS.

4. ATM AĞLARI ÜZERİNDE TCP/IP

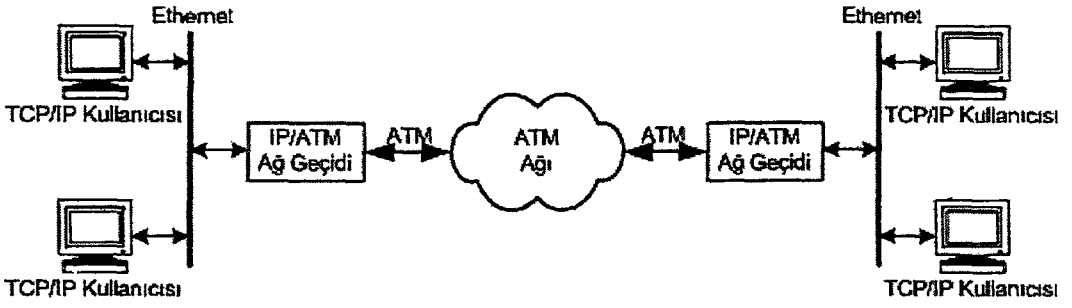
4.1 Giriş

ATM şebekeleri hem yerel alan (LAN) hem de geniş alan (WAN) ağı olarak kullanılmak için tasarlanmıştır. Bu nedenle ATM şebekelerinin mevcut ağların tümünün yerini alacağı düşünülmekteydi ancak Ethernet gibi çok yaygın olarak kullanılan LAN'lar, bunlarla ilişkili TCP/IP altyapısı ve ATM donanımının yüksek maliyeti nedeniyle, güncel eğilim mevcut LAN'ların kullanımını sürdürmek ve TCP/IP kullanan bu LAN'ları yüksek hızlı ATM omurgaları üzerinden bağlamak şeklindedir. Sonuç olarak yakın gelecekte TCP/IP ve ATM'nin birlikte varolacakları ve birlikte çalışacakları düşünülmektedir.

4.2 TCP/IP ağlarında ATM kullanımı

TCP/IP kullanan ağlarda ATM kullanımı, değişken boyutlu TCP/IP paketlerinin, küçük sabit boyutlu ATM hücrelerine bölünmesini gerektirir. IP paketlerinin bölündüğü noktaya bağlı olarak, TCP/IP ağlarında ATM konuşlandırmanın iki yolu vardır. Bunlar *doğrudan ATM bağlantısı* yöntemi ve *omurga olarak ATM* yöntemidir. Doğrudan bağlantı yönteminde, uç sistemler ATM şebeke arabağdaşım kartları (NIC) kullanılarak doğrudan ATM şebekesine bağlanırlar. ATM şebekesi burada geleneksel LAN yapısının yerini alır ve LAN emülasyonu gibi çalışmak üzere yapılandırılır. TCP/IP paketlerinin ATM hücrelerine bölünmesi işlemi uç sistemlerde yapılır. Omurga olarak ATM kullanımı yönteminde ağ öğeleri Ethernet, Token Ring gibi geleneksel LAN yapıları üzerinden birbirine bağlıdır ve çok protokollü bir yönlendirici kullanan bir ağ geçidi üzerinden bu LAN'lar şekil 4.1'de görüldüğü gibi ATM omurgası üzerinden birbirlerine bağlanırlar. Bu durumda TCP/IP paketlerinin ATM hücrelerine bölünmesi işlemi ağ geçidi üzerinde gerçekleşir. Uç sistemler ATM omurgasının varlığından habersizdirler.

Doğrudan ATM ağıyla yüzleşen uç sistemlerin veya yönlendiricilerin IP trafiğini taşıyabilmeleri için bir takım yeni mekanizmalara ihtiyaç vardır.



Şekil 4.1: ATM ağının omurga olarak kullanılışı

4.3 ATM Şebekesi Üzerinde IP Protokolünün Çalıştırılması

Geleneksel LAN yapıları ve ATM şebekeleri arasında birçok farklılık vardır. Örneğin eski LAN yapılarında bağlantısız paylaşılan bir ortam kullanılır bu nedenle bir paket gönderilmeden önce bağlantı kurulması gerekmemektedir. Buna karşın ATM noktadan noktaya (veya noktadan çok noktaya) bağlantıların, bu bağlantı üzerinden veri gönderilmeye başlanmadan önce kurulmasını gerektirir. Bu nedenle IP'nin ATM üzerinde çalıştırılabilmesi için çeşitli mekanizmalara ihtiyaç duyulur. ATM üzerinde IP protokolünün çalıştırılması için geliştirilen yöntemler şunlardır: (i) ATM üzerinde klasik IP yöntemi (ii) LAN Emülasyonu (LANE)

4.3.1 ATM üzerinde klasik IP yöntemi (CIP)

ATM üzerinde klasik IP yöntemi [7] IETF tarafından standartlaştırılmıştır. Bu yöntemde IP ATM'yi yeni bir teknoloji olarak (Ethernet veya Token Ring emülasyonu olmaksızın) değerlendirmiştir. Bu yöntem tüm ATM işlevlerine ve özelliklerine (garanti edilmiş QoS dahil) erişebilmektedir. Bu yapıda, ATM şebekesine bağlı IP kullanıcıları, tek bir ATM adres çözünürlük protokolü (ARP) sunucusunun bulunduğu, mantıksal olarak bağımsız bir alt şebeke (LIS) oluşturur. ATM ARP sunucusu IP ve ATM adresleri arasındaki çevrimin yapılmasından sorumludur. Bir LIS istemcisi ağa bağlandığında ATM ARP sunucusunu, kendi IP ve ATM adresi konusunda bilgilendirir. Bir LIS istemcisi, bir başka LIS istemcisinin ATM adresini belirlemek istediğinde ATM ARP sunucusuna ARP isteği gönderir, ATM ARP sunucusu da cevap olarak istenilen LIS istemcisinin ATM adresini döndürür. LIS istemcisi ATM-ARP sunucusunda aldığı ATM adresini kullanarak diğer LIS istemcisiyle iletişim kurabilir. Eğer istemci LIS'in bir parçası değilse,

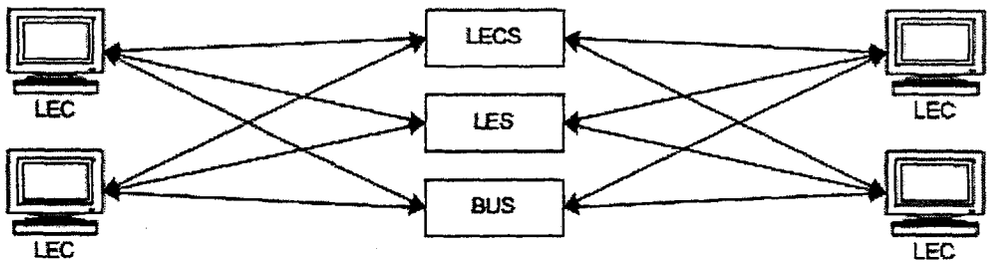
iletisini uygun alt şebekeye aktaracak olan yönlendiriciye göndermelidir. ATM üzerinde klasik IP yaklaşımı sadece IP tabanlı bir çözümdür, diğer protokoller için benzer fakat ayrı çözümlere ihtiyaç vardır.

4.3.2 LAN emülasyonu (LANE)

LANE [8] ATM Forum tarafından eski LAN'lara bağlı bilgisayarların, ATM ağına veya ATM seçicisine doğrudan bağlı bilgisayarlarla şeffaf biçimde, birlikte çalışabilmesi için önerilmiştir. LANE kullanılarak, ATM şebekesi mevcut eski LAN yapısına bir ek olarak gösterilebilir. Bu durumda eski LAN yapısı üzerinde çalışan yazılımlar değişikliğe uğratılmaksınız çalıştırılabilir. Bununla birlikte eski LAN yazılımı LAN'daki diğer bilgisayarlarla iletişim kurmak için yayın yaptığından, bu yayının VC tabanlı ATM ağı üstünde uygun biçimde iletilebilmesi için bir mekanizmaya ihtiyaç vardır. ATM LANE aracılığıyla bağlanmış bilgisayarların haberleşebilmesi için olası iki yöntem bulunmaktadır.

i. *Çok Noktadan Çok Noktaya Bağlantılar:* Bu yöntemde, her bilgisayar LAN emülasyonundaki (ELAN) her bir bilgisayara ayrı bir VC bağlantısı açarak, tümüyle bağlantılı bir VC örgüsü oluşturur. Bu yaklaşım LAN'daki bilgisayar sayısı arttıkça ölçeklenebilirliğini yitirir. LAN'a bir bilgisayar bağlandığında veya çıkarıldığında, güncellenmesi veya açılması gereken bağlantı sayısı çok fazla olacaktır.

ii. *Tek Noktadan Çok Noktaya Bağlantılar:* Çok noktadan çok noktaya bağlantıdaki ölçeklenebilirlik sorunu, tüm bilgisayarların bir çoklu-yayın sunucusuna bağlandığı bu yöntemle aşılabilir. Yayın yapmak isteyen bilgisayar veriyi çoklu-yayın sunucusuna gönderir, daha sonra sunucu bu veriyi LAN'daki diğer tüm bilgisayarlara gönderir. Burada sunucu noktadan çok noktaya bağlıyken, bilgisayarlar sunucuyla yalnızca noktadan noktaya bağlıdırlar.



Şekil 4.2: LANE yapısı için gerekli olan sunucular

ATM Forum'un LANE mimarisi, noktadan-çok noktaya yaklaşımını kullanır. Bu mimaride LAN'daki her LANE istemcisi (LEC) şekil 4.2'de gösterildiği gibi, üç sunucuya bağlıdır. Bir LEC ELAN'a bağlandığı zaman bu üç sunucuyla bağlantı kurar. Bu sunucuların işlevleri aşağıda tanımlanmıştır.

- Yayın ve Bilinmeyen Sunucusu (BUS): Bir LANE istemcisi paket yayınlamak istediğinde bu paketi, diğer tüm bilgisayarlara yönlendiren BUS'a gönderir. BUS aynı zamanda gönderen LEC'in, alıcı LEC'in adresini bilmediği durumlarda da kullanılır.
- LANE Sunucusu (LES): LES MAC adresleriyle ATM adresleri arasındaki eşleştirilmeden sorumludur. Eğer bir LEC iletişim kurmak istediği bir diğer LEC'in ATM adresini bilmiyorsa, LEC LANE sunucusuna LANE adres çözünürlük protokolü (LE_ARP) isteğini gönderir. Buna karşın LANE sunucusu belleğinde yer alan ATM adresini gönderir veya kendisinde kayıtlı bulunan tüm LEC'lere LE_ARP isteğini yayınlar. Bir ELAN'da sadece bir tane LES olur.
- LANE Yapılandırma Sunucusu (LECS) LECS ELAN yapılandırma bilgileri bulunduran veritabanını yönetir. Örneğin bir LEC ELAN'a katıldığında LECS, LEC'i kendisini kaydettirmesi gerektiği LANE sunucusunun ATM adresi hakkında bilgilendirir. Yükü paylaştırmak için LECS'lerin ELAN içinde dağınık bir biçimde bulunmaları gerekir. LECS'ler sistem yöneticisi tarafından yapılandırılır.

LANE'nin temel faydası IP, IPX, ve Netbeui gibi varolan tüm protokollerin herhangi bir değişiklik yapılmaksızın desteklenebilmesidir. Bu yöntemin zayıf tarafıysa, ATM işaretleşmesine erişilememesi ve üst katman protokolleri için bir hizmet kalitesi (QoS) garantisinin verilememesidir.

4.3.3 ATM üzerinde çoklu protokol (MPOA)

ATM ağları LANE kullanarak, Ethernet ve Token Ring gibi yapılara öykünebilirler. Bu tür ELAN'lar ATM, Ethernet ve Token Ring gibi farklı yapılar kullanan düğümleri içeren bir sanal LAN oluşturabilmektedir. LANE kullanılarak, bir ATM ağına birden fazla ELAN bağlanabilir ancak bu ELAN'lar birbirlerine yalnızca geleneksel yönlendiriciler kullanılarak bağlanabilir. MPOA [9] LANE yapısına, sonraki sekme çözünürlük protokolü (NHRP) ve çoklu-yayın çözünürlük

protokollerini (MARS) dahil ederek, ek yönlendiricilere gerek olmaksızın ELAN'lar arası haberleşmeye [1] olanak verir. MPOA yol seçme işlemiyle veri gönderme işlemini birbirinden ayırarak, karmaşık ağ yapılarında bile etkin bir yönlendirme işlemi gerçekleştirir. Her MPOA ağı MPOA sunucuları (MPS) ve MPOA istemcilerinden (MPC) oluşur. MPOA sunucuları yol seçiminden sorumluyken, MPOA istemcileri gerektiğinde MPS'lerden uygun yol bilgisini sorgulayıp, LEC'lerden gelen verinin aktarılmasından sorumludurlar.

4.4 IP Datagramlarının ATM Hücrelerine Dönüştürülmesi

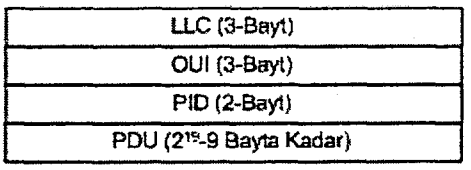
RFC 2684'de [10] bağlantısız verinin ATM şebekesi üzerinde AAL5 kullanılarak nasıl bölüneceğine ilişkin iki farklı yöntem önerilmiştir. Mantıksal Bağlantı Kontrolü (LLC) /Alt şebeke ek noktası (SNAP) çoğullanması olarak adlandırılan ilk yöntem, farklı protokollere ait çok sayıdaki bağlantısız veri akışını, LLC başlığı kullanan tek bir ATM VC'si üzerinden çoğullar. İkinci yöntem farklı protokollere ait paketlerin ayrı ATM VC'leri üzerinden taşınmasını öneren, VC tabanlı çoğullama yöntemidir. Hem 3. katmanda çalışan yönlendiriciler hem de 2. katmanda çalışan köprüler ATM ağına bağlanabileceğinden, bu iki standart çoğullama yöntemi 3. katman (yönlendirilmiş) ve 2. katman (köprülenmiş) protokolleri taşımak için oldukça farklı biçimler kullanır. Sonraki bölümde yönlendirilmiş ve köprülenmiş protokoller için LLC/SNAP çoğullanması ve VC tabanlı çoğullama anlatılacaktır.

4.4.1 LLC/SNAP çoğullanması

LLC/SNAP çoğullama yöntemi farklı protokollerin aynı ATM sanal kanalı (VC) üzerinden taşınmasında kullanılır. 2. ve 3. katman protokolleri için AAL5 veri alanı biçimi aşağıda açıklanacaktır.

4.4.1.1 Yönlendirilmiş protokoller

Aynı VC üzerinden taşınan farklı protokollerin alıcıda ayrıştırılabilmesi için, kaynak iletilen verinin AAL5 veri alanına şekil 4.3'de gösterildiği gibi 3-bayt uzunluklu LLC başlığı ve 5-bayt SNAP başlığı ekler. SNAP başlığı 3-bayt OUI ve 2-bayt protokol belirtecinden (PID) oluşur. OUI alanı, farklı protokolleri belirtmek için kullanılan PID alanındaki kodların anlamının hangi organizasyon tarafından yönetileceğini belirler.

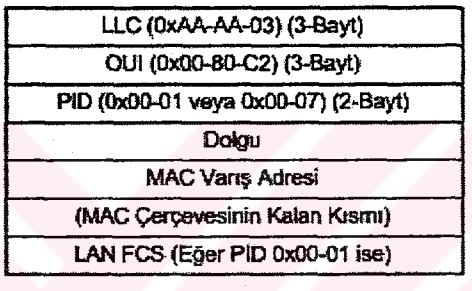


Şekil 4.3: IP paketi taşıyan AAL5 veri alanının yapısı

4.1.1.2 Köprülenmiş protokoller

Köprülenmiş protokolleri için kullanılan veri alanı biçimi yönlendirilmiş protokoller için kullanılan veri alanı biçiminden farklıdır. Şekil 4.4'de köprülenmiş Ethernet için AAL5 veri alanının biçimi gözükmektedir.

Farklı protokollerin verilerini aynı VC üzerinden taşındığı için, bu yöntem yüksek bir maliyete neden olmaksızın, çok sayıda VC'nin dinamik olarak açılmasının uygun yada mümkün olmadığı durumlarda kullanılabilir.



