

154 958

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KABLOSUZ ATM KULLANARAK SERVİS KALİTESİ DESTEĞİ
SAĞLANMIŞ GERÇEK ZAMANLI VERİ TRANSFERİ**

DOKTORA TEZİ

Celal ÇEKEN

Anabilim Dalı: Elektrik Eğitimi

Danışman: Yrd.Doç.Dr. İsmail ERTÜRK

OCAK, 2004

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KABLOSUZ ATM KULLANARAK SERVİS KALİTESİ DESTEĞİ
SAĞLANMIŞ GERÇEK ZAMANLI VERİ TRANSFERİ**

DOKTORA TEZİ

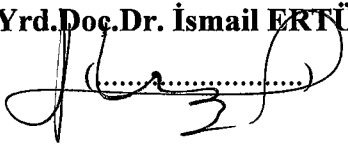
Celal ÇEKEN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 19 Ocak 2004

Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Şubat 2004

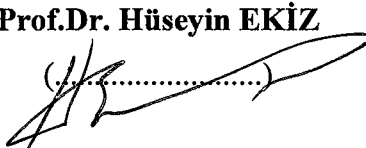
Tez Danışmanı

Yrd.Doç.Dr. İsmail ERTÜRK



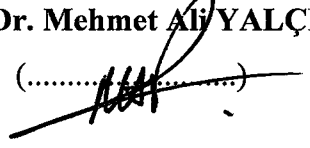
Üye

Prof.Dr. Hüseyin EKİZ



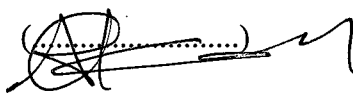
Üye

Prof.Dr. Mehmet Ali YALÇIN



Üye

Yrd.Doç.Dr. Adnan KAVAK



Üye

Yrd.Doç.Dr. Yunus Emre ERDEMLİ



OCAK, 2004

KABLOSUZ ATM KULLANARAK SERVİS KALİTESİ DESTEĞİ SAĞLANMIŞ GERÇEK ZAMANLI VERİ TRANSFERİ

Celal ÇEKEN

Anahtar Kelimeler: Kablosuz Ağlar, Kablosuz ATM, MAC, TDMA/FDD, Servis Kalitesi

Özet: Son yıllarda, yüksek işlem gücüne sahip kablosuz bilgisayarların ve diğer gezgin cihazların gelişmesiyle birlikte kablosuz haberleşmenin önemi de her geçen gün artmaktadır. Mevcut kablosuz ağlar veri iletimini desteklemekle birlikte, çoklu ortam uygulamaları gibi servis kalitesi garantisi gerektiren trafikler için yetersiz kalmaktadır.

ATM (Asenkron Transfer Modu), kablolu ortamda tüm trafik sınıflarına garantili hizmet kalitesi desteği sunabilen ve B-ISDN için standart olarak kabul edilen bir iletim teknolojisidir. ATM teknolojisinin kablolu ortamdaki başarısı, Kablosuz ATM (KATM) konusunda da bir çok araştırmanın başlamasını sağlamıştır. Ses, veri ve video gibi farklı karakteristiklere sahip trafiklerin kablosuz ortamdan iletilmesini öngören KATM, ATM'nin kablolu ortamda sağladığı yüksek veri iletim hızı ve servis garantisi özelliklerini kablosuz ortamda da gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır.

KATM teknolojisini, yaygın olarak kullanılan eşleniklerine göre üstün kılan en önemli özellik, gerçek zamanlı geniş bant çoklu ortam uygulamalarına servis kalitesi destekli hizmetler sunma konusundaki potansiyelidir. Kablosuz ortamda servis kalitesinin sağlanması ise, özellikle bant genişliği açısından sınırlı kaynakların, standart ATM katmanlarından farklı olarak tanımlanan MAC (Medium Access Control, Ortam Erişim Kontrolü) ve DLC (Data Link Control, Veri Bağlantı Kontrolü) katmanları yardımıyla etkin ve verimli olarak kullanılmasına bağlıdır.

Bu tez çalışmasında, TDMA/FDD tekniğine dayalı yeni bir MAC protokolü geliştirilmiş ve örnek bir KATM çoklu ortam uygulaması OPNET Modeller simülasyon yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yaygın olarak kullanılan Kablosuz LAN (KLAN) standartlarından (örneğin; IEEE 802.11b) farklı ve üstün olarak, değişik trafik şartlarında sağlamış olduğu CBR (Constant Bit Rate, sabit bit iletim hızı), VBR (Variable Bit Rate, değişken bit iletim hızı), ABR (Available Bit Rate, kullanılabilir bit iletim hızı) ve UBR (Unspecified Bit Rate, belirlenmemiş bit iletim hızı) desteği ile geliştirilen bu MAC mekanizması, kablosuz ortam kaynaklarını kullanıcılara efektif olarak tahsis etmekle birlikte, aynı anda çok sayıda kullanıcı arasında veri transferine de olanak sağlamaktadır. Örnek uygulamanın değişik yük koşulları altındaki simülasyon sonuçları, benzer ağ ve yük koşullarına sahip IEEE 802.11b standardı KLAN simülasyon sonuçları ile karşılaştırılarak her iki ağın performans değerlendirmesi yapılmıştır. Elde edilen KATM ve KLAN sonuçları aynı uygulamalar için karşılaştırıldığında, KATM ses trafiğinin (CBR servis sınıfı destekli) 116 kat daha düşük ortalama gecikme, video trafiğinin (VBR servis sınıfı destekli) 30 kat daha düşük gecikme değişimi, kritik veri trafiğinin (ABR servis sınıfı destekli) 104 ila 48 kat arasında daha düşük maksimum gecikme ve son olarak, kritik olmayan veri trafiğinin (UBR servis sınıfı destekli) 5 kat daha düşük maksimum gecikme değerleri ile transfer edildiği görülmektedir.

REAL TIME DATA TRANSFER WITH QUALITY of SERVICE SUPPORT USING WIRELESS ATM

Celal ÇEKEN

Keywords: Wireless Networks, Wireless ATM, MAC, TDMA/FDD, Quality of Service

Abstract: For the last decade wireless/mobile networking has gained an increasing importance along with the developments in the cellular communication technologies. Several wireless networking systems have been developed to provide different types of services to various wireless user applications. Current wireless networking infrastructures are not suitable for most of the multimedia applications each requiring a different Quality of Service (QoS) support.

ATM (Asynchronous Transfer Mode) is a transmission technology considered as a standard for B-ISDN with guaranteed QoS to all possible traffic types in a wired medium. The success of ATM technology in the wired network has also initiated many researches about WATM (Wireless ATM) concept. The aim of the WATM technology, promising the transmission of different type of traffics such as voice, data and video over wireless medium, is to implement high bit rate and QoS guaranteed data transfer, which is well achieved by ATM technology in wired medium.

WATM differs from its traditional counterparts mainly in that it promises to provide QoS guarantees for real-time multimedia applications. Supporting QoS guarantees in a wireless environment especially depends on assigning existing limited resources in terms of bandwidth efficiently using MAC and DLC layers which are added to standard ATM layers.

In this research, a new TDMA/FDD based MAC protocol has been designed for WATM networks. The thesis also includes an example WATM network utilizing this technique, which has been modeled and simulated under varying multimedia traffic loads using commercially available software called OPNET Modeler with Wireless Module. As being the most distinctive feature of the proposed MAC layer, apart from the most deployed IEEE 802.11 based WLANs, it can effectively utilize the scarce wireless medium resources with its CBR, VBR, ABR and UBR support for various multimedia traffics including real-time traffic as well as it can allow simultaneous multiple connections between wireless terminals. The simulation results obtained have also been compared with those of a CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) MAC-based IEEE 802.11b WLAN obtained under the same networking conditions as WATM network, followed by performance evaluation of both networks. Comparing the obtained WATM and WLAN simulation results for the same applications, it is concluded that the WATM voice application traffic (with CBR service support) experiences 116 times lower average message delay and the WATM compressed video application traffic (with VBR service support) performs 30 times lower message delay variation (jitter). Also the WATM data application traffic sensitive to bit errors (with ABR service support) provides 104 to 48 times lower maximum message delay, and finally the WATM data application traffic (with UBR service support) outperforms its counterpart with a 5 times better maximum message delay.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Günümüzde yaygın olarak kullanılan kablosuz haberleşme sistemleri servis garantisi gerektiren gerçek zamanlı çoklu ortam uygulamalarına hizmet vermekte yetersiz kalmaktadır. Kablosuz ATM (KATM) bu tür geniş bant servislere garantili hizmetler sunma konusunda potansiyel bir çözüm gibi düşünülmektedir.

KATM konusunda yapılan ileri düzeyli çalışmalar, üniversiteler bünyesinde oluşturulan ve bazı büyük haberleşme şirketleri tarafından desteklenen projeler kapsamında sürdürülmektedir. Henüz standartları tanımlanmamış olan KATM'nin yakın gelecekte kablosuz çoklu ortam uygulamaları için kullanılan en yaygın ağ teknolojisi olacağı tahmin edilmektedir.

Tez çalışmam süresince beni yönlendiren, her zaman bana destek olan ve deneyimlerini paylaşan tez danışmanım sayın Yrd.Doç.Dr. İsmail ERTÜRK'e (KO.Ü), tez izleme jürisinde bulunan sayın Yrd.Doç.Dr. Adnan KAVAK (KO.Ü) ve sayın Yrd.Doç.Dr. Yunus Emre ERDEMLİ'ye (KO.Ü) katkıları ve yapıcı önerileri için teşekkürlerimi sunarım. Başta Cüneyt BAYILMIŞ, Abdulvehhab KAZDALOĞLU ve Yavuz Selim FATİHOĞLU olmak üzere, çalışmalarım boyunca desteklerini gördüğüm tüm dostlarıma da yardımları nedeniyle teşekkür ederim.

Beni bugünlerime getiren, her konuda destek veren ve yanımda olan çok değerli annem, babam ve kardeşlerime yaptıkları her şey için çok teşekkür ediyorum.

Ve son olarak, göstermiş olduğu anlayış ve hoşgörü nedeniyle değerli eşime de teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
TABLolar DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
1.1. Literatürde Yapılan Çalışmaların Özeti	2
1.2. Tez Çalışmasının Katkıları.....	6
1.3. Tez Organizasyonu.....	7
BÖLÜM 2. SAYISAL VERİ HABERLEŞMESİ VE BİLGİSAYAR AĞLARI	9
2.1. Giriş	9
2.2. Veri İletimi	9
2.2.1. İletişim modları	11
2.2.2. İletim modları	11
2.2.2.1. Paralel iletim	12
2.2.2.2. Seri iletim	12
2.2.3. Veri iletim teknikleri	12
2.2.4. Çoklama (Multiplexing).....	13
2.2.5. Bant genişliği.....	15
2.3. Bilgisayar Ağları	16
2.3.1. OSI referans modeli	16
2.3.2. Ağ topolojileri	19
2.3.3. Yerel alan ağları (LAN)	22

2.3.4. Geniş alan ağları (WAN).....	22
2.3.5. Ağ bağlantı cihazları	23
2.4. ATM (Asynchronous Transfer Mode)	24
2.4.1. ATM hücre yapısı.....	27
2.4.2. Sanal yol (VP)/Sanal kanal (VC) kavramları	28
2.4.3. ATM Ağ Arayüzleri	30
2.4.4. B-ISDN mimarisi.....	32
2.4.4.1. ATM Uyarılama katmanı (AAL)	33
2.4.4.2. ATM katmanı	35
2.4.4.3. Fiziksel katman	35
2.4.5. ATM servis sınıfları	36
2.4.5.1. Sabit bit iletim hızı (Constant Bit Rate, CBR)	37
2.4.5.2. Gerçek zamanlı değişken bit iletim hızı (Real Time Variable Bit Rate, rt-VBR).....	37
2.4.5.3. Gerçek zamanlı olmayan değişken bit iletim hızı (Non-Real Time Variable Bit Rate, Non-rt-VBR).....	38
2.4.5.4. Kullanılabilir bit iletim hızı (Available Bit Rate, ABR)	38
2.4.5.5. Belirlenmemiş bit iletim hızı (Unspecified Bit Rate, UBR)	39
2.4.6. Trafik tanımlayıcıları ve servis kalitesi (QoS) değişkenleri.....	40
2.5. Sonuç	42
BÖLÜM 3. KABLOSUZ HABERLEŞME VE KABLOSUZ ATM.....	43
3.1. Giriş	43
3.2. Kablosuz LAN Teknolojileri.....	44
3.2.1. Kızılötesi (Infrared) kablosuz yerel alan ağları	44
3.2.2. Yayılmış spektrum kablosuz yerel alan ağları (Spread Spectrum Wireless LANs).....	45
3.2.3. Mikro dalga kablosuz yerel alan ağları (Microwave Wireless LANs).....	46
3.3. Kablosuz Ağ Topolojileri.....	46
3.4. Kablosuz Ortam Sınırlamaları.....	49
3.5. Kablosuz ATM (Wireless ATM)	50

3.5.1. Kablosuz ATM kullanım senaryoları	51
3.5.2. Kablosuz ATM ağ bileşenleri	52
3.5.3. Kablosuz ATM protokol yapısı	54
3.5.3.1. Veri bağlantı kontrolü (Data Link Control, DLC)	56
3.5.3.2. Ortam erişim kontrolü (Medium Access Control, MAC) ..	56
3.5.3.3. Fiziksel katman	57
3.5.3.4. Kablosuz kontrol	58
3.5.3.5. Gezgin ATM (Mobile ATM)	58
3.5.3.5.1. Konum yönetimi	58
3.5.3.5.2. El değiştirme	58
3.5.3.5.3. Yönlendirme	59
3.6. Sonuç	59

BÖLÜM 4. HABERLEŞME AĞLARININ MODELLENMESİ VE PERFORMANS ANALİZİ	60
4.1. Giriş	60
4.2. Modelleme ve Simülasyon	61
4.3. OPNET Simülasyon Yazılımı	63
4.3.1. OPNET yazılımının önemli özellikleri ve uygulamaları	64
4.3.2. OPNET editörleri	66
4.3.3. Proses modelleme	70
4.3.3.1. Olay, Kesme ve Durum kavramları	70
4.3.3.2. Proto-C ve Kernel Procedure kavramları	73
4.3.4. OPNET Kablosuz (Wireless) Modülü	74
4.3.4.1. "Pipeline" düzeyleri	74
4.4. Sonuç	76

BÖLÜM 5. KATM AĞLAR İÇİN TASARLANAN YENİ BİR MAC KATMANI MODELİ	77
5.1. Giriş	77
5.2. Kablosuz MAC Protokolleri	77
5.2.1. Çoklu erişim yöntemleri	78
5.2.1.1. FDMA	79

5.2.1.2. TDMA	80
5.2.1.3. CDMA	81
5.2.1.4. ALOHA	82
5.2.1.5. CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)	83
5.3. KATM İçin Kullanılan MAC Protokolleri	84
5.3.1. TDMA/DR (Time Division Multiple Access with Dynamic Reservation)	85
5.3.2. MASCARA (Mobile Access Scheme based on Contention and Reservation for ATM)	86
5.3.3. DQRUMA (Distributed-Queuing Request Update Multiple Access)	87
5.3.4. Hybrid TDMA/CDMA	88
5.4. KATM Ağ İçin Tasarlanan Yeni Bir MAC Protokolü	89
5.4.1. Kablosuz Terminal MAC (KT-MAC) modeli	91
5.4.1.1. KT düğüm modeli	93
5.4.1.2. KT-MAC proses modeli ve algoritması	94
5.4.2. Baz İstasyonu MAC (Bİ-MAC) modeli	96
5.4.2.1. Bİ düğüm modeli	97
5.4.2.2. Bİ-MAC proses modeli ve algoritması	97
5.4.2.3. Slot Tahsis Tablosunun yönetimi	99
5.4.2.3.1. Garanti edilmemiş slotların paylaşılması (STT optimizasyon algoritması)	101
5.4.2.3.2. Gecikme değişimi kontrol algoritması	103
5.5. Sonuç	104

BÖLÜM 6. YENİ MAC KATMANI İLE KATM ÇOKLU ORTAM AĞ

UYGULAMASI	105
6.1. Giriş	105
6.2. KATM Simülasyon Modeli	105
6.2.1. Baz İstasyonu	106
6.2.2. Kablosuz Terminal	107
6.2.3. Simülasyon parametreleri	108

6.2.4. Simülasyon sonuçları	110
6.3. KLAN (IEEE 802.11b) Simülasyon Modeli	115
6.3.1. Simülasyon parametreleri	115
6.3.2. Simülasyon sonuçları	116
6.4. KATM ve KLAN Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması	117
6.5. Sonuç	123
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	125
KAYNAKLAR	130
EKLER	134
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	144
ÖZGEÇMİŞ	145



SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

AAL	: ATM Adaptation Layer (ATM Uyarlama Katmanı)
ABR	: Available Bit Rate (Kullanılabilir Bit İletim Hızı)
ACK	: Acknowledgement
ARQ	: Automatic Repeat Request (Otomatik Tekrar İsteği)
ATM	: Asynchronous Transfer Mode (Asenkron Transfer Modu)
AWACS	: ATM Wireless Access Communication System
B-ISDN	: Broadband-Integrated Services Digital Network
Bİ	: Baz İstasyonu
BPS	: Bit Per Second (Bit/Saniye)
CAC	: Call Admission Control
CAN	: Controller Area Network
CBR	: Constant Bit Rate (Sabit Bit İletim Hızı)
CCITT	: International Consultative Committee for Telephone and Telegraph
CDMA	: Code Division Multiple Access (Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
CDV	: Cell Delay Variation (Hücre Gecikme Değişimi, jitter)
CDVT	: CDV Tolerance
CEPT	: Conference of European Post and Telecommunications Administrations
CLP	: Cell Loss Priority (Hücre Kayıp Önceliği)
CLR	: Cell Loss Ratio (Hücre Kayıp Oranı)
CRC	: Cyclic Redundancy Check
CSMA/CA	: Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CSMA/CD	: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
CTD	: Cell Transfer Delay (Hücre İletim Gecikmesi)
DLC	: Data Link Control (Veri Bağlantı Kontrolü)

DQRUMA	: Distributed-Queueing Request Update Multiple Access
DSL	: Digital Subscriber Line
E-PRMA	: Extended Packet Reservation Multiple Access
ETSI	: European Telecommunications Standards Institute
FCC	: Federal Communications Commission
FDM	: Frequency Division Multiplexing (Frekans Bölmeli Çoklama)
FDMA	: Frequency Division Multiple Access (Frekans Bölmeli Çoklu Erişim)
FEC	: Forward Error Control (İleri Hata Kontrolü)
FR	: Frame Relay
GFC	: Generic Flow Control (Genel Akış Kontrolü)
GMSK	: Gaussian Minimum Shift Keying
HEC	: Header Error Control
IP	: Internet Protocol
ISDN	: Integrated Services Digital Network
ISM	: Industrial Scientific Medical
ISO	: International Standards Organization
ITU-T	: International Telecommunication Union-Telecommunications Sector
İİ	: İletim-izni
İMS	: İstek Mini Slotu
KATM	: Kablosuz ATM
KLAN	: Kablosuz LAN
KP	: Kernel Procedure
KT	: Kablosuz Terminal
LAN	: Local Area Network (Yerel Alan Ağı)
MAC	: Medium Access Control (Ortam Erişim Kontrolü)
MASCARA	: Mobile Access Scheme based on Contention and Reservation for ATM
MEDIAN	: Wireless Broadband CPN/LAN for Professional and Residential Multimedia Applications
MDR TDMA	: Multiservices Dynamic Reservation TDMA

NII	: National Information Infrastructure
NNI	: Network–Network Interface (Ağ–Ağ Arayüzü)
NPC	: Network Parameter Control
OAM	: Operations Administration and Maintenance
OFDM	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OPNET	: OPTimized Network Engineering Tool
ORL	: The Olivetti & Oracle Research Laboratory
OSI	: Open Systems Interconnection
PCN	: Personal Communication Network (Kişisel Haberleşme Ağı)
PCR	: Peak Cell Rate (En Yüksek Hücre İletim Hızı)
PDF	: Probability Density Function (Olasılık Sıklık Fonksiyonu)
PDU	: Protocol Data Unit
PN	: Pseudo-Noise
PSTN	: Public Switched Telephone Network
PT	: Payload Type (Yük Tipi)
PTI	: Payload Type Identifier (Yük Tipi Numarası)
QAM	: Quadrature Amplitude Modulation
QoS	: Quality of Service (Servis Kalitesi)
QPSK	: Quadrature Phase Shift Keying
RAL	: Radio Access Layer (Radyo Erişim Katmanı)
RDRN	: Rapidly Deployable Radio Networks
SAAL	: Signaling AAL
SAMBA	: System for Advanced Multimedia Broadband Applications
SAR	: Segmentation and Reassembly
SCR	: Sustainable Cell Rate (Sürdürülebilir Hücre İletim Hızı)
SDH	: Synchronous Digital Hierarchy
SDU	: Service Data Unit
SK	: Simulation Kernel
SLS	: Service Level Specification (Servis Düzeyi Belirleyicisi)
SONET	: Synchronous Optical NETwork
SS	: Spread Spectrum (Yayılmış Spektrum)
STD	: State Transition Diagram (Durum Geçiş Diyagramı)
TDM	: Time Division Multiplexing (Zaman Bölmeli Çoklama)

UBR	: Unspecified Bit Rate (Belirlenmemiş Bit İletim Hızı)
UNI	: User–Network Interface (Kullanıcı–Ağ Arayüzü)
UPC	: Usage Parameter Control
VBR	: Variable Bit Rate (Değişken Bit İletim Hızı)
VCC	: Virtual Channel Connection (Sanal Kanal Bağlantısı)
VCI	: Virtual Channel Identifier (Sanal Kanal Numarası)
VPC	: Virtual Path Connection (Sanal Yol Bağlantısı)
VPI	: Virtual Path Identifier (Sanal Yol Numarası)
WAN	: Wide Area Network (Geniş Alan Ağı)
WAND	: Wireless ATM Network Demonstrator
WATM	: Wireless Asynchronous Transfer Mode (Kablosuz ATM)
WCDMA	: Wideband Code Division Multiple Access
WCPN	: Wireless Communication Personal Network
WLAN	: Wireless LAN

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Basit bir iletişim sisteminin genel blok diyagramı.	10
Şekil 2.2. Basit bir iletişim sistemi modeli.	10
Şekil 2.3. a) Eşzamanlı TDM tekniği.	14
Şekil 2.3. b) İstatiksel çoklama.	14
Şekil 2.4. OSI referans modeli katman yapısı.	17
Şekil 2.5. Ortak yol topolojisi.	19
Şekil 2.6. Halka topolojisi.	20
Şekil 2.7. Yıldız topolojisi.	20
Şekil 2.8. Genişletilmiş yıldız topolojisi.	20
Şekil 2.9. Hiyerarşik topoloji.	21
Şekil 2.10. Örgü topoloji.	21
Şekil 2.11. a) Genel ATM hücre yapısı	27
Şekil 2.11. b) ATM UNI hücresi	27
Şekil 2.11. c) ATM NNI hücresi.	27
Şekil 2.12. a) Sanal yollar (VPs) ve Sanal kanallar (VCs).	29
Şekil 2.12. b) ATM sanal bağlantıları.	29
Şekil 2.13. Ağ arayüzlerini gösteren ATM topolojisi.	31
Şekil 2.14. Ağ arayüzlerindeki ATM protokol fonksiyonlarının etkileşimi.	31
Şekil 2.15. B-ISDN protokol referans modeli.	32
Şekil 2.16. VPI/VCI anahtarlama.	35
Şekil 2.17. CBR trafiği için bant genişliği kullanım karakteristiği.	37
Şekil 2.18. VBR trafiği için bant genişliği kullanım karakteristiği.	38
Şekil 2.19. ABR trafiği için bant genişliği kullanım karakteristiği.	39
Şekil 2.20. UBR trafiği için bant genişliği kullanım karakteristiği.	39
Şekil 3.1. Kablosuz ağlarda yaygın olarak kullanılan hücresel ağ topolojisi.	47
Şekil 3.2. Hücresel ağlarda küme yapısı.	48
Şekil 3.3. Eş düzeyli (ad-hoc) ağ topolojisi.	48