Şekil 4.4: Köprülenmiş Ethernet için AAL5 payload yapısı

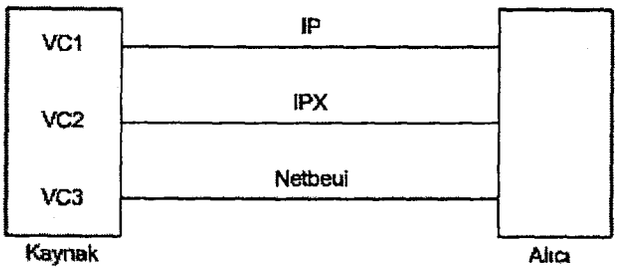
4.4.2 VC-Tabanlı çoğullama

VC-tabanlı çoğullama yöntemi, genellikle çok sayıda VC'nin dinamik olarak yönetilebildiği SVC kullanılan ağlarda kullanılır. VC-tabanlı çoğullama da şekil 4.5'de gösterildiği gibi çok sayıda VC açılır ve her bir VC farklı protokollere ait paketleri taşımak için kullanılır. Alıcı farklı protokollere ait paketleri VC numaralarına göre ayrıştırır. Bu yöntem farklı protokollere ait verilerin ayrıştırılması için herhangi bir ek yük (LLC çoğullama yönteminde LLC ek yükü gibi) getirmez. Bu yöntemin üstünlüğü verinin iletilmesi için daha düşük bir bantgenişliğine ihtiyaç duyması ve başlıklarını işlenmesinde çok az bir ek yük getirmesidir. Yönlendirilmiş ve köprülenmiş protokoller için VC-tabanlı çoğullamanın nasıl gerçekleştirileceği aşağıda açıklanmıştır.

- Yönlendirilmiş Protokoller: Belirli bir VC içerisinde taşınan verinin hangi protokole ait olduğunun belirlenmesine gerek olmadığından, VC-tabanlı

çoğullama kullanan AAL5 veri alanı ve yönlendirilmiş protokol verisi (PDU) yalnızca IP datagramından oluşacaktır.

- Köprülenmiş Protokoller: Köprülenmiş protokollere ait veri birimleri, VC-tabanlı çoğullamayı kullandıklarında veri alanı LLC dönüşümü kullanılması durumundaki veri alanının biçimine benzerdir. Ancak LLC, OUI ve PID alanları gereksiz olduğundan kullanılmazlar.



Şekil 4.5: VC-Tabanlı çoğullama

5. ATM ÜZERİNDE TCP TRAFİĞİNE İLİŞKİN BAŞARIM SORUNLARI

5.1 Giriş

ATM ve TCP arasındaki çeşitli etkileşimler, ATM üzerinden iletilen TCP trafiğinin başarımında önemli düşüşlere neden olabilmektedir. Çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde bu sorunlar ortaya konulacak ve bu sorunları aşmak için önerilen çözümler incelenecektir.

ATM üzerinden iletilen TCP trafiğine ilişkin başarım sorunları şu şekilde [11] sıralanmıştır:

i. ATM ve AAL5 katmanlarından kaynaklanan protokol ek yükü nedeniyle kullanılabilir bantgenişliğinin azalması.

ii. ATM hücre kayıplarının TCP trafiği üzerindeki etkileri.

iii. TCP/IP trafiğinin bağlaşmalı sanal devreler (SVC) üzerinden taşınması durumunda SVC'lerin, işletim maliyetini ve paket gecikmelerini azaltacak biçimde yönetilmesi.

iv. TCP yığılma denetimi ve ABR hız denetiminin karşılıklı etkileşimi nedeniyle IP/ATM ağ geçitlerinde ani yığılmaların oluşması.

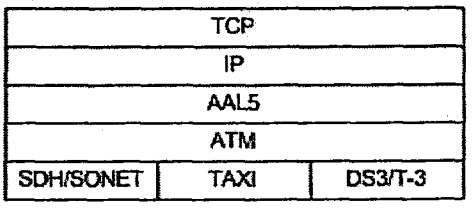
v. Geniş ATM MTU'ları nedeniyle ortaya çıkan TCP çıkmazı durumu

vi. TCP yığılma penceresi boyunun, yüksek hızlı geniş alan ATM bağlantıları üzerindeki sınırlayıcı etkisi

5.2 ATM Protokol Ek Yükü

Bir haberleşme protokolü üst katmandan gelen veriye ek olarak kendi katmanıyla ilgili bilgilerde gönderir. Bu protokolle ilgili olarak fazladan gönderilen bilgiler *protokol ek yükü* olarak bilinir. Protokol ek yükü çeşitli işlevleri yerine getirmek için (iletim hatalarını gidermek, adresleme vb.) kullanılır, ancak protokol ek yükü

kullanıcı verisinin bir parçası olmadığı için kullanılabilir bantgenişliğinin kaybı anlamına gelir. Protokol ek yükünden kaçınmak mümkün değildir, ancak protokol tasarımındaki önemli noktalardan biri protokol yükünü en düşük seviyelerde tutarak kullanılabilir bantgenişliğinin artırılmasıdır. Kullanılabilir bantgenişliğinin, toplam bantgenişliğine oranı olarak tanımlanabilen iletim verimliliği bir haberleşme protokolü için önemli bir başarım ölçütüdür. İletim verimliliği ekonomik nedenlerden dolayı uzun-mesafeli haberleşme hatları için oldukça önemlidir.



Şekil 5.1: ATM üzerinden iletilen TCP/IP trafiği için protokol yığını

Şekil 5.1'de üç farklı fiziksel katmanın kullanılması durumunda, ATM üzerindeki TCP/IP uygulaması için protokol yığını gösterilmektedir. TCP segmentleri sırasıyla, IP datagramlarına, daha sonra AAL5 paketlerine, ardından ATM hücrelerine ve son olarak fiziksel katmanın çerçeve yapısına dönüştürülüp fiziksel iletim hattı üzerinden iletilirler. Her bir katmanın toplam protokol ek yüküne katkısı vardır. IP datagramlarının AAL5 paketlerine dönüştürülmesinde kullanılan yöntemin ATM üzerindeki IP verimliliğinin hesabında bazı etkileri vardır. RFC 2468'de [10] tanımlandığı gibi IP datagramlarının AAL5 paketlerine dönüştürmenin iki yolu bulunmaktadır. İlk yöntem herhangi bir LLC başlığı eklenmeksizin doğrudan dönüşüm (her bir üst katman protokolü için ayrı bir VC gerekir) yapılmasıdır. İkinci yöntemse üst katman protokollerinden gelen verinin tek bir VC üzerinde çoğullanabilmesi için, AAL5 paketlerine dönüşüm yapılmadan önce IP datagramına 8 bayt LLC başlığı eklenmesidir.

Genellikle TCP onaylarını (ACK) taşımakta kullanılan 40 baytlık IP datagramları (olabilecek en küçük uzunluklu datagram) için, VC çoğullamasında herhangi bir dolgu eklemeyecek ve AAL5 paketinin boyu toplam 48 bayt olacaktır. Bununla birlikte LLC/SNAP dönüşümü yapılırsa AAL5 paketi, dolgusuz 56 bayt ve dolguyla birlikte 96 bayt olacaktır. Buradan da anlaşıldığı gibi 40 baytlık IP datagramları için, LLC/SNAP dönüşümü iletim verimliliğini ciddi biçimde düşürmektedir. Bununla birlikte LLC/SNAP dönüşümü Internet de sıklıkla karşılaşılan diğer datagram boyları için iletim verimliliğinde benzer bir soruna neden olmaz. Örneğin yerel olmayan IP

varış noktaları için varsayılan olarak kullanılan 576 bayt uzunluğundaki bir IP datagramını taşıyan AAL5 paketinin boyu her iki yöntem içinde 624 bayt olacaktır. Tablo 5.1'de üç farklı fiziksel katman için ATM üzerindeki TCP/IP trafiğinin iletim verimliliği gözükmektedir. IP datagramı iletilmeden önce AAL5, ATM ve fiziksel katmandan geçmek zorunda olduğundan, ATM üzerindeki IP verimliliğini bulmak için tüm bu katmanların ek yüklerinin göz önüne alınması gerekmektedir. TCP için verimlilik IP'nin getirdiği ek yük nedeniyle daha da düşük olacaktır.

Tablo 5.1: Çeşitli protokoller için iletim verimliliği

Protokol	İletim Verimliliği
SDH/SONET OC-3c	% 96,3
SDH/SONET OC-12c	% 96,57
TAXI	% 96,36
DS-3	% 90,99
ATM	% 90,57
AAL5	% 45,83 (44-baylık datagram için) % 92,31 (576-baytlık datagram için) % 97,66 (1500-baytlık datagram için) % 99,61 (9180-baytlık datagram için)

Tablo 5.1'de her bir katman için verimlilik gözükmektedir. İlk dört satır ATM ağları için dört farklı fiziksel katmanı göstermektedir. ATM katmanının verimliliği beşinci satırda ve altıncı satırda da sıklıkla karşılaşılan IP datagram boyları için AAL5 verimliliği gözükmektedir. 44 baytlık datagramlar Internet'de sıklıkla TCP FIN ve TCP SYN segmentlerini taşımakta kullanılır. 576 bayt uzunluğu yerel olmayan IP varış noktaları için varsayılan IP datagram boyudur. 1500 bayt uzunluğundaki datagramlar genellikle Ethernet bağdaştırıcıları kullanan makinelerce üretilir. 9180 bayt ATM ağlarına bağlı IP kaynakları için varsayılan IP datagram [12] uzunluğudur. Görüldüğü gibi AAL5 dışında diğer protokollerin verimliliği sabittir. AAL5 IP

datagramlarının boyuna bağlı olarak değişen bir verimliliğe sahiptir. Bunun nedeni 0-47 bayt arasında değişen dolgudur. Tablo 5.1'de görülen IP datagramlarının dört farklı boyu için VC çoğullama ve LLC dönüşümünde aynı verimliliğe sahiptir. Tablo 5.2'de farklı IP datagram boyutları ve farklı fiziksel katmanlar için iletim verimlililikleri gözükmektedir.

Tablo 5.2: İletim verimliliği

IP Datagram	Fiziksel Katman	Verim	Hat Bant Genişliği	Etkin Bant Genişliği
44-Bayt	SDH/SONET OC-3c	% 39.97	155.52 Mbit/s	62.16 Mbit/s
	SDH/SONET OC-12c	% 40.08	622.08 Mbit/s	249.33 Mbit/s
	TAXI	% 40.00	100 Mbit/s	40 Mbit/s
	DS-3	% 37.77	44.736 Mbit/s	16.90 Mbit/s
376-Bayt	SDH/SONET OC-3c	% 80.51	155.52 Mbit/s	155.21 Mbit/s
	SDH/SONET OC-12c	% 80.74	622.08 Mbit/s	502.27 Mbit/s
	TAXI	% 80.56	100 Mbit/s	80.56 Mbit/s
	DS-3	% 76.07	44.736 Mbit/s	34.03 Mbit/s
1500-Bayt	SDH/SONET OC-3c	% 85.18	155.52 Mbit/s	132.47 Mbit/s
	SDH/SONET OC-12c	% 85.42	622.08 Mbit/s	531.38 Mbit/s
	TAXI	% 85.23	100 Mbit/s	85.23 Mbit/s
	DS-3	% 80.48	44.736 Mbit/s	36.00 Mbit/s
9180-Bayt	SDH/SONET OC-3c	% 86.88	155.52 Mbit/s	135.12 Mbit/s
	SDH/SONET OC-12c	% 87.12	622.08 Mbit/s	541.96 Mbit/s
	TAXI	% 86.93	100 Mbit/s	86.93 Mbit/s
	DS-3	% 82.09	44.736 Mbit/s	36.72 Mbit/s

Tablo 5.2 incelendiğinde fiziksel katman seçiminin verimlilik üzerinde çok yoğun bir etkisinin olmadığı gözükmektedir. Bununla birlikte iletim verimliliği ciddi bir biçimde datagramların boyuna bağlıdır. Küçük IP datagramları için fiziksel katmanın seçiminden bağımsız olarak, iletim verimliliği % 40'lar seviyesindedir. Verimlilik IP datagramlarının boyu arttıkça ciddi biçimde artmaktadır. ATM üzerindeki TCP/IP verimliliği öncelikli olarak IP datagramlarının boyuna bağlı olduğundan ATM'nin IP

üzerindeki toplam verimliliğini belirlemek için Internet'de IP datagram boylarının dağılımlarının belirlenmesi gereklidir. Internet trafiğinin yapısı üzerine yapılan çalışmalar göstermektedir ki: en çok bulunan datagram boyları [13] 44, 576 ve 1500 bayttır. Yüksek hızlı ticari bir Internet omurgası üzerinde 16 milyar datagram üzerinde yapılan analiz göstermektedir ki [13]: fiziksel katmanın getirdiği ek yük hesaba katılmaksızın eğer LLC dönüşümü kullanılmışsa, ATM üzerindeki IP için ATM katmanındaki toplam verimlilik % 80'dir. Eğer AAL5'de yapılan IP dönüşümünde VC çoğullaması kullanılmışsa verimlilik % 84,47'ye artar. Bu yüksek protokol ek yükü nedeniyle, birçok ISP ATM'ye alternatifler kullanmaktadır. (Örneğin SONET/SDH üzerinde doğrudan IP) Ancak çok sayıda patlamalı trafiğin istatistiksel olarak çoğullanıp tek bir kanal üzerinden iletimini gerçekleştirmesi nedeniyle, bu yüksek protokol ek yüküne rağmen ATM yaygınlığını korumaktadır. SONET/SDH eşzamanlı bir iletim yöntemi olduğundan, bir kere devre kurulduktan sonra devre kapasitesinin altında kullanılsa bile, bu devrede kullanılmayan bantgenişliği diğer devreler tarafından kullanılamayacaktır.

Protokol ek yükü protokolün tasarım aşamasında belirlendiğinden, çoğu durumlarda protokol ek yükü, ATM ağının bir parçası olarak düşünülür. Bölüm 6'da protokol ek yükünün iletim verimliliği üzerindeki etkilerinin nasıl azaltılabileceği incelenecektir.

5.3 ATM Hücre Kayıplarının TCP/IP Üzerindeki Etkileri

ATM kullanımının temel getirilerinden biri, değişken hızlarda iletim yapan çok sayıdaki kaynaktan gelen, trafiğin istatistiksel olarak çoğullanıp bir çıkış hattı üzerinden iletimidir. İstatistiksel çoğullamayla çıkış bağlantısının kapasitesi, kaynakların tepe hızlarının toplamından az, ancak kaynakların toplam ortalama hızlarından çok olacaktır. ATM istatistiksel çoğullamayı, ATM seçicilerinde hücre seviyesinde gerçekleştirmektedir.

İstatistiksel çoğullamanın doğrudan bir sonucu toplam girdi miktarının, toplam çıktı miktarını aşması durumunda ortaya çıkacak olan yığılmadır. ATM seçicisindeki istatistiksel çoğullayıcı seçicide oluşan anlık yığılmaların üstesinden gelmek için girişine gelen hücre miktarı, çıkıştan gönderilebilen hücre miktarının altına düşene kadar, gelen hücrelerin seçicinin tampon belleklerinde kuyruğa alır. Eğer yığılma durumu uzun sürerse tampon belleklerin sonlu kapasiteleri nedeniyle, tampon belleklerde taşmalar gerçekleşecek ve gelen hücreler atılacaktır.

Gerçekleştirilen simülasyon [14] çalışmaları göstermiştir ki: ATM ağları üzerinde çalışan TCP bağlantılarının iletim miktarı, ATM hücre kayıplarından ciddi biçimde zarar görmektedir. İletim miktarı elde edilebilecek iletim miktarının % 34'ü seviyelerine kadar düşebilmektedir. Hücre kayıplarının TCP başarımı üzerindeki etkisini anlamak için ATM ağları üzerindeki TCP/IP iletişimin çalışma süreçlerinin incelenmesi gereklidir.

Bir TCP segmenti önce IP datagramına çevrilir, ardından AAL5 paketine dönüştürülür. Son olarak AAL5 paketi bölünerek ATM ağı üzerinden birden çok ATM hücresi olarak iletilir. Sonuç olarak bir TCP segmenti bir hücreler dizisi olarak iletilir ve TCP segmentinin boyu arttıkça hücre dizisindeki hücre sayısı da artacaktır. Bununla birlikte ATM seçicileri hücre seviyesinde işlem yaptığından, ağ hangi hücrenin hangi TCP segmentin parçası olduğundan habersizdir. Yığılma durumunda, bir segmentin parçalarını taşıyan hücreler birbirlerinden bağımsız olarak ağdan atılabilirler.

ATM katmanı atılan hücrelerin yeniden iletimini gerçekleştirmez. Bu işlem üst katmanlara bırakılmıştır. Hücre kaybı AAL5 katmanında hücreleri birleştirerek AAL5 paketinin oluşturulması aşamasında gerçekleştirilen CRC hata denetiminde belirlenir. AAL5 hata belirleme mekanizması içermesine karşın herhangi bir hata düzeltme işlemi gerçekleştirmez. Hatalı gelen paket tümüyle atılır. Bunun sonucunda TCP alıcısı ilgili segmenti alamadığından onay üretemez ve TCP kaynağı zaman aşımına uğrayarak ilgili segmenti yeniden iletir. Tüm bunların sonucu daha önce iletilmiş hücrelerin tekrar iletimidir. Doğru alınmış hücrelerin atılan bir hücre nedeniyle bu şekilde yeniden iletimi, yığılma durumundaki ATM ağının durumunu daha da zorlaştıracaktır. Sonuç olarak ATM ağının bu tür bir yığılmadan kurtulması çok daha uzun süre alacaktır.

Hücre kayıplarının ortaya çıkarabileceği bir diğer sorun AAL5 katmanında hücreler birleştirilirken ortaya çıkar. Gönderilen AAL5 paketinden oluşturulan son hücre gönderici tarafından AAL5 paketin sonu olduğunu belirtmek için işaretlenir. Alıcı taraf bu işaretli hücreyi AAL5 paketlerini birbirinden ayırmada kullanır. Eğer bu işaretli son hücre kaybolmuşsa, birleştirme süreci paketler arasındaki ayrımı yapamayacağından, başka bir işaretli hücre gelene kadar hücreleri birleştirmeye devam eder. Bunun sonucu olarak birden fazla AAL5 paketi zarar görür. AAL5 paketinin farklı TCP bağlantılarından gelen segmentleri taşıyor olması durumunda,

bir tek hücrenin atılması eş zamanlı olarak birden çok bağlantıyı olumsuz etkileyebilir.

ATM ağında yığılma nedeniyle hücre kaybı gerçekleşirse, TCP verimliliği çeşitli biçimlerde etkilenir. İlk olarak gereksiz hücrelerin iletimi nedeniyle, TCP'nin kullanabileceği etkin bantgenişliği azalmıştır. Gereksiz hücrelerin iletimi nedeniyle ortaya çıkan bantgenişliği kaybı TCP segment boyuna, hat üzerinde çoğullanan TCP bağlantı sayısı gibi etkenlere bağlıdır. Geniş segmentler kullanan çok sayıdaki TCP bağlantısının çoğullandığı durumlarda kayıp oldukça yüksek olur. Hücre kaybı durumunda ortaya çıkan düşük TCP iletim miktarının bir nedeni de, TCP'nin yığılmaya gösterdiği tepkidir. İletim zamanlayıcısı zaman aşımına uğradığında, TCP yığılmanın olduğu varsayımıyla, yavaş-başlama sürecini başlatır. Başka bir deyişle yeniden iletim zamanlayıcısının süresi dolan segmenti yeniden iletir ve bu segmentin onayı gelene kadar beklemeye başlar. Uzun mesafe bağlantılarında, onayın gelme gecikmesi (yığılmanın olduğu seçiciler de ilgili onayın gelmesini geciktireceklerdir) yüksektir. Sonuçta bu durum da TCP iletim miktarını azaltır. Eğer hücreler sıklıkla kayboluyorsa, TCP yavaş başlama sürecine daha çok girer ve iletim miktarında ciddi düşüşler gerçekleşir. TCP'nin yeniden iletim zamanlayıcısının zaman aşımına uğraması ve yavaş başlama sürecine girmesi ATM ağına özgü bir durum değildir. Alt katmanda hangi protokol olursa olsun, TCP segmentlerinin kayıplarında benzer etkiler gözlemlenecektir.

ATM üzerindeki TCP için, ATM seçicilerindeki tampon bellek miktarı hücre kayıp oranı üzerinde kritik bir etkiye sahiptir. Küçük tampon bellek boylarında, iletim miktarında ciddi kayıplara neden olan hücre atılması olayıyla daha sık karşılaşılmasına neden olmaktadır.

Hücre kayıplarının TCP başarımındaki etkisini gidermek için önerilen yöntemler 7. bölümde incelenecektir. Bu yöntemler ATM seçicilerinde, UBR hizmet sınıfı için daha geniş tampon belleklerin ve paket-tabanlı hücre atma yöntemlerinin kullanılması ve ABR hizmet sınıfı içinse trafik kaynaklarına yığılmayla ilgili geri besleme yapılmasıdır.

5.4 ATM Bağlantı Kurulum Gecikmesi

ATM bağlantı-yönelimli bir teknoloji olduğundan veri iletimi gerçekleştirilmeden önce alıcı ve gönderici arasında bir ATM bağlantı kurulumunun gerçekleştirilmesi gereklidir. Bu işlem telefon şebekelerinde gerçekleştirilen bağlantı kurulum işlemine benzerdir, ancak burada gerçekleştirilen bağlantı fiziksel değil mantıksal bir (sanal kanal) bağlantıdır. Çok sayıdaki VC çoğullanarak bantgenişliğinin verimli kullanımı amaçlanır.

Uçtan-uca VC'lerin kurulması kaynak, alıcı ve ara seçicileri de içeren karmaşık bir işlemdir. Bağlantı kabul işlevleri (CAC) ara-seçicilerin ağdaki güncel yükü belirleyip, istenen bağlantı için istenen hizmet kalitesini sağlayacak yeterli kaynağın (kullanılabilir bantgenişliği, tampon bellek) olup olmadığının belirlenmesini gerektirir. Bu nedenlerle VC kurulum işleminden kaynaklanan işlem gecikmeleri ve bağlantı kurulum isteğinin alıcıdan vericiye iletilmesinden kaynaklanan gecikmeden oluşan toplam bağlantı kurulum gecikmesi, uygulamaların başarımını olumsuz etkileyebilir.

TCP bir taşıma katmanı protokolüdür ve ATM üzerindeki TCP/IP modelinde ATM bir ikinci katman protokolü olarak işler. Katmanlar arası bu farklılık nedeniyle TCP seviyesindeki bağlantılarla, ATM seviyesindeki bağlantılar arasında birebir eşleşme yapmak kolay değildir. Etkileşimli uygulamalar için TCP seviyesindeki bağlantılarla ATM seviyesindeki bağlantılar eşleştirmelerin yapılması istenmeyebilir (örneğin TELNET). TCP bağlantısı kısa bir ileti gönderip daha uzun bir aralık bekler, ATM seviyesinde bu bağlantıyı saklamak bantgenişliğinin boşa kullanılması anlamına gelir. Bu nedenle bağlantının kesilip, bir sonraki iletide yeniden kurulması istenebilir. Bu durum tek bir TCP bağlantısında çok sayıda VC bağlantısı kurulma ve çözülme işleminin gerçekleştirilmesi sonucunu doğurur. ATM bağlantı kurulum gecikmesi, kısa etkileşimli veri aktarımlarında toplam gecikmeyi olumsuz etkileyebilir.

Bağlantı kurulum ve kaldırma işlemlerinin IP/ATM arayüzünde dikkatlice yöneltilmesiyle, ATM bağlantı kurulumunun TCP başarımı üzerindeki olumsuz etkileri azaltılabilir. VC kurulum gecikmesi, VC'lerin işaretleşme kullanılarak dinamik olarak kurulup kaldırıldığı SVC kullanımı durumunda geçerlidir. Bununla birlikte pek çok hizmeti sağlayıcısı, alıcı ve verici arasındaki bağlantıyı PVC'ler kullanarak sağlamaktadır. PVC kullanılması durumunda IP paketleri VC kurulum

gecikmesiyle karşılaşmazlar, ancak PVC tabanlı çözümler çok sayıda uç noktanın bulunduğu geniş ağlar için kaynakların kullanım verimliliği anlamında ölçeklenebilir değildir.

5.4.1 Bağlaşmalı sanal devreler (SVC) üzerinden TCP/IP trafiğinin iletimi

Genellikle bir IP/ATM ağ geçidi TCP/IP ağını ATM ağına bağlar ve ATM bağlantılarını yönetir. ATM bağlantısının geçici olarak gerektiği etkileşimli ve patlamalı veri haberleşmesi için, belirli bir QoS garantisi bulunan PVC'ler veri iletiminin yapılmadığı durumlarda kaynakların israf edilmesi anlamına gelir. Bu tür uygulamalar için SVC'lerin kullanılması daha uygun bir çözüm oluşturur. SCV'ler bağlantıları kurmak ve kaldırmak için işaretleşme kullanır.

TCP/IP trafiğinin SVC'ler üzeriden taşınmasında ortaya çıkan temel sorun işletim maliyetini azaltacak şekilde SVC'lerin kuruluş ve kaldırılış işlemlerinin yönetimidir. SVC'lerin işletim maliyetleri aşağıdaki değişkenlere bağlıdır:

- Kurulum Hızı: SVC'lerin kurulması ve kaldırılmasının sıklığıdır. SVC kurulumu kaynakla alıcı arasında işaretleşmenin yapılmasını gerektirir. Bu işlem ilgili seçicilerde de önemli ölçüde işlemci gücü gerektirmektedir. Ayrıca eğer SVC ticari bir taşıyıcı şebekeden geçiyorsa, her SVC kurulumunda ek bir ücret ödenmesi söz konusu olabilir.
- Bağlantı Süresi: Kurulmuş bir SVC, ATM seçicilerinde tampon bellek, bantgenişliği gibi kaynakların ayrılmasını gerektirir. Bu nedenle SVC'nin bağlantı süresine göre bir ücretlendirme yapılır.
- Tampon belleğe alma maliyeti: IP/ATM ağ geçidine bir IP datagramı geldiğinde, SVC'nin henüz kurulmamış olması yada hattın meşgul olması nedeniyle datagramın tampon belleğe alınması gerekebilir. Tampon belleğin kullanım oranına göre bir ücretlendirme söz konusu olabilir. Aynı zamanda Ağ geçidinde tampon belleğe alınan paketler gecikmeye uğrayacağından dolaylı olarak SVC'nin maliyetini artırır.

Veri haberleşmesinin patlamalı doğası nedeniyle, SVC'nin işletim maliyetleri bağlantıların uygun biçimde yönetilmesiyle azaltılabilir. SVC'lerin yönetiminde kullanılabilecek farklı yöntemler vardır. IP/ATM ağ geçidinin tampon belleğinde iletilecek paket kalmadığında işletim maliyetini azaltmak için SVC hemen

kapatılabilir. Ancak SVC'nin hemen kapatılması yerine, SVC'nin kurulum maliyetini ve gelen paketleri gecikmelerini azaltmak için SVC belirli bir süre tutulması [15] önerilmiştir. SVC yönetiminde kullanılabilecek bir diğer yöntem IP/ATM ağ geçidinin tampon belleğinde iletilecek paket kalmadığında SVC'nin hemen kapatılması ve ağ geçidinin tampon belleğine belirli bir miktarda paket gelmeden de SVC'nin [11] açılmamasıdır.

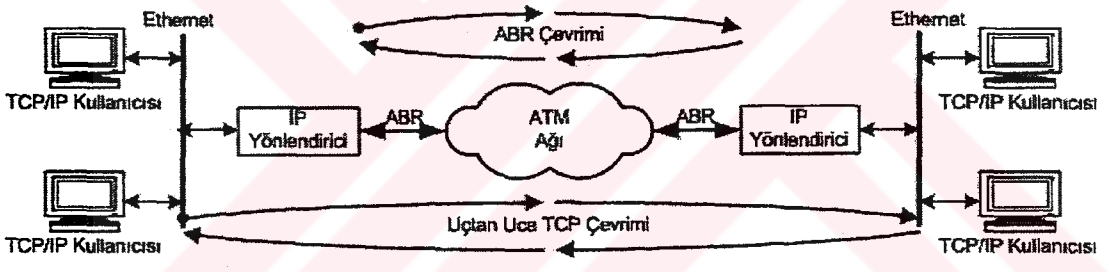
- SVC'nin Kapanmasının Geciktirilmesi (Zamanlayıcı-Tabanlı Yaklaşım): Bağlantı maliyeti, bağlantının kullanımını izleyerek azaltılabilir. Bağlantı boş kaldığında bir zamanlayıcı başlatılarak bağlantının kullanılmadığı süre ölçülür. Eğer bağlantı belirli bir süreden daha uzun süre boş kalırsa bağlantı kesilir. Burada esas sorun maliyeti azaltacak biçimde zamanlayıcı için uygun bir sürenin belirlenmesidir. Bu süre öncelikli olarak IP/ATM ağ geçidine gelen trafiğin yapısına bağlıdır. Zamanlayıcının süresi gereğinden büyük seçilirse ağ kaynaklarının israfına ve maliyetin artışına neden olur. Eş zamanlı olarak açılabilecek SVC'lerin sınırlı olduğu sistemlerde bekleme durumundaki SVC'ler yeni SVC'lerin açılmasının engelleyebilir. Bu yöntemin büyük sistemlerde kullanılması durumunda ortaya çıkacak bir başka sorun, yöntemin çok sayıdaki zamanlayıcının yönetilmesini gerektirmesidir.
- SVC'nin Açılmasının Geciktirilmesi (Eşik-Tabanlı Yaklaşım): SVC'lerin yönetiminde kullanılan zamanlayıcı-tabanlı yaklaşım, zamanlayıcıların yönetilmesinin ve zamanlayıcılar için uygun değerlerin belirlenmesini gerektirir. SVC yönetimi için önerilen bir diğer yöntem, SVC'nin boş kaldığında hemen kapatılmasını gerektirir. Ancak SVC'nin açılmasından kaynaklanan maliyeti azaltmak için, SVC açılmadan önce IP/ATM ağ geçidinde belirli sayıda paketin birikmesi beklenerek SVC'nin açılması geciktirilir. Bu yöntemdeki öncelik ağ geçidindeki tampon bellekte biriktirilecek paket miktarı için eşik değerin (K) uygun seçilmesidir. Tampon bellekteki kuyrukta K paketlik eşiğe ulaşıldığında SVC kurulum işlemi başlatılır. Yöntemin temel sorunu ağ geçidindeki tampon bellekte biriktirilen paketlerin, fazladan gecikmeye uğratılmasıdır.

SVC'lerin yönetimiyle ilgili olarak önerilen yöntemleri incelemek için geliştirilmiş modeller [11] bulunmaktadır. Bu modellerde IP/ATM ağ geçidindeki tampon

bellekler M/D/1 kuyruğu olarak modellenmiştir. Modellerde IP/ATM ağ geçidine gelen paketlerin Poisson dağılımına uygun olarak geldiği ve ağ geçidindeki tampon bellek boyunun sonsuz olduğu varsayımları altında geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen trafik ölçümlerinde, IP tarafiğinin Poisson dağılımına yeterince uymadığı [11] belirtilmiştir.

5.5 ABR Hız Denetiminin TCP Başarımına Etkisi:

ABR ve UBR TCP/IP tabanlı veri iletimin destekleyebilecek iki ATM hizmet sınıfıdır. ABR ve UBR arasındaki temel farklılık ABR'nin ağdaki yığılmayı engellemek için trafik kaynaklarının hızlarını denetlemesi ve trafik kaynaklarına ağdaki yığılmayla ilgili geri besleme sağlamasıdır. UBR kullanıcılara geribesleme sağlamaz ve genel olarak taşıma katmanında gerçekleştirilen uçtan-uca yığılma denetim yöntemlerinin (TCP gibi) ağdaki yığılmayı engellemesini bekler. ABR gelişmiş bir yığılma denetimi sağladığından, ATM ağındaki hücre kayıpları en alt seviyelerde tutulabilir.



Şekil 5.2: ATM ABR omurgası üzerinden bağlanmış iki yerel alan ağı

Şekil 5.2'de ATM ABR omurgası üzerinden bağlanmış iki yerel alan ağı gözükmektedir. Bu yapıda birbirinden bağımsız olarak çalışan iki adet denetim çevrimi bulunmaktadır. Bunlardan ilki ATM şebekesinin uçlarında yer alan sınır yönlendiricileriyle sınırlı olan ABR hız denetimi ve diğeri alıcı ve kaynak arasındaki uçtan-uca TCP yığılma denetimidir. ABR çevriminin esas amacı ATM ağı içerisindeki yığılmayı yönlendiricilerin iletim hızını ayarlayarak engellemektir. ABR hız-denetim geribeslemesi TCP makinelerine ulaşmaz. TCP yığılma denetim çevriminin temel hedefiyse, yönlendiricilerin yada ATM ağındaki seçicilerinde dahil olduğu, uçtan-uca yol üzerinde yığılmaya uğramış noktaların durumuna göre TCP kullanan makinelerin hızlarının denetlemektir. Bu birbirinden bağımsız iki denetim çevriminin etkileşimi uçtan-uca TCP başarımını etkileyebilir. ABR denetiminin net

etkisi ATM ağı içerisinde gerçekleşen yığılmayı uç yönlendiricilere kaydırmaktır. Ancak yönlendiricilerden TCP kaynağına doğru bir geri besleme olmadığından, TCP kaynağı yönlendiriciden ABR hızındaki kısılmayı doğrudan öğrenemez. Yönlendirici tarafından yeni ayarlanmış düşük hızla iletilen TCP segmentleri, alıcı TCP makinesinin onayları bu yeni hızla üretmesine neden olacaktır. Bu nedenle TCP kaynağı ATM ağındaki yığılmayı öğrenebilmek için aşağı yukarı bir çevrimsel yolculuk zamanı kadar beklemek durumundadır. Eğer yönlendiricinin hızı ABR denetimi tarafından birden bire azaltılmışsa, geribesleme gecikmesinin doğrudan sonucu olarak TCP kaynağı anlık olarak yönlendiriciye, yönlendirebileceğinden daha fazla paket göndererek, yönlendiricide yığılma oluşmasına neden olabilir. Bu durum paket kayıplarına ve iletim miktarında düşüşlere neden olabilmektedir. ABR denetiminin ATM ağı içerisindeki yığılmayı denetlemek için oldukça etkin bir çözüm olduğu kanıtlanmış bile olsa, ağlararası ortamda (IP alt ağlarının ATM üzerinden bağlanması) TCP'nin ABR üzerindeki uçtan uca başarımı, kiralık hatlardan yada yalın UBR bağlantılarından daha düşük olabilmektedir. Kiralık hatlar yada UBR bağlantıları durumunda, yönlendiricilerdeki iletim hızları harici denetim mekanizmaları tarafından denetlenmez.