Şekil 3.4. KATM sistemi referans modeli.	53
Şekil 3.5. KATM protokolü katman yapısı.	54
Şekil 3.6. KATM sisteminin modüler yapısı.	55
Şekil 3.7. KATM hücre yapısı.	55
Şekil 4.1. Haberleşme sistemi geliştirmek için kullanılan farklı yöntemler.	60
Şekil 4.2. Genel bir simülasyonun işlem basamakları.	62
Şekil 4.3. Üstel dağılım (Exponential distribution).	67
Şekil 4.4. OPNET sistem modellerinin tasarımında kullanılan editörlerin hiyerarşik ilişkisi.	68
Şekil 4.5. Olay listesinin çalışması.	71
Şekil 4.6. Kesmelerin prosesler tarafından değerlendirilmesi.	73
Şekil 5.1. N adet kullanıcı için FDMA tekniği.	80
Şekil 5.2. N adet kullanıcı için TDMA tekniği.	81
Şekil 5.3. N adet kullanıcı için CDMA tekniği.	82
Şekil 5.4. CSMA/CA kanal erişim tekniği.	84
Şekil 5.5. TDMA/DR MAC protokolü.	86
Şekil 5.6. DQRUMA MAC protokolü.	88
Şekil 5.7. Önerilen MAC protokolü çerçeve yapısı.	89
Şekil 5.8. a) Bağlantı istek paketi. b) KATM hücresi. c) Bağlantı sonlandırma istek paketi.	91
Şekil 5.9. Kablosuz terminal düğüm (node) modeli.	94
Şekil 5.10. KT-MAC katmanı proses modeli.	95
Şekil 5.11. KT-MAC katmanı proses modeli algoritması.	96
Şekil 5.12. Baz istasyonu düğüm (node) modeli.	97
Şekil 5.13. Baz istasyonu proses modeli.	98
Şekil 5.14. Bİ-MAC katmanı algoritması.	99
Şekil 5.15. Slot tahsis tablosunun (STT) yapısı.	100
Şekil 5.16. Slot tahsis tablosunun yönetim algoritması.	101
Şekil 5.17. Garanti edilmemiş slotların paylaşılması.	102
Şekil 5.18. Gecikme değişimi kontrol algoritması.	104
Şekil 6.1. TDMA/FDD'ye dayalı yeni MAC protokolünü kullanan KATM uygulaması.	106

Şekil 6.2. KT1–KT5 arasındaki ses transferine (CBR ile) ait uçtan–uca gecikme sonuçları.	111
Şekil 6.3. KT6–KT10 arasındaki sıkıştırılmış video transferine (rt–VBR ile) ait uçtan–uca gecikme sonuçları.	112
Şekil 6.4. KT11–KT15 arasındaki kritik veri transferine (ABR ile) ait uçtan–uca gecikme sonuçları.....	113
Şekil 6.5. KT16–KT20 arasındaki kritik olmayan veri transferine (UBR ile) ait uçtan–uca gecikme sonuçları.	114
Şekil 6.6. KLAN KT1–KT5 arasındaki ses transferine ait uçtan–uca gecikme sonuçları.	117
Şekil 6.7. KT1–KT5 arasındaki ses transferine (CBR ile) ait uçtan–uca gecikme değerlerinin KLAN eşleniklerine göre normalize edilmiş sonuçları.....	119
Şekil 6.8. KT6–KT10 arasındaki ses transferine (VBR ile) ait uçtan–uca gecikme değerlerinin KLAN eşleniklerine göre normalize edilmiş sonuçları.....	121
Şekil 6.9. KT11–KT15 arasındaki kritik veri transferine (ABR ile) ait uçtan–uca gecikme değerlerinin KLAN eşleniklerine göre normalize edilmiş sonuçları.	122
Şekil 6.10. KT16–KT20 arasındaki kritik olmayan veri transferine (UBR ile) ait uçtan–uca gecikme değerlerinin KLAN eşleniklerine göre normalize edilmiş sonuçları.	123

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Bant genişliği birimleri.	15
Tablo 2.2. Bazı ortamların bant genişliği uzaklık değerleri.	15
Tablo 2.3. WAN servislerinin bant genişliği değerleri.....	16
Tablo 2.4. Haberleşme ağlarının çalışma mesafeleri.....	23
Tablo 2.5. ATM protokol katmanlarının fonksiyonları.....	33
Tablo 2.6. ATM servis sınıfları ve servis karakteristikleri.....	34
Tablo 2.7. Fiziksel katman arayüzleri.	36
Tablo 2.8. ATM servis sınıfları ve örnek uygulamaları.	40
Tablo 2.9. ATM servis sınıflarının trafik tanımlayıcıları ve servis kalitesi değişkenleri.	42
Tablo 3.1. Kablosuz uygulamalar için servis ihtiyaçları	52
Tablo 4.1. Haberleşme sistemlerini modellemek için yaygın olarak kullanılan simülasyon yazılımları.	63
Tablo 4.2. OPNET kullanıcı profilleri.....	64
Tablo 4.3. Simülasyon olay listesinin yapısı.	71
Tablo 4.4. Sıkça kullanılan KP'ler.	73
Tablo 5.1. KATM MAC protokollerinin sınıflandırılması.....	85
Tablo 5.2. Bağlantılara ait istatistiksel bilgilerin tutulduğu veritabanı tablosu.....	103
Tablo 6.1. Simülasyon parametreleri.....	109
Tablo 6.2. KT1–KT5 arasındaki ses transferine (CBR ile) ait uçtan–uca gecikme değerleri.....	111
Tablo 6.3. KT6–KT10 arasındaki sıkıştırılmış video transferine (rt–VBR ile) ait uçtan–uca gecikme değerleri.....	112
Tablo 6.4. KT11–KT15 arasındaki kritik veri transferine (ABR ile) ait uçtan–uca gecikme değerleri.	113
Tablo 6.5. KT16–KT20 arasındaki kritik olmayan veri transferine (UBR ile) ait uçtan–uca gecikme değerleri.....	114

Tablo 6.6. Simülasyon parametreleri.....	115
Tablo 6.7. KLAN KT1–KT5 arasındaki ses transferine ait uçtan–uca gecikme değerleri.....	117
Tablo 6.8. KT1–KT5 arasındaki ses transferine (CBR ile) ait uçtan–uca gecikme değerlerinin KLAN eşleniklerine göre normalize edilmiş sonuçları.....	119
Tablo 6.9. KT6–KT10 arasındaki sıkıştırılmış video transferine (VBR ile) ait uçtan–uca gecikme değerlerinin KLAN eşleniklerine göre normalize edilmiş sonuçları.	120
Tablo 6.10. KT11–KT15 arasındaki kritik veri transferine (ABR ile) ait uçtan–uca gecikme değerlerinin KLAN eşleniklerine göre normalize edilmiş sonuçları.	121
Tablo 6.11. KT16–KT20 arasındaki kritik olmayan veri transferine (UBR ile) ait uçtan–uca gecikme değerlerinin KLAN eşleniklerine göre normalize edilmiş sonuçları.	122

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüz bilgi çağı koşulları, bilginin daha yoğun ve daha güvenli iletilmesi için bilgi otoyollarının kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bilginin iletilmesinde değişik haberleşme sistemleri kullanılmaktadır. ATM (Asynchronous Transfer Mode), kablolu ortamda tüm trafik sınıflarına servis kalitesi (QoS, Quality of Service) desteği sağlanmış hizmetler sunabilen ve B-ISDN (Broadband Integrated Services Digital Network) için standart olarak kabul edilen bir ağ teknolojisidir (Pandya and Şen 1999). ATM, geniş alanda yüksek hız ve esnek bant genişliği ihtiyaçlarını karşılamada bütün dünyada önemli bir çözüm olarak kullanılmaktadır. TDM (Time Division Multiplexing) ve istatistiksel çoklamanın üstün yönlerini kullanan ATM teknolojisi, gerçek zamanlı ve gerçek zamanlı olmayan çoklu ortam uygulamaları için uygun bir iletim ortamı sağlayabilmektedir.

Yüksek işlem gücüne sahip kablosuz bilgisayarların ve diğer gezgin cihazların gelişmesiyle birlikte kablosuz haberleşmenin önemi her geçen gün artmaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan klasik kablosuz haberleşme sistemleri, özellikle çoklu ortam uygulamaları gibi patlamalı trafıklere servis kalitesi garantisi sağlamakta yetersiz kalmaktadır. ATM, kablolu ortamda tüm trafik sınıflarına servis kalitesi desteği sağlanmış garantili hizmetler sunabilen ve bu konuda eşleniklerinden oldukça ileride olan bir iletim teknolojisidir. ATM'nin kablolu ortamdaki başarısı, KATM düşüncesinin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Houdt et al 2001). KATM yüksek veri iletim hızı gerektiren, farklı karakteristiklere sahip geniş bant (broadband) çoklu ortam uygulamalarının (ses, veri ve video gibi) ihtiyaçları olan servis kalitesi sağlanarak kablosuz ortamdan iletimini amaçlamaktadır (Raychaudhuri 1999, Ayanoglu 1999, Prihandoko 2000).

KATM konusu ilk olarak 90'lı yılların ortalarına doğru araştırılmaya başlanmıştır. Günümüzde ise, servis kalitesi garantisi sağlanmış çoklu ortam uygulamalarını

destekleyen gelecek nesil kablosuz haberleşme ağları için potansiyel bir çözüm olarak düşünülmektedir.

KATM teknolojisini klasik eşleniklerinden (örneğin; IEEE 802.11b KLAN) ayıran en önemli özellik, uygulamalara servis kalitesi sağlanmış garantili hizmetler sunma konusundaki potansiyelidir. KATM, kablosuz ortamın fiziksel karakteristiklerinden kaynaklanan sınırlamalar nedeniyle standart ATM katmanlarına ek olarak, kablosuz ortamı farklı kullanıcılara etkin olarak paylaştırmayı sağlayan MAC (Medium Access Control) katmanı ile akış ve hata kontrolü için kullanılan DLC (Data Link Control) katmanlarının kullanılmasını gerektirmektedir. Bu katmanlar, özellikle gerçek zamanlı çoklu ortam uygulamaları gibi patlamalı trafıklere, ihtiyaçları olan servis kalitesi garantisinin sağlanması açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle KATM konusunda yapılan çalışmaların önemli bir bölümü MAC ve DLC katmanlarının geliştirilmesi üzerinde yoğunlaşmaktadır (Raychaudhuri 1999).

KATM, henüz standartları tam olarak tanımlanmamış yeni bir kablosuz haberleşme teknolojisidir. ATM Forum 1996 yılında, günümüz bilgisayar ağlarını da kapsayacak ve ATM teknolojisinin kullanımına olanak sağlayacak KATM ağ standartları geliştirmek amacıyla KATM Çalışma Grubunu kurmuştur (Ayanoglu 1999). Ayrıca, standart kuruluşu ETSI (European Telecommunications Standards Institute), KATM fiziksel katmanı için standartlaştırma çalışmalarını sürdürmektedir. KATM konusunda yapılan çalışmalar genelde üniversitelerin bünyesinde oluşturulan ve haberleşme teknolojileri üreten büyük şirketlerce desteklenen projeler kapsamında sürdürülmektedir. Aşağıdaki alt bölümde, KATM teknolojisiyle ilgili olarak yapılan çalışmalardan bazılarını kısaca değinilmiştir.

1.1. Literatürde Yapılan Çalışmaların Özeti

Magic WAND (Wireless ATM Network Demonstrator) projesi, temel veri iletiminden paylaşılmış çoklu ortam uygulamalarına kadar tüm alanlardaki işlevleri kapsar. Projenin temel amacı, gezgin kullanıcılara gerçek zamanlı çoklu ortam servislerini sağlama yeteneği olan KATM erişiminin teknik olarak mümkün olup olmadığının gösterilmesidir. Proje ortakları uygulama için 5 GHz bandını

seçmişlerdir. Aynı zamanda 50 Mbit/s veri iletim hızı için, 17 GHz bandını kullanan çalışmalar yapılmaktadır (Walke 1999).

MEDIAN (Wireless Broadband CPN/LAN for Professional and Residential Multimedia Applications) projesinin temel amacı, çoklu ortam uygulamaları için yüksek hızlı WCPN/WLAN pilot sisteminin geliştirilmesi, gerçekleşmesi ve aynı zamanda gerçek kullanıcı denemelerinin gösterilmesidir. Pilot sistem, transfer edilecek veri hızına ve kanal karakteristiklerine göre uyarlanabilen çoklu taşıyıcı modülasyon tekniğini kullanır. Aynı zamanda KATM için gerekli uzantıları da destekler. Sistem, 60 GHz bandından yararlanır ve ATM arayüzü üzerinden üçüncü veya daha sonraki nesil gezgin sistemlere bağlanır (Walke 1999).

AWACS (ATM Wireless Access Communication System) projesi, B-ISDN hizmetlerine kablosuz erişim sağlayacak bir model geliştirmeyi amaçlamaktadır. Sistemin 19 GHz bandında, 34 Mbit/s veri iletim hızında ve 50–100 m arasında değişen radyo iletim mesafesinde çalışması düşünülmektedir. Bununla birlikte, sınırlı ve düşük hızlardaki gezginliği de destekleyecektir. Proje, Japon ortaklar tarafından sağlanan ve 19 GHz bandında çalışan deneysel prototip üzerine kurulmaktadır. Hazırlanan prototip; yayılım bilgileri, bit hata oranı (Bit Error Rate, BER) ve 19 GHz’de ATM performansı konularında bilgiler edinilmesine yardımcı olmaktadır. Elde edilen bu bilgiler kullanılarak, tamamen tümleşik anten çözümleri ve ETSI-RES10 HIPERLAN özelliklerini desteklemek için gerekli olan radyo erişim teknolojilerinin spektrum ve güç verimlilikleri konularında araştırmalar yapılmaktadır. Sistem, bina içerisinde oluşturulan 10–30 m arasında değişen kapsama alanına sahip piko hücrelerden (piconet) oluşmaktadır. Sistemin, büyük hücreler yerine bina içerisindeki küçük hücreler şeklinde oluşturulması hem maliyeti, hem de meydana gelen yayılım gecikmesini büyük ölçüde azaltır. Bununla birlikte, aynı kapsama alanının sağlanabilmesi için daha fazla sayıda baz istasyonu kurmak gerekecektir (Walke 1999).

SAMBA (System for Advanced Multimedia Broadband Applications), gezgin kullanıcıların geniş bant çoklu ortam servislerini kullanmalarına imkan vermek için geniş bant hücreli radyo sistemini geliştirmeyi amaçlayan bir Avrupa projesidir.

Uygulamalar için 34 Mbit/s veri iletim hızını desteklemesi düşünülmektedir (Walke 1999).

RDRN (Rapidly Deployable Radio Networks) projesinin hedefi, değişen ortam koşullarında hem bağlantı hem de ağ düzeyinde otomatik olarak yeniden ayarlanmaya ve hızlı yayılmaya olanak sağlayacak yüksek hızlı ATM'ye dayalı kablosuz ağ yapısını ve protokolleri tasarlamaktır (Walke 1999).

ORL (The Olivetti & Oracle Research Laboratory) Radio ATM projesi kapsamında KATM sistemi geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Üzerinde çalışılan sistem, mevcut ATM LAN sistemlerinin uzantısı gibi tasarlanmakta ve piko hücrelerde çalışması düşünülmektedir. Her hücrede bir adet baz istasyonu vardır ve gezgin kullanıcılar birbirleriyle haberleşmek için baz istasyonundan faydalanırlar. Baz istasyonları birbirlerine ATM ağ yapısıyla bağlıdır (Porter et all 1996).

Ayanoglu (1999), yapmış olduğu çalışmasında kablosuz geniş bant sistemlerin tasarımı, KATM standartlaştırma çalışmalarının hangi aşamada olduğu, kablosuz çoklu ortam uygulamalarının servis ihtiyaçları ve kablosuz ortamın sınırlamaları konularından bahsetmektedir.

Houdt et al (2001), ATM teknolojisine dayalı geniş bant kablosuz ağlar için yeni bir MAC protokolü önererek verimlilik (throughput) ve erişim gecikmesi cinsinden performans değerlendirmesini analitik olarak sunmaktadır. Bu makalede, hücre düzeyi ATM trafik parametreleri PCR (Peak Cell Rate) ve SCR (Sustainable Cell Rate) ile paket varış zamanları arasındaki korelasyon gibi parametrelerin, paket erişim gecikmesi ve protokol verimliliği üzerine olan etkileri incelenmiştir.

Chen et al (1998), daha gerçekçi kaynak modelleri kullanarak literatürde bulunan KATM erişim protokollerinin (DQRUMA, E-PRMA, MDR TDMA, ALOHA/CDMA) karşılaştırmalı performans değerlendirmesini sunmaktadır. Mevcut MAC protokollerinin daha etkin olarak geliştirilmesini ve performans değerlendirme çalışmalarının gecikme, verimlilik ve gecikme değişimi gibi ölçütler üzerinde yoğunlaşmasını önermektedir.

Raychaudhuri (1999), gezgin ATM anahtarlama yapısının ve radyo erişim alt sisteminin tasarım aşamalarını anlatmıştır. Mevcut kablosuz/gezgin ATM sistemlerinin gelişimi ve standardizasyonu konusunda gelinen aşamaları kısaca özetleyerek kendileri tarafından geliştirilen Dinamik TDMA/TDD'ye dayalı KATM ağ modelini tanıtmıştır. KATM IP entegrasyonu ve gezgin çoklu ortam terminalleri/uygulamaları konularını ileride yapılmasını düşündüğü çalışmalar olarak önermiştir.

Yoon and Bahk (2001), TDMA'ya dayalı KATM ağlarda gerçek zamanlı trafikler için servis kalitesini garanti eden uyarlamalı bir MAC protokolü önermiştir. DLC katmanında iletim sırasında oluşan hataları düzeltmek için uyarlamalı bir FEC (Forward Error Control) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada, servis kalitesinin belirli oranlarda sağlandığını gösteren simülasyonlar yapılmıştır. Ayrıca, önerilen MAC protokolünün CDMA protokolüyle, desteklenen kullanıcı sayısı cinsinden, karşılaştırılması sunulmuştur.

Akyildiz et al (1999), kablosuz ağlarda çoklu ortam trafikleri için geliştirilen 3. nesil TDMA ve CDMA erişim tekniklerini kullanan MAC protokollerini karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Kablosuz ağlar için tanımlanan bu MAC protokollerinin avantajlarını ve dezavantajlarını sunmuştur.

Ertürk (2003) çalışmasında, CAN (Controller Area Network) uygulama trafiğini KATM üzerinden taşımak için kullanılan yeni bir yaklaşım önermiştir. OPNET yazılımını kullanarak gerçekleştirilen simülasyonlar CAN uygulama trafiklerinin KATM ile taşınabileceğinin yanı sıra ihtiyaç duyulan servis kalitesinin de sağlanabileceği gösterilmiştir.

Sanchez et al (1997), son zamanlarda geliştirilen ve çoklu erişim tekniği olarak TDMA'yı kullanan MAC protokollerini analiz ederek avantaj ve dezavantajlarını incelemiştir.

Wang and Chen (2001), TDMA/FDD tekniğini kullanan yeni bir kaynak güncelleme şemasına dayalı MAC tekniği önermiştir. Önerilen bu yeni şema ile VBR bağlantılara daha etkili hizmetler sunulması sağlanmıştır.

Gonzalez et al (2001), ATM/ALL2'nin patlama hatalı (burst error) kablosuz kanaldaki performansını analitik olarak incelemiştir.

1.2. Tez Çalışmasının Katkıları

Çoklu ortam uygulamaları gibi patlamalı trafikler, servis kalitesine (QoS) ihtiyaç duyarlar ve kablosuz ortamdaki uygulamalara servis kalitesi sağlanmış hizmetler sunulmasında en büyük görev kullanılan MAC protokolüne düşmektedir. MAC protokolü sınırlı bant genişliğine sahip kablosuz iletim ortamını kullanıcılar arasında etkin olarak paylaşmayı amaçlayan kurallar bütünüdür. Haberleşme ağlarında kullanılan çok sayıda MAC protokolü bulunmaktadır. Bu protokolleri sınıflandırmak üzere farklı kriterler kullanılır. KATM teknolojisi, klasik hizmetlerin yanı sıra çoklu ortam uygulamalarına servis kalitesi sağlanmış garantili hizmetler sunmayı amaçlamaktadır. İstek güdümlü paylaşırma yöntemini kullanan MAC protokolleri bu tür patlamalı trafikler için en uygun çözümdür (Hyon 2001).

Bu tez çalışmasında KATM sistemlerinde gerçek zamanlı çoklu ortam trafiklerinin gereksinim duydukları servis kalitesi garantisi ile transferine olanak sağlayan, TDMA/FDD tekniğine dayalı yeni bir MAC protokolü önerilmiştir. Önerilen bu yeni teknikte kullanıcı terminali, baz istasyonundan erişim kanalı istemek üzere veriş yönünde (uplink: terminalden baz istasyonuna) bir kontrol kanalına ihtiyaç duyar. Baz istasyonu ise bu istek doğrultusunda ilgili terminale ihtiyacı olan bant genişliğini mevcut olan kaynaklar çerçevesinde tahsis eder. Önerilen MAC protokolünün tasarımında OPNET Modeler™ simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Bu protokol kullanılarak, kablosuz ortamda, tüm servis sınıflarına (CBR, VBR, ABR, UBR) hizmet verilmesi sağlanmaktadır.

Bununla birlikte, önerilen yeni MAC protokolünü kullanan ağ cihazlarından oluşan bir KATM ağ uygulaması da yine OPNET Modeler yazılımı ile modellenerek, çoklu

ortam uygulamaları için değişik yük ve çalışma koşullarında simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları, KATM uygulaması ile benzer ağ ve çalışma koşullarına sahip bir IEEE 802.11b standart KLAN uygulaması sonuçlarıyla karşılaştırılarak performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Yapılan tez çalışmasının bilime kazandırdığı yenilikler ve katkı kısaca özetlenecek olursa:

- KATM ağlarda kullanılmak üzere, TDMA/FDD tekniğine dayalı yeni bir MAC protokolü önerilmiştir. Bu protokol, birbirini tamamlayan ve biri Bİ’de diğeri ise KT’de bulunan iki yeni algorithmadan oluşmaktadır.
- Slotların uygulamalara ayrılmasını sağlayan Slot Tahsis Tablosu (STT) yeni bir yaklaşım ile tasarlanmıştır.
- Uygulamalara, servis kalitesi garanti edilmiş hizmetler sağlamak üzere STT yönetim algoritmaları (scheduling algorithms) geliştirilmiştir (CBR, VBR, ABR, UBR, STT optimizasyon ve gecikme değişimi kontrol algoritmaları).
- KATM konusunda ileriye yönelik olarak yapılabilecek araştırma çalışmalarında referans olarak alınabilecek KATM simülasyon modeli gerçekleştirilmiştir.
- Gerçek zamanlı çoklu ortam uygulamalarının kablosuz ortamdan servis kalitesi garanti edilmiş olarak transferi sağlanmıştır.

1.3. Tez Organizasyonu

Bölüm 2’de bilgilerin elektronik ortamdan aktarılmasını sağlayan sayısal veri haberleşmesi ve bilgisayar ağları konularında temel bilgiler verilmiştir. Ayrıca, ATM teknolojisi hakkında temel kavramlara değinilerek B-ISDN mimarisini oluşturan katmanlar, servis sınıfları, ve servis kalitesinin sağlanmasında büyük önem taşıyan trafik sözleşmesi konularıyla ilgili bilgiler sunulmuştur.

Bölüm 3’de, kablosuz ağ yapılarından ve kablosuz ortamın sınırlamalarından bahsedilmiştir. ATM teknolojisinden esinlenerek ortaya çıkan ve ATM’nin kablosuz

uyarlaması olarak ifade edilen KATM teknolojisi genel hatlarıyla anlatılarak KATM ağ bileşenleri ve protokol yapısına değinilmiştir.

Bölüm 4’de haberleşme sistemlerinin modellenmesi ve simülasyonu ile ilgili teknikler hakkında genel bir bakış açısı sunulmuştur. Ayrıca, tez çalışmasına konu olan KATM sisteminin modellenmesinde ve simülasyonların gerçekleştirilmesinde kullanılan OPNET Modeler yazılımının çalışma prensibi ve bileşenleriyle ilgili temel bilgiler verilmiştir.

Bölüm 5’de, sınırlı bant genişliğini kablosuz terminallere paylaşdırmayı amaçlayan MAC protokollerine değinilerek, uygulamalara servis kalitesi garanti edilmiş hizmetler sunulabilmesi için MAC protokollerinin tasarımında dikkat edilmesi gereken konulara değinilmiştir. Ayrıca, KATM ağlarda yaygın olarak kullanılan MAC protokolleri hakkında bilgiler sunulmuştur. Yine bu bölümde, KATM ağı için tasarlanan ve gerçek zamanlı çoklu ortam trafiklerine ihtiyaçları olan servis kalitesi desteğini sağlayan, TDMA/FDD tekniğine dayalı yeni bir MAC protokolünün yapısı tanıtılmıştır. Ayrıca, bu yeni MAC protokolünün OPNET Modeler yazılımıyla gerçekleştirilen ayrıntılı tasarım aşamaları ve yönetim algoritmaları sunulmuştur.

Bölüm 6’da, önerilen MAC protokolünü kullanan örnek bir KATM çoklu ortam ağ uygulaması OPNET ile modellenerek değişik yük koşulları altında elde edilen simülasyon sonuçları sunulmuştur. Daha sonra bu sonuçlar, benzer ağ koşulları ve çalışma parametrelerine sahip IEEE 802.11b standardı KLAN simülasyon sonuçları ile karşılaştırılarak performans değerdendirmesi yapılmıştır.

Sonuçlar ve öneriler bölümünde, yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar genel hatlarıyla değerdendirilerek çalışmanın bilime ve endüstriye sağlayabileceği katkılar tartışılmıştır. Ayrıca, yeni tasarlanmış MAC protokolünü kullanan KATM sisteminin geliştirilmesine yönelik önerilerde bulunulmuştur.

BÖLÜM 2. SAYISAL VERİ HABERLEŞMESİ ve BİLGİSAYAR AĞLARI

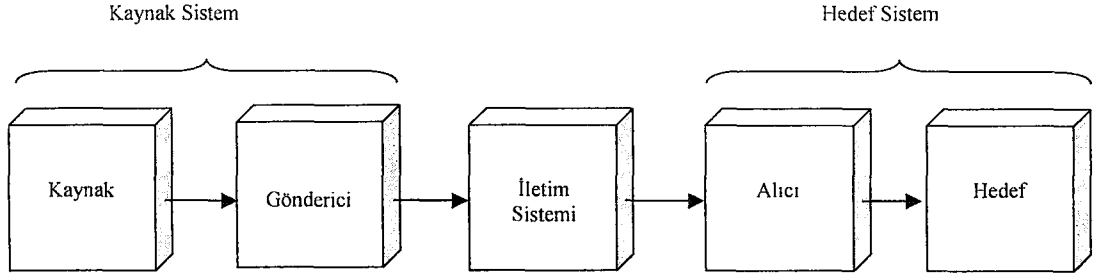
2.1. Giriş

Bilgi, donanım ve yazılım gibi kaynakların elektronik ortamda paylaşılmasını sağlayan bilgisayar sistemlerine bilgisayar ağları denir. Bilgisayar ağlarının yaygınlaşması kişisel bilgisayarların ortaya çıkışından sonra olmasına rağmen tarihçesi 1960'lara uzanmaktadır. 1980'lerin sonuna kadar pahalı kaynakların paylaşılması için düşünülen bilgisayar ağları, bu alandaki teknolojinin ilerlemesi ve maliyetlerin düşmesi sonucunda giderek yaygınlaşmış ve kullanım alanları genişlemiştir. Günümüzde, kişisel bilgisayarlardan yüksek işlem kapasiteli bilgisayarlara kadar çok sayıdaki bilgisayarı birbirine bağlamak için kullanılmaktadır.

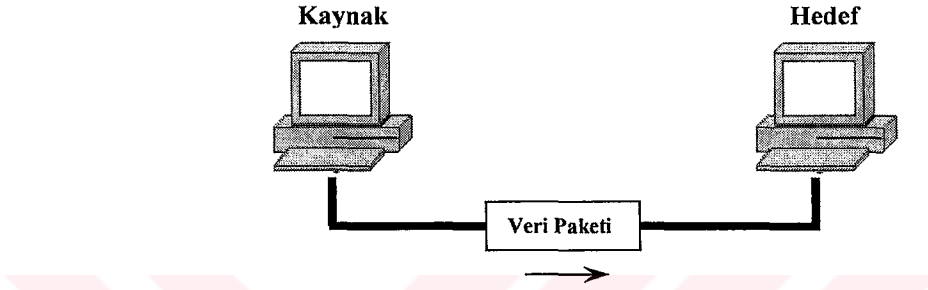
Bu bölümde, sayısal haberleşme sistemlerinde veri iletimiyle ilgili temel kavramlar ve kullanılan teknikler açıklanmaktadır. Bilgisayar ağları için standart kabul edilen OSI referans modeli kısaca tanıtarak bilgisayar ağlarında kullanılan topolojiler ve ara bağlaşım cihazları hakkında genel bilgiler verilmektedir. Ayrıca ATM teknolojisiyle ilgili temel kavramlar, B-ISDN mimarisi, ATM servis sınıfları ve trafik sözleşmesi konularına değinilmektedir.

2.2. Veri İletimi

Analog ya da sayısal bilgilerin bir noktadan diğer bir noktaya taşınmasına veri iletimi denir. Bu iletimi gerçekleştiren sistem de iletişim sistemi olarak adlandırılır. Şekil 2.1'de basit bir iletişim sisteminin genel blok diyagramı ve Şekil 2.2'de basit bir iletişim sistemi modeli görülmektedir. Sayısal iletim teknikleri, yüksek verimliliklerinin yanı sıra maliyetlerinin de düşük olması nedeniyle, analog iletim tekniklerine oranla daha yaygın olarak kullanılırlar (Halsal 1996).



Şekil 2.1. Basit bir iletişim sisteminin genel blok diyagramı.



Şekil 2.2. Basit bir iletişim sistemi modeli.

İletişim sistemlerinde kullanılan temel kavramlar ve açıklamaları takip eden satırlarda verilmektedir:

- **Kaynak:** İletilecek olan verilerin üretildiği cihazlardır. Bilgisayar, telefon ve faks kaynaklara örnek olarak gösterilebilir.
- **Gönderici:** Kaynak tarafından üretilen veri genellikle doğrudan gönderilemez. Bu veriler gönderici tarafından başka formlara dönüştürülerek ya da kodlanarak iletim ortamına aktarılır.
- **İletim Ortamı:** Kaynak ile hedefi bağlayan basit bir iletim hattı ya da büyük bir ağ olabilir. Kablosuz haberleşme sistemleri iletim ortamı olarak havayı kullanırlar.
- **Alıcı:** İletim ortamından gelen veri paketlerini alarak hedef cihazın anlayabileceği forma dönüştürür.
- **Hedef:** Alıcı tarafından gelen veriyi kullanır.
- **Veri Paketi:** Haberleşme ağı üzerinden taşınan bilgilere veri, paket ya da veri paketi denir.

- Protokol: Veri paketlerinin kaynaktan hedefe aktarılabilmesi için alıcı ve vericinin kullanılan işaretler, veri biçimleri ve verinin değerlendirme yöntemleri üzerinde anlaşması gereklidir. Bu anlaşmayı sağlayan kurallar dizisine protokol denir. İnternet ortamında veri paketlerinin taşınmasında yaygın olarak kullanılan TCP/IP protokolü örnek olarak verilebilir.

2.2.1. İletişim modları

İletişim sistemini, kaynaktan hedefe doğru iletilen verinin yönüne göre karakterize eden üç ayrı yöntem bulunmaktadır. Bunlar; simpleks (tek yön), yarı dubleks (yarı çift yön) ve tam dubleks (tam çift yön) yöntemlerdir. Simpleks yöntemde veri sadece bir yönde iletilir. Yarı dubleks yöntemde veri, farklı zamanlarda olmak koşuluyla her iki yönde de iletilir. Tam dubleks yöntemde ise veri, aynı anda her iki yönde de iletilir. Tam dubleks iletişim, karşılıklı çalışan bir çift simpleks iletişim yöntemi olarak düşünülebilir.

2.2.2. İletim modları

Verilerin kaynaktan hedefe gönderilmesinde iki tür iletim yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar, eşzamanlı (synchronous) ve eşzamansız (asynchronous) iletim yöntemleridir.

Eşzamansız iletim yöntemi, gönderici ve alıcının ayrı saat işaretleri kullandıkları iletim şeklidir. Mesajların klavye benzeri aygıtlarla üretildiği uygulamalarda kullanılır. Bu iletim yönteminde gönderilecek bilgi karakter adı verilen bloklara ayrılır. Her bir karakter içerisinde başlangıç ve bitiş bitleri bulunur. Başlama ve bitiş bitleri, alıcı tarafında eşzamanlamayı sağlamak amacıyla kullanılır. Buradaki eşzamanlama gereksinimi, karakterler arasında geçen zamanın bilinmemesinden kaynaklanmaktadır. Eşzamansız iletim yöntemi genel olarak, iletilecek karakterler arasındaki zaman aralığının belli olmadığı durumlarda kullanılır.

Eşzamanlı iletim yöntemi genellikle büyük veri bloklarının iletilmesinde kullanılır. Bu yöntemde karakterleri ayıran başla ve dur bitleri kullanılmaz. Gönderilecek veri blokları çerçeveler halinde iletilmektedir. Her çerçeve başlangıç biti ile başlar ve

bitiş bitleri ile sona erer. Başlangıç ve bitiş bitleri birden çok karakter için kullanıldığından eşzamanlı iletim, eşzamansız iletme göre çok daha etkin bir iletim yöntemidir. Ayrıca, yüksek hızda üretilen verilerin iletimi için çok daha uygundur. Senkronizasyon için ayrı bir iletim hattı kullanılabildiği gibi saat işareti, veri ile modüle edilerek de gönderilebilir (Örencik ve Çölkesen 2002).

2.2.2.1. Paralel iletim

Kaynak sistemden hedef sisteme aktarılacak verilerin birden fazla iletim hattı kullanılarak taşınmasına paralel iletim denir. İletimi kontrol etmek için veri hatlarına ek olarak hazır, istek v.b. kontrol hatlarına da ihtiyaç duyulur. Paralel iletim genellikle aynı kart içerisindeki modüller ve birbirine yakın cihazlar arasındaki iletişimde kullanılır. Örnek olarak, bir bilgisayarın ana kartındaki mikroişlemci ile ana belleğin iletişimi ya da bir yazıcının bilgisayar ile haberleşmesi gösterilebilir.

2.2.2.2. Seri iletim

Kaynak sistem ile hedef sistem arasındaki iletişim tek bir iletim hattı üzerinden yapılıyorsa bu iletme, seri iletim denir. Bilgisayar ağları üzerinden bilgi aktarımı seri iletim ile gerçekleştirilir. Eşzamanlı (synchronous) seri iletim ve eşzamansız (asynchronous) seri iletim olarak adlandırılan iki değişik şekli vardır.

2.2.3. Veri iletim teknikleri

Kaynaktan hedefe bilgi iletimi, başlıca iki farklı yöntem kullanılarak yapılır. Bunlar; anahtarlama (switching) ve yayın (broadcasting) yöntemleridir. Anahtarlama yöntemi kullanılan ağlarda veri paketleri kaynaktan hedefe ulaşana kadar çok sayıda ara anahtarlama düğümünden geçer. Anahtarlama yöntemi olarak devre anahtarlama ya da paket anahtarlama teknikleri kullanılmaktadır.

Devre anahtarlama tekniğinde, alıcı ile verici arasında iletişim süresince bağlı kalan bir devre kurulur. İletişime başlanmadan önce bu devrenin kurulması ve iletişim biter bitmez sonlandırılması gerekmektedir. Devre anahtarlamanın avantajı, bağlantı bir

defa kurulduktan sonra haberleşmenin gecikmesiz olarak sürdürülebilmesidir. Dezavantajı ise, kurulmuş olan bağlantının her zaman yeterince kullanılamamasıdır. Genellikle telefon haberleşmesinde devre anahtarlama ağı kullanılmaktadır.

Paket anahtarlama tekniği, eski bir teknik olan mesaj anahtarlamanın geliştirilmiş bir şeklidir. Paket anahtarlama tekniğinde, her veri paketi içerisinde kaynak ve hedefin adres bilgilerini içeren bir başlık (header) bulunur. Paketler, önceden herhangi bir ön yönlendirme yapılmaksızın ağa gönderilir ve ağ içerisinde kaynaktan hedefe ulaşana kadar “sakla ve aktar” prensibiyle iletilir. Paket herhangi bir düğüme geldiğinde öncelikle hata kontrolü yapılır ve içerisinde hata bulunanlar dikkate alınmaz. Eğer pakette hata yoksa diğerleriyle birlikte sıraya konular ve bir sonraki düğüme aktarılır. Düğümler “yönlendirme algoritması” olarak adlandırılan ve paketlerin hangi düğüme aktarılacağına karar veren gelişmiş bir algoritma kullanır. Paket anahtarlama yöntemindeki en büyük sorun, iletim gecikmesinin çok fazla olabilmesidir. Kısa paketler uzun paketlerin arkasında çok uzun süre beklemek durumunda kalabilmektedirler. Dolayısıyla bu teknik gerçek zamanlı uygulamalar için uygun değildir (Oral 1998).

Paket anahtarlama tekniğinde, transfer edilecek veriler paket olarak adlandırılan parçalara bölünür. Paket anahtarlama, genellikle veri trafiklerinin aktarılmasında kullanılır ve bu tür trafikler için devre anahtarlama yöntemine göre ağın daha verimli kullanılmasını sağlar. KATM sistemin temelini oluşturan ATM teknolojisi, paket anahtarlama ve devre anahtarlamanın olumlu yönlerini kullanarak tüm trafik türlerinin aynı ortamdan aktarılmasına imkan verir.

Yayın (broadcast) tekniğini kullanan ağlarda ise ara anahtarlama noktaları bulunmaz. Bir kullanıcının aldığı bütün bilgileri diğer kullanıcılar da alır. Bu yöntemi kullanan ağlara örnek olarak yerel alan ağları (LAN, Local Area Network) gösterilebilir.

2.2.4. Çoklama (Multiplexing)

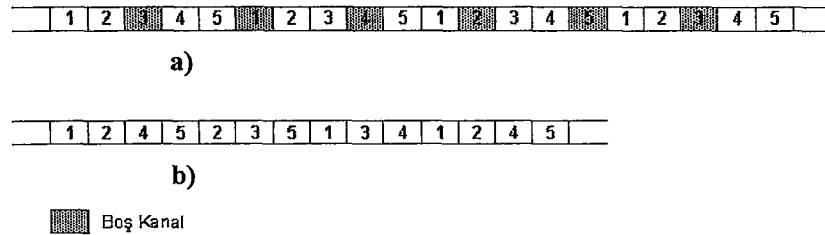
Çok sayıda kullanıcının tek bir iletim hattını paylaşarak kullanmasına çoklama denir. Uygulamaların çoğunda bir haberleşme bağlantısı, tek bir kullanıcının

gereksiniminden daha fazla kapasiteye sahiptir. Bu nedenle, bağlantıların çoklanarak kullanılması daha uygun olmaktadır. Çoklama, frekans veya zaman aralığında yapılabilmektedir. Frekans aralığında yapılan çoklamaya Frekans Bölmeli Çoklama (Frequency Division Multiplexing, FDM), zaman aralığında yapılan çoklamaya ise Zaman Bölmeli Çoklama (Time Division Multiplexing, TDM) denir.

FDM tekniğinde toplam bant genişliği bağımsız frekans kanallarına bölünür. Her kullanıcı kendine ait frekans kanalını kullanır. Böylelikle aynı iletim ortamına, aynı anda, çok sayıda kullanıcı tarafından erişilmiş olur.

TDM tekniğinde ise iletim zamanı, her biri eşit zaman aralığına sahip slotlara bölünmektedir. Her kullanıcı kendisine tahsis edilmiş slot zamanı içerisinde verisini iletir. Alıcı tarafta ise veri paketleri, bu zaman aralıklarına göre tekrar çözülür ve ilgili alıcıya yönlendirilir.

Slotların zaman aralıkları eşit olduğundan, TDM tekniği genel olarak eşzamanlı TDM olarak bilinir. Bu teknikte, kullanıcılara tahsis edilen slotlardan gönderilecek bilgi olmadığı durumlarda dahi başka bağlantılar faydalanamaz. Dolayısıyla, bağlantı her zaman etkin olarak kullanılamaz. Bu olumsuzluğun ortadan kaldırılması için istatistiksel çoklama (eşzamansız TDM) tekniği kullanılmaktadır. Genel olarak paket anahtarlamada kullanılan bu teknikte, her kullanıcıya önceden slot ayırmak yerine sadece aktif kullanıcılar için slot ayrılır. Aktif kullanıcının gönderdiği her pakette bir başlık (header) bulunur. Bu başlıkta hedefin adres bilgisi bulunduğundan çözücü, gelen paketleri adreslerine göre yönlendirir. İstatistiksel çoklama yönteminin eşzamanlı TDM yöntemiyle karşılaştırılması Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. a) Eşzamanlı TDM tekniği, b) İstatistiksel çoklama.

2.2.5. Bant genişliği

Bant genişliği, verilen bir zamanda kaynaktan hedefe ne kadar bilgi iletilebileceğinin ölçüsüdür (Cisco 2001). Bant genişliğinin ölçü birimi “bps”dir (bit per second, bit/saniye). Tüm haberleşme sistemleri için ortak olarak tanımlanan bu terim, sistemlerin kapasitesini ifade etmek için kullanılır. Tablo 2.1’de bant genişliğinin birimleri listelenmiştir.

Tablo 2.1. Bant genişliği birimleri.

Bant Genişliği Birimi	Kısa Ad	Eş Değeri
Bit per second	bit/s	Temel bant genişliği birimi
Kilobits per second	Kbit/s	1 Kbit/s= 10^3 bps
Megabits per second	Mbit/s	1 Mbit/s= 10^6 bps
Gigabits per second	Gbit/s	1 Gbit/s= 10^9 bps

Bant genişliğinin fiziksel ve kullanılan teknolojilerden kaynaklanan sınırları vardır. Tablo 2.2’de bazı ortamların destekledikleri bant genişliği/uzaklık değerlerinin listesi verilmektedir (Cisco 2001). Tablo 2.3 ise, farklı geniş alan ağ (WAN, Wide Area Network) servislerini ve bu servislerin bant genişliklerinin listesini göstermektedir (Cisco 2001).

Tablo 2.2. Bazı ortamların bant genişliği uzaklık değerleri.

İletim Ortamı	Bant Genişliği	Fiziksel Uzaklık
50-Ohm Coaxial Kablo (Ethernet 10BASE2, ThinNet)	10-100 Mbit/s	185 m
50-Ohm Coaxial Kablo (Ethernet 10BASE5, ThickNet)	10-100 Mbit/s	500 m
Catagory 5 UTP (Ethernet 10BASE-T)	10 Mbit/s	100 m
Catagory 5 UTP (Ethernet 100BASE-TX) (Fast ethernet)	100 Mbit/s	100 m
Multimode Fiber Optik 100BASE-FX	100 Mbit/s	2000 m
Singlemode Fiber Optik 1000BASE-LX	1000 Mbit/s	3000 m
Kablosuz Ortam	11 Mbit/s	Bir kaç yüz metre

Tablo 2.3. WAN servislerinin bant genişliği değerleri.

WAN Servisi	Kullanıcılar	Bant Genişliği
Modem	Kişisel kullanıcılar	56 Kbit/s
ISDN	Küçük kuruluşlar	128 Kbit/s
Frame-Relay	Okullar, orta ölçekli kuruluşlar	56 Kbit/s-1,544 Mbit/s
T1	Daha büyük kuruluşlar	1,544 Mbit/s
T3	Daha büyük kuruluşlar	44,736 Mbit/s
E1	Büyük kuruluşlar	2,048 Mbit/s
E3	Daha büyük kuruluşlar	34,368 Mbit/s
STS-1 (OC-1)	Telefon şirketlerinin omurgaları	51,840 Mbit/s
STS-3 (OC-3)	Telefon şirketlerinin omurgaları	155,251 Mbit/s
STS-48 (OC-48)	Telefon şirketlerinin omurgaları	2,488320 Gbit/s

2.3. Bilgisayar Ağları

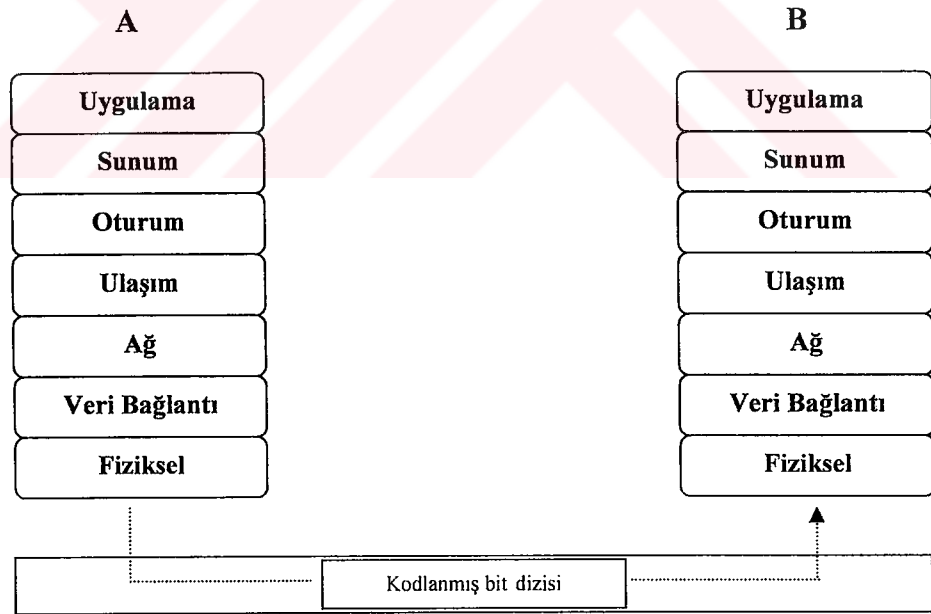
2.3.1. OSI referans modeli

OSI (Open Systems Interconnections) referans modeli, ISO (International Standards Organization) tarafından geliştirilen ve bilgisayar veri haberleşmesi sırasında yapılması gereken tüm işlemleri katmanlar düzeyinde tanımlayan örnek bir modeldir. Bilgisayarlar arası iletişimin başladığı ilk günlerden itibaren, farklı bilgisayar sistemlerinin birbirleriyle haberleşmesi daima en büyük problemlerden birisi olmuş ve bu sorunun üstesinden gelebilmek için uzun yıllar boyunca çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda 1984 yılında OSI referans modeli tanımlanmıştır. Bu model sayesinde değişik firmaların ürettikleri bilgisayarlar arasındaki iletişim yöntemlerini bir standarda oturtmak ve farklı standartlar arası uyumsuzluklar nedeniyle ortaya çıkan iletişim sorunlarını ortadan kaldırmak hedeflenmiştir.

OSI referans modelinde, iki bilgisayar sistemi arasındaki iletişimi sağlamak için her biri farklı ağ işlevini yerine getiren yedi katmanlı bir ağ sistemi önerilmiştir (Şekil 2.4). Her katman için belirli fonksiyonlar ve servisler tanımlanmıştır. Kaynaktaki ya da hedefteki katman, karşı tarafta bulunan aynı düzeydeki katman ile iletişim kurar.

Her katman kendisine komşu olan katmanlardan işlevsel olarak bağımsızdır. Örneğin; ağ katmanı için tanımlanmış herhangi bir protokol, diğer katmanların işleyişini değiştirmeden başka bir ağ katmanı protokolüyle yer değiştirebilir. Bilgisayar ağlarını bu şekilde yedi parçaya bölmenin bir çok avantajı vardır (Cisco 2001):

- Ağ haberleşmesi daha küçük, daha basit parçalara ayrılır.
- Ağ bileşenleri standartlaştırılarak çok sayıda üreticiler tarafından geliştirilmesi ve desteklenmesi sağlanır.
- Farklı ağ donanımlarının ve yazılımlarının birbirleriyle haberleşmesine olanak sağlanır.
- Bir katmandaki değişikliklerin diğer katmanları etkilemesi önlenerek hızlı bir şekilde gelişmeleri sağlanır.
- Ağ haberleşmesi daha küçük parçalara bölünerek öğrenilmesinin daha kolay ve anlaşılır olması sağlanır.



Şekil 2.4. OSI referans modeli katman yapısı.