ABR üzerindeki TCP'ye ilişkin temel başarım sorunu, temelde sınır yönlendiricilerdeki paket kayıplarından kaynaklanmaktadır. Bu sorunu aşmak için yönlendiricilerde daha geniş tampon bellekler kullanılabilir yada uçtan uca daha etkin bir denetim çevrimi oluşturmak için yönlendiricilerde iki kontrol çevrimi arasındaki köprü görevi yapacak algoritmaların kullanılması düşünülebilir. Daha geniş belleklerin kullanılması ölçeklenebilir bir çözüm olmadığı gibi, yönlendiricilerdeki gecikme ve gecikme varyansının artmasına neden olmaktadır. Bu durum aynı ABR hattını kullanan gecikmeye duyarlı trafiği olumsuz etkileyebilir.

ABR hizmetinin kullanımı durumunda ortaya çıkabilecek bir diğer sorunda, verilen ağ ortamı için çok sayıdaki ABR parametresinin uygun biçimde seçilmesidir. ABR parametrelerinin uygun biçimde seçilmemesi, ABR'nin UBR'den daha düşük bir başarım [16] göstermesine neden olabilmektedir.

Bölüm 8'de IP/ATM ağlararası ortamında, ATM ABR hizmeti üzerindeki TCP başarımını artıran uçtan-uca trafik yönetim mekanizmaları incelenecektir.

5.6 TCP Çıkmazı

TCP çıkmazı [17] olarak bilinen kavram, TCP kaynağının onay gelmeden yeni veri gönderememesi ve alıcının da onay göndermeden önce daha fazla verinin gelmesinin beklemesi nedeniyle oluşan döngüsel bir bekleme durumudur. Bu olgu Ethernet gibi LAN teknolojilerinde gözlemlenmemiştir, ancak ATM üzerinden taşınan TCP için % 99'lara varan iletim düşüşlerine [17] neden olduğu bildirilmiştir.

Bu sorununu anlamak için alıcı ve kaynaktaki tampon belleklerin yapısı ve alıcıdaki onaylama işlemi incelenmelidir. Kaynak tampon belleğindeki veriyi gönderir ve onayı gelene kadar veriyi burada saklamaya devam eder. Bu durum göndericinin tampon belleğindeki kullanılabilir alanı azaltacaktır. Daha önce gönderilmiş verinin onayı geldiğinde bu veri bellekten silinir. Benzer biçimde alıcıda gelen veriyi, bu veriyle ilgili onayı üretinceye kadar tampon belleğinde saklar. Onayı gönderdikten sonra, bu veriyi tampon bellekten siler ve veriyi uygulama katmanına gönderir. Alıcı taraf işlem yükünü azaltmak için, aldığı her segment için açık biçimde bir onay üretmez, bunun yerine tampon belleğinin en az % 35'i dolduğunda yada en az iki MSS boyunda veri aldığında onay üretir. Onay üretimindeki uzun gecikmelerden kaçınmak amacıyla, alıcı taraf yeni veri geldiğinde bir zamanlayıcı başlatır. Eğer alıcıdaki zamanlayıcının süresi dolana kadar yeterli veri alınmamışsa, o ana kadar gelen veri için onay üretilir.

Alıcıdaki gecikmeli onaylama yöntemi nedeniyle, TCP bağlantısı çıkmaza girebilir. Bu durum kaynağın tampon belleğindeki kullanılabilir alanın bir MSS'den az olduğu için yeni veri gönderemediği ve alıcının da tampon belleğinde iki MSS'den (veya tampon belleğin % 35'inden) daha az veri olduğu için onay göndermediğinde gerçekleşir. Bu bekleme durumu alıcıdaki onay zamanlayıcısının zaman aşımına uğramasıyla bozulur. Alıcı kaynağın beklediği onayı üretir ve kaynakta tampon belleğinde, onayını beklediği veriyi siler. Kaynağın belleğinde yeni veri göndermek için yer açılır ve tekrar veri iletimine başlar. Ancak ilk çıkmaza neden olan olaylar tekrar gerçekleşir ve yeniden bekleme durumuna girilir. Bunun sonucunda TCP bağlantısı iki durumlu bir çevrime girer.

- Bekleme durumu: Uygulama katmanının göndermek istediği veri olmasına rağmen, gönderici veri gönderemez. Gönderici yeni bir MSS gönderebilmek için belleğinde yer açılmasını sağlayacak olan onayın alıcı tarafından

üretilmesini beklemektedir. Alıcı tarafsa yeni bir onay üretmeden önce yeterli verinin gelmesini beklemektedir.

- İletim Durumu: Göndericinin belleğindeki kullanılabilir alanın en az bir MSS olduğu ve göndericinin bir veya daha fazla segment iletebildiği durumdur.

Çıkmaza girmiş TCP bağlantısı için iletim miktarı, hat bantgenişliğinin t / (t+d) katı olacaktır. Burada t iletim süresini ve d bekleme süresini gösterir. Bekleme süresine göre iletim süresi daha kısa olacağından, ATM üzerinden taşınan TCP trafiği için iletim miktarı ciddi biçimde azalacaktır.

5.6.1 TCP çıkmazının nedenleri

TCP çıkmazına neden olabilecek çeşitli etkenler vardır. Bunlardan bir kısmı TCP protokolünün tasarımından kaynaklanırken, bir kısmı da TCP protokolünü yazılım olarak gerçekleştirilmesinde ortaya çıkan etkenlerden kaynaklanmaktadır.

Küçük segmentlerin iletimi alıcı ve kaynakta bantgenişliğinin gereksiz harcanması ve işlem yükünün gereksiz artışına neden olur. Bantgenişliğinin boşa harcanması küçük paketler için protokol ek yükünün, taşınan veriye oranının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. İşlem yükünün artmasının sebebiyse, çok sayıda küçük paketin ve bu paketlerle ilişkili onaylarının üretilmesi ve işlenmesinden kaynaklanmaktadır. TCP'nin küçük paketler göndermesini engellemek Nagle algoritması [18] önerilmiştir. Nagle algoritmasına göre, eğer iletilen veri henüz onaylanmamışsa, TCP kaynağı MSS'den daha küçük segmentler göndermekten kaçınmalıdır. Bu durumda TCP kaynağı MSS'yi dolduracak kadar veri gelmesini yada tüm bekleyen verinin alıcı tarafından onaylanmasını beklemelidir. Nagle algoritması pek çok TCP uygulaması (FTP gibi) için varsayılan olarak önerilmiştir. Nagle algoritmasının kullanılması durumunda, kaynağın tampon belleğinde iletilmeyi bekleyen veri olsa bile, kaynak daha fazla veri gönderebilmek için alıcıdan onayın gelmesinin bekleyecektir. MSS'den küçük veri paketlerinin iletiminden kaçınmak için kullanılan Nagle algoritmasının, TCP çıkmazına neden olabileceği [17] bildirilmiştir.

ATM üzerinden TCP/IP trafiğinin taşınması durumunda, MTU bu ATM üzerinden taşınabilecek en büyük IP datagramı anlamına gelir. AAL5 veri alanı 65535 bayt uzunluğundaki IP datagramlarını tutabilecek ölçüde büyüktür. Bu nedenle ATM ağları üzerinden geniş IP datagramları göndermek mümkündür. Bununla birlikte, IETF SMDS (ATM'nin öncülü sayılabilir) ile aynı çizgide olması nedeniyle ATM

üzerindeki IP için varsayılan MTU'yu 9180 bayt olarak seçmiştir. Tablo 5.3'de görüldüğü gibi ATM MTU'su diğer ağ yapılarına göre çok daha büyüktür.

Tablo 5.3: Çeşitli ağlar için varsayılan MTU değerleri

Ağ	Varsayılan MTU (Bayt)
X.25	576
Ethernet	1500
FDDI	4352
Token Ring	4464
ATM	9180

TCP segmentleri IP'nin veri alanına yerleştirildiğinden, MTU MSS üzerinde bir sınır oluşturur. Eğer TCP kaynağındaki tampon belleğin boyu küçükse ve ATM üzerinden taşınan TCP trafiğinde olduğu gibi geniş MSS'ler kullanılıyorsa, TCP çıkmazının ortaya çıkma olasılığı artmaktadır.

TCP çıkmazına neden olabilecek bir başka etkense, alıcının aldığı veriyi onaylamakta kullandığı yöntemdir. Alıcı taraf işlem yükünü ve onaylar nedeniyle oluşacak trafik ek yükünü azaltmak için onayları geciktirir. Alıcı aldığı her segment için bir ACK göndermek yerine, geciktirme süresi içinde gelen tüm segmentler için tek bir ACK üreterek tüm segmentleri toptan onaylar. Ancak bu gecikme süresinin uygun seçilmesi gereklidir. Eğer gecikme çok uzarsa alıcı taraf zaman aşımına uğrayacağından daha önce gönderdiği paketleri yeniden gönderir. Öte yandan TCP kaynağı aldığı ACK'ları uçtan-uca çevrimsel yolculuk zamanı (RTT) tahmin etmek için kullanır. Aşırı gecikmelerden kaçınmak için RFC 1122'de [19] aşağıdakiler önerilmektedir.

- Alınan her iki segment için en az bir ACK gönderilmelidir
- ACK 500ms daha fazla geciktirilmemelidir

Alıcıda TCP ACK'larının geciktirilmesi TCP trafiğinin çıkmaza girmesine neden [17] olabilmektedir.

5.6.2 TCP çıkmazından kaçınma

- Nagle algoritmasının devre dışı bırakılması: Nagle algoritması nedeniyle TCP kaynağı tampon belleğinde gönderilmeyi bekleyen veri olsa bile bu verinin

geniş MSS'ler kullanılması nedeniyle yeterli gelmediği durumlarda, TCP çıkmazına girebilir. Nagle algoritması devre dışı bırakıldığında, MSS'den küçük paketlerin iletimine izin verilmiş olunacağından TCP çıkmazından kaçınılabilir ancak iletim verimliliği ve işlem yükü artacaktır.

- ACK geciktirme seçeneğinin devre dışı bırakılması: Alıcıda ACK'ların geciktirilmesi TCP çıkmazının temel nedenlerinden biridir. Eğer alıcı aldığı her paketi açık bir biçimde onaylarsa TCP çıkmazı gerçekleşmez ancak bunun sonucu olarak işlem yükü artar.

- Kaynağın alıcıdaki tampon bellekten daha büyük tampon bellek kullanması: Gönderme tampon belleğin alıcı tampon belleğinden büyük veya eşit olduğu durumlarda TCP çıkmazı meydana gelmemektedir. Bu durumda kaynağın alıcının tampon belleğinin boyunu belirlemek için alıcıdan gelen pencere boyu güncelleme paketlerini izlemesi gerekir.

- TCP kaynağını 3 MSS'den büyük gönderme tampon belleği kullanması: TCP çıkmazından kaçınmak için kullanılabilecek en uygun yöntemin [11] kaynağın tampon belleğinin en az 3 MSS boyunda seçilmesi olduğu bildirilmiştir. Bu seçenek Nagle algoritması ve geciktirilmiş ACK seçeneklerinin kullanılması durumunda bile TCP çıkmazının oluşmasını engellemektedir.

5.7 Yüksek Gecikmeli ATM Bağlantıları Üzerinde TCP

TCP başlığındaki 16 bitlik pencere boyu alanı en büyük pencere boyunun 2^{16} (64 KB) olmasına izin verir. 64 KB pencere boyları yüksek hızlı geniş alan ATM ağları için TCP başarımında düşüşlere neden olur. (örneğin 100ms RTT si olan 155Mbit/s kıtalararası bir ATM bağlantısını düşünürsek, alıcıdan onayın gelmesi için 100ms beklenmesi gerekecektir, oysa bu beklemeyle geçen süre içerisinde ~1.9 MB veri gönderilebilir) Bağlantının kullanım oranını artırmak amacıyla, TCP'nin pencere ölçeklendirme seçeneğinin kullanılması gerekmektedir. Bu durumda pencere boyu 1GB'a kadar ölçeklendirilebilir. 64 KB pencere boyu sınırının getirdiği başarım düşüşü ATM'ye özel bir durum olmayıp, yüksek hızlı uzun mesafe bağlantılarında da gözlemlenmektedir.

6. ATM PROTOKOL EK YÜKÜNÜN AZALTILMASI

6.1 Giriş

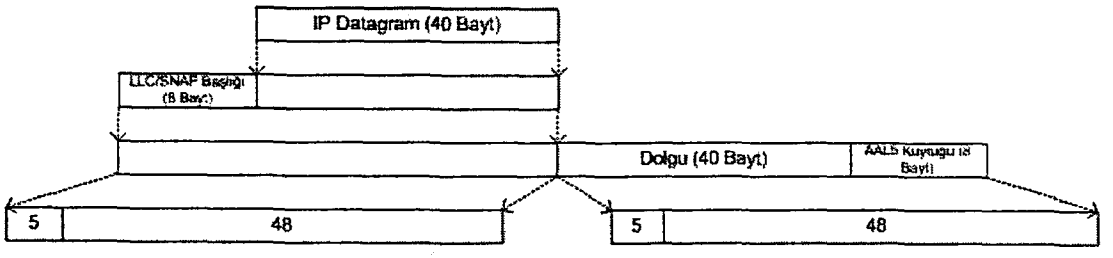
TCP/IP trafiğini taşımak için omurga olarak ATM kullanan bir ISP, herhangi bir iyileştirilme yapılmaması durumunda ortalama olarak kullanılabilir bantgenişliğinin % 20'sinden protokol ek yükü nedeniyle faydalanamamaktadır. TCP ACK, TCP SYN ve diğer denetim bilgilerinin taşıyan boyları 40 ve 44 bayt arasında değişen küçük boylu IP datagramlarının çokluğu, böylesi yüksek bir protokol ek yükünün temel sorumlusudur. Bu küçük boylu datagramlar AAL5 paketlerine yerleştirilip, ATM hücrelerine dönüştürüldüğünde, ATM hücresinin 48 bayt olan veri alanına sığmaz ve iki ATM hücresi biçiminde taşınması gerekir. Böylesi bir durumda ikinci hücre büyük ölçüde dolgu taşımaktadır.

Protokol ek yükünü azaltmanın bir yolu, LLC/SNAP dönüşümü yerine VC tabanlı çoğullamanın tercih edilmesidir. Kullanılabilecek bir diğer yöntem TCP/IP başlıklarının sıkıştırılarak, küçük boylu IP datagramlarının ATM hücrelerinin veri alanına sığmasının sağlanmasıdır. Bunlara ek olarak aynı VC üzerinden iletilen birden çok ATM hücresinin veri alanını ve bir ATM hücre başlığını birlikte göndererek, protokol ek yükünün azaltılmasını amaçlayan çerçeve tabanlı yöntemler bulunmaktadır.

6.2 IP Datagramlarının ATM Hücrelerine Dönüştürülmesinde Kullanılan Yöntemlerin Protokol Ek Yüküne Etkileri

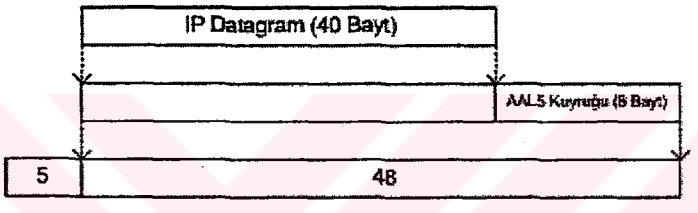
RFC 2684'de [10] IP datagramlarının AAL5 paketlerine dönüştürülmesi için iki yöntem önerilmektedir. Pek çok ISP tarafından kullanılan LLC dönüşüm yöntemi, IP datagramını AAL5 paketlerine dönüştürmeden önce IP datagramına 8 bayt uzunluğunda LLC/SNAP başlığı ekler. LLC dönüşüm metodu birden fazla protokolün (ör: IP ve IPX) aynı ATM VC'si üzerinde taşınmasına olanak vermekle

birlikte, küçük IP datagramları için büyük bir protokol ek yükü getirmektedir.



Şekil 6.1: 40 bayt uzunluğundaki IP datagramına LLC/SNAP dönüşümü yapılması

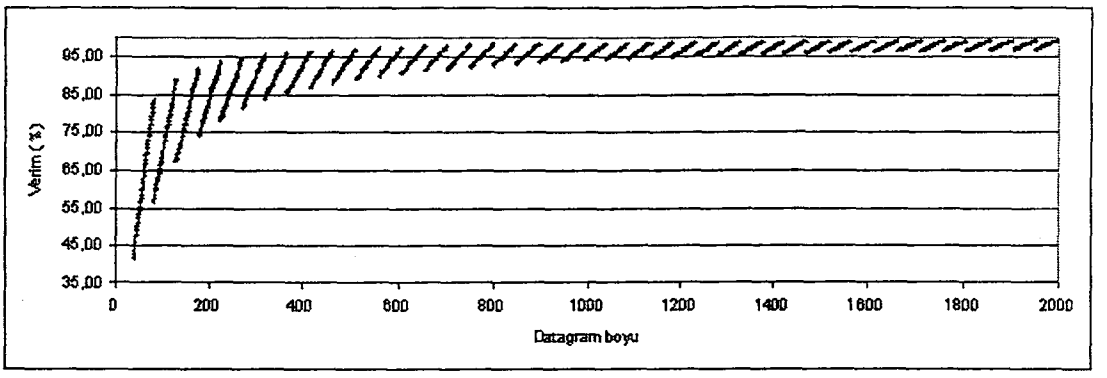
Şekil 6.1'de 40 bayt uzunluğundaki IP datagramına LLC dönüşümünün uygulanması gözükmektedir. Şekil 6.1'den de anlaşıldığı gibi gönderilen 106 baytın 66 sı ATM protokol ek yüküdür. Güncel Internet'te çokça bulunan 40 bayt uzunluğundaki IP datagramları için LLC dönüşümü uygulanması durumunda % 62'lik bir protokol ek yükü oluşur.