Uygulama Katmanı (Application Layer): Uygulama programlarının ağa erişimi için gerekli işlevleri kapsar. Kullanıcılara, OSI çerçevesinde elektronik posta, veri tabanı, dosya transferi gibi hizmetler sağlar. Ağ yönetimi istatistikleri, arıza ve benzeri

durumların izlenmesi v.b. işlemler de bu katman yazılımları ile gerçekleştirilebilir. Kullanıcıya en yakın olan katmandır. İnternet tarayıcıları, kelime işlemciler, banka terminali programları v.s. bu katmanda çalışırlar.

Sunum Katmanı (Presentation Layer): Bilginin iletiminde kullanılacak biçimin düzenlenmesini sağlar. Sıkıştırma/açma, şifreleme/şifre çözme, EBCDIC–ASCII dönüşümü ve ters dönüşümü gibi işlevlerin yerine getirilmesini sağlar. Sunum ve uygulama katmanları bilginin son halini almasına ve uç sistemdeki standartlara uyumlu hale getirilmesine yardımcı olurlar.

Oturum Katmanı (Session Layer): Uç düğümler arasında gerekli olan oturumun kurulması, yönetilmesi ve sonlandırılması işlerini kapsar. Bir uç istasyonda uygulamaların birden çok kez çalıştırılabilmesi bu katman tarafından sağlanır. Örneğin; aynı web sayfasına aynı anda iki defa bağlanması durumunda bilgilerin birbirine karışmasını önlemek bu katmanın görevidir.

Ulaşım Katmanı (Transport Layer): Bilginin, son alıcıda her türlü hatalardan arındırılmış olarak elde edilebilmesini sağlar. Oturum katmanından aldığı mesajı, aşağıdaki katmanlar tarafından kabul edilebilecek dilimlere (segment) ayırır. Alıcı tarafta ise parçalar halinde gelen bu mesajı sıralı bir şekilde birleştirir. Bunlara ek olarak, hatalı olarak gelen paketlerin yeniden talep edilmesi de bu katmanın görevidir.

Ağ Katmanı (Network Layer): Veri paketlerinin yönlendirilerek alıcısına ulaşmasını sağlayan işlevlere sahiptir. Veri paketinin alıcısına giderken ağ koşullarına, önceliklere ve diğer parametrelere göre hangi yolun uygun olacağı bu katmanda değerlendirilir. Yönlendirme protokolleri ağ katmanında çalışır.

Veri Bağlantı Katmanı (Data Link Layer): Fiziksel adresleme, ağ topolojisi, hata ve akış denetimi gibi işlevler bu katmanda gerçekleştirilir. Veriler gönderilirken hata denetim bitlerinin eklenmesi, alıcı tarafta hatanın sezilerek düzeltilmesi, hatanın düzeltilmediği durumlarda verinin yeniden gönderilmesinin sağlanması veri bağlantı katmanının görevidir. Köprü ve anahtar cihazları bu katmanda çalışır.

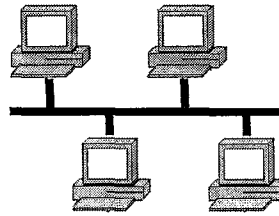
Fiziksel Katman (Physical Layer): Verinin fiziksel olarak bir haberleşme kanalı üzerinden aktarılması için gerekli olan işlevleri kapsar. Bu katman ağın elektriksel ve fiziksel karakteristiklerini belirler. Modülasyon teknikleri, çalışma voltajı, çalışma frekansı v.b. özellikler fiziksel katmanda belirlenir.

2.3.2. Ağ topolojileri

Ağ topolojisi, haberleşme sistemini oluşturan bileşenlerin ara bağlaşımını, sistemin işlevini ve coğrafi konum açısından şeklini belirler. Coğrafi konuma göre iletişim sistemleri LAN (yerel alan ağı) ve WAN (geniş alan ağı) olarak ikiye ayrılır. Topoloji, iletim ortamının gerçek şeklini belirleyen fiziksel topoloji ve ağ cihazları tarafından ortama nasıl erişildiğini tanımlayan mantıksal topoloji olarak iki bölüme ayrılır (Cisco 2001).

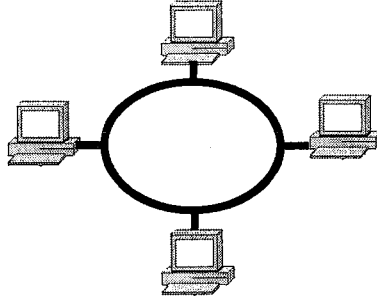
Ortak yol (bus), halka (ring), yıldız (star), genişletilmiş yıldız (extended star), hiyerarşik (hierarchical) ve örgü (mesh) sıkça kullanılan fiziksel topolojilerdir. Hiyerarşik ve örgü topolojileri genellikle geniş alan ağlarında kullanılırken, diğer topolojiler yerel alan ağlarında kullanılır.

Ortak yol topolojisinde, ağa bağlı tüm düğümler aynı iletim ortamını kullanır ve birbirlerine doğrudan bağlıdır (Şekil 2.5).



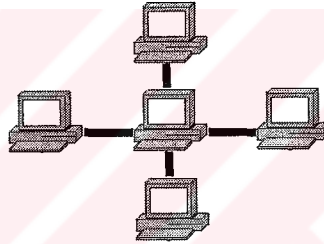
Şekil 2.5. Ortak yol topolojisi.

Halka topolojisi, ağ üzerindeki düğümleri halka oluşturacak şekilde birbirlerine bağlar (Şekil 2.6).



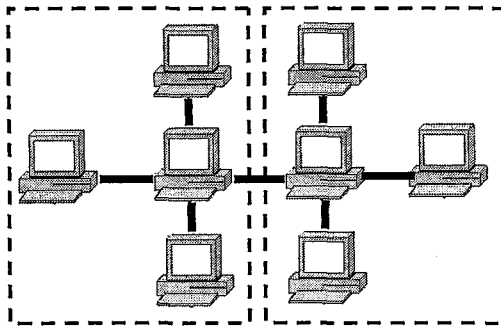
Şekil 2.6. Halka topolojisi.

Yıldız topolojide, ağda bulunan düğümlerin tamamı merkezi noktada bulunan bir cihaza bağlıdır. Bu cihaz, genellikle bir “hub” ya da bir anahtar (switch) olabilir (Şekil 2.7).



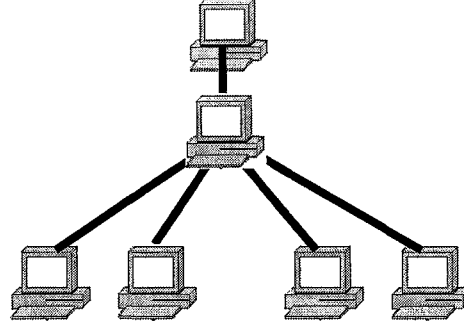
Şekil 2.7. Yıldız topolojisi.

Genişletilmiş yıldız topoloji, yıldız topolojilerin birbirlerine bağlanmış şeklidir. Yıldız topolojiyi oluşturan “hub”lar ya da anahtarlar (switch) birbirlerine bağlanarak genişletilmiş yıldız topoloji oluşturulur (Şekil 2.8).



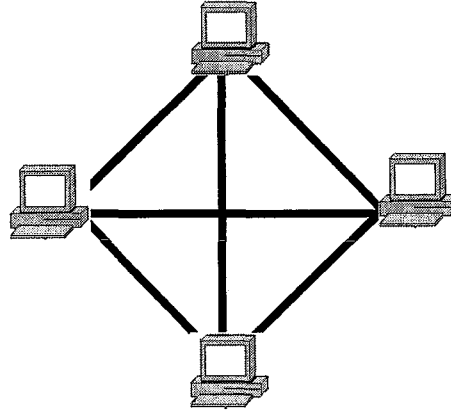
Şekil 2.8. Genişletilmiş yıldız topolojisi.

Hiyerarşik topolojide, veri yönetim ve işleme sorumluluğu farklı olan sistemler sorumluluk düzeyine göre sıralanarak hiyerarşik bir yapı oluşturur. Bu topoloji genişletilmiş yıldız topolojisine benzerlik gösterir. Farklı olarak, “hub”ların ya da anahtarların (switch) birbirine bağlanması yerine sistemler, topolojide trafiği kontrol eden bir bilgisayara bağlanır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Hiyerarşik topoloji.

Örgü topolojisinde, sistemlerin birbirlerine bağlanması için çoğunlukla bir organizasyon ya da fiziksel bir şekil yoktur. Her bir bilgisayarın diğer bilgisayarlarla haberleşmesini sağlayan kendine ait bağlantıları vardır. İnternet de bu yapıda bir topolojiye sahiptir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Örgü topoloji.

En yaygın mantıksal topolojiler ise, yayın (broadcast) ve jeton geçirme (token-passing) topolojileridir. Yayın topolojisinde her bir bilgisayar veri paketlerini ağ ortamındaki diğer tüm bilgisayarlara gönderir. Ağı kullanmak için herhangi bir düzen

ya da kural yoktur. Haberleşme kanalını boş bulan ilk bilgisayar kullanabilir. LAN'larda sıkça kullanılan Ethernet ağlar bu mantıksal topolojiye sahiptirler.

Jeton geçirme topolojisinde, ağ içerisinde jeton adı verilen bilgi bitleri dolaşır ve jetonu ele geçiren bilgisayar ağa erişim hakkına sahiptir. Jetonu elde eden bilgisayarda gönderecek veri yoksa, jeton bir sonraki bilgisayara geçer ve bu işlemler periyodik olarak tekrarlanır.

2.3.3. Yerel alan ağları (LAN)

Yakın mesafede bulunan ağ cihazlarının birbirleriyle haberleşmelerini sağlamak amacıyla kullanılan ağlardır. Yerel alan ağları özetle şunları yapmak için tasarlanmışlardır:

- Yakın mesafeli alanlarda çalışmak,
- Çok sayıda kullanıcının yüksek bant genişliğine sahip ortama erişmesine izin vermek,
- Yerel servislere tam zaman bağlantı sağlamak ve
- Komşu cihazları birbirlerine bağlamak.

Ethernet, jetonlu halka, FDDI ve ATM teknolojileri uygulamaya bağlı olarak seçilebilecek LAN teknolojileridir. Maliyet açısından uygun olduğu için Ethernet en sık kullanılan LAN teknolojisidir. Ağın büyüklüğü arttıkça LAN omurga kurulmasında ATM ve FDDI teknolojileri kullanılabilirlerdir.

2.3.4. Geniş alan ağları (WAN)

Birbirinden uzak olan sistemlerin haberleşmesinde yerel alan ağları yetersiz kaldığı için nispeten daha büyük olan WAN'lar kullanılmaktadır. WAN'lar, LAN'ların birbirlerine bağlanmasını sağlayarak haberleşmeyi daha geniş bir alana yayar. Yaygın olarak kullanılan WAN teknolojileri:

- ISDN (Integrated Services Digital Network),

- DSL (Digital Subscriber Line),
- Frame Relay,
- ATM (Asynchronous Transfer Mode),
- T (US) ve E (Europe) Taşıyıcı Serileri (T1, E1, T3, E3, v.b.) ve
- SONET (Synchronous Optical Network).

Tablo 2.4’de ağların çalışma mesafelerine göre sınıflandırılması görülmektedir (Cisco 2001).

Tablo 2.4. Haberleşme ağlarının çalışma mesafeleri.

İşlemciler Arasındaki Mesafe	İşlemcilerin Bulunduğu Yer	Adı
0,1 m	Baskı devreler	Ana kart
10 m	Oda	LAN
100 m	Bina	LAN
1000 m	Kampus	LAN
100 km	Ülke	WAN
1000 km	Kıta	WAN
10.000 km	Dünya	WAN
100.000 km	Dünya–Ay sistemi	WAN

2.3.5. Ağ bağlantı cihazları

Haberleşme ağlarında bulunan terminalleri birbirlerine bağlamak için her biri farklı işlevlere sahip ağ arabirim kartı, tekrarlayıcı, “hub”, köprü, anahtar, yönlendirici, geçityolu ve modem gibi cihazlar kullanılır.

Ağ Arabirim Kartı (Network Interface Card, NIC): LAN içerisinde bulunan uç sistemleri ağa bağlamak için kullanılır. Üzerlerinde tüm dünyadaki ağ kartlarında tek olan ortam erişim kontrolü (Medium Access Control, MAC) adresine sahip olduklarından, OSI referans modelinin ikinci katmanında çalışan bir cihaz gibi düşünülebilir. Her LAN teknolojisi için farklı yapıya sahip ağ arabirim kartları bulunmaktadır.

Tekrarlayıcı (Repeater): Ağ içerisindeki sinyallerin daha uzun mesafelere iletilebilmesi amacıyla güçlendirilmesini sağlar. Tekrarlayıcının tek girişi ve tek

çıkışı vardır. Sadece bit düzeyinde işlem yapar ve başka bilgi kullanmaz. Bu nedenle, OSI referans modelinin birinci katmanında çalışır.

“Hub”: Tekrarlayıcı ile benzer bir işleve sahiptir. Tekrarlayıcıdan farkı ise çok sayıda bağlantı noktasının (portunun) olmasıdır. OSI referans modelinin birinci katmanında çalışır.

Köprü (Bridge): İki LAN segmentini birbirine bağlamak için kullanılır ve OSI referans modelinin ikinci katmanında çalışır. Tekrarlayıcıdan farklı olarak, trafiği tüm cihazlar yerine ilgili düğüme yönlendirir. Yönlendirme işlemi köprü içerisindeki düğüm MAC tablosuna bakılarak yapılır.

Anahtar (Switch): Anahtar da köprü gibi OSI referans modelinin ikinci katmanında çalışan bir cihazdır. Çok portlu köprü gibi düşünülebilir. “Hub”a benzer bir yapıyla birlikte, farklı olarak, trafiği tüm cihazlar yerine ilgili düğüme yönlendirir.

Yönlendirici (Router): Herhangi bir türdeki bilgisayarın, dünyanın herhangi bir yerindeki bir başka bilgisayar ile haberleşmesine imkan veren cihazdır. Farklı ağ yapılarını birbirine bağlayan yönlendirici, OSI referans modelinin üçüncü katmanında çalışır.

Geçityolu (Gateway): Farklı ağları birbirlerine bağlamak için kullanılır. OSI referans modelindeki tüm katmanların fonksiyonlarını icra edebilen cihazdır.

Modem: Bilginin PSTN (Public Switched Telephone Network) iletim hatlarında taşınabilmesi için frekanslarının değiştirilmesi (400–3400 Hz) gereklidir. Bilgiyi iletim için uygun şekilde kodlayan ve alıcı tarafta tersi işlem yaparak gerçek sinyalin elde edilmesini sağlayan cihazlara modem denir.

2.4. ATM (Asynchronous Transfer Mode)

Kablolu ortamda tüm trafik sınıflarına servis kalitesi garanti edilmiş hizmetler sunabilen ve B-ISDN (Broadband Integrated Services Digital Network) için standart

olarak kabul edilen ATM; ses, veri ve video gibi farklı karakteristiklere sahip trafiklerin, aynı ortamdan aktarılmasına imkan veren, bağlantı yönelimli, yüksek hızlı anahtarlama ve çoklama teknolojidir. Paket anahtarlama ve devre anahtarlama tekniklerinin üstün yönleri kullanılarak, birbirinden farklı özelliklere ve gereksinimlere sahip tüm trafik türlerinin aynı ortam üzerinden etkin bir şekilde taşınmasına imkan vermesi nedeniyle, diğer ağ teknolojilerinden oldukça farklıdır (Pandya and Şen 1999, Pildush 2001, Ertürk ve Özcerit 2002).

Paket anahtarlamanın istatistiksel çoklama özelliğinden faydalanılarak mevcut bant genişliğinin verimli olarak kullanılması sağlanır. Devre anahtarlamanın bağlantı yönelimli olma özelliği kullanılarak ise hücre iletim gecikmesinin tahmin edilebilir olması temin edilir. Ayrıca hücrelerin sabit boyutta olması ve veri iletiminden önce kaynak ile hedef arasında sanal bir devrenin kurulması sayesinde, hücre anahtarlama işleminin donanım seviyesinde gerçekleştirilebilmesi mümkün olur. Böylece, veri iletiminin yüksek hızlarda gerçekleştirilebilmesi sağlanır (Pandya and Şen 1999).

ATM, veri iletimi için eşzamansız iletim modunu kullanır. Bir sanal bağlantıyla ilgili veri iletimi sadece gönderilmesi gereken veri var ise gerçekleştirilir. Eşzamanlı iletim modunda ise herhangi bir bağlantı için sabit bant genişliği ayrıldığından, bu bağlantıyla ilgili gönderilecek veri olmasa dahi tahsis edilen bant genişliği başka uygulamalar tarafından kullanılamaz.

Eşzamanlı iletim modunda, kaynak sistem verisini periyodik çerçeveler halinde gönderir. Her çerçeve içerisinde özel uygulamalar için ayrılmış zaman aralıkları (slot) bulunur. Uygulama tarafından gönderilecek veri olmadığı durumlarda bu zaman aralığı başka uygulama tarafından kullanılamaz. Ayrıca eşzamanlı iletim modunda patlamalı trafikler için dinamik zaman aralıkları tahsis etmek de oldukça zordur.

ATM teknolojisinde ise eşzamanlı iletim modundaki gibi bir çerçeve yapısı yoktur. Bilgiler hücre olarak adlandırılan sabit boyutlu paketlerle taşınır. Kullanıcı bilgi göndereceği zaman bant genişliği ihtiyacına göre istediği kadar hücre gönderebilir. Böylece eşzamanlı işletim modundaki bant genişliğinin dinamik olarak ayrılabilmesi

problemi ortadan kalkar. Ayrıca, trafik ve tıkanıklık kontrol mekanizmaları sayesinde servis kalitesi desteği de sağlanır.

ATM, kamu ve özel ağlardan oluşan geniş alan ağlarında kullanıldığı gibi, yerel alan ağlarında da kullanılabilir. Mevcut ağ protokolleriyle uyumlu olduğundan, kullanılan sistemler uygun bir maliyetle ATM ağlarına dönüştürülebilir.

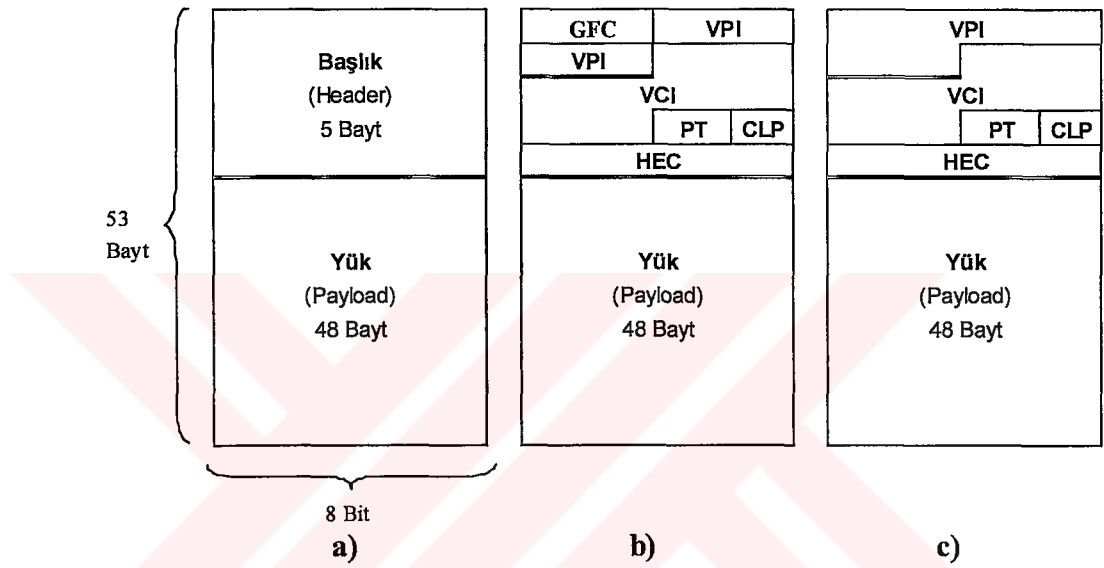
Paket anahtarlama yöntemiyle çalışan protokolleri kullanan sistemler genellikle, bit iletim hızı ihtiyacı zamanla değişen veri trafikleri için kullanılır ve gecikmeye duyarlı trafik türleri için uygun değildir. ATM, devre anahtarlama özelliği ve sabit boyutlu hücre yapısı sayesinde, gecikmeye duyarlı servisler için de kullanılabilir. Sabit boyutlu hücreler anahtarlama işleminin donanım seviyesinde gerçekleştirilebilmesini sağladığından, gelen hücreler anahtarların girişlerinden çıkışlarına çok hızlı iletilebilirler. Böylece anahtarlama gecikmesinin oldukça düşük bir değerde tutulması sağlanabilir.

Genel olarak, paket anahtarlama ağlarda veri paketleri, değişik yönlendirme algoritmalarının yardımıyla ağ katmanı başlık bilgilerine bakılarak hedefe iletilir. Böyle bir veri iletim işlemi oldukça karışıktır ve özellikle gecikmeye duyarlı uygulamaların gereksinimlerini karşılayacak yeterlilikte değildir. ATM'de üçüncü katman başlık bilgisi yerine ATM katmanındaki VPI (Virtual Path Identifier) ve VCI (Virtual Channel Identifier) değerlerinden oluşan daha küçük boyuttaki etiket (label) yapısı kullanılır. 24 bitten oluşan bu etiket hedef terminalin adresini taşımaz ve etiketlerin anahtarlar ile yönlendirilmesi oldukça hızlıdır. Veri iletiminden önce hedef sistemle sanal bir bağlantı kurulduğundan, aynı bağlantıya ait hücreler hep aynı yönü izlerler ve böylece hücrelerin yol bulmasına gerek kalmaz.

ATM sistemlerin fiber optik gibi güvenilir ortamlarda çalışacağı öngörüldüğünden, hücredeki veriler için hata ve akış kontrolü kullanılmaz. Bu özellik de veri iletim hızını artıran önemli etkenlerden biridir (Falkner 1996).

2.4.1. ATM hücre yapısı

ATM ağlarda bilgiler, hücre olarak adlandırılan, 53 bayt uzunluğundaki paketler halinde taşınırlar. Bir hücre yapısı, 5 baytlık başlık (header) ve 48 baytlık yük (payload) alanından meydana gelir (Şekil 2.11.a). Hücrenin yük alanı kullanıcı verisi için kullanılırken, başlık alanı yükün hedefe ulaşması için gerekli bilgileri ve diğer parametreleri içerir.



Şekil 2.11. a) Genel ATM hücre yapısı, b) ATM UNI hücresi, c) ATM NNI hücresi.

ATM katmanı tarafından eklenen başlık bilgisi; genel akış kontrolü (Generic Flow Control, GFC), sanal yol numarası (Virtual Path Identifier, VPI), sanal kanal numarası (Virtual Channel Identifier, VCI), yük tipi (Payload Type, PT), hücre kaybı önceliği (Cell Loss Priority, CLP) ve başlık hata kontrolü (Header Error Control, HEC) alanlarından oluşur (Şekil 2.11.b, c).

Genel Akış Kontrolü (GFC): Dört bit uzunluğundaki bu alan, kullanıcı-ağ arayüzü (User-Network Interface, UNI) için, akış ve hata kontrolünü sağlamakla görevlidir. Ana fonksiyonu fiziksel erişim kontrolü olmasına rağmen, bu alan genellikle sabit bit iletim hızı (Constant Bit Rate, CBR) servislerindeki hücre gecikme değişimlerini (jitter) azaltmak, bant genişliği kapasitesini değişken bit iletim hızı (Variable Bit Rate, VBR) servisleri arasında optimum olarak paylaşmak ve VBR trafiğini

kontrol etmek için kullanılır. Ağ-ağ arayüzü (Network-Network Interface, NNI) için, VPI'nın bir parçası gibi kullanılır ve fazladan adres kapasitesi sağlar (Şekil 2.11.b, c).

Sanal Yol Numarası (VPI): VCI ile birlikte, hücrenin gideceği bir sonraki hedefi belirleyen etiketi oluşturmak için kullanılır. Sekiz bitten oluşan bu alanda 256 sanal yol tanımlanabilir. Her sanal yol içerisinde çok sayıda sanal kanal bulunur.

Sanal Kanal Numarası (VCI): VPI ile birlikte, hücrenin gideceği bir sonraki hedefi belirler. 16 bitlik bir alandan meydana gelir. Bir sanal yol içerisinde 65536 tane sanal kanal tanımlanabilir.

Yük Tipi (PT): Hücre içerisinde taşınan verinin tipini belirtmek amacıyla kullanılır. 3 bitlik bu alan, 8 farklı türde yük tanımlamaya imkan tanır. Bu yük tipleri Yük Tipi Numarası (Payload Type Identifier, PTI) tarafından tanımlanır. PTI'nın değerlerine göre taşınan verinin kullanıcı, işaretleme ya da bakım onarım hücresi olduğu anlaşılır. Eğer hücre kullanıcı verisi taşıyorsa (diğer bir ifadeyle en soldaki bit "0" ise), ikinci bit tıkanıklığı ve üçüncü bit hücrenin ALL 5 çerçevesinin son hücresi olup olmadığını gösterir.

Hücre Kaybı Önceliği (CLP): Bir bitlik bu alan, ağ içerisinde tıkanıklık olması durumunda hücrenin göz ardı edilip edilmeyeceğini belirtir. CLP değeri "1" olan hücreler silinebilirken "0" olanlar muhafaza edilir.

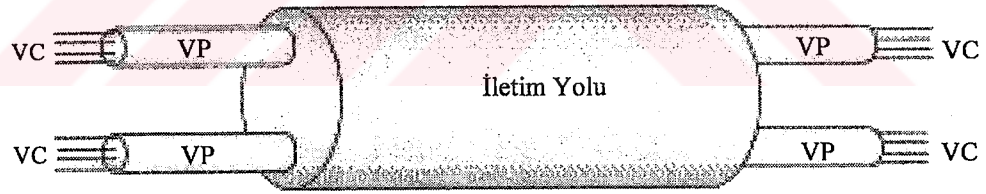
Başlık Hata Kontrolü (HEC): Sekiz bitten oluşan bu alan, hücrenin başlık bilgisinde meydana gelebilecek hataların düzeltilmesi için kullanılır. HEC, ATM anahtarına çoklu hataları bulma ve tekli hataları düzeltme imkanı sağlar. Hata kontrolünde CRC (Cyclic Redundancy Check) algoritması kullanılır.

2.4.2. Sanal yol (VP)/Sanal kanal (VC) kavramları

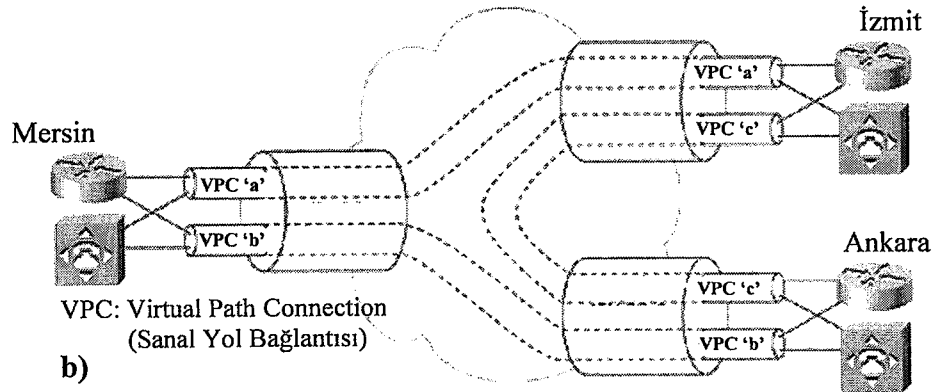
ATM, bağlantı yönelimli bir aktarım protokolü olduğu için hücrelerin iletilmesinden önce kaynak ile hedef arasında ATM adresleri yardımıyla sanal bir devrenin

kurulması gerekmektedir. Kurulan bağlantıdan sonra hücreler kaynaktan hedefe sanal kanal ve sanal yol numaraları kullanılarak yönlendirilirler. Sanal kanal, aynı servis düzeyine sahip uygulama verilerini taşımak üzere kullanılır. Sanal yol ise aynı kaynak ve hedef düğüme ait sanal kanalları birleştirmek için kullanılır. Yani bir sanal yol içerisinde çok sayıda sanal kanal bulunabilir. Örneğin; iki site arasında gerçekleştirilecek video konferans uygulaması video, ses ve veri trafiği için üç farklı sanal kanal gerektirebilir. Üç farklı trafik türü sırasıyla CBR (Constant Bit Rate), VBR (Variable Bit Rate) ve ABR (Available Bit Rate) sanal kanalları üzerinden iletilebilir. İki site arasındaki bu üç sanal kanal bir tane sanal yol ile birleştirilebilir. Bir hücrenin kullanacağı sanal kanal ve sanal yol, hücrenin başlık bilgisinde bulunan sanal kanal numarası (VCI) ve sanal yol numarası (VPI) ile belirlenir. Hücrelere ait VPI ve VCI değerleri bağlantı boyunca her düğümden geçişlerinde, anahtarlama tablosuna bakılarak yeniden belirlenir.

Şekil 2.12.a, ATM ağlarda veri iletimini sağlayan sanal yolları ve sanal kanalları göstermektedir. Şekil 2.12.b'de ise, veri iletiminden önce ATM uç elemanları arasında kurulan sanal bağlantılar görülmektedir.



a)



b)

Şekil 2.12. a) Sanal yollar (VPs) ve Sanal kanallar (VCs), b) ATM sanal bağlantıları.

Sanal bağlantılar kalıcı ve anahtarlama olmak üzere iki şekilde oluşturulabilir (Ertürk ve Özcerit 2002): Kalıcı Sanal Devre (Permanent Virtual Circuit, PVC): Sanal devre, sistem kurulumu aşamasında oluşturulur ve sistem işletilmeye başladığı andan itibaren sürekli kalır. Böylece, aralarında PVC tanımlı düğümler birbirleriyle haberleşmek istediklerinde doğrudan veri iletimine başlar. Bu yöntemde sanal devre kurulması için zaman harcanmaz.

Anahtarlama Sanal Devre (Switched Virtual Circuit, SVC): Sanal devre, iki düğüm arasında iletişim başlamadan önce kurulur ve veri aktarımı sona erdiğinde sonlandırılır. Düğümler arasında esnek iletişim kanallarının oluşturulmasını sağlar.

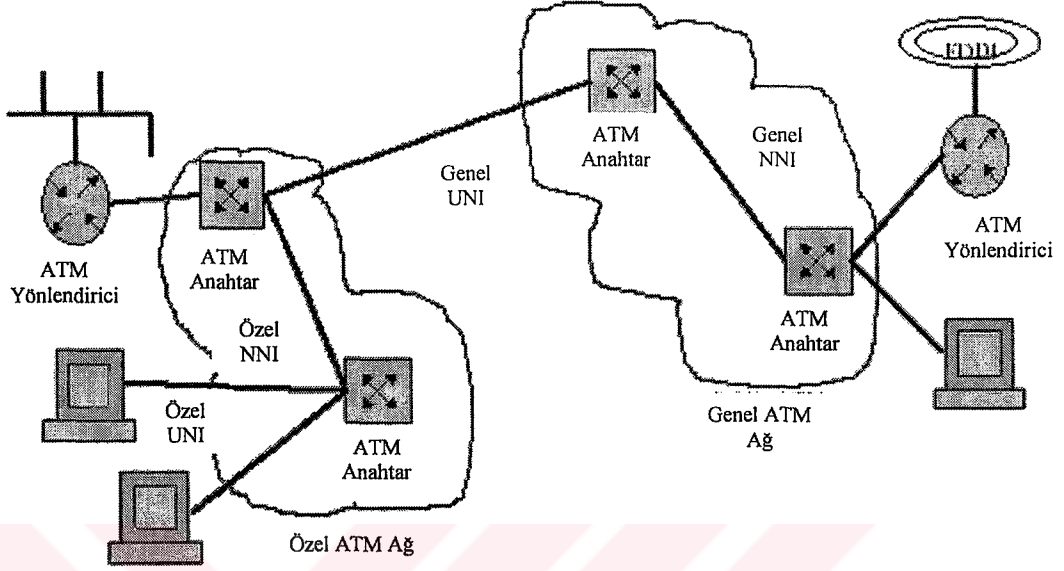
Sanal devrelerin kurulması sırasında ATM adresleri kullanılır. ATM adresleri 20 bayt uzunluğundadır ve ağ içerisinde bulunan ATM cihazlara kimlik kazandırmak için kullanılır. ATM adresleri ağ bölümü (network prefix) ve kullanıcı bölümü (user part) olmak üzere iki parçadan oluşur. Ağ bölümü, bir ATM ağ için aynı olup aynı temsil ederken kullanıcı bölümü, o ATM ağ üzerindeki ATM cihaza ait özel bir değerdir ve onun kimliği niteliğindedir. ATM adresleri yapı olarak hücrelerin aktarılması için değil, yalnızca sanal bağlantının kurulması için kullanılır (Özçelik 2002). Hücrelerin anahtarlama sürecinde ise hücre başlığı içerisinde bulunan sanal yol ve sanal kanal numaraları kullanılır.

2.4.3. ATM Ağ Arayüzleri

ATM ağ topolojisi Şekil 2.13'de görüldüğü gibi noktadan noktaya (point to point) bağlantılardan oluşmuştur. ATM yönlendiriciler ve ATM uç istasyonları doğrudan ATM anahtarlara bağlanırlar. ATM yönlendiriciler, mevcut ağların ATM ağlara bağlanmasını sağlar. Anahtarlar ise birbirlerine bağlanarak ATM ağ omurgasını oluştururlar.

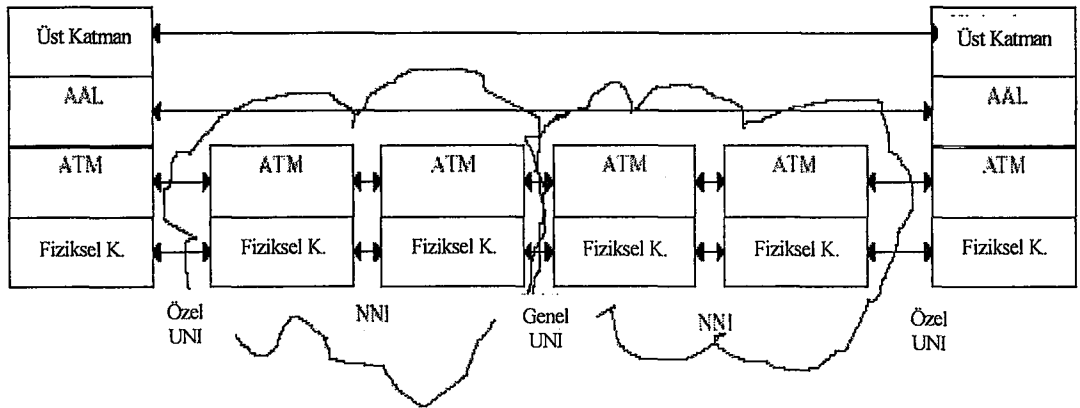
ATM ağlarda dört farklı arayüz vardır. Özel kullanıcı-ağ arayüzü (Private UNI), kullanıcı cihazı ile özel ATM anahtar arasındaki birimdir. Genel kullanıcı-ağ arayüzü (Public UNI), özel ATM anahtar ile genel ATM anahtar arasındaki birimdir.

Özel ağ–ağ arayüzü (Private NNI), özel ağdaki anahtarlar arasındaki birim ve genel ağ–ağ arayüzü (Public NNI), genel ağdaki anahtarlar arasındaki birimdir.



Şekil 2.13. Ağ arayüzlerini gösteren ATM topolojisi.

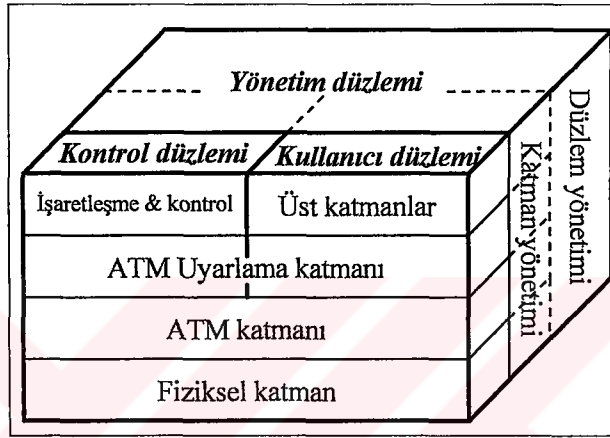
B-ISDN modeli ile ağ topolojisi arasındaki ilişki Şekil 2.14’de gösterilmiştir. Genel olarak özel UNI bağlantıları B-ISDN modelinin tüm katmanlarının işlevlerini gerçekleştirirken diğer arayüzlerde sadece ATM ve fiziksel katman işlevleri gerçekleştirilir.



Şekil 2.14. Ağ arayüzlerindeki ATM protokol fonksiyonlarının etkileşimi.

2.4.4. B-ISDN mimarisi

ATM teknolojisi B-ISDN için standart olarak kabul edilmektedir. B-ISDN katmanlı bir mimariye sahip olup bu yapı B-ISDN Protokolü Referans Modeli olarak adlandırılır (Şekil 2.15). Bu modelde farklı trafik türlerini ifade eden üç ayrı düzlem bulunmaktadır. Bunlar; kullanıcı düzlemi, kontrol düzlemi ve yönetim düzlemi olarak adlandırılır (Ertürk ve Özcerit 2002).



Şekil 2.15. B-ISDN protokol referans modeli.

Kullanıcı düzlemi, akış kontrolü ve hata düzeltme mekanizmaları da dahil olmak üzere kullanıcı bilgilerinin iletiminden sorumludur. Kontrol düzlemi, çağrı ve bağlantı kontrol işlevlerinin yerine getirildiği düzlem olup, kaynak ile hedef arasındaki sanal bağlantının kurulması (Connection Admission Control, CAC), gözetimi (User Parameter Control/Network Parameter Control, UPC/NPC) ve sonlandırılması ile ilgili işaretleşmelerden sorumludur. Yönetim düzlemi ise katman yönetimi ve düzlem yönetimi olmak üzere iki bölüme oluşur. İşlem, yönetim ve bakım fonksiyonlarının (Operations Administration and Maintenance, OAM) sağlanmasından sorumludur. Bu fonksiyonlar:

- hata yönetimi,
- performans yönetimi,
- güvenlik yönetimi,
- hesaplama yönetimi ve

- konfigürasyon yönetimidir.

Kullanıcı düzlemi ve kontrol düzlemi üç katman içermektedir. Bunlar; ATM Uyarlama Katmanı, ATM Katmanı ve Fiziksel Katmandır. ATM Uyarlama Katmanı (ATM Adaptation Layer, AAL) her iki düzlemde farklı olmakla birlikte, ATM Katmanı ve Fiziksel Katman iki düzlem için de aynıdır. ATM protokolüne ait katmanlar ve görevleri Tablo 2.5’de özet olarak sunulmaktadır.

Tablo 2.5. ATM protokol katmanlarının fonksiyonları.

	Üst katman fonksiyonları	Üst katmanlar	
		<i>Dönüşüm (Convergence, CS)</i>	CS
	<i>Dilimleme ve Birleştirme (Segmentation and Reassembly, SAR)</i>	SAR	
<u>Katman Yönetimi</u>	Genel Akış Kontrolü (GFC) Hücre başlık üretimi/çıkartılması Hücre VPI/VCI dönüşümü Hücre çoklama ve çözümü	<u>ATM</u>	
	Hücre iletim hızı bağlaşımı (decoupling) HEC dizisi üretimi/onayı Hücre başlangıcının tespiti Transmisyon çerçeve adaptasyonu Transmisyon çerçeve üretimi/onarımı	TC	<u>Fiziksel Katman</u>
	Bit zamanlaması	PM	
	Fiziksel ortam		

2.4.4.1. ATM Uyarlama katmanı (AAL)

AAL kullanıcılara uygun servis karakteristiklerini temin eder ve üst katmanlardan (kullanıcı düzlemi için; TCP/IP, IPX/SPX, ftp v.b., yönetim düzlemi için; SNMP ya da CMIP, kontrol düzlemi için; Q.2931) gelen veriyi 48 baytlık parçalara böler. Bu parçalara aynı zamanda yük (payload) adı da verilir. Uygulama programları ve servislerin gereksinim duyduğu farklı türdeki trafiklerin ATM katmanı üzerinden aktarılabilmesini sağlar. AAL, daha üst katmanlardaki uygulama verilerinin ATM hücrelerine uyarlanmasıyla sorumludur. Kontrol düzlemindeki AAL, İşaretleşme ATM Uyarlama Katmanı (Signaling AAL, SAAL) olarak da adlandırılır.

AAL katmanı iki alt katmandan oluşur. Bunlardan birincisi dilimleme ve birleştirme alt katmanıdır (Segmentation and Reassembly, SAR). Bu alt katman, daha üst katmanlardan gelen bilgiyi 48 baytlık parçalara bölme ve diğer yönde parçaları birleştirme işlemini yapar. Diğer alt katman ise dönüşüm (Convergence) alt katmanıdır. Ana işlevi, ATM protokolünün ATM haricindeki bir iletişim sistemiyle olan bağlantısında, biçim dönüşümü yapan fonksiyonları yerine getirmektir. Daha üst katmanlardan kullanıcı bilgisini (Protocol Data Unit, PDU) kabul eder ve bu bilgiyi işleyerek bir hizmet veri birimine (Service Data Unit, SDU) dönüştürür. Aynı zamanda SAR alt katmanı için veri akışını da hızlandırır (Falkner 1996, Özçelik 2002).

ATM tarafından sağlanan servisler üç farklı parametreye bağlı olarak dört sınıfa ayrılmıştır. Bu parametreler:

- gönderici ile alıcı arasında zamana duyarlılık gereksinimi (var/yok),
- bit iletim hızı (sabit/değişken) ve
- bağlantı modu (bağlantıya yönelik/bağlantısız) olarak adlandırılır.

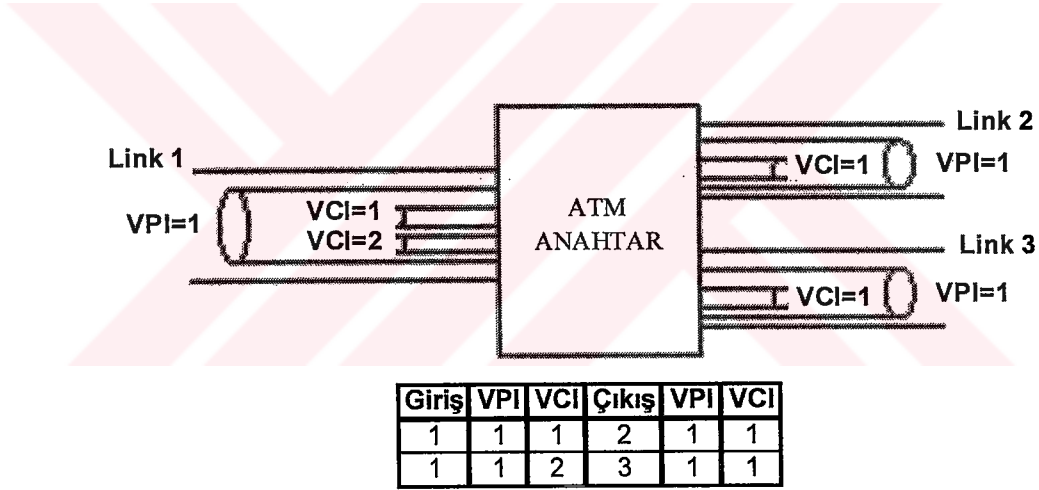
Tablo 2.6, ATM servis sınıfları ve servis karakteristiklerini göstermektedir.

Tablo 2.6. ATM servis sınıfları ve servis karakteristikleri.

Servis Sınıfları	Sınıf A	Sınıf B	Sınıf C	Sınıf D
Kaynak ile hedef arası zamanlama	Gerekli		Gereksiz	
Bit iletim hızı	Sabit	Değişken		
Bağlantı modu	Bağlantıya yönelik			Bağlantısız
Uygulama	Sayısal ses ve video uygulamaları	VBR Video	Bağlantıya yönelik veri transferi FR,X.25	TCP/IP
AAL Türü	AAL-1	AAL-2	AAL-3/4 AAL-5	AAL-3/4 AAL-5

2.4.4.2. ATM katmanı

AAL katmanından gelen verilere 5 baytlık başlık bilgisi ekleyerek hücre oluşturur. Eklenen bu başlık, hücrenin doğru bağlantı üzerinden gönderilmesini temin eder. ATM katmanının karakteristikleri fiziksel ortamdan bağımsızdır. Dört ana işlevi bulunmaktadır. Birinci işlevi, hücre çoklaması ve alıcı tarafta çoklamayı çözmesidir. İkinci işlevi, hücre başlığında bulunan VPI ve VCI değerlerinin anahtarlama esnasında değiştirilmesidir (Şekil 2.16). Üçüncü işlevi, AAL katmanından gelen 48 baytlık verilere başlık bilgisi ekleyerek hücre oluşturması ve hücrelerin ATM ağında iletimini sağlamasıdır. Alıcı tarafında ise bu başlık bilgisi çıkarılarak hücredeki asıl bilgi AAL katmanına aktarılır. Son işlevi ise akış kontrolünün gerçekleştirilmesidir. Akış kontrolü, kısa dönemli aşırı yüklenme durumlarını ortadan kaldırmak amacıyla kullanılabilir. Sadece kullanıcı ağ arabirimi için tanımlanmıştır.



Şekil 2.16. VPI/VCI anahtarlama.

2.4.4.3. Fiziksel katman

Transfer edilecek ATM hücrelerinin ağ boyunca fiziksel ortamdan iletilmesinden sorumludur. Fiziksel katman, iletim yakınsama ve fiziksel ortam olarak adlandırılan iki alt katmandan oluşmaktadır:

İletim Yakınsama Alt Katmanı (Transmission Convergence, TC), fiziksel ortamdan bağımsız olarak iletim çerçevesinin oluşturulması ve çözülmesi, hücrelerin SDH (Synchronous Digital Hierarchy) çerçevelerine yerleştirilmesi ve çekilmesi, hücre sınırlarının belirlenmesi ve bulunması, hücre başlığının hata işlemleri ile boş hücrelerin eklenmesi ve çıkarılması işlevlerini yerine getirir.

Fiziksel Ortam Alt Katmanı (Physical Medium, PM) ise, bit zamanlaması ve hat kodlaması gibi fiziksel ortama bağlı olan işlevleri içerir. Bit iletim yeteneğinin sağlanması, hat kodlaması ve gerektiğinde elektriksel/optik dönüşüm işlemleri de bu alt katman tarafından gerçekleştirilir. ATM teknolojisi Tablo 2.7’de görüldüğü gibi farklı ortam türlerini destekler (Falkner 1996).

Tablo 2.7. Fiziksel katman arayüzleri.

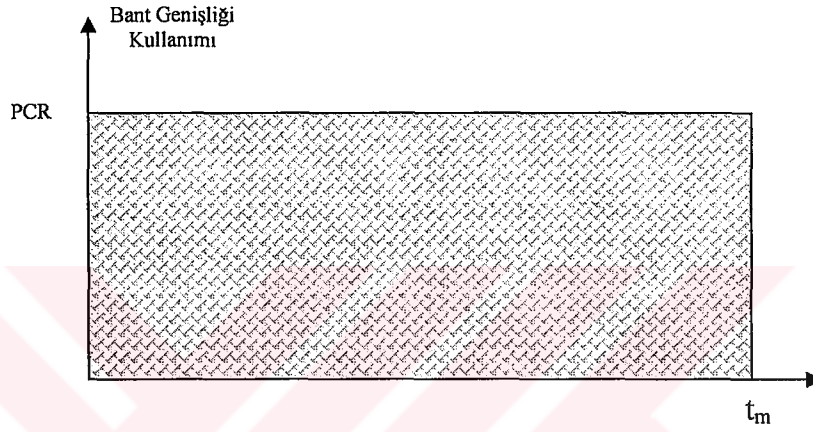
Fiziksel Ortam	Bit İletim Hızı (Mbit/s)	Gerçek Bit İletim Hızı (Mbit/s)
SONET STS-1	51,84	49,536
SONET STS-3c	155,52	149,76
SONET STS-12c	622,08	594,432
SDH STM1	155,52	
SDH STM4	622,08	
DS-1	1,544	1,536
DS-2	6,312	6,176
DS-3	44,736	40,704
E1	2,048	1,92
E3	34,368	
E4	139,264	
Çok Modlu Fiber(FDDI)	100	
STP	155,52	
Fiber Kanal	155,52	
UTP	51,84–25,92–12,96	

2.4.5. ATM servis sınıfları

Farklı servis sınıflarının tanımlanmasındaki temel düşünce, trafik üreten kullanıcı uygulamaları ile bu trafiği taşıyan ağ arasında mümkün olduğunca fazla bilgi aktarımı yapabilmek ve böylece ağın daha verimli kullanılmasına imkan tanımaktır. Kullanılan servisler ATM tarafından 5 farklı sınıfa ayrılmıştır.