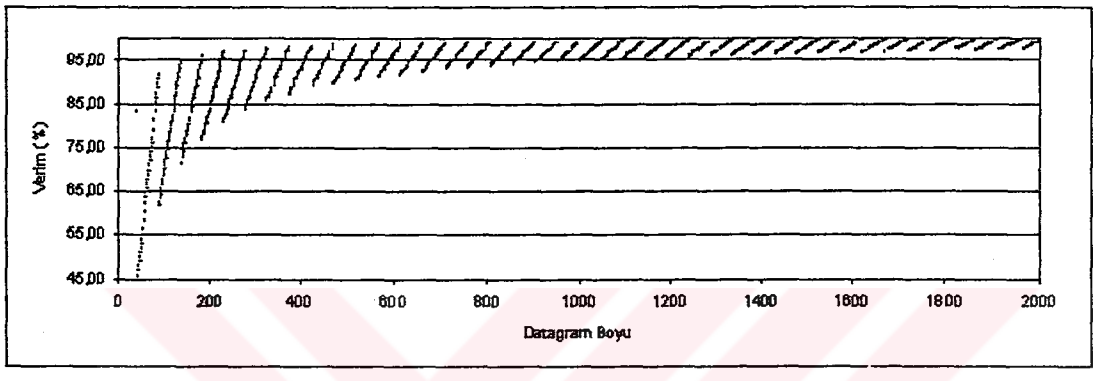
Şekil 6.2: 40 baytlık IP datagramına VC-tabanlı çoğullamanın uygulanması

VC tabanlı çoğullamada, her protokol farklı bir ATM VC'si üzerinde taşınır. ATM VC'si taşınan protokolü belirttiği için 8 bayt uzunluğundaki LLC/SNAP başlığına gerek bulunmamaktadır. VC çoğullamasının kullanılması durumunda 40 bayt uzunluğundaki IP datagramı şekil 6.2'de görüldüğü gibi tek bir ATM hücresinde taşınabilmektedir. Bu durumda ATM protokol ek yükü % 24'dür. Bununla birlikte, VC tabanlı çoğullamanın getirdiği bazı sınırlamalar vardır. PVC kullanılması durumunda, VC tabanlı çoğullamanın kullanılması zordur. VC'lerin işaretleşmeyle dinamik olarak açılabildiği SVC kullanımı durumunda VC-tabanlı çoğullama kullanılarak ATM protokol ek yükü azaltılabilmektedir.

Şekil 6.3'de LLC/SNAP dönüşümü uygulanması durumunda, şekil 6.4'deyse VC çoğullanması uygulanması durumunda çeşitli IP datagram boyları için AAL5 katmanındaki iletim verimliği gözükmektedir.



Şekil 6.3: LLC/SNAP dönüşümü kullanılması durumunda iletim verimliliği



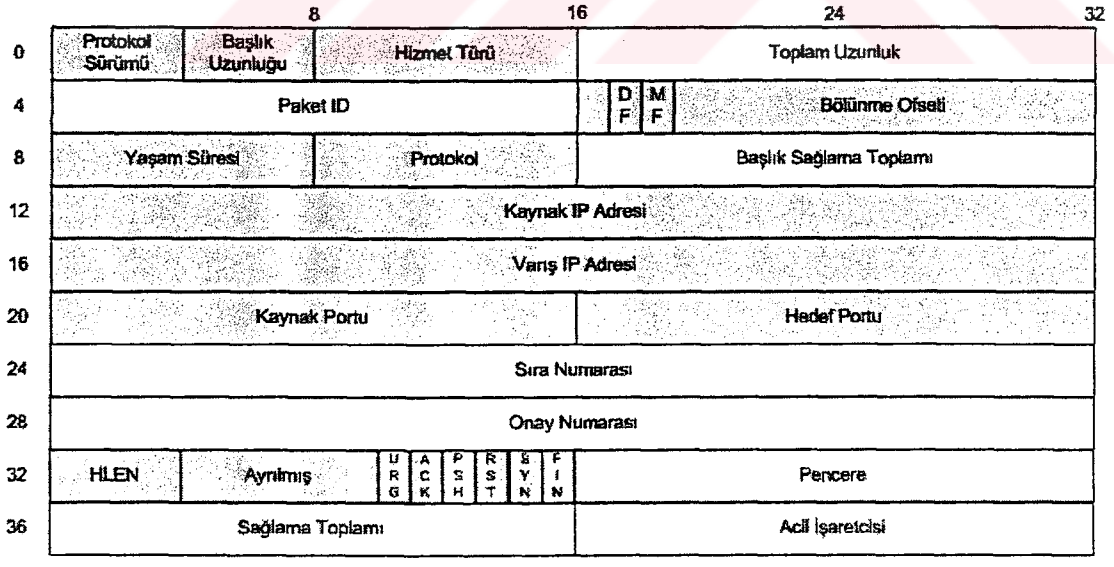
Şekil 6.4: VC-tabanlı çoğullama kullanılması durumunda iletim verimliliği

RFC2684'de [10] önerilen yöntemler IP datagramlarıyla AAL5 paketlerinin birebir eşlenmesini gerektirmektedir. Bu durum pek çok kolaylıklar sağlamakla birlikte AAL5 katmanında 0 ile 47 bayt arasında değişen bir dolgunun kullanılması gerektirir. Değişken uzunluklu dolgunun neden olduğu kayıplardan kurtulmak amacıyla, birden fazla IP datagramından oluşmuş büyük AAL5 paketlerinin oluşturulması düşünülebilir. Böylesi bir durumda IP datagramlarının özel kodlar aracılığıyla ayrılması gereklidir. Bu yöntemle güncel Internet'te çokça rastlanan küçük IP datagramlarının neden olduğu protokol ek yükünün azaltılabileceği düşünülmektedir. Yöntemin göze çarpan zayıflığı işlem karmaşıklığının artacağıdır. Büyük AAL5 paketleri oluşturabilmek için bir miktar datagramın biriktirilmesi gerekebilir, bunun sonucu olarak IP datagramlarının uğrayacağı gecikme artacaktır. Bu yöntemin kullanılması durumunda bir ATM hücresinde farklı iki IP datagramına ait parçalar bulunacaktır. Ortaya çıkabilecek bir diğer sorun yığılma durumunda bir hücrenin atılmasının iki farklı IP datagramına zarar verebileceğidir. Benzer nedenlerden ötürü UBR eklentileri olarak bilinen paket tabanlı hücre atma yöntemleri bu yöntemin kullanılması durumunda uygulanamaz.

6.3 TCP/IP Başlık Sıkıştırması

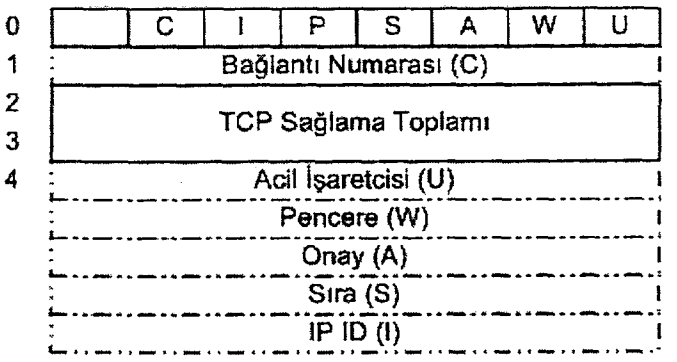
RFC 1144'de [20] önerilen TCP/IP başlık sıkıştırma yöntemiyle, seçeneklerin kullanılmadığı durumda toplamı 40 bayt olan TCP/IP başlıklarının 5 bayta kadar sıkıştırılabilmesi mümkün olmaktadır. Bu yöntemden faydalanarak küçük boylu IP datagramlarının neden olduğu protokol ek yükü azaltılabilir.

Verilen TCP bağlantısında ardışık datagramların TCP/IP başlıklarının yarısı genellikle değişmediğinden, gereksiz bilgi taşımaktadır. Şekil 6.5'de değişmeyen başlık alanları koyuyla gösterilmiştir. Şekilde koyuyla gösterilmeyen alanlardan, 2 bayt uzunluğundaki toplam uzunluk alanının iletimi gereksizdir çünkü AAL5'de toplam uzunluk alanı içermektedir. IP başlığından pek çok alan çıkarıldığında sağlama toplamı yapmakta anlamsızlaşır, bu nedenle IP başlığındaki 2-baytlık sağlama toplamı alanında iletimi gereksizdir. Geriye kalan Paket ID, sıra numarası, onay numarası, pencere sağlama toplamı ve acil gösterici alanları aynı zamanda değişmezler. Bu alanların bir kısmı gönderici-alıcı diğerleri alıcı-gönderici yönünde değişir. (Örneğin pencere boyu alıcı-gönderici yönünde değişir.) Tüm bunlar göz önüne alındığında yalnızca değişen baytların gönderilmesiyle başlık 10 baytlar seviyesine indirilebilir. Değişen alanlarda alıcının bütünü değil değişim miktarı gönderilerek başlık boyu daha da küçültülebilmektedir



Şekil 6.5: TCP/IP başlığında gönderilmesi gerekmeyen alanlar

TCP/IP başlık sıkıştırmasının işlerlik kazanabilmesi için alıcı ve göndericinin, etkin TCP bağlantılarının kaydının tutmaları ve alıcının bu bağlantı üzerinden aldığı ilk paketin başlığının kopyasının saklaması gereklidir.



Şekil 6.6: Sıkıştırılmış TCP/IP başlığının biçimi

Şekil 6.6'da sıkıştırılmış TCP/IP başlığının yapısı gözükmektedir. Başlığın ilk kısmında değişen alanları gösteren bir bit maskesi alanı bulunmaktadır. Eğer bu alandaki bitlerin değeri değiştirilmişse, o bitle ilgili alanın değiştirildiği anlaşılır. Bağlantı numarası alanı gönderici-alıcı arasındaki ilgili TCP bağlantısını belirtmek için kullanılır. Bit maskesi tarafından denetlenen alanlar kesikli çizgilerle gösterilmiştir. P diğer bitlerden farklı olarak doğrudan PUSH bitinin değerini taşır.

6.3.1 TCP/IP başlıklarını sıkıştırarak protokol ek yükünün azaltılması

TCP/IP başlıkları sıkıştırılarak güncel Internet'de sıklıkla karşılaşılan küçük boylu datagramların tek bir ATM hücresinin veri alanına sığması sağlanabilir. Genel olarak 40 bayt olan toplam TCP/IP başlığının 21 bayta kadar sıkıştırılması, bir baytlık bağlantı tanımlayıcının ve sekiz adet önceden belirlenmiş alanın gönderilmesi nedeniyle kolaydır. Ancak toplam TCP/IP başlığının 5 bayta kadar sıkıştırılması durumunda uç sistemler için işlem yükü büyük ölçüde artmaktadır.

Başlık sıkıştırmanın protokol ek yükünü ne ölçüde azaltacağını bulabilmek için IP datagram boylarının Internet'teki dağılımlarının bilinmesi gerekir. Yapılan çeşitli Internet trafiği [13] ölçümlerinde Internet'te en çok bulunan IP datagram boyları belirlenmiştir. Tablo 6.1'de bu datagram boyları için çeşitli yöntemlerin kullanılması durumunda datagramların kaç adet ATM hücresine sığacağı gösterilmektedir. Tablo 6.1'de RFC1144(5B) başlığını 5 bayta kadar sıkıştırıldığı durumu ve RFC1144(21B) başlığın 21B kadar sıkıştırıldığı durumu göstermektedir. Görüldüğü gibi başlıkların 5 bayta kadar sıkıştırılması iletim verimliliğini önemli ölçüde artırmamaktadır.

Tablo 6.1: Çeşitli IP datagram boylarını taşımak için gerekli ATM hücre sayıları

IP datagramının boyu	Hücre Sayısı					
	LLC/SNAP	VC Çoğullama	RFC1144 (5B)	VC Çoğullama + RFC1144(5B)	RFC1144 (21B)	VC Çoğullama + RFC1144(21B)
40	2	1	1	1	1	1
41	2	2	1	1	1	1
44	2	2	1	1	1	1
56	2	2	1	1	2	1
72	2	2	2	1	2	2
185	5	5	4	4	4	4
296	7	7	6	6	7	6
552	12	12	12	11	12	12
576	13	13	12	12	12	12
1500	32	32	31	31	32	32

TCP/IP başlığının sıkıştırarak, ATM üzerinden taşınan TCP/IP trafiği için protokol ek yükünün azaltma yöntemi yaygınlık kazanmamıştır. Bunun temel iki sebebi vardır. RFC 1144 [20] düşük hızlı bağlantılar için iletim verimliliğini artırmak için tasarlanmıştır oysa yüksek hızlı ATM ağlarında TCP/IP başlığının sıkıştırılması uç sistemler üzerine önemli ölçüde yük bindireceğinden başarım düşüşlerine neden olabilmektedir. Bir diğer önemli sebep TCP/IP başlıklarının sıkıştırılabilmesi için her bir TCP bağlantısı için ayrı bir VC açılması gerektiğinden, yüksek hacimli TCP/IP trafiği taşıyan sistemler için ölçeklenebilir bir çözüm değildir.

6.4 Çerçeve Tabanlı ATM

ATM hücre tabanlı bir teknoloji olmasına rağmen, ATM Forum FAST [21] ve FATE [22] olarak bilinen iki adet çerçeve tabanlı arayüzü standartlaştırmıştır. Çerçeve tabanlı ATM'de ATM hücreleri yerine AAL5'in CPCS katmanındaki değişken uzunluklu çerçeveler kullanılmaktadır. Çerçeve tabanlı ATM'de gecikmeye duyarlı verilerin daha iyi desteklenebilmesi amacıyla, çerçevelerin parçalara bölünmesi de mümkündür.

SDH/SONET üzerinde çerçeve tabanlı ATM iletimi (FAST) ATM Forum'un SDH/SONET üzerinden paket (PoS) olarak bilinen yönteme karşı geliştirdiği bir yöntemdir. PoS'un aksine FAST garanti edilmiş QoS sağlarken, çerçevelerle iletim yaptığından hücre-tabanlı ATM'ye göre daha verimlidir. FAST hem kullanıcı-ağ arayüzünde (UNI) hem de ağ-ağ arayüzünde (NNI) 155,52 Mbit/s ve daha yüksek hızlar için tanımlanmıştır.

Ethernet üzerinde çerçeve tabanlı ATM iletimi (FATE) ATM hizmetlerinin Ethernet ortamı üzerinde sağlanmasına olanak verir. FATE yalnızca UNI'de tanımlanmıştır ve ATM hücreleri Ethernet çerçevesi içerisinde taşınmasını sağlar.

7. ATM HÜCRE KAYIPLARINA KARŞI TCP BAŞARIMININ ARTIRILMASI

7.1 Giriş

ATM hücre seviyesinde istatistiksel çoğullama kullanır. Ağ tüm kaynakların aynı anda tepe hızlarıyla iletime geçmeyeceği varsayımına göre ağ kaynaklarını ayırtır. Çoğullamanın seviyesine ve kaynakların patlamalılıklarına göre ATM normal işleyişinde yığılmayla karşılaşabilir. ATM'de yığılma nedeniyle oluşan hücre kayıpları için bir yeniden iletim mekanizması yoktur. Bu nedenle ATM ağları hücre kayıplarının azaltmayı dener.

ATM ağlarında iletim verimliliğini artırmak için kullanılan çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Tüm bu yöntemlerin temelde, yığılmanın gerçekleşmesi durumunda, gelen hücrelerin geçici olarak seçicideki tampon bellekte kuyruklanması kavramına dayanır.

Hücre kayıplarını azaltmak için kullanılan yöntemler şunlardır:

- Tampon belleğe alma (Yalın UBR): Hücre kayıplarını engellemek için gelen hücrelerin geçici olarak tampon belleğe alındığı durumdur.
- Paket tabanlı atma yöntemleri (UBR eklentileri): Yığılmanın gerçekleşmesi durumunda daha az TCP segmentine zarar vermek için, seçicilerde hücre hücre düzeyinde değil de paket düzeyinde atma işlemi gerçekleştirilir. Kısmi paket çıkartma (PPD) ve erken paket çıkartma (EPD) bu tür yöntemlerdir.
- Kaynaklara yığılmayla ilgili geribesleme yapılması (ABR): Yığılmanın gerçekleştiği durumda kaynaklara geribesleme yapılarak, trafik kaynakların hızlarını azaltmaları gerektiği bildirilir.