2.4.5.1. Sabit bit iletim hızı (Constant Bit Rate, CBR)

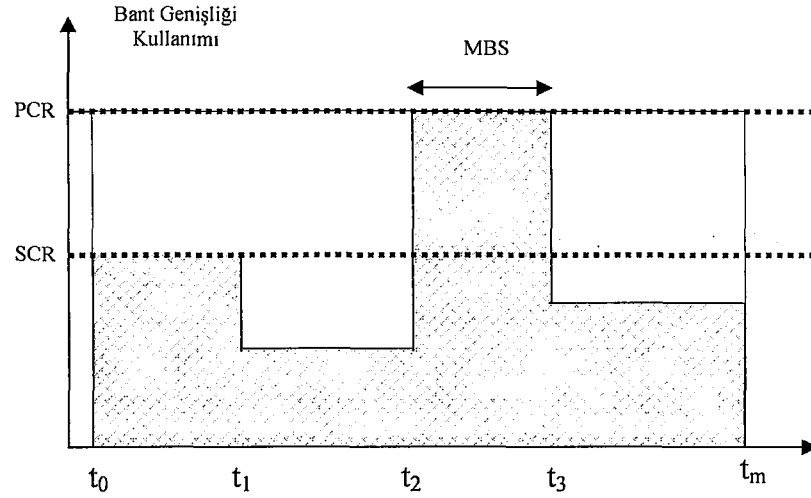
Sabit bit iletim hızı, bağlantı süresince sabit bant genişliği gerektiren servis sınıfıdır. İhtiyaç duyulan sabit bant genişliği en yüksek hücre iletim hızı (Peak Cell Rate, PCR) değeri ile belirlenir. Hücre kaybı, hücre gecikmesi ve hücre gecikme değişimine (jitter) duyarlı gerçek zamanlı uygulamalar için kullanılır. CBR servis sınıfının bant genişliği kullanım karakteristiği Şekil 2.17’de gösterilmiştir.



Şekil 2.17. CBR trafiği için bant genişliği kullanım karakteristiği.

2.4.5.2. Gerçek zamanlı değişken bit iletim hızı (Real Time Variable Bit Rate, rt-VBR)

Çok ani trafik değişimi gösteren (patlamalı) gerçek zamanlı uygulamalar için tanımlanmıştır. PCR, sürdürülebilir hücre iletim hızı (Sustainable Cell Rate, SCR) ve en yüksek patlama boyutu (Maximum Burst Size, MBS) trafik tanımlayıcıları ile karakterize edilir. Hücre kaybı, hücre gecikmesi ve hücre gecikme değişimine duyarlı, bant genişliği ihtiyacı ani değişimler gösteren gerçek zamanlı uygulamalar için kullanılır. Şekil 2.18’de VBR servis sınıfının bant genişliği kullanım karakteristiği gösterilmiştir.



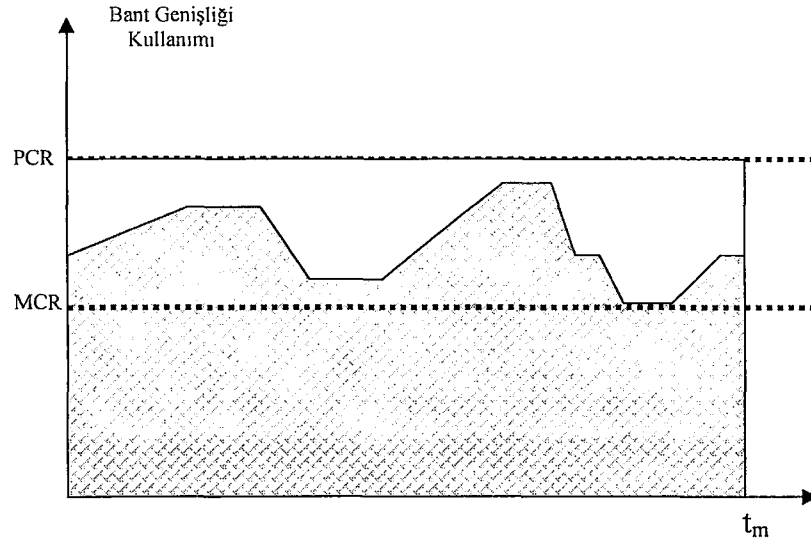
Şekil 2.18. VBR trafiği için bant genişliği kullanım karakteristiği.

2.4.5.3. Gerçek zamanlı olmayan değişken bit iletim hızı (Non-Real Time Variable Bit Rate, Non-rt-VBR)

Gerçek zamanlı olmayan değişken bit iletim hızı, gecikme ve gecikme değişimine çok bağımlı olmayıp, çok ani trafik değişimi gösteren (patlamalı) uygulamalar için tanımlanmıştır. rt-VBR’de olduğu gibi trafik parametreleri PCR, SCR ve MBS’dir. Çok düşük hücre kayıp oranı olması beklenir.

2.4.5.4. Kullanılabilir bit iletim hızı (Available Bit Rate, ABR)

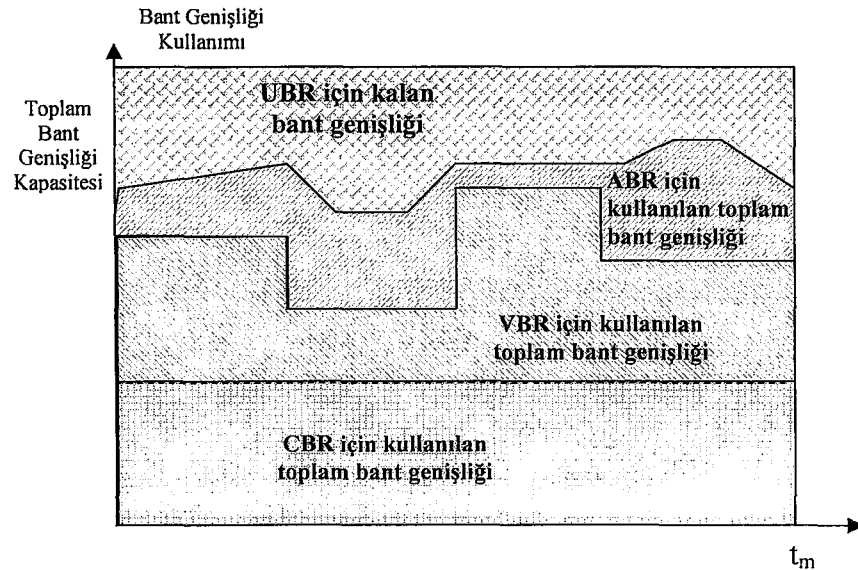
Kullanılabilir bit iletim hızı, bant genişliği gereksinimi zamana bağlı olarak değişen uygulamalar için tanımlanmıştır. Ağ tarafından talep gelmesi halinde, kaynak tarafından gönderilen bilginin hızının değiştirilebilmesine ve ağ üzerindeki trafik hacminin isteğe göre düzenlenmesine imkan tanır. Belli değerlerdeki PCR ve en düşük hücre iletim hızı (Minimum Cell Rate, MCR) trafik tanımlayıcıları ile karakterize edilir. Şekil 2.19’da ABR servis sınıfının bant genişliği kullanım karakteristiği gösterilmiştir.



Şekil 2.19. ABR trafiği için bant genişliği kullanım karakteristiği.

2.4.5.5. Belirlenmemiş bit iletim hızı (Unspecified Bit Rate, UBR)

Belirlenmemiş bit iletim hızı, belirli bir servis kalitesine ihtiyaç göstermeyen, gecikme ya da gecikme değişimine karşı hassas olmayan kritik uygulamalar dışındaki hizmetler için tanımlanmıştır. Kaynaklar arasında istatistiksel çoklamayı destekler ve trafiğe bağlı olarak servis garantisi veremez. Diğer servis sınıfları tarafından kullanılmayan bant genişliğini PCR trafik parametresiyle belirtilen değere kadar kullanır (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. UBR trafiği için bant genişliği kullanım karakteristiği.

ATM servis sınıfları ve bu servis sınıflarını kullanan uygulamalara ilişkin bilgiler Tablo 2.8’de gösterilmiştir.

Tablo 2.8. ATM servis sınıfları ve örnek uygulamaları.

ATM Servis Sınıfı	Servis Türü	Örnek Uygulamalar
CBR (Sabit Bit İletim Hızı)	Ses	Telefon Konuşmaları, Radyo Yayını, Sesli Posta
	Görüntü	Video Konferans, Televizyon Yayını, İstek Gütümlü Video
Rt-VBR (Gerçek Zamanlı Değişken Bit İletim Hızı)	Ses	Sesli Posta, Telefon Konuşmaları
	Görüntü	Video Text (Video Metin), NTSC-TV, HDTV-TV
Nrt-VBR (Gerçek Zamanlı Olmayan Değişken Bit İletim Hızı)	Veri	Havayolları Rezervasyonu, Bankacılık İşlemleri, Frame Relay
UBR (Belirlenmemiş Bit İletim Hızı)	Veri	Elektronik Posta, Dosya Transferi, Uzak Terminal Erişimi, Kütüphane Tarama
ABR (Kullanılabilir Bit İletim Hızı)	Veri	Kritik Veri Transferi

2.4.6. Trafik tanımlayıcıları ve servis kalitesi (QoS) değişkenleri

ATM teknolojisi, kaynak ile hedef arasındaki bağlantının kurulumundan önce, ağır ve verimli kullanılmasını sağlamak amacıyla, trafik sözleşmesi olarak adlandırılan ve bağlantının destekleyeceği servis özelliklerini belirleyen kurallar bütünü üzerinde anlaşma sağlanmasını gerektirir. Bu anlaşma uç istasyon ile ağ arasında ve bağlantı kurulumu sırasında yapılır (Pildush 2001). Trafik sözleşmesi, trafik tanımlayıcıları ve servis kalitesi değişkenlerinden oluşur.

Trafik tanımlayıcıları kullanıcı trafiğinin karakteristiklerini belirleyen değişkenlerdir. Bağlantı kurulumu sırasında kullanıcı tarafından bu değişkenler için istenen değer ve eşik değeri belirlenir. Bağlantı kurulduğunda ağ istenen değeri karşılamaya çalışır.

Eğer bu servis düzeyi, sınırlı ağ kaynakları nedeniyle ulaşılamaz seviyede ise trafik tanımlayıcı değişkenlerinin istenen değeri, ağ tarafından, kullanıcının belirlediği eşik düzeyi yönünde servis garantisi korunarak azaltılır. Bu işlem sonunda bağlantı ya kabul edilir ve belirtilen değerleri sağlayacak şekilde kurulur ya da yetersiz ağ kaynakları nedeniyle iptal edilir. Beş adet trafik tanımlayıcı değişkeni vardır. Bunlar:

- PCR (Peak Cell Rate, En Yüksek Hücre İletim Hızı): Kaynağın belirli bir aralıkta ilettiği en fazla hücre sayısıdır.
- SCR (Sustainable Cell Rate, Sürdürülebilir Hücre İletim Hızı): Patlamalı trafik kaynağı için en yüksek ortalama iletim hızıdır.
- MBS (Maximum Burst Size, En Fazla Patlama Boyutu): Tepe hızında (PCR) bir defada iletebilen en fazla hücre sayısıdır.
- MCR (Minimum Cell Rate, En Düşük Hücre İletim Hızı): Herhangi bir aralıkta kaynağın ilettiği en düşük hücre sayısıdır.
- CDVT (Cell Delay Variation Tolerance, Hücre Gecikme Değişimi Toleransı): Kabul edilebilir en yüksek hücre gecikme değişimini ifade eder. PCR ve SCR değişkenleri için kullanılır. Hücre gecikme değişimine (jitter) üst sınır koymak için kullanılır.

Servis kalitesini (QoS), bir sanal bağlantı üzerinden geçen trafiği karakterize eden ve bağlantının uçtan uça performansını etkileyen değişkenler belirler. Bunlar:

- MCTD (Max Cell Transfer Delay, En Yüksek Hücre İletim Gecikmesi): Bir hücrenin bir uçtan diğer uça iletilmesi sırasında geçen en uzun süreyi ifade eder.
- Mean CTD (Mean Cell Transfer Delay, Ortalama Hücre İletim Gecikmesi): Hücrelerin kaynak ile hedef arasında uçtan uça ortalama gecikmelerini ifade eder.
- CDV (Cell Delay Variation, Hücre Gecikme Değişimi): Hücre iletim gecikmelerinin değişimini ifade eder. Jitter olarak da bilinir.
- CLR (Cell Loss Ratio, Hücre Kayıp Oranı): Kaybolan hücrelerin başarılı olarak gönderilmiş olan toplam hücrelere oranıdır.
- CER (Cell Error Ratio, Hücre Hata Oranı): Hatalı hücrelerin gönderilmiş olan toplam hücrelere oranıdır.

- SECBR (Severely Errored Cell Block Ratio, Çok Hatalı Hücre Bloklama Oranı): Hatalı hücreler içeren hücre bloklarının gönderilen toplam hücrelere oranıdır.

Bağlantı kurulumu sırasında, bu servis kalitesi değişkenlerinden sadece Max CTD, Mean CTD, CDV ve CLR değişkenleri yapılan trafik sözleşmesinde kullanılırlar. Diğer değişkenler bağlantının kalitesini göstermek amacıyla basit olarak hesaplanır.

Tablo 2.9 ATM servis sınıflarının trafik tanımlayıcılarını ve servis kalitesi değişkenlerini göstermektedir.

Tablo 2.9. ATM servis sınıflarının trafik tanımlayıcıları ve servis kalitesi değişkenleri.

ATM Servis Sınıfı	Trafik Tanımlayıcıları	Servis Kalitesi (QoS)
CBR	PCR, CDVT	Max CTD, CDV, CLR
rt_VBR	PCR, SCR, MBS, CDVT	Max CTD, CDV, CLR
nrt_VBR	PCR, SCR, MBS, CDVT	Mean CTD, CLR
UBR	PCR, CDVT(garantisi yok)	Yok
ABR	PCR, MCR, CDVT	CLR

2.5. Sonuç

Sayısal haberleşme sistemlerinde verilerin iletilmesi için kullanılan farklı yöntemler ve teknikler bulunmaktadır. Haberleşme sistemini oluşturan bileşenlerin ara bağlantısını, sistemin işlevini ve coğrafi konum açısından şeklini belirleyen yapıya ağ topolojisi denir. Bilgisayar ağlarının temelini oluşturan OSI referans modeli tanımlanarak, değişik firmaların ürettikleri bilgisayarlar arasındaki iletişim yöntemlerini bir standarda oturtmak ve farklı standartlar arası uyumsuzluklar nedeniyle ortaya çıkan iletişim sorunlarını ortadan kaldırmak hedeflenmiştir.

BÖLÜM 3. KABLOSUZ HABERLEŞME ve KABLOSUZ ATM

3.1. Giriş

Kablosuz ağlar, birbirleriyle haberleşmek için radyo frekans teknolojilerini kullanan kablosuz terminallerin oluşturduğu sistemlerdir. Kablosuz ağlar kablo kullanan eşleniklerinden farklı olarak hareketlilik, üretkenlik, düşük maliyet, kurulum kolaylığı ve ölçeklenebilirlik gibi bir çok avantajı da beraberinde getirmektedir. Bununla birlikte, kablosuz ortamın doğasından kaynaklanan bir takım sınırlamalara ve dezavantajlara da sahip olan kablosuz ağlar, bu sorunların üstesinden gelmek için fazladan eklenen modüllere ve yeni teknolojilere ihtiyaç duymaktadır.

Son yıllarda, özellikle hücresel yapıyı kullanan telefon teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişmelere paralel olarak kablosuz yerel ağlara olan ilgi de artmaktadır. Farklı kablosuz servislere hizmet vermek üzere bir çok sistem geliştirilmiştir ve bunların çoğu veri transferi için kullanılmaktadır. Mevcut sistemler düşük veri iletim hızlarına sahip olduklarından ya da servis kalitesi garantisi sağlayamadıklarından, özellikle önemi her geçen gün artan gerçek zamanlı çoklu ortam uygulamaları için yetersiz kalmaktadırlar.

Ses, veri ve video gibi farklı karakteristiklere sahip servislerin kablosuz ortamdan aktarılmasını öngören KATM, ATM'nin kablolu ortamda sağladığı yüksek veri iletim hızı, düşük paket kaybı ve servis garantisi özelliklerini kablosuz ortamda da gerçekleştirme düşüncesinin bir sonucudur. Kablosuz ATM ile yüksek veri iletim hızı gerektiren geniş bant (broadband) çoklu ortam uygulamalarına garantili servis kalitesi (QoS, Quality of Service) desteği hedeflenmektedir.

Bu bölümde yaygın olarak kullanılan kablosuz yerel ağ teknolojileri ve kablosuz ağ topolojileriyle ilgili temel bilgiler verilerek, kablosuz ortam sınırlamalarına

değınilmektedir. Ayrıca, tez çalışmasına konu olan KATM sistemi genel hatlarıyla anlatılarak KATM ağ bileşenleri ve protokol yapısına ait bilgiler sunulmaktadır.

3.2. Kablosuz LAN Teknolojileri

Kablosuz ağlar kısaca, verileri radyo frekans (RF) teknolojilerini kullanarak aktaran veri iletişim sistemleri olarak tanımlanabilir. Kablosuz ağlar mevcut kablolu ağların bir uzantısı olarak kullanılabilceği gibi, kablolu ağlara alternatif olarak da düşünülebilir. Ethernet ya da Token Ring gibi geleneksel yerel ağ teknolojilerinin tüm özelliklerini kablo sınırlaması olmadan sunar ve hareketlilik, üretkenlik, düşük maliyet, kullanım kolaylığı, ölçeklenebilirlik gibi avantajları da beraberinde getirir.

Günümüzde kullanılan kablosuz yerel ağ teknolojileri üç sınıfa ayrılır. Bunlar; kızıl ötesi yerel alan ağları, dağınık spektrum yerel alan ağları ve mikro dalga yerel alan ağlarıdır.

3.2.1. Kızılötesi (Infrared) kablosuz yerel alan ağları

Kablosuz yerel ağlarda nadiren kullanılan kızılötesi sistemleri, elektromanyetik spektrumda görülür ışığın hemen altındaki çok yüksek frekansları veri taşımak amacıyla kullanır. Kızılötesi veri iletişimi günümüzde cep telefonları, sayısal video kameralar, televizyon ve müzik setleri, dizüstü bilgisayarlar, yazıcılar, bilgisayarlara takılan fare, joy–stick ve klavyeler, saatler, modemler, televizyon kumandaları, veri toplayıcıları, avuç içi bilgisayarlar v.b. cihazlarda kullanılmaktadır. Verici olarak basit LED'lerden, alıcı olarak ise fotodiyotlardan faydalanılır. Kullanımıyla ilgili herhangi bir yasal sınırlama yoktur.

Veri iletişiminde kızılötesi kullanımının tercih edilmesinde uygulamanın türü oldukça önemlidir. Yüksek hızlı, kısa mesafede çizgisel görüş alanı içerisinde yer alan, noktadan noktaya veri iletişimi gerektiren her türlü uygulamada kullanılabilir. Veri iletişiminin kızılötesi ışınlar ile yapılması yüksek hızda veri transferinin yapılabilmesini sağlamaktadır. Kızılötesi veri iletişimi çift yönlü yapılabilir. Birden çok kızılötesi veri iletişimi yapan cihaz, aynı ortamda birbirleriyle iletişim

kurabilir. Veri iletişimde cihazların aynı frekans bandını kullanmaları, karışmaya neden olmaktadır. Bu yüzden, zaman bölmeli çoklama (TDM) yapılarak iletişim sağlanmaktadır.

3.2.2. Yayılmış spektrum kablosuz yerel alan ağları (Spread Spectrum Wireless LANs)

Yayılmış spektrum modülasyon teknikleri ilk olarak askeri ihtiyaçları karşılamak amacıyla geliştirilmiştir. Daha sonraları sivil amaçlarla da kullanılmaya başlanmış ve son yıllarda haberleşme alanında en fazla ilgi duyulan konulardan biri olmuştur. Yayılmış spektrum; bilgi sinyalini, çeşitli tekniklerle bant aralığını genişleterek iletmeye yarayan bir sistemdir ve iki koşulu sağlamak zorundadır:

- İletilen sinyalin bant aralığı, bilgininkinden çok daha büyük olmalıdır.
- İletilen sinyalin bant aralığı, mesajdan bağımsız ve alıcı tarafından bilinen bir fonksiyon tarafından belirlenmelidir.

Yayılmış spektrum modülasyon teknikleri iletim için bant genişliğinin tamamını kullanır. Bir başka ifadeyle, dar bant haberleşme yönteminden daha fazla bant genişliğine ihtiyaç duyar. Bu özellik ise (alıcı yayılmış spektrum yayının parametrelerini biliyor olmalıdır), daha güçlü ve sezilmesi daha kolay olan bir sinyal üretimi anlamına gelir. Eğer bir alıcı doğru frekansa ayarlı değilse dağınık spektrum sinyallerini çevre gürültüsü olarak algılayacaktır.

Yayılmış spektrum yöntemi; güvenilirlik, güvenlik ve gizliliği sağlamak üzere kullanılan modülasyon tekniğidir. Frekans Atlamalı Yayılmış Spektrum (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS) ve Düz Sıralı Yayılmış Spektrum (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS) olarak adlandırılan iki çeşit yayılmış spektrum yöntemi vardır.

- FHSS, verici ve alıcı tarafından nasıl değişeceği bilinen bir dar bant taşıyıcı frekansı kullanır. İletişimin gerçekleştirilebilmesi için alıcı ve verici arasındaki senkronizasyonun sağlanması gerekmektedir.

- DSSS en fazla bilinen ve en geniş kullanım alanına sahip yayılmış spektrum yöntemidir. Modüle edilip iletme uygun hale getirilmiş mesaj sinyalinin, pseudo-noise (PN) adı verilen sayısal sinyal ile çarpılması ile gerçekleştirilir. RF sinyalinin geniş bir bant aralığına yayılmasını sağlayan bu işleme ikinci bir modülasyon da denebilir. Geniş bant aralığına yayılmış olan sinyal bir verici ile iletilir ve alınan sinyal benzer işlemlerle orijinal bilgi haline çevrilir. CDMA tekniği yaygın olarak kullanılan DSSS yöntemlerindedir.

IEEE 802.11 standart ailesi genel olarak yayılmış spektrumunu kullanan kablosuz ağ teknolojilerine örnek olarak gösterilebilir.

3.2.3. Mikro dalga kablosuz yerel alan ağları (Microwave Wireless LANs)

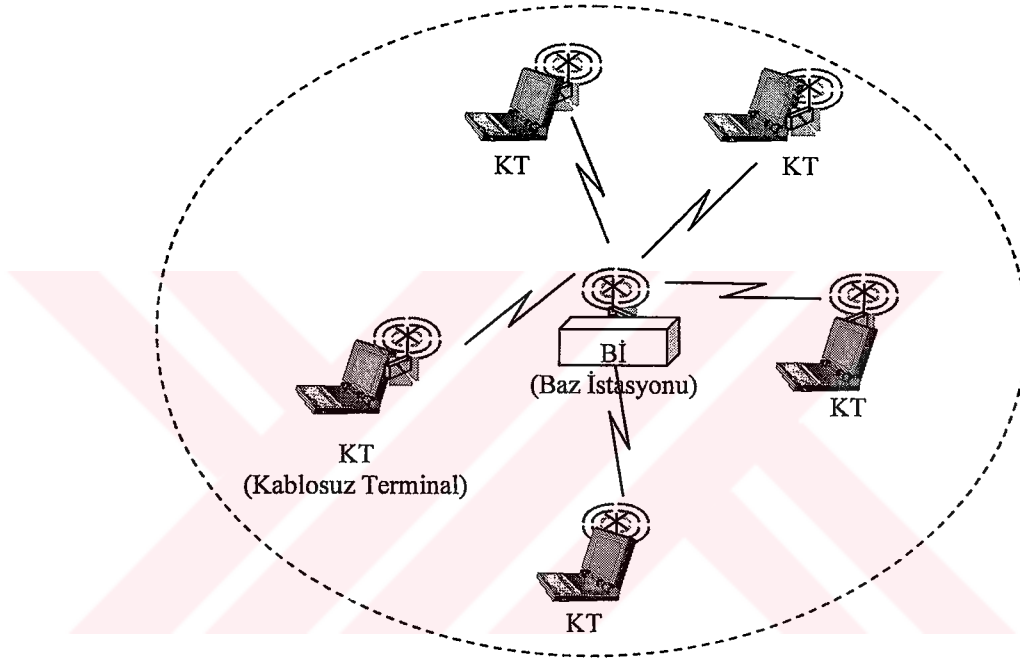
Veri iletiminde mikro dalga sinyalleri kullanan bu tür yerel alan ağları, diğer kablosuz ağ teknolojilerinden daha yüksek bit iletim hızına erişebilir. Bununla birlikte, iletim için kullanılan taşıyıcı sinyalin frekansı arttıkça zayıflama oranı da artar (David 2000). Bu nedenle, kullanılan alıcı ve vericilerin daha yüksek teknolojiye sahip olması gerekir. Bu ise daha yüksek tasarım maliyeti anlamına gelmektedir. Standartları ETSI tarafından tanımlanan ve Avrupa'da kullanılan HiperLAN ailesi bu tür yüksek frekanslı ağlara örnek olarak gösterilebilir. Tez çalışmasına konu olan KATM sistemleri de veri iletiminde mikro dalgayı kullanan kablosuz ağ sistemlerindedir.

3.3. Kablosuz Ağ Topolojileri

Kablosuz ağlar için kullanılan iki tür ağ topolojisi vardır. Bunlar; merkezi (centralized) topoloji ve eş düzeyli (ad-hoc) topolojidir.

Kablosuz haberleşme sistemlerinde yaygın olarak kullanılan merkezi ağ topolojisi hücreli ağ topolojisi olarak da bilinir. Kişisel Haberleşme Ağları (Personel Communication Network, PCN), hücreli telefonlar, gezgin veri ağları ve kablosuz yerel alan ağları (KLAN) gibi KATM ağ teknolojisi de hücreli topolojiyi kullanır (Hac 2000).

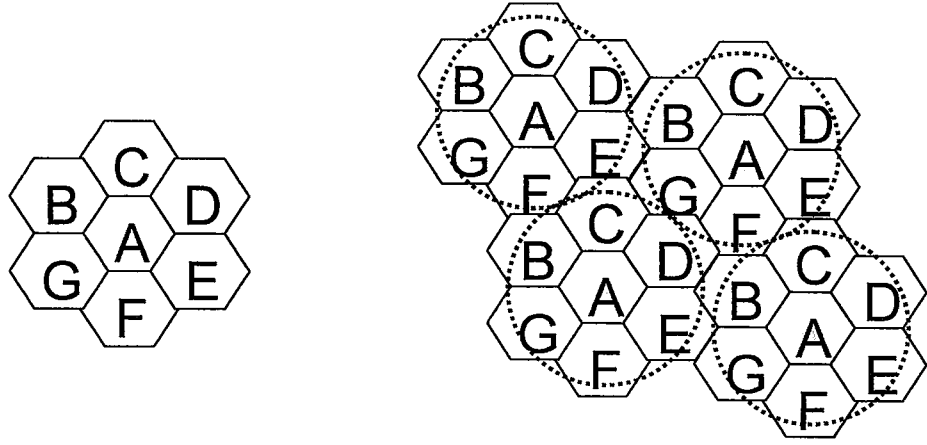
Hücresel topolojide, geniş coğrafik bölge üzerindeki servis alanı, hücre olarak adlandırılan küçük alanlara bölünür. Her hücre içerisinde, kapsama alanı içerisindeki gezgin kullanıcıların haberleşmesini kontrol eden baz istasyonu ya da benzer işlevlere sahip erişim noktası bulunur. Tüm ağ trafiği baz istasyonu üzerinden aktarıldığı için iletilecek bilgiler iki defa gönderilmiş olur. Bu nedenle uçtan uca trafik gecikme değerleri daha fazladır. Şekil 3.1 hücresel bir kablosuz yerel ağ topolojisini göstermektedir.



Şekil 3.1. Kablosuz ağlarda yaygın olarak kullanılan hücresel ağ topolojisi.

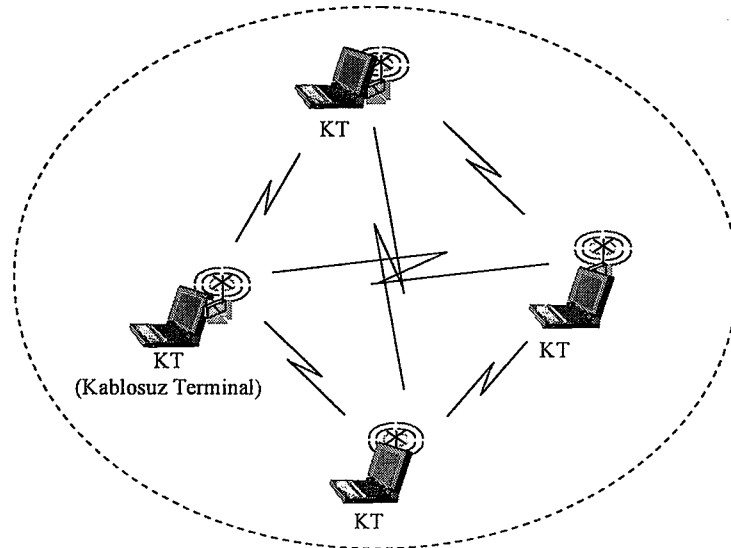
Her hücreye mevcut frekans spektrumundan kanallar tahsis edilir. Bu kanallar, ihtiyaç duyulduğunda gezgin terminaller tarafından kullanılır.

3, 4, 7, 11 ya da daha fazla hücre bir araya gelerek küme (cluster) olarak adlandırılan yapıyı oluşturur. Şekil 3.2'de örnek bir küme gösterilmiştir. Mevcut bant genişliği küme içerisindeki hücrelere tahsis edilir. Her kümedeki aynı harfe sahip hücreler aynı frekansları kullanabilir (frequency reuse). Böylece kablosuz ortamların en büyük problemlerinden biri olan bant genişliği sınırlaması, kısmen de olsa, ortadan kaldırılabilir.



Şekil 3.2. Hücresel ağlarda küme yapısı.

Eş düzeyli (ad-hoc, peer to peer) ağ topolojisinde bir Kablosuz Terminal (KT) diğer tüm KT'lerle doğrudan haberleşebilme yeteneğine sahiptir (Şekil 3.3). Bazı sistemlerde, KT'ler belirli KT'ler dışındaki diğer KT'lerle doğrudan haberleşemezler. Bunun yerine yönlendirme işlemine tabii tutulurlar. Bu tür sistemler çok atlamalı eş düzeyli (multihop peer to peer) olarak adlandırılır ve genelde askeri amaçlı olarak hizmet veren kablosuz yerel ağlarda kullanılır. Birbirleriyle doğrudan haberleşebilen KT'lerden oluşan sistemler ise tam bağlantılı eş düzeyli (fully connected peer to peer) olarak adlandırılır ve genelde sivil amaçlı hizmet veren kablosuz yerel ağlarda kullanılır.



Şekil 3.3. Eş düzeyli (ad-hoc) ağ topolojisi.

3.4. Kablosuz Ortam Sınırlamaları

Kablosuz haberleşme ortamı kablolu ortamdan çok farklı karakteristiklere sahip olduğundan, KATM sistemlerinin gerçekleştirilmesi çeşitli zorlukları da beraberinde getirecektir. Kablosuz haberleşmede taşıyıcı olarak kullanılan radyo kanalları sistem performansının sınırlanmasında önemli ölçüde etkilidir. Durağan ve kestirilebilir kablolu ortamdan farklı olarak radyo kanalları rasgele yapıdadır ve analiz edilmeleri oldukça zordur. Radyo kanallarının modellenmesi gezgin radyo sistemi tasarımlarının en zor parçasıdır. Tipik olarak modelleme, ilgili haberleşme sistemine ya da ayrılmış frekans aralığına özel yapılmış ölçümlere dayanan istatistiksel gösterimlerle gerçekleştirilir (Rappaport 1996).

ATM sistemleri bit hata oranı çok düşük ($BER=10^{-10}$) olan ortamlar için düşünülmüştür. KATM sistemler ise bazı uygulamalar için kabul edilemeyecek yüksek bit hata oranı ($BER=10^{-4}$) değerlerine sahip kablosuz ortamlarda çalışacaktır. Kablosuz ortamın zamanla değişen koşulları nedeniyle, bit hata oranı da zamanla değişim gösterecektir.

Kablosuz ortamda alıcı ile verici arasındaki iletişim kanalları çok çeşitlidir. Verici tarafından gönderilen sinyaller yansıma (reflection), kırılma (diffraction) ve dağılma (scattering) gibi etkiler nedeniyle alıcıya bir çok kanalı kullanarak farklı güçlerde ve farklı zaman gecikmeleriyle ulaşabilirler (multipath). Bu ise, ortalama gücün değişmesine neden olur.

Kablosuz haberleşme sistemlerinin, kullanıcılar değişik hızlarda hareket ederlerken ve değişik coğrafi bölgelerdeyken servis vermeleri gerekecektir. Gezgin kullanıcıların bir erişim noktası bölgesinden diğerine geçerken verilen servisler kesilmemelidir. Bu nedenle, özel hareketlilik destek fonksiyonlarının yerine getirilmesi zorunludur. Bununla birlikte, gezgin kullanıcıların hızı nedeniyle gönderilen sinyaller ve bileşenleri (multipath) alıcıya gerçek frekansından farklı olarak ulaşacaktır (Doppler Shift).

Ayrıca, ATM bant genişliği açısından zengin ortamlarda çalışmaktadır. Gezgin radyo haberleşmesi için ayrılan frekans bandı sabittir ve servis sağlanacak abone sayısı sürekli artmaktadır. Bu nedenle kablosuz ortamlar bant genişliği açısından oldukça pahalı kaynaklardır. İletişim için ayrılmış frekans aralığının, sürekli artmakta olan kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde verimli olarak paylaşılması gerekmektedir.

3.5. Kablosuz ATM (Wireless ATM)

ATM Forum 1996 yılında, KATM ağ standartlarını geliştirmek amacıyla, günümüz bilgisayar ağlarını da kapsayacak ve ATM teknolojisinin kullanımına olanak sağlayacak KATM Çalışma Grubu'nu kurmuştur. Mevcut ATM Forum standartlarıyla uyumluluğun göz önüne alınarak ATM ağlarına hareketlilik ve radyo erişimi özelliklerinin kolaylıkla kazandırılabilmesi hedeflenmektedir. ATM Forum KATM standartlaştırma çalışmalarını iki ana grup altında sürdürmektedir:

- Radyo Erişim Katmanı (Radio Access Layer, RAL) Protokolleri: Radyo erişim katmanı, kablosuz ortam erişim kontrolü, kablosuz veri bağlantı kontrolü, radyo kaynak kontrolü ve el değiştirme (handover) konularıyla ilgilenmektedir.
- Gezgin ATM Protokol İlaveleri (Mobile ATM Protocol Extensions): El değiştirme işaretleşmesi, konum yönetimi, gezgin yönlendirme, trafik ve servis kalitesi kontrolü ve ağ yönetimi konularıyla ilgilenmektedir.

Ayrıca, ETSI (European Telecommunications Standards Institute) KATM fiziksel katmanı için standartlaştırma çalışmalarını sürdürmektedir. Avrupa ve Amerika'da kablosuz erişim için 300 MHz'den fazla lisanssız frekans bandı ayrılmıştır. Bu frekans bandının özellikle internetten çoklu ortam uygulamalarına erişim sağlamak amacıyla kullanılması düşünülmektedir. Bu tür çoklu ortam uygulamaları kablosuz paket ağ yapılarını gerektirir ve KATM bu gereksinimi karşılayacak potansiyele sahiptir (Ayanoglu 1996).

KATM sistemlerinin gerçekleştirilmesi aşamasında kablosuz yayılım ortamının fiziksel özelliklerinden kaynaklanan sınırlamalar olacaktır. Bu sorunların çözülebilmesi için mevcut ATM sistemlerinin işlevlerine ek olarak, yeni yaklaşımlar ve çözümler getirilmesi gerekmektedir. Kablosuz ortamın yapısından kaynaklanan sorunlar çözüldüğü takdirde, KATM kullanıcılarına aşağıda belirtilen önemli avantajları sağlayacaktır:

- Hizmet verilecek uygulamaya göre esnek olarak bant genişliği tahsis edilebilir ve servis türü seçilebilir.
- Patlamalı ve çoklu ortam verileri etkin bir şekilde çoklanabilir.
- Kablosuz ortama ihtiyaç duyan çoklu ortam uygulamalarının servis garantisi ihtiyaçları en iyi şekilde karşılanabilir.
- Kullanıcılar ATM ağlara kablosuz erişme ihtiyacı duyacaklardır. Kablosuz ortamda da ATM kullanılırsa, ATM ağlara erişim çok daha kolay olacaktır.
- Geniş bant servislerinin uçtan uca kablosuz ve kablolu ağlar üzerinden sağlanması gerekir. ATM bağlantıya yönelik olduğu için bu gereksinimi karşılayabilir.
- Hücreler arası anahtarlama işlemine mevcut ATM anahtarlama cihazlarının uygunluğu kurulum kolaylıkları sağlayacaktır.
- İhtiyacı karşılayacak bir başka kablosuz standart bulunmamaktadır (Ayanoglu 1996).

3.5.1. Kablosuz ATM kullanım senaryoları

Daha önce bahsedildiği gibi KATM, kablolu ortamda ATM teknolojisi tarafından desteklenen tüm servislerin (CBR, VBR, ABR, UBR), kablosuz ortamda da ihtiyaç duyulan hizmet kalitesi garantisi ile birlikte sağlanmasını öngörmektedir. Kablosuz servislerin kalitesi ATM teknolojisi tarafından sağlananların benzeri olmakla birlikte, kablosuz ortamın fiziksel yapısından kaynaklanan sınırlamalar nedeniyle maksimum bit iletim hızları daha düşüktür (Seydim 2000). Günümüzdeki ve yakın gelecekteki geniş bant kablosuz uygulamalar için servis ihtiyaçları Tablo 3.6'da gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Kablosuz uygulamalar için servis ihtiyaçları

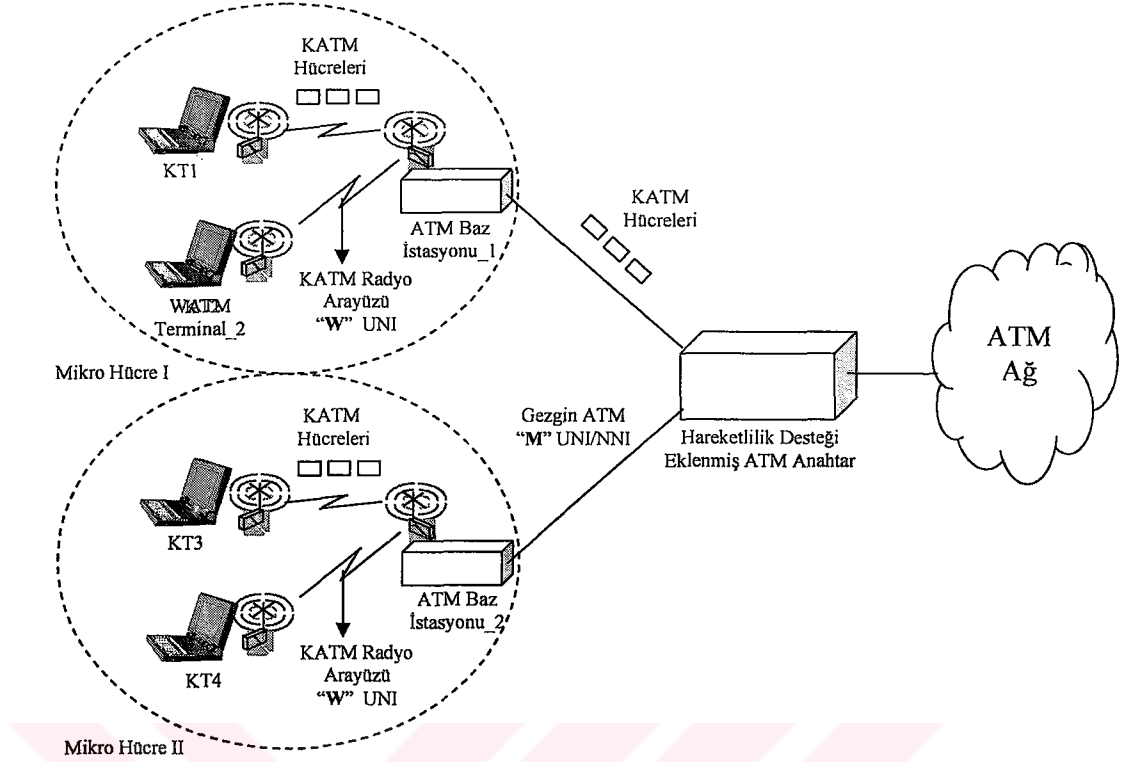
Uygulama	Hareketlilik Derecesi	İstenen Bit İletim Hızı	ATM Servis Türü
Telefon	Yüksek, Orta, Düşük	9,6–64 Kbit/s	CBR
Video Telefon/Kamera	Orta, Düşük	0,384-6 Mbit/s	CBR, VBR
E-Posta	Orta, Düşük	~1 Mbit/s Tepe	Paket/UBR
Gezgin İnternet Erişimi	Düşük	~5–10 Mbit/s Tepe	Paket/UBR, VBR
Sabit İnternet Erişimi	Statik	~10–25 Mbit/s Tepe	Paket/UBR, VBR
İstek Gütümlü Video	Statik	~10–25 Mbit/s Tepe	CBR, VBR

KATM teknolojisinin kullanılabileceği alanlar:

- Ofis Ortamı: Video konferans, çevrimiçi çoklu ortam veritabanı erişimi.
- Üniversiteler, okullar, eğitim merkezleri: Uzaktan eğitim, bilgi sistemlerine erişim.
- Endüstri: Veritabanı bağlantısı, gerçek zamanlı kontrol.
- Hastaneler: Güvenilir, yüksek bant genişliğine sahip ağlar, medikal görüntüler, uzaktan görüntüleme.
- Ev Ortamı: Cihazların (TV, CD, PC, ...) yüksek bant genişliği ile bağlanması.
- Ağ ile bağlanmış taşıtlar: Kara taşıtlarının, hava taşıtlarının v.s. birbirlerine bağlanması, akıllı yollar.

3.5.2. Kablosuz ATM ağ bileşenleri

KATM, sabit baz istasyonlarının bulunduğu sistemlere uygulanabildiği gibi, hareketli baz istasyonlarının kullanıldığı nispeten karmaşık sistemlere ya da baz istasyonu bulunmayan daha basit sistemlere de uygulanabilir. Kullanıldığı uygulama ortamına göre KATM ağını oluşturan bileşenlerin yapıları farklılık gösterir. Bu tez çalışmasında üzerinde durulacak olan KATM sistemi kablosuz terminallerden (KT) ve bu terminallerin haberleşmesini kontrol eden sabit baz istasyonlarından (Bİ) oluşmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. KATM sistemi referans modeli.

Söz konusu sistemde üç temel bileşen bulunmaktadır. İlk bileşen uygulamaların çalıştırıldığı KT'dir. KT'de KATM radyo ağ arayüz kartı (Network Interface Card, NIC) ile radyo ve hareketlilik özellikleri eklenmiş UNI yazılımı bulunmaktadır.

İkinci bileşen, hücre içerisindeki KT'lerin haberleşmesini kontrol eden radyo arayüzüne ve hareketlilik desteği eklenmiş UNI/NNI yazılımına sahip Bİ'dir. Bİ yerine erişim noktası veya radyo portu da kullanılabilir. Radyo portu ATM UNI ve hava arayüzünden oluşmaktadır. Erişim noktası ise sadece hava arabirimine sahiptir.

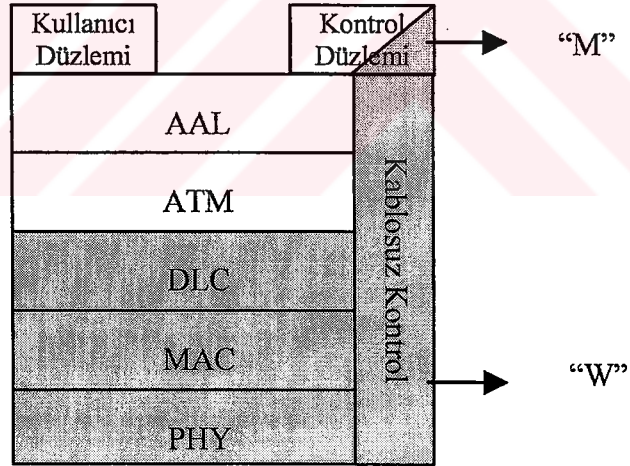
Son bileşen ise, standart UNI/NNI özelliğinin yanı sıra hareketlilik destek yazılımına da sahip olan ATM anahtardır.

Şekil 3.4'de gösterilen sistem iki yeni protokol arayüzü gerektirmektedir. Bunlar; gezgin/sabit kullanıcı uç birimleriyle ATM baz istasyonları arasındaki "W" kullanıcı-ağ arayüzü ve hareketlilik destekli ATM anahtarlar ile baz istasyonları arasındaki "M" UNI/NNI arayüzüdür. Uç istasyon tarafından iletilen tüm veriler,

başlarına W arayüzü ile belirlenmiş radyo bağlantı düzeyi başlığı (radio link level header) eklenerek ATM hücrelerine ayrılırlar. Gezgin terminalin hareketliliği (el değiştirme, konum yönetimi v.s.) ise, “M” arayüzünde tanımlanan NNI işaretleme protokol uzantıları ile sağlanır (Raychaudhuri 1999).

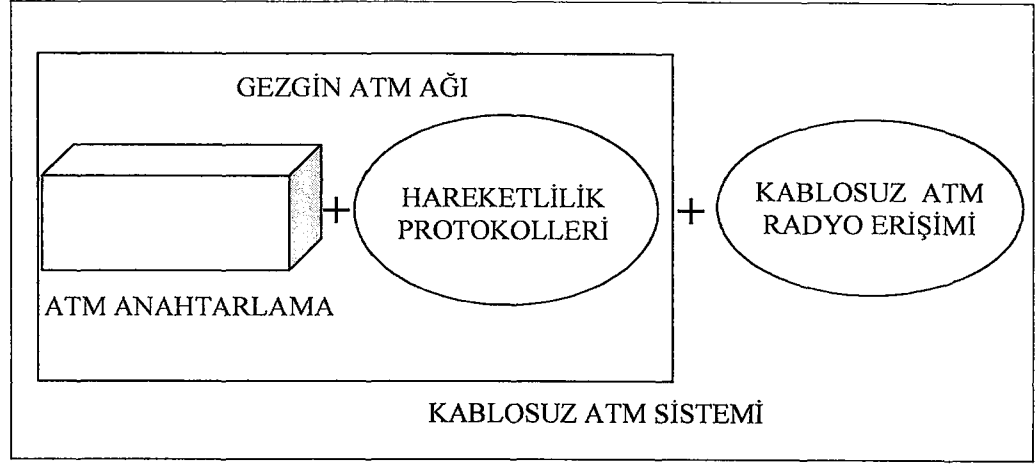
3.5.3. Kablosuz ATM protokol yapısı

KATM, standart ATM protokolüne ilave çeşitli protokollerin kullanılmasını gerektirir. Gezgin terminaller ile baz istasyonları arasındaki fiziksel katman radyo kanalları, akış ve hata kontrolü için kullanılan veri bağlantı kontrolü (Data Link Control, DLC), iletim ortamını farklı kullanıcılara etkin olarak paylaşmayı amaçlayan ortam erişim kontrolü (Medium Access Control, MAC) ve bu bileşenlerde radyo kaynak yönetimi gibi fonksiyonlarla beraber hareketlilik yönetimini sağlayan kablosuz kontrol özellikleri, standart ATM protokollerinden farklı olarak eklenmiştir. KATM protokol yapısı Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



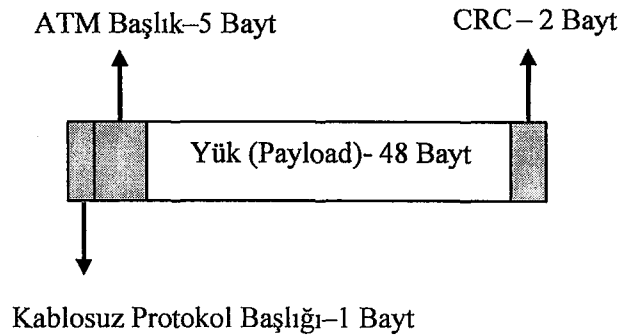
Şekil 3.5. KATM protokolü katman yapısı.