7.2 Paket Tabanlı Atma Yöntemleri

ATM yüksek hızlı, hata oranının çok düşük olduğu hatlar üzerinden çalışmak için tasarlanmıştır. Seçicilerindeki işlem yükünü azaltmak amacıyla, ATM aşağıdaki işlemleri gerçekleştirmez

- Hata Denetimi: Hücrelerin veri alanında hata denetimi gerçekleştirilmez. Bu işlem üst katmanlar bırakılmıştır. Yalnızca hatalı yönlendirmeleri engellemek amacıyla hücre başlığında hata denetimi yapılır.
- Yeniden iletim: ATM yığılma nedeniyle kaybolan hücrelerin yeniden iletimini gerçekleştirmez.

Daha önce açıklandığı gibi, hücre yeniden iletimleri TCP başarımını olumsuz etkilemektedir. ATM seçicisi bir TCP segmentine ait hücreyi attığında, alıcıda AAL5 paketi doğru biçimde oluşturulamaz. TCP alıcısından onay gelmediği için, kaynak tüm segmenti yeniden iletir. ATM ağlarında kullanılan, fiziksel katmanlar için BER (bit hata oranı) oldukça düşüktür bu nedenle hücre kayıplarının esas sorumlusu seçicilerdeki yığılmadır. Hücre kayıplarının sonucu ortaya çıkan yeniden iletimler, ATM üzerindeki TCP için başarımı olumsuz etkiler.

Yalın UBR hücre kayıplarını engellemek için yalnızca tampon belleğe alma yöntemlerini kullandığından, yalın UBR üzerindeki TCP başarımı zayıftır. Yalın UBR üzerindeki TCP başarımını geliştirmek için çeşitli yöntemler önerilmiştir.

7.2.1 Kısmi paket atma (PPD)

TCP segmentini oluşturan ATM hücrelerden birinin kaybı tüm segmentin bozulmasına neden olur. Bantgenişliğinin boşa harcanmaması için, bu segmente ait olan diğer hücrelerin seçicide atılması [14] gereklidir. ATM katmanında, seçicinin hangi hücrenin verilen IP datagramına ait olduğunu belirleyebilmesi için, PPD'nin VC-tabanlı işlemesi gereklidir. Seçici bir VC'den hücre attığında, AAL5 paketinin sonunu işaretleyen hücre gelene kadar tüm hücreleri atmaya devam eder. AAL5 paketinin sonunu işaretleyen hücre, alıcıda AAL5 paketinin sonunun belirlenebilmesi amacıyla atılmaz. Bu şekilde gereksiz hücreleri iletiminden kaçınılarak, bantgenişliğinin kullanım oranı artırılır. PPD aynı zamanda, sağlam paketlerin gecikmesini de azaltır.

7.2.2 Erken paket atma (EPD)

Kısmi paket atma, yalın UBR durumuna göre başarımı artırmaktadır ancak gelişme sınırlıdır. PPD datagramı oluşturan hücrelerden yalnız atılan hücreden sonra gelenleri atmaya başlar. Ortalama olarak her hücre atılışında zarar görmüş datagramın yalnızca yarısının atıldığı varsayılabilir. Bu sınırlamayı aşmak için erken paket atma yöntemi [14] önerilmiştir.

Erken paket atma yönteminde, seçicilerdeki tampon belleğin bir eşik değeri vardır. Seçici tampon belleğin bu eşik değerine ulaşmasını, hücre kayıplarına neden olacak olan yığılmanın belirtisi olarak kabul eder. Alıcıya gönderilecek kısmi paketler faydasız olduğundan, eşik değeri aşıldığında EPD tampon bellekte yer varsa, yarım olan paketleri tamamlamaya çalışır. Henüz tampon bellekte hiçbir hücresi bulunmayan paketlere ait hücreler atılır. EPD uygulayan bir seçici, paketleri rasgele atmak yerine az sayıda paketi bütün olarak atarak, yeniden iletim sayısını azaltır.

PPD ve EPD paket tabanlı hücre atma algoritmaları olmalarına karşın başarımları farklılıklar gösterir. PPD paketleri hücre kayıpları başladıktan sonra atmaya başlar. Buna karşın EPD hücre kaybı olmaksızın hücreleri atmaya başlayan, daha etkin bir yöntemdir.

TCP'nin yalın-UBR, UBR-PPD, UBR-EPD üzerindeki başarımı ve kaynaklar arasında seçicilerin olmadığı paket-TCP durumunu için yapılan simülasyon çalışmalarıyla [14] karşılaştırılmıştır. Simülasyonda 10 TCP kaynağı seçici üzerinden alıcıya bağlanmış ve yalın UBR, PPD ve EPD durumları için normalize edilmiş iletim verimlilikleri başarım ölçütü olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 7.1: UBR eklentilerinin karşılaştırılmasından [14] elde edilen sonuçları

Tampon Bellek Boyu	Yalın UBR	UBR-PPD	UBR-EPD	Paket-TCP
100	0,62	0,8	0,98	0,98
200	0,7	0,88	0,98	0,98
300	0,8	0,92	0,98	0,98
400	0,84	0,95	0,98	0,98

Tablo 7.1 bu çalışmanın sonuçlarının göstermektedir. Burada EPD eşiği seçici tampon belleğinin yarısı olarak seçilmiştir ve her paket 9180 bayttan oluşmaktadır. TCP pencere boyu 64 Kb'dir. Simülasyondan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmaktadır.

- Seçicideki tampon belleğin boyunun küçük olduğu durumlarda, yalın-UBR üzerindeki TCP'nin iletim verimliliği düşüktür. Daha büyük tampon bellek boylarıyla TCP başarımı artırılabilir.
- UBR-PPD ve UBR-EPD belleğin boyunun küçük olduğu durumlarda bile iyi sonuçlar vermektedir. UBR-EPD, UBR-PPD'ye göre sınırlıda olsa daha başarılıdır.

7.2.3 Adil bellek ayırmalı EPD (FBA)

EPD, UBR üzerindeki TCP iletim verimliliğini önemli ölçüde artırmakla birlikte, TCP kaynaklarına kullanılabilir bantgenişliğini adil olarak paylaştıramamaktadır. EPD etkinleştiğinde, hangi VC'den geldiğini ve bu VC'ye ait hücrelerin tampon bellekte ne kadarlık bir alan işgal ettiğine bakmaksızın, yeni gelmekte olan pakete ait hücreleri toptan atar. Bu durumdan küçük paketler kullanan bağlantılar, daha büyük paketler kullanan bağlantılarına göre daha olumsuz etkilenmektedir çünkü EPD atmak için bir paketin başını aramaya başladığında küçük paketlerin başını bulma olasılığı daha yüksektir. Küçük paket boyları kullanan bağlantılar seçicideki tampon bellekten hakları olan payı almasalar bile daha büyük olasılıklarla ağdan atılacaklardır ve bunun sonucu olarak da iletim hakkı [23] kazanamayacaklardır.

Adil bellek ayırma [24] UBR-EPD seçicilerinin, kaynaklara eşit düzeyde bantgenişliği ayırmasını sağlamak için önerilmiştir. FBA temel mantığı, seçicideki tampon bellekten kendi adil payından daha fazlasını kullanan VC'ye ait paketlerin atılarak, bu paketlerin iletim hakkı kazanmasını engellemektir. FBA algoritmasını açıklamak için aşağıdaki değişkenler tanımlanır:

B: Hücre türünden seçicideki tampon belleğin kapasitesi

R: Paket atmayı tetikleyen eşik parametresi; $R < B$

N: Seçicideki tampon bellekte bulunan hücre sayısı; $N \leq B$

N(i): Tampon belleğe alınmış i. VC' ye ait hücre sayısı

V: Seçicideki tampon bellekte en az bir hücresi olan VC sayısı

Her bir VC için tampon bellekte ayrılması gereken adil pay N/V'dir. Her bir VC için aşağıdaki ağırlıklandırılmış tampon bellek kullanım oranı hesaplanır.

$$W(i) = \frac{N(i)}{N/V} \tag{7.1}$$

W(i)'nin birden büyük olması i. VC'nin kendi payından fazlasını kullandığı anlamına gelir. FBA i. VC için aşağıdaki şartlar sağlandığında, bu VC'den paket atmaya başlar

$$(N > R) \text{ ve } W(i) > Z\ (\frac{B-R}{N-R}) \tag{7.2}$$

Burada Z'nin birden az küçük değerleri için FBA'nın en uygun sonuçları verdiği [23] bildirilmiştir. FBA dinamik bir algoritmadır. Tampon bellekteki hücre sayısı N artıkça, W(i)'ler daha küçük bir sayıyla karşılaştırılacağından daha çok VC'den hücre atılmaya başlanacaktır.

7.2.4 Seçici atmalı EPD (EPD-SD)

FBA'nın getirdiği işlem yükünü azaltmak için önerilen seçici atma [23] yöntemi FBA'nın daha basit bir biçimidir. Seçici atma dinamik bir algoritma olmayıp, aşağıdaki şartların gerçekleşmesi halinde i. VC'den paket atmaya başlar.

$$(N > R) \text{ ve } W(i) > Z \tag{7.3}$$

W(i) sabit bir sayıyla karşılaştırıldığından, FBA'ya göre daha az sayıdaki VC'den hücre atılacaktır.

7.2.5 UBR Seçeneklerinin Karşılaştırılması

Gerçekleştirilen simülasyon [23] çalışmasıyla, yalın-UBR, UBR-EPD-FBA ve UBR-EPD-SD iletim verimliliği ve TCP kaynakları arasında bantgenişliğini adil paylaştırma anlamında karşılaştırılmıştır. Kullanılan başarım ölçütlerinden *adil paylaşım* şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\frac{(\sum X_i)^2}{V.\sum(X_i^2)} \tag{7.4}$$

Burada V ise toplam TCP kaynağı sayısıdır ve X_i i. TCP kaynağı tarafından iletilen veri miktarıdır. Simülasyon çeşitli tampon bellek boyları için hem LAN hem de WAN ortamında gerçekleştirilmiştir. Simülasyonla ilgili önemli parametreler tablo 7.2'de gözükmektedir.

Tablo 7.2: UBR eklentilerinin karşılaştırıldığı [24] simülasyonun parametreleri

Parametre	Değer
LAN için çevrimsel iletim gecikmesi	30 µs
WAN için çevrimsel iletim gecikmesi	30 ms
Toplam hat bantgenişliği	155,52 Mbit/s
PCR	155,52 Mbit/s
TCP segment boyu	512 bayt
LAN için maksimum alıcı penceresi	64 KB
LAN için maksimum alıcı penceresi	600 KB
TCP ACK gecikmesi	Segmentler gelir gelmez

Simülasyondan elde edilen sonuçları tablo 7.3 ve tablo 7.4'de gözükmektedir.

Tablo 7.3: Çeşitli UBR eklentilerini [24] için TCP iletim miktarı

Yapılandırma	Kaynak Sayısı	Tampon Bellek Boyu (Hücre)	İletim Miktarı			
			UBR	EPD	Seçici Atma	FBA
LAN	5	1000	0,21	0,49	0,75	0,88
LAN	5	2000	0,32	0,68	0,85	0,84
LAN	5	3000	0,47	0,72	0,90	0,92
LAN	15	1000	0,22	0,55	0,76	0,91
LAN	15	2000	0,49	0,81	0,82	0,85
LAN	15	3000	0,47	0,91	0,94	0,95
WAN	5	12000	0,86	0,90	0,90	0,95
WAN	5	24000	0,90	0,91	0,92	0,92
WAN	5	36000	0,91	0,81	0,81	0,81
WAN	15	12000	0,96	0,92	0,94	0,95
WAN	15	24000	0,94	0,91	0,94	0,96
WAN	15	36000	0,92	0,96	0,96	0,95

Simülasyon sonuçlarından aşağıdaki sonuçlar çıkarılmaktadır:

- FBA ve SD, hem LAN hem de WAN ortamında iletim miktarını ve kullanılabilir bantgenişliğinin TCP kaynakları arasındaki adil paylaşımını yalın-UBR'ye göre önemli ölçüde artırmaktadır.
- FBA ve SD, LAN ortamında UBR-EPD'ye göre iletim miktarını ve kullanılabilir bantgenişliğinin TCP kaynakları arasındaki adil paylaşımını artırmıştır. WAN ortamında önemli bir başarım artışı sağlanmamıştır.
- FBA seçici atmaya göre daha karmaşık olmasına karşın, seçici atmaya göre çok daha başarılı sonuçlar vermemiştir.

Tablo 7.4: Çeşitli UBR eklentileri [24] için adil paylaşım

Yapılandırma	Kaynak Sayısı	Tampon Bellek Boyu (Hücre)	Adil Paylaşım			
			UBR	EPD	Seçici Atma	FBA
LAN	5	1000	0,68	0,57	0,99	0,98
LAN	5	2000	0,90	0,98	0,96	0,98
LAN	5	3000	0,97	0,84	0,99	0,97
LAN	15	1000	0,31	0,56	0,76	0,97
LAN	15	2000	0,59	0,87	0,98	0,96
LAN	15	3000	0,80	0,78	0,94	0,93
WAN	5	12000	0,75	0,94	0,95	0,94
WAN	5	24000	0,83	0,99	0,99	1,00
WAN	5	36000	0,86	1,00	1,00	1,00
WAN	15	12000	0,67	0,93	0,91	0,97
WAN	15	24000	0,82	0,92	0,97	0,98
WAN	15	36000	0,77	0,91	0,89	0,97

7.3 Kaynaklara Geribesleme Yapılarak Yığılmanın Denetlenmesi

UBR-PPD, UBR-EPD, UBR-EPD-FBA/SD trafik kaynaklarına geribesleme sağlamayan, düşük maliyetli çözümlerdir. Bu yöntemlerde asıl amaç hücre kaybını azaltmak değil, hücre kaybının TCP başarımı üzerindeki etkilerinin azaltmaktır. Hücre kaybını azaltmak için kaynaklara, ağdaki yığılma seviyesiyle ilgili geribesleme yapılabilir. Bu yöntemin maliyeti daha yüksek olmakla birlikte, eğer kaynaklar ağın yığılma seviyesine göre hızlarını ayarlarlarsa, hücre kayıpları etkin bir biçimde azaltılabilir. ABR hizmeti böylesi bir geribeslemeyi kaynak yönetim (RM) hücreleri kullanarak sağlar. ABR kaynakları kendilerine gelen RM hücreleri aracılığıyla ağdaki yığılmanın durumunu periyodik olarak denetlerler. ABR kaynağı veri hücreleriyle birlikte RM hücrelerini de alıcıya gönderilir ve alıcı tekrardan bu RM hücrelerini kaynağa gönderir. İletim hattı boyunca, seçiciler RM hücrelerine yığılma bilgisini yazabilirler. Yığılmayla ilgili geribesleme sağlamanın iki türü vardır: ABR-EFCI ve ABR-ER

7.3.1 ABR-EFCI

Eğer bir ATM seçicisinin tampon belleğinde yığılma oluşmuşsa veya seçici yığılmanın başlangıcını belirlemişse, ATM hücresinin başlığındaki EFCI bitini değiştirir. Eğer varış noktası EFCI biti değiştirilmiş bir veri hücresi alırsa, kaynağa göndereceği RM hücresinin CI bitini değiştirir. Kaynak CI bitinin değerine göre hızını artırır veya azaltır. Bu yöntem kaynağın ağda yığılmanın olup olmadığını

öğrenmesinin sağlayan ikili bir geribesleme yöntemidir. ABR-EFCI'nin zayıf tarafı, trafik kaynağının ağdaki yığılmanın derecesini öğrenememesidir.

7.3.2 ABR-ER

ABR-ER durumunda ATM seçicisi bantgenişliğini paylaşmaya çalışan VC sayısını ve ABR hizmeti tarafından kullanılabilecek bantgenişliğini izleyen bir algoritma çalıştırılır. Seçici her bir VC için ayrılacak adil payı belirler ve bu bilgiyi geri yöndeki RM hücresinin ER alanına yazar. İlgili RM hücresini alan trafik kaynağı iletim hızını ER alanındaki değere ayarlar.

7.3.3 ABR-EFCI ve ABR-ER'nin başarımlarının karşılaştırılması

Yapılan simülasyon [25] çalışmasında ABR-EFCI, ABR-ER ve yalın UBR'nin başarımlarının karşılaştırılmıştır. Simülasyonda tampon belleğinin boyu 4096 hücre olan bir ATM seçicisi üzerinde 25 VC çoğullanmıştır. Tablo 7.5'de yalın UBR ve ABR-EFCI için elde edilen toplam iletim miktarları gözükmektedir.

Tablo 7.5: ABR-EFCI ve UBR karşılaştırmasının [25] sonuçları

Hizmet sınıfı	PCR (Mbit/s)	Toplam TCP iletim miktarı (Mbit/s)
Yalın-UBR	25	107,0
ABR-EFCI	25	127,0
Yalın-UBR	150	101,0
ABR-EFCI	150	70,8

Tablo 7.5'de gözüktüğü gibi ABR-EFCI düşük hızlarda yalın UBR'ye göre TCP başarımını artırırken, daha yüksek hızlarda ABR-EFCI için iletim miktarı azalmaktadır. Simülasyon sonuçlarında ABR-EFCI'nin, ABR kaynaklarına yığılmayla ilgili geribeslemeyi yeterince etkin bir biçimde aktaramadığı sonucu çıkarılabilir.

ABR-ER ağdaki yığılmanın durumuna uygun olarak, trafik kaynaklarına kendi hızlarını tam olarak ayarlamaları gereken hızı bildirdiği için daha etkin bir yöntemdir. Simülasyon çalışmasının sonuçları gösteren tablo 7.6 ABR-ER'nin yalın UBR' ye göre daha etkili bir yöntem olduğunu desteklemektedir.

Tablo 7.6: ABR-ER ve UBR karşılaştırmasının [25] sonuçları

Hizmet Sınıfı	Toplam TCP iletim miktarı (Mbit/s)
Yalın-UBR	101
ABR-ER	125

Tablo 7.7'de ABR-ER ve ABR-EFCI'nin çeşitli tampon bellek boyları için başarımları gösterilmektedir. ABR-EFCI'nin kullanımı durumunda yeterli başarımı gösterebilmesi için tampon bellek boylarının çok daha büyük seçilmesi gerekmektedir.

Tablo 7.7: ABR-ER ve UBR karşılaştırmasının [25] sonuçları

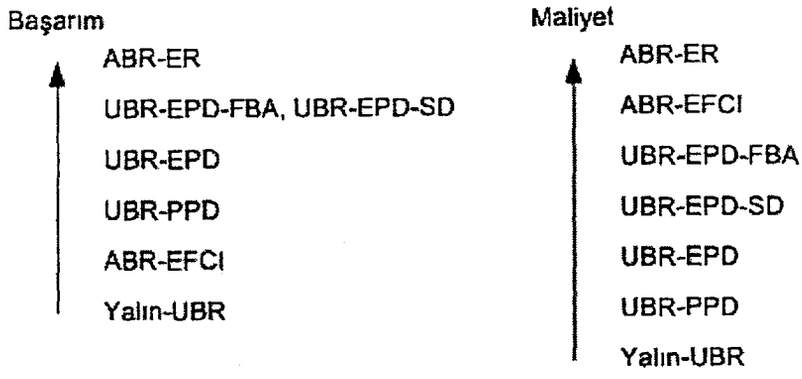
Seçicideki Tampon Bellek Boyu	TCP İletim Miktarı (Mbit/s)	
	ABR-ER	ABR-EFCI
1000	125	30
2000	125	120
4000	125	124

Tüm bunlardan ATM ağı içerisindeki hücre kaybının tümüyle engellenebilmesi için ABR-ER diğer yöntemlere göre çok daha ölçeklenebilir bir çözüm olduğu sonucuna varılmaktadır.

7.3.4 ABR ve UBR başarımlarının karşılaştırılması

ABR'nin UBR'ye göre daha yüksek maliyetli bir çözüm olması UBR-EPD gibi yöntemlere olan ilgiyi artırmıştır. TCP trafiğinin ABR ve UBR hizmet sınıfları üzerindeki başarımını karşılaştırmak için yapılan simülasyon [16] çalışmasında, çeşitli tampon bellek boyları, LAN ve WAN ortamları için ABR-EFCI ve UBR-EPD'nin başarımları karşılaştırılmış ve ABR-EFCI ile UBR-EPD'nin benzer sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır. ABR parametrelerinin uygun seçilmemesi durumunda, UBR-EPD'nin daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Seçicilerde büyük tampon belleklerin kullanılması durumunda ABR ve UBR hizmet sınıflarının TCP başarımı için benzer sonuçlar vermektedir. Kullanılan hizmet sınıfının ve yöntemin başarımı artırıcı etkisi tampon bellek boyutlarının daha sınırlı olduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır. Şekil 7.1'de [11] çeşitli ABR ve UBR mekanizmaları, TCP başarımı ve maliyet anlamında karşılaştırılmaktadır.



Şekil 7.1: Çeşitli ABR ve UBR mekanizmalarının karşılaştırılması

8. IP/ATM AĞLARINDA UÇTAN UCA TRAFİK YÖNETİMİ

8.1 Giriş

ABR hız denetimi ATM ağı içerisindeki yığılmayı IP/ATM ağ geçidine kaydırır. ATM ağının içerisindeki bir düğümde yığılma belirlendiğinde, ABR geribeslemeyle IP/ATM ağ geçidine iletim hızını azaltması gerektiğini bildirir. Bu iletim hızındaki ani düşüşten IP ağı doğrudan haberdar olmadığından, IP/ATM ağ geçidinin tampon belleklerinde ani yığılmalar meydana gelir. TCP/IP ağlarında kullanılan yığılma-denetim algoritmaları, IP/ATM ağ geçidinde oluşan bu tür bir yığılmayı etkin biçimde denetleyemez. Bu nedenle IP/ATM ağlarındaki ABR denetiminden yeterince yararlanabilmek için, IP/ATM ağ geçidinde ve IP kullanan diğer ağ öğelerinde uçtan-uca trafik yönetimini sağlayacak ek yöntemlere ihtiyaç duyulur.

IP/ATM ağlarında uçtan-uca trafik yönetimini gerçekleştirmenin çeşitli faydaları vardır. Öncelikle ağ geçidindeki tampon bellek taşmaları ve paket kayıpları azaltılarak TCP trafiği için başarım artırılabilir. İkinci olarak daha iyi bir yığılma denetiminin sonucu olarak, ağ geçitlerindeki tampon bellek ihtiyacı azaltılabilir. Daha küçük boyutlu tampon bellekler paketlerin daha az gecikmeye uğrayacağı anlamına gelir. Bu bölümde IP/ATM ağları için uçtan uca bir trafik yönetimi sağlanmak için önerilen çeşitli yöntemler incelenecektir.

8.2 IP/ATM Ağ Geçidinde Uyarlamalı Paket Atma Yöntemi

TCP kaynakları ağdaki yığılmayı paket kayıpları nedeniyle dolaylı olarak belirlerler. Bu durumda kaybolan paket için yeniden iletim zamanlayıcısı zaman-aşımına uğrayacaktır. IP/ATM ağ geçitlerinde gelen paketler ancak tampon bellek doluysa atılır. Bu yöntem genellikle *"kuyruğun atılması"* olarak bilinir. Bu yöntem ABR dinamiklerini göz önüne almaz ve tampon bellek tümüyle dolmadan paket atmadığından uyarlamalı değildir. IP ağ geçidinde kuyruğun atılması yöntemi kullanıldığında tampon belleğin tümüyle dolması zaman alacağından, TCP kaynakları ABR hızındaki azalmadan geç haberdar olacaklardır. Bu geribesleme

gecikmesi nedeniyle TCP kaynakları yüksek hızlarda iletime devam edecektir. Tüm bunların sonucunda ağ geçidindeki yığılma ciddi biçimde artacak ve büyük miktarlarda paket kaybı gerçekleşecektir.

IP/ATM ağ geçidi için uyarlamalı paket atma yöntemlerindeki [26] amaç ağ geçidinin geribesleme gecikmesini azaltacak biçimde, paket atmaya ABR dinamiklerine göre karar vermesidir. Buna göre ağ geçidi paket atmaya izin verilen hücre hızı (ACR) ciddi biçimde azaldığında başlar. Kuyruğun başındaki paketler için yeniden iletim zamanlayıcısının zaman aşımına uğrama olasılığı daha yüksektir. Bu nedenle geribesleme gecikmesini daha da azaltmak için tampon bellekteki paketlerin atılmasına tampon belleğin başından başlanır. Tüm bunlara rağmen IP/ATM ağ geçidinde, uyarlamalı paket atma algoritmasına dayanan uçtan-uca trafik yönetim düzeninin çeşitli sınırlamaları vardır:

1. Bu yöntem ACR hızındaki azalmayla ilgili geribeslemenin TCP kaynaklarına ulaştırılmasında uçtan-uca uzaklığa bağlı olarak geribesleme gecikmesi anlamında ölçeklenebilir değildir. Bu yöntem IP/ATM ağ geçidinde RTT'nin katları biçiminde uzun dönemli yığılmayı engellemeyi amaçlar, daha kısa süreli yığılmalar için daha az etkilidir.
2. Bu yöntem yalnızca TCP katmanında gerçekleştirilen pencere akış denetimi algoritmalarına dayandığı için, yalnızca TCP trafiği için kullanılabilir. Bu tür bir pencere akış denetimi gerçekleştirmeyen UDP gibi protokoller için uygun değildir.
3. IP/ATM ağ geçidinde atılan her paketin, TCP kaynakları tarafından yeniden iletilmesi gerektiğinden, alıcı kaybolan paketler için uzun gecikmeler yaşar. Bu tür gecikmeler, gecikmeye-duyarlı etkileşimli TCP uygulamalar için başarımı olumsuz etkiler.

8.3 Açık Yığılma Bildirimi (ECN)

Uyarlamalı paket atma yönteminin temel zayıflığı TCP kaynaklarına IP/ATM ağ geçidindeki yığılmayı paket atarak, dolaylı bir biçimde bildirmesidir. Paketlerin atılması ortalama paket gecikmesini artırır. Gecikmenin artışı etkileşimli TCP uygulamalarının başarımını olumsuz etkiler.

TCP kaynaklarına doğrudan yığılma bildirimi [27] yapılarak ATM üzerindeki TCP başarımı artırılabilir. IP/ATM ağ geçidi paket atmaksızın, TCP kaynaklarının yığılmayla ilgili olarak iki biçimde bilgilendirebilir:

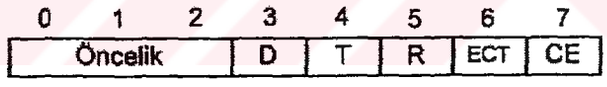
i. Kaynaklara ICMP SQ iletileri göndererek (geriye doğru bildirim)

ii. IP başlığındaki ECN bitini değiştirip, alıcı tarafın bu datagrama karşı gönderdiği ACK başlığındaki ECN bitini değiştirmesini sağlayarak (ileri doğru bildirim)

SQ yöntemi yığılma zamanında fazladan trafik oluşturacağından, ileriye doğru ECN (FECN) kullanımı daha uygundur.

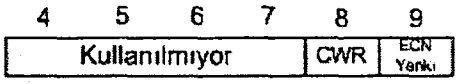
8.3.1 IP ve TCP başlığındaki düzenlemeler

ECN hem IP hem de TCP başlığında değişiklikler yapılmasının gerektirmektedir. IPv4 başlığındaki hizmet türü alanındaki (ToS) kullanılmayan iki bit, ECN tarafından IP katmanında yığılmaya ilişkin bilgiyi [27] taşımak için kullanılır. ECT biti (ECN Capable Transport) TCP kaynağının bu bağlantıyla ilişkili olarak ağ geçitlerinden yığılmayla ilgili bilgi istediğini belirtir. Yığılma var (CE) biti ağ geçitleri tarafından uç makinelere yığılmanın varlığını bildirmek için kullanılır. Şekil 8.1'de IPv4 başlığına ECN'yi gerçekleştirmek için yapılan değişiklikleri göstermektedir.



Şekil 8.1: IP başlığında ECN için gereken değişiklikler

ECN IPv6 içinde gerçekleştirilebilmektedir. IPv6 başlığındaki trafik sınıfı baytı IPv4 başlığındaki ToS baytına karşılık düşmektedir. IP başlığı yalnızca IP katmanı için yığılma bilgisini taşır. TCP katmanında yığılma bildirimi gerçekleştirebilmek için, ECN TCP başlığında ECN-yankı bayrağının kullanımını gerektirir. Alıcı ECN-yankı bayrağını kullanarak TCP kaynağına CE paketini aldığını bildirebilir. Alıcı taraf, TCP kaynağının yığılma penceresini daralttığını öğrenene kadar, gönderdiği tüm ACK'larda ECN-yankı bitini değiştirerek gönderir. TCP kaynağı yığılma penceresini daralttığını TCP başlığındaki CWR bitini kullanarak bildirir. Şekil 8.2'de gösterildiği gibi TCP başlığındaki ayrılmış alanının 8 ve 9 bitleri CWR ve ECN-yankı bayrakları olarak kullanılır.



Şekil 8.2: TCP başlığında ECN için gereken değişiklikler

ECN önerisi [27] göre, TCP kaynağı ECN-yankı bayrağı atanmış onaylar aldığında, bunu bir zaman aşımı oluşmuş gibi değerlendirmelidir. Buna göre TCP kaynağının iletim hızının azaltmak için yığılma penceresini daraltmalıdır.

8.3.2 ECN'nin sınırlamaları

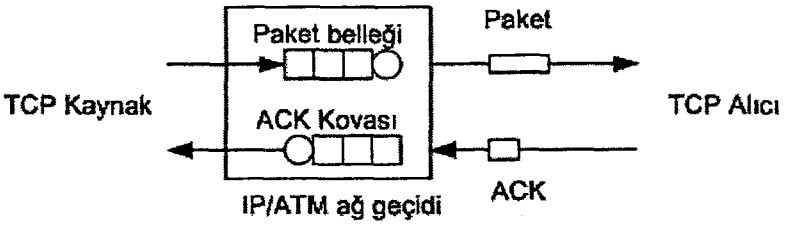
ECN IP/ATM ağ geçitlerindeki paket kayıplarının azalttığı ve TCP'ye yığılma bildirimim yapmak için paket kaybını gerektirmediği için, uyarlamalı paket-atma yöntemine göre daha etkili bir yöntemdir. Ancak IP/ATM ağları için uçtan-uca trafik denetimi için kullanıldığında aşağıdaki sınırlamalar ortaya çıkmaktadır.

1. ECN hem TCP hem de IP başlıkları üzerinde değişikliklerin yapılmasının gerektirdiğinden, kullanımdaki TCP/IP ağlarında hemen kullanılamaz.
2. Uyarlamalı paket atma yönteminde olduğu gibi uçtan-uca uzaklığa bağlı olarak, ACR hızındaki azalmanın TCP kaynaklarına bildirilmesindeki gecikme anlamında ölçeklenebilir değildir. Uzaklık arttıkça geribesleme gecikmesi artmaktadır. Bu yöntem IP/ATM ağ geçidindeki uzun dönemli yığılmayı denetlemek için uygundur. Kısa dönemli yığılmayı denetlemekte etkinliği azdır.
3. Bu yöntem TCP'nin gerçekleştirdiği yığılma-denetim algoritmasına dayanır. Bu yüzden UDP hızının denetiminde yada ACK göndermeyen ve ağdaki yığılmayı dikkate almayan taşıma protokolleri için etkin değildir.
4. ECN bir ikili geribesleme yöntemidir. IP başlığındaki CE biti ağ geçidi tarafından uç cihazlara yığılmanın varlığını bildirmek için kullanılır. İkili geribeslemeyle yığılmanın derecesi bildirilemez. Bu nedenle kaynakların iletim hızlarını kararlı duruma gelmesi daha uzun süre alır.

8.4 TCP Hız Denetimi

TCP katmanında hız denetimi uygulanarak her bir TCP bağlantısının farklı hızlarda iletim yapması sağlanabilir. ACK-kova denetimi [28] olarak bilinen hız denetim yöntemi, TCP başlıklarının yada protokol yapısının değiştirmeksizin, her bir TCP

bağlantısı için iletim hızının denetlenmesine olanak verir. Bu yöntem uç sistemlerdeki varolan TCP/IP yapısını değiştirmeksizin, uç sistemler için şeffaf bir biçimde gerçekleştirilebilir. ACK-kovası yöntemi, TCP kaynağının yeni segmentleri alıcıdan ACK segmentlerini aldığında gönderdiği gözlemine dayanır. ACK kovası, ATM ağlarında belirli bir VC'den ağa giren hücrelerin hızının denetleyen "delikli kova" yöntemini temel alan bir kavramdır. ACK kovası yönteminin işleyişi şekil 8.3'de gösterilmiştir.



Şekil 8.3: IP/ATM ağ geçidinde ACK kovası denetimi

TCP ACK'ları TCP'nin iç dinamiklerine uygun olarak kovaya gelirler. IP/ATM ağ geçidindeki paket belleğinde oluşabilecek yığılmayı engellemek için ACK'lar denetimli bir biçimde ACK kovasından serbest bırakılırlar. Burada amaç TCP iletim hızının ACR hızına uydurulmasıdır.

IP/ATM ağ geçidindeki yığılmayı denetlemek için ACK kovasının uygulanabileceği en uygun yer şekil 8.3'de görüldüğü gibi ağ geçidinin kendisidir. ACK-kovası yöntemi ağ geçidinin ihtiyaç duyacağı toplam tampon bellek miktarını önemli ölçüde azaltır.

ACK'ların bağımsız TCP segmentleri olması durumunda (herhangi bir veri taşımıyorlar) ACK'lar alıcıdan kaynağa doğru olan trafikte herhangi bir gecikmeye neden olmayacak şekilde geciktirilebilirler. Ancak ACK'lar veri segmentleri üzerinde taşınıyorsa (Telnet gibi) segment başlığından TCP onay numarasının alınması ve başlığın onay taşımayacak biçimde değiştirildikten sonra veri segmentinin hemen iletilmesi gerekir. İlgili ACK'nın gönderilmesi gerektiğinde bu ACK'yı taşıyacak yeni bir segment üretilmelidir.

8.4.1 ACK-Kova algoritması

ACK-Kova algoritmasının gerçekleştirmesi gereken temel işlem kovadaki ACK'ların kovadan ne zaman ayrılacağının belirlenmesidir. Bu işlem aşağıdaki şartları gerçekleştirecek biçimde yapılmalıdır:

i. TCP kaynaklarından gelen verinin hızı ABR bağlantısının izin verdiği hıza uydurulmalıdır.

ii. TCP ACK'ları, TCP kaynaklarında yeniden iletim zamanlayıcısının zaman aşımına uğramasına neden olmayacak biçimde geciktirilmelidir.