KATM sistemi iki bağımsız bileşenden oluşmuştur (Raychaudhuri 1999). Şekil 3.6’dan anlaşılacağı gibi bu bileşenler, birbirlerinden farklı olarak tasarlanabilen Gezgin ATM ve KATM Radyo Erişim bölümleridir. Sistemin bağımsız bileşenlerden oluşması standartlaştırma çalışmalarının farklı kuruluşlarca yapılmasını kolaylaştırır.



Şekil 3.6. KATM sisteminin modüler yapısı.

KATM protokol yapısı gibi hücrelerin yapısı da standart ATM hücrelerinden farklılık gösterir. Şekil 3.7’de KATM hücresinin genel yapısı görülmektedir. 48 baytlık yük ve 5 baytlık başlık bilgisi standart ATM hücre yapısındaki gibidir. Kablosuz ortamdaki hataları bulup düzeltmek için eklenen 2 baytlık CRC (Cyclic Redundancy Check) bilgisi ve hücre sıra numarasını gösteren 1 baytlık kablosuz protokol başlığı standart ATM hücrelerine eklenen alanlardır. KATM hücrelerin yapısı uygulamalara göre farklılık gösterebilir.



Şekil 3.7. KATM hücre yapısı.

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilmesi düşünülen KATM ağ modeli Şekil 3.4’de gösterilmiştir. Uygulamaların çalıştığı kablosuz terminaller (KT) radyo arayüzünü kullanarak ATM baz istasyonu ile haberleşirler. KT’lerin haberleşmesini kontrol eden baz istasyonu, radyo arayüzüyle hareketlilik desteği eklenmiş ATM anahtar

arasındaki bağlantıyı oluşturur. Kablosuz ağ, hareketlilik desteği eklenmiş ATM anahtar ile omurga ATM ağına bağlanır.

3.5.3.1. Veri bağlantı kontrolü (Data Link Control, DLC)

Kablosuz ortamların bit hata oranı çok yüksek olduğundan akış ve hata kontrolü zorunludur. DLC katmanı, kablosuz kanalın fiziksel yapısından ve MAC protokolünden kaynaklanan hücre hata oranını iyileştirmek ve böylece, ATM katmanının meydana gelebilecek olası hatalardan etkilenmesini önlemek amacıyla geliştirilmiştir. DLC katmanı iletim ortamından kaynaklanan bit hatalarını sezme ve bu hataları, ya ileri hata kontrolü (FEC, Forward Error Control) ile düzeltmek ya da hatalı paketlerin yeniden gönderilmesini (ARQ, Automatic Repeat Request) sağlamak amacıyla kullanılır. Bununla birlikte MAC katmanı tampon bellek (buffer) kapasitesinin dolması nedeniyle paketlerin kaybolmasına neden olabilir. DLC katmanı kaybolan paketlerin yeniden gönderilmesini sağlayarak bu sorunu çözer (Seydim 2000, Ilic 2001).

DLC katmanında servisleri hatalara karşı koruma amacıyla FEC, ARQ ya da bunların birleşiminden oluşan yöntemler kullanılabilir (Warshney 1999, Skyrianoglou 1999, Park 2000). FEC yöntemi, alıcı tarafında hatayı bulma ve düzeltme esasına göre çalışır. Düşük sabit gecikme sağlayabildiği için özellikle gerçek zamanlı trafikler için uygundur. Hata düzeltme kodları hata örneklerine bağlıdır ve en kötü durum için tasarlandığında iletim hızı düşer. Bit hata oranı (BER) düşük olan ortamlar için FEC yönteminin kullanılması daha uygundur. ARQ ise hatalı paketlerin yeniden gönderilmesi prensibine göre çalışır. Sadece hatalı olarak alınan paketler yeniden gönderilir. Değişken gecikmeli iletim sağladığından gerçek zamanlı uygulamalar için uygun değildir. Bit hata oranı yüksek olan ortamlar için ARQ yöntemi nispeten daha iyi sonuç verir.

3.5.3.2. Ortam erişim kontrolü (Medium Access Control, MAC)

MAC protokolü, sınırlı bant genişliğine sahip kablosuz iletim ortamını kullanıcılar arasında etkin olarak paylaşmayı amaçlayan kurallar bütünüdür. Bilgisayar

ağlarında kullanılan çok sayıda MAC protokolü bulunmaktadır. KATM sistemler için de bir çok MAC protokolü önerilmiştir. Kablosuz uygulamalara servis kalitesi sağlanmış hizmetler sunulabilmesi için, mevcut bant genişliğini uygulamalara etkin olarak tahsis edebilecek bir MAC protokolünün kullanılması gerekir. MAC katmanı, DLC katmanı ile beraber servis kalitesinin sağlanmasında en etkili bileşendir.

Kablosuz ağlarda kullanılan MAC katmanlarıyla ilgili kapsamlı bilgiler Bölüm 5’de verilmiştir. Bu tez çalışmasına konu olan yeni MAC protokolünün özellikleri ve tasarım aşamaları da yine Bölüm 5’de ayrıntılı olarak sunulmuştur.

3.5.3.3. Fiziksel katman

KATM’nin genel olarak 5 GHz bandında çalışacağı düşünülmektedir. Bu frekans bandı FCC (Federal Communications Commission) tarafından NII (National Information Infrastructure) lisanssız bandı olarak ve CEPT (Conference of European Post and Telecommunications administrations) tarafından HYPERLAN bandı olarak ayrılmıştır. Bununla birlikte, devam eden projeler çerçevesinde geliştirilen KATM sistemleri 20 GHz, 30 GHz ve 60 GHz frekanslarını da kullanmaktadır.

KATM sistemlerin mikro ve piko hücrelerde (500 metreye kadar) 25 Mbit/s veri iletim hızını desteklemesi düşünülmektedir (2–5 Mbit/s sürdürülebilir bit iletim hızı ve 5–10 Mbit/s en yüksek bit iletim hızı) (Raychaudhuri 1999). Kullanılacak modülasyon teknikleri de özellikle patlamalı trafiklerin taşınmasında oldukça önemlidir. QPSK/GMSK (Quadrature Phase Shift Keying/ Gaussian Minimum Shift Keying), QAM (Quadrature Amplitude Modulation) kullanılması düşünülen modülasyon tekniklerinden bazılarıdır.

Tez çalışması çerçevesinde tasarlanan KATM ağ modelinde QPSK, KLAN (IEEE 802.11b) modelinde ise BPSK modülasyon teknikleri kullanılmıştır. BPSK tekniğinde, sabit genlikli taşıyıcı işaretin fazı, aralarında 180° bulunan iki değer arasında anahtarlanır (bu değerler ikili sistemdeki 0 ve 1’e karşılık gelir). QPSK tekniğinde ise, sabit genlikli taşıyıcı işaretin fazı, aralarında 90° bulunan dört değer arasında anahtarlanır. Böylece tek bir modülasyon sembolünde 2 bit iletilir (BPSK

teknğinde ise tek bit iletilir). Bu nedenle QPSK, bant genişliği kullanımının verimliliği açısından BPSK tekniğinden iki kat daha iyidir. Bununla birlikte, QPSK'nin bit hata olasılığı BPSK'ninki ile aynıdır. Dolayısıyla QPSK, BPSK ile karşılaştırıldığında iki kat daha fazla spektral verim sağlar.

3.5.3.4. Kablosuz kontrol

Kablosuz kontrol katmanı, bağlantı kurulumu sırasında radyo kaynaklarının gezgin terminallere ayrılmasından ve bu kaynakların el değiştirme esnasında yönetilmesinden sorumludur. Kablosuz kontrol mesajları baz istasyonları ile terminaller arasında ve baz istasyonlarının kendi aralarında; terminal kayıtları, kimlik doğrulama, el değiştirme ve el değiştirme anında bağlantı durum aktarımı gibi fonksiyonları gerçekleştirmek üzere kullanılır.

3.5.3.5. Gezgin ATM (Mobile ATM)

KATM ağının Gezgin ATM bölümü; konum yönetimi, el değiştirme ve yönlendirme gibi hareketlilik destek fonksiyonlarını kapsar. Gezgin terminallerin hareketliliği Gezgin ATM bölümünün sorumluluğundadır.

3.5.3.5.1. Konum yönetimi

Gezgin ATM sisteminde kullanıcı terminali, kendisine hizmet veren herhangi bir baz istasyonundan bir başka baz istasyonunun hizmet bölgesine hareket edebilir. Bu nedenle; mobil kullanıcının nerede olduğu, aktif erişim noktasının (AP) hangisi olduğu v.b. gibi bir çok konum fonksiyonları gereklidir. Konum yönetimi bu fonksiyonların yerine getirilmesinden sorumludur.

3.5.3.5.2. El değiştirme

Kullanıcılar bir baz istasyonu kapsama alanından diğer baz istasyonunun kapsama alanına geçtiğinde aktif bağlantıların dinamik olarak sürdürülmesini sağlar.

3.5.3.5.3. Yönlendirme

Gezgin haberleşmede kullanıcılara servis veren baz istasyonları zamanla değişebilir. Kablolı ortamlarda kullanılan yönlendirme algoritmaları bu tür dinamik yapılar için yeterli değildir. Bu nedenle Gezgin ATM ağı için yeni yönlendirme algoritmaları geliştirilmelidir. Kullanılacak yönlendirme algoritması ağın kablosuz ve kablolu bölümlerini desteklemelidir.

3.6. Sonuç

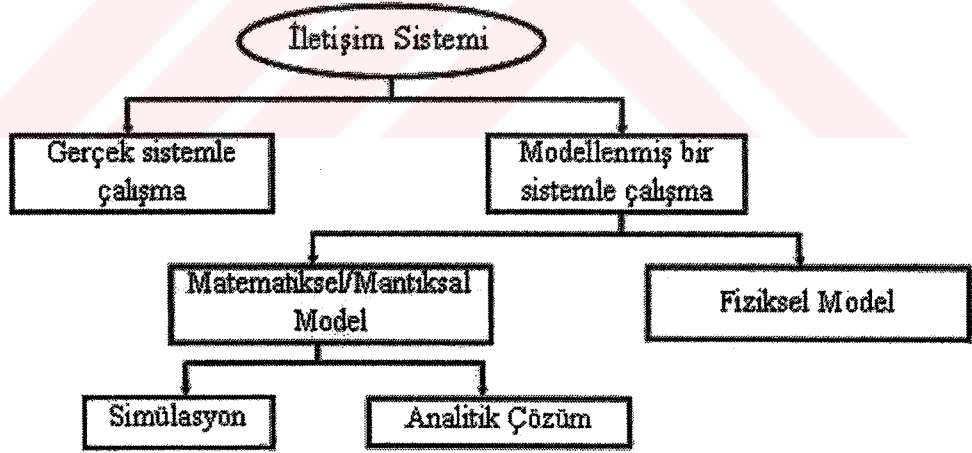
Günümüzde yaygın olarak kullanılan kablosuz yerel ağ teknolojileri veri haberleşmesi için uygun olmakla birlikte, servis kalitesi garantisi gerektiren gerçek zamanlı çoklu ortam uygulamaları gibi patlamalı trafikler için yetersiz kalmaktadır. ATM teknolojisi kablolu ortamda bu tür geniş bant servislerin tüm gereksinimlerini karşılayabilmektedir. KATM ağ teknolojisi, ATM'nin kablosuz uyarlamasıdır ve diğer kablosuz ağ sistemlerinin hizmet vermekte yetersiz kaldığı gerçek zamanlı çoklu ortam uygulamalarına, garantili hizmet kalitesi sunmayı hedeflemektedir.

KATM sistemleri gerçekleştirilirken, kablosuz ortamın fiziksel sınırlamaları nedeniyle meydana gelen sorunları çözebilmek amacıyla standart ATM katmanlarına ilave katmanların ve modüllerin tanımlanması gerekmektedir. MAC ve DLC katmanları standart ATM katmanlarından farklı olarak KATM için eklenmiş bileşenlerdir ve servis kalitesi garantili kablosuz veri transferinin gerçekleştirilebilmesinde büyük öneme sahiptir.

BÖLÜM 4. HABERLEŞME AĞLARININ MODELLENMESİ ve PERFORMANS ANALİZİ

4.1. Giriş

Büyük ve karmaşık yapıya sahip haberleşme ağlarında sistemin performansını etkileyen bir çok değişken bulunabilir. Sayısal veri haberleşme mühendisliğinde kullanılan bir çok performans değerlendirme yöntemi vardır. Şekil 4.1’de gösterildiği gibi, bir iletişim ağının başarımlı analizi, ya gerçek bir sistem ya da modellenmiş eşleniğinin kullanılması ile elde edilebilir. Bir sistemi modellemek için üç farklı yöntem kullanılabilir. Bunlar; fiziksel model ya da prototip, analitik çözüm ve simülasyon yöntemleridir (Ertürk 2000, Özçelik 2002).



Şekil 4.1. Haberleşme sistemi geliştirmek için kullanılan farklı yöntemler.

Birinci yöntemde, mevcut sistem ya da sistemin prototipi değişik koşullar altında incelenerek performansı elde edilebilir. Bu teknik en güvenilir ve en doğru yöntem olmasına rağmen, özellikle karmaşık haberleşme sistemleri için, planlama ve tasarım aşamasında gerçekleştirilmesi olanaksızdır.

Kullanılan bir diğere yöntem analitik model tekniğidir. Genel olarak analitik modeller ideal kabullerle ve basitleştirilmiş yaklaşımlarla oluşturulur. Bu nedenle daha hassas sonuçlar istendiğinde analitik modeli oluşturmak karmaşıklık ve zaman tüketimi açısından sistemin prototipini oluşturmak kadar zor olacaktır.

Diğere yöntemlerin bahsedilen dezavantajları göz önüne alındığında, sayısal veri haberleşme ağlarının performans değerlendirmesinde olaya dayalı (event-driven) bilgisayar simülasyonu en iyi çözüm olarak görülmektedir (Ertürk 2000).

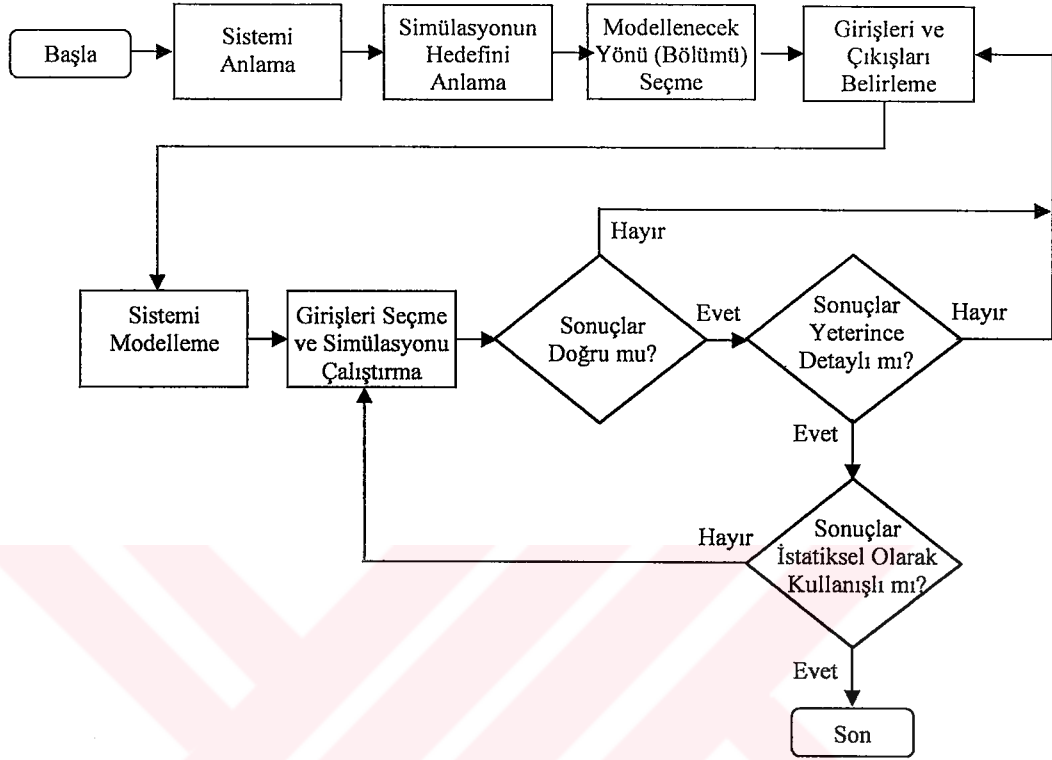
4.2. Modelleme ve Simülasyon

Plana uygun bir amacı gerçekleştirmek üzere tasarlanmış çeşitli olayların, doğal veya yapay olarak oluşturduğu gruba sistem denir. Bir sistemin genel karakteristiklerinin gösterilimi sistemin modeli olarak isimlendirilir. Bir sistemin ya da prosesin matematiksel, algoritmik veya davranışsal karakteristiklerinin açıklanmasına ise modelleme denir (Özçelik 2002). Model, temsil ettiği sisteminkilere benzer sonuçlar üreteceğinden, gerçek sistem üzerinde yapılması gereken işlemler çok zor, pahalı ve hatta imkansız ise bu işlemler, sistemin modeli üzerinde yapılabilir.

Simülasyon, somut anlamda belirli bir nesnenin modeli veya temsilidir. Daha geniş bir ifade ile, gerçek sistemin modelinin tasarımı ve bu model ile sistemin işletilmesi amacına yönelik olarak, sistemin davranışını anlayabilmek veya değişik stratejileri değerlendirebilmek için deneyler yürütülmesi sürecidir (Bayılmış 2003). Simülasyonun sayısal ortamda bilgisayarlarla gerçekleştirilmesi ise bilgisayar simülasyonu olarak ifade edilebilir. Şekil 4.2, herhangi bir modelin simülasyonu için gerçekleştirilen işlem basamaklarını akış şemalarıyla ifade etmektedir.

Simülasyonu yapılacak haberleşme sistemlerinin karmaşık yapıları nedeniyle, sisteme ait tüm detayların hassas olarak ele alınması mümkün değildir (Comnet 1996, Ertürk 2000). Bunun yerine ağ, genellikle matematiksel ya da mantıksal ilişkilerle ifade edilen model şeklinde tanımlanır. Daha sonra bilgisayar yardımıyla oluşturulan modelin simülasyonu yapılır. Simülasyon sonuçlarının doğruluğu modelin gerçek sisteme ne kadar yakın olduğuna bağlıdır. Gerçeğine daha yakın

model daha fazla detay gerektirir. Buna paralel olarak modelin tasarlanması ve simülasyonun gerçekleştirilmesi de daha uzun zaman gerektirir.



Şekil 4.2. Genel bir simülasyonun işlem basamakları.

Tanımlanan modelin yapısına bağlı olarak iki farklı simülasyon tekniği kullanılır. Bunlar; sürekli ve ayrık olay simülasyonu teknikleridir.

Sürekli olay simülasyonunda, olaylar zamana bağlı olarak bir süreklilik arz eder. Zaman doğrusal olarak arttıkça, prosesler de zaman içerisinde doğrudan değişirler. Sayısal veri haberleşme ağları ve bilgisayar sistemleri ayrık olay simülasyonu ile modellenirler (Opnet 2002a). Ayrık olay simülasyonunda modüllerin çalıştırılması ve simülasyon zamanının ilerlemesi zamanlayıcı süresinin dolması, paketlerin varışı gibi olayların meydana gelmesiyle gerçekleşir.

Haberleşme sistemlerinin modellenerek simülasyonunun yapılmasını sağlamak üzere kullanılan çok sayıda yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılımlardan bazıları Tablo 4.1’de listelenmiştir. Tez çalışmasına konu olan KATM MAC modelinin tasarlanmasında

ve örnek uygulamaların gerçekleştirilmesinde OPNET Modeller simülasyon yazılımı kullanılmıştır.

Tablo 4.1. Haberleşme sistemlerini modellemek için yaygın olarak kullanılan simülasyon yazılımları.

Ağ Simülasyon Paketi	Üretici
OPNET Modeller	OPNET Inc.
Network Simulator	Berkley University
Planning Workbench Suite	Bellcore
BONES	Comdisco
Network II.5, COMNET III, L NET ve Simscript 2.5	CACI Products Co.
Net Maker	Make Systems Inc.
Object Time	BNR

4.3. OPNET Simülasyon Yazılımı

OPNET Modeller, haberleşme ağlarının ve dağıtılmış sistemlerin modellenmesine imkan veren ayrıntılı bir çalışma ortamı sunar. Modeli oluşturulan sistemin davranışı ve performansı ayrık olay simülasyonu gerçekleştirilerek analiz edilebilir. Herhangi bir haberleşme sisteminin OPNET Modeller ile modellenerek performans değerlendirmesinin yapılabilmesi için üç aşamadan oluşan işlem basamakları takip edilmelidir (Opnet 2002a). Bu aşamalar sırasıyla:

- Sistemi modelleme,
- Veri toplama ve simülasyonunu yapma ve
- Sonuçları analiz etmedir.

OPNET içerisinde çalışmanın her aşamasında kullanılan; model tasarımı, simülasyon, veri toplama ve veri analizi işlemlerini gerçekleştiren çok sayıda araç bulunmaktadır. Simülasyonu yapılacak sistemin ayrı bölümlerini modellemek ve incelemek için kullanılan bu araçlar üç grupta toplanmaktadır:

1. Modelleme için kullanılan OPNET araçları:

- Proje Editörü (Project Editor)

- Düğüm Editörü (Node Editor)
 - Proses (Süreç) Editörü (Process Editor)
 - Parametre Editörü (Parameter Editor)
2. Simülasyon için kullanılan OPNET aracı:
- Simülasyon Aracı (Simulation Tool)
3. Simülasyon sonuçlarını toplamak, incelemek ve göstermek için kullanılan OPNET araçları:
- Ölçüm Noktası Editörü (Probe Editor)
 - Analiz Aracı (Analysis Tool)
 - Filtre Editörü (Filter Editor)

OPNET Modeller, hiyerarşik modelleme katmanlarından oluşur. Windows NT/2000 veya UNIX altında çalışabilir. Model oluşturmada kullandığı kütüphanesine kullanıcıların yeni model eklemesine olanak sağlayan OPNET, yaygın olarak kullanılan ATM, TCP/IP, frame relay, MPLS, IP v.b. ağ protokollerini ve ağ elemanlarını içerir. Aynı zamanda, dünyada ağ ekipmanları üretiminde lider konumda olan 3Com, Cisco, Bays Network, Fore Systems v.b. firmaların ürettiği yönlendirici, anahtar, v.b. ürünlerin modellerini de içerir. Hemen hemen haberleşmenin tüm alanlarında uygulama olanağı bulan OPNET'in kullanıcı profili çok geniştir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. OPNET kullanıcı profilleri.

Kullanıcı Tipi	Kullanım Amacı
Servis Sağlayıcılar	Performans ölçümü, trafik planlaması, ağ yönetimi
Ağ Ekipman Üreticileri	Ağ tasarımı, ürünlerin testi, protokollerin testi
Araştırma Kuruluşları	Ağ ve protokol tasarımı, performans değerlendirme
Yatırımcılar	Performans optimizasyonu, ağ yönetimi

4.3.1. OPNET yazılımının önemli özellikleri ve uygulamaları

OPNET Modeller yazılımının yapılan çalışmalarımızda da faydalandığımız önemli

özellikleri şu şekilde özetlenebilir:

- Nesneye yönelik: OPNET içerisinde kullanılan sistemler her biri değiştirilebilir özelliklere sahip nesnelere oluşur. Nesnelere ise sınıflara aittir. Sistem tasarımını esnek hale getirerek modellemenin geniş bir çalışma alanına uygulanabilmesini sağlamak üzere yeni sınıfların tanımlanabilmesine ve varolan sınıflardan yeni sınıflar türetilebilmesine imkan verilmiştir.
- Haberleşme ağlarının ve bilgi sistemlerinin tasarımında uzmandır: Dağıtılmış sistemler ve ağların modellenmesi için yüksek güç sağlayan bilgi ve haberleşme sistemleri ile ilgili pek çok olanak sağlar.
- Hiyerarşik modeller: OPNET modelleri gerçek haberleşme ağlarının yapılarında olduğu gibi hiyerarşik bir düzene sahiptir.
- Grafiksel özellik: Modeller grafik destekli editörler yoluyla oluşturulur.
- Özel modeller geliştirme