Kovadaki ACK'ların ayrılış zamanlarının belirlenmesi, özellikle kaynakları kendi yığılma-denetim algoritmalarını gerçekleştirdiğinde ve sistemin durumuna bağlı olarak farklı zamanlarda ACK'lara farklı davrandıkları durumlarda daha da zorlaşmaktadır.

Ağ geçidindeki ACK kovasından ACK ayrılış zamanlarının belirlenmesinde kullanılmak üzere önerilmiş yöntemler bulunmaktadır. Aşağıdaki bölümde bunlar açıklanmaktadır.

8.4.1.1 TCP kaynağının modellenmesi

TCP kaynağının iletimi yığılma penceresi tarafından denetlenir. Kaynak ACK'yı aldıktan sonra yığılma penceresinin durumuna göre bir veya iki segmenti iletecektir. Ağ geçidinin TCP kaynağının ACK aldığında nasıl davranacağını kestirebilmesi için TCP kaynağındaki yığılma penceresi değişimlerini izlemiş olması gerekir. Kaynak modelleme yöntemini [28] kullanarak ağ geçitleri verilen ABR bantgenişliği için bir sonraki ACK'nın ne zaman serbest bırakılması gerektiğine etkin bir biçimde karar verebilir. TCP kaynak modellemesinin en önemli üstünlüğü, bir ACK serbest bırakıldığında, kaynağın ne kadar veri göndereceğinin kesin olarak kestirilebilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu kestirim gücü ağ geçidi üzerindeki trafik için sıkı bir denetim sağlanmasına olanak verir. Ağ geçidinde kararlı durumda kaynaktan alıcıya doğru yöndeki tampon bellek ihtiyacı azalmaktadır. Bu yöntemin zayıf yönüyse ağ geçidinin kaynaktaki TCP sürümünü bilmesini gerektirmesi ve ağ-geçidinin gerçekleştirilmesindeki karmaşıklığın önemli ölçüde artmasıdır.

8.4.1.2 Kuyruk eşiği yöntemi

Kaynak modellemedeki karmaşıklık sorununu aşmak için önerilen bu yöntemde [29] etkin kuyruk uzunluğu, güncel kuyruk uzunluğuyla kaynaktan ağ geçidine iletilmekte olan tahmini veri uzunluğunun toplamıdır. ACK kovasındaki ACK ancak tahmin edilen etkin kuyruk boyu, kuyruk eşiğinden daha küçük olduğunda serbest bırakılır.

Etkin kuyruk boyu, TCP kaynağı modellemeden tahmin edilebilir. Yapılan bu tahmin kaynak modelleme durumuna göre daha az kesindir, ancak karmaşıklığı kaynak modelleme durumuna göre daha azdır. Bu nedenle burada karmaşıklıkla, yapılan tahminin kesinliği (dolayısıyla tampon bellek ihtiyacı) arasında bir tercih yapılmalıdır.

8.4.1.3 ACR ve kuyruk eşiği yöntemi

Önerilen bir diğer yöntem [30], güncel ACR değerinin daha önceden belirlenmiş bir eşik değeriyle (Q_{th}) birlikte kullanılmasıdır. Bu algoritma ACK kovasındaki ACK'ların serbest bırakılma hızını belirlemek için iki parametre (L ve H) kullanır. Eğer güncel kuyruk uzunluğu Q_{th} geçerse, ACK'lar ACR/H hızıyla diğer durumda ACR/L hızıyla serbest bırakılırlar. Yapılan simülasyon çalışması [30] göstermiştir ki: bu algoritmanın kullanılması halinde iletilen veri miktarında % 20-40 arası bir iletim artışı sağlanabilmektedir.

8.4.2 TCP hız denetiminin sınırlamaları

ACK-Kovası yöntemi ağ geçitlerinde ortaya çıkan yığılma sorununa şeffaf bir çözüm önermektedir ancak bu yönteminde zayıf yönleri vardır. Bu yöntemin en önemli sınırlaması, hem okuma hem de yazma anlamında TCP başlığına erişimi gerektirmesidir. TCP başlığı IP datagramının veri alanında taşındığından ve güvenlik nedeniyle IP datagramının şifrelenmiş olduğu VPN ortamlarında bu yöntem gerçekleştirilemez.

Ortaya çıkan bir diğer sorunda ACK-kovası yönteminin TCP ve TCP-gibi kapalı çevrim protokollerine dayanmasıdır. Bu yöntem UDP veya ACK gönderilmesinin gerekmediği diğer "açık çevrim" protokolleri için IP/ATM ağ geçidindeki yığılmanın denetiminde etkin değildir.

8.5 IP/ATM Ağlarındaki Uçtan Uca Trafik Yönetimi İçin Önerilen Yöntemlerin Karşılaştırılması

IP/ATM ağ geçidindeki geribesleme gecikmesini azaltmak için önerilen uyarlamalı paket atma, ECN ve TCP hız denetimi yöntemlerinin hepsi TCP katmanında gerçekleştirilen yığılma denetim yöntemine ihtiyaç duymaktadır. ECN ve TCP hız denetimi çeşitli ticari ürünlerde kullanılan yöntemlerdir. Yapılan simülasyon

çalışmasında [31] ECN ve TCP hız denetimi için iletim miktarı ve tampon bellek gereksinimi anlamında birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir, ancak TCP hız denetiminin bantgenişliğini TCP kaynakları arasında daha adil paylaştırdığı bildirilmiştir. Tablo 8.1'de incelenen bu yöntemler özellikleri açısından karşılaştırılmıştır.

Tablo 8.1: Uçtan-uca trafik yönetimi yöntemlerinin karşılaştırılması

Yöntem	Yığılma Bildirimi	Geribesleme Türü	TCP/IP'de değişiklik	IP veri alanın erişim
Uyarlamalı paket atma	Dolaylı	İkili	Değişiklik gerektirmiyor	Gerektirmiyor
ECN	Doğrudan	İkili	TCP ve IP katmanlarında	Gerektirmiyor
TCP hız denetimi	Dolaylı	ER	Değişiklik gerektirmiyor	Gerekli

9. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada ATM ağları üzerinden taşınan TCP/IP trafiğinin karşılaştığı sorunlar ve bu sorunların aşılması için önerilen yöntemler incelenmiştir. Ortaya çıkan sorunların bir kısmı ATM teknolojisi ve TCP/IP protokol kümesi arasındaki farklılıklarından, bir kısmı da ATM ve TCP/IP'nin karşılıklı etkileşimlerinden kaynaklanmaktadır.

Çalışma kapsamında, ortaya çıkan sorunlar altı başlık altında toplanmıştır:

i. ATM ve AAL5 katmanlarından kaynaklanan protokol ek yükü nedeniyle kullanılabilir bantgenişliğinin azalması.

ii. ATM hücre kayıplarının TCP trafiği üzerindeki etkileri.

iii. TCP/IP trafiğinin bağlaşmalı sanal devreler (SVC) üzerinden taşınması durumunda SVC'lerin, işletim maliyetini ve paket gecikmelerini azaltacak biçimde yönetilmesi.

iv. TCP yığılma denetimi ve ABR hız denetiminin karşılıklı etkileşimi nedeniyle IP/ATM ağ geçitlerinde ani yığılmaların oluşması.

v. Geniş ATM MTU'ları nedeniyle ortaya çıkan TCP çıkmazı durumu

vi. TCP yığılma penceresi boyunun, yüksek hızlı geniş alan ATM bağlantıları üzerindeki sınırlayıcı etkisi

Bu sorunların çözümü için önerilen yöntemler, ağ kaynaklarının verimli kullanımı, etkin TCP bağlantıları arasında ağ kaynakların adil paylaşımı ve iletilen veri miktarının en yüksek değere çıkarılması anlamında incelenmiştir.

Çalışmada varılan sonuçlar şöyledir:

i. ATM üzerinden taşınan TCP/IP trafiği için ortaya çıkan en önemli sorunlardan biri, ATM katmanındaki % 9,43'lük protokol ek yüküdür. Bu yüksek protokol ek yükü ATM'nin gecikmeye ve gecikme varyansına duyarlı hizmetleri destekleyebilmek için küçük boylu hücreler kullanmasından

kaynaklanmaktadır. ATM katmanındaki protokol ek yükü ATM'nin tasarımından kaynaklandığından, bu protokol ek yükünü azaltmak mümkün değildir. Ancak fiziksel katman teknolojilerindeki gelişmeler, ATM'nin daha büyük hücre boylarıyla da benzer gecikme ve gecikme varyansı sınırlamalarını karşılayabileceğini düşündürmektedir. ATM Forum'un SDH/SONET üzerinden ATM hücrelerinin değişken uzunluklu çerçeveler biçiminde iletimini (FAST) [21] standartlaştırmış olması gibi gelişmeler, ATM hücre boyunun yeniden değerlendirilmesini gerektirebilir.

ii. ATM ağları üzerinden iletilen TCP/IP trafiğinde protokol ek yüküne katkıda bulunan bir diğer katman AAL5'dir. AAL5'in protokol ek yüküne katkısı 0 ile 47 bayt arasında değişir. Bu protokol ek yükü büyük boylu IP datagramları için önemli kayıplara neden olmazken, TCP ACK ve TCP SYN gibi güncel Internet'de çok bulunan küçük boylu IP datagramları için büyük iletim kayıplarına neden olmaktadır. AAL5'in getirdiği protokol ek yükünün etkilerini azaltmak için mümkün olan her durumda VC-tabanlı çoğullamanın tercih edilmesi gerekir. Kullanılabilecek bir diğer yöntem TCP/IP başlıklarının sıkıştırılarak küçük datagramların tek bir ATM hücresine sığmasının sağlanmasıdır ancak bu yöntem uç sistemlerdeki işlem yükünü artırmakta ve çok sayıda ek VC açılmasını gerektirmektedir.

iii. TCP/IP trafiğini taşımakta kullanılabilecek iki hizmet sınıfı vardır: ABR ve UBR. ABR ağ içerisindeki yığılmayı etkin bir biçimde denetleyerek, hücre kayıplarının en aza indirebilen, geribeslemeli bir hız denetimi kullanır. Buna karşın UBR yığılma durumunda yığılmayı aşmak için hücreleri atmaya başlar. UBR ancak UBR eklentileri olarak bilinen yöntemlerin (UBR-EPD, UBR-PPD) kullanılması durumunda TCP/IP trafiğini taşımak için uygundur. UBR-EPD-FBA ve UBR-EPD-SD ABR'nin başarımına yakın sonuçlar veren ve maliyetleri ABR'ye göre daha düşük olan çözümlerdir. TCP/IP trafiğini taşımak için ABR ve UBR arasında yapılacak seçimde maliyet önemli bir etkendir.

iv. TCP/IP trafiğini taşımak için ABR hizmet sınıfının kullanılması durumunda, geribesleme yöntemi olarak ABR-ER tercih edilmelidir. ABR kullanımı durumunda dikkat edilmesi gereken bir diğer konu ABR parametrelerinin uygulamanın ihtiyaçlarına uygun seçilmesidir.

v. TCP/IP trafiğini taşımak için UBR hizmet sınıfının kullanılması durumunda, UBR-FBA-SD'nin iletim verimliliği, maliyet ve işlem yükünün azlığı anlamında tercih edilmesi uygun olduğu düşünülmektedir.

vi. ABR hız denetimiyle ile TCP yığılma denetiminin etkileşiminden kaynaklanan, IP/ATM ağ geçitlerindeki ani yığılma durumunun üstesinden gelmek için ECN ve TCP hız denetimleri etkin yöntemlerdir. ECN ve TCP hız denetimi yöntemlerinin birbirlerine göre önemli üstünlükleri yoktur ve her ikisi de ticari olarak uygulama alanı bulmuş yöntemlerdir.

vii. ABR, UBR veya UBR eklentilerinin kullanılmasından bağımsız olarak, ATM seçicilerindeki tampon bellek miktarının TCP/IP iletim miktarı üzerinde önemli etkileri vardır. Yetersiz bellek büyüklükleri iletim miktarını ciddi ölçüde azaltmaktayken, daha büyük tampon bellek boylarıyla hücre kayıpları azaltılabilmektedir.

viii. ATM üzerinde taşınan TCP trafiğine özgü bir sorun olan TCP çıkmazı iletim miktarında büyük düşüşlere neden olmaktadır. TCP kaynağındaki gönderme tampon belleği 3 MSS'den daha büyük seçilerek bu sorundan kaçınılabilmektedir.

ix. TCP yığılma pencere boyu üzerindeki 64 KB'lık üst sınır yüksek hızlı geniş alan ATM bağlantıları için yeterli olmamaktadır. Bu sorun TCP'nin pencere ölçeklendirme seçeneği kullanılarak aşılabilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] **Kyas O., Crawford G.** 2002. ATM Networks, Prentice Hall PTR

[2] **ATM Forum**, 1999. Traffic Management Specification, version 4.1

[3] **ATM Forum**, 1996. DS3 Physical Layer Interface Specification

[4] **Postel, J.** 1981. Transmission Control Protocol RFC 793

[5] **Jacobson V., Braden R. and Borman D.**, 1992. TCP Extensions for High Performance RFC 1323

[6] **Ibe C. O.**, 2002. Converged Network Architectures, John Wiley & Sons

[7] **Laubach M., Halpern J.**, 1998. Classical IP and ARP over ATM, RFC2225

[8] **ATM Forum**, 1995. LAN Emulation Over ATM version 1.0

[9] **ATM Forum**, 1999. Multi-Protocol Over ATM Version 1.1

[10] **Grossman D., Heinanen J.**, 1999. Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5, RFC 2684

[11] **Hassan M., Atiquzzaman M.**, 2000. Performance of TCP/IP Over ATM Networks, Artech House

[12] **Atkinson R.**, 1994. Default IP MTU for Use Over ATM AAL5, RFC 1626

[13] **Thompson K., Miller G. J., and Wilder R.**, 1997. Wide Area Traffic Patterns and Characteristics, *IEEE Network, Vol 11, No 6, pp. 10-23*

[14] **Romanow A. And Floyd S.**, 1995. Dynamics of TCP Traffic Over ATM Networks, IEEE Journal on Selected Areas of Communication Vol 13, No 4, pp 633-641, ftp://ftp.ee.lbl.gov/papers/tcp_atm.ps.Z

[15] **Perez M. Liaw F.,Mankin A., Hoffman E., Grossman D. and Malis A**, 1995. ATM Signaling Support for IP over ATM, RFC 1755

[16] **Fang C., Lin A.**, 1997. TCP Performance in ATM Networks: ABR Parameter Tuning and ABR/UBR Comparison, *Proc. IEEE Singapore International Conference on Networks.*

[17] **Moldeklev K. And Gunningberg P.**, 1995. How a Large ATM MTU Causes Deadlock in TCP Data Transfers, *IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol 3, No 4, pp. 409-422*

[18] **Nagle J.** 1984. Congestion Control in TCP/IP Internetworks, RFC 896

[19] **Braden R.,** 1989. Requirements for Internet Hosts – Communication Layers RFC 1122

[20] **Jacobson V.,** 1990. Compressing TCP/IP Headers for Low-Speed Serial Links, RFC 1144

[21] **ATM Forum,** 2000. Frame Based ATM over SONET/SDH Transport (FAST)

[22] **ATM Forum,** 2000. Frame-based ATM Transport (FATE)

[23] **Goyal, R., Jain R., Kalyanaraman S., Fahmy S., and Vandalore B.,** 1998. Improving the Performance of TCP over the ATM-UBR service, *Computer Communications, Vol. 21, No. 10, pp. 898-911*

[24] **Fang C., and Lin A.** 1995, On TCP Performance of UBR With EPD and UBR-EPD With Fair Buffer Allocation Scheme, ATM Forum Contribution

[25] **Saito H., et all,** 1996. Perfrmance Issues in Public ABR Service, *IEEE Communication Magazine, Vol 34, No 6 pp. 152-157*

[26] **Jagannath S., Yin N.,** 1997. End-to-End Traffic Management Issues in IP/ATM Internetworks, IETF Internet Draft

[27] **Ramakrishnan K., Floyd S., Black D.,** 2001 "The Addition of Explicit Congestion Notification (ECN) to IP" RFC 3168

[28] **Narvaez P., Siu K. Y.,** 1998. An Acknowledgement Bucket Scheme for Regulating TCP Flow over ATM, *Computer Networks, Vol 30, No 15 pp 1775-1791*

[29] **Narvaez P., Siu K. Y.,** 1998. New Techniques for Regulating TCP flow over Heterogeneous Networks, *Proc. IEEE Conference on Local Computer Networks*

[30] **Koike A.,** 1997. TCP Flow Control with ACR Information, ATM Forum Contribution

[31] **Bagal P., Kalyanaraman S., and B. Packer,** 1999. Comparative study of RED, ECN and TCP Rate Control, Techical Report, Department of ECSE, Rensselaer Polytechnic Institute.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Top, 1979 yılında Divriği' de doğdu. Lise öğrenimini 1997'de Kabataş Erkek Lisesinde tamamladı. 2001 yılında İstanbul Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2002 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Telekomünikasyon Mühendisliği bölümünde yüksek lisans çalışmasına başladı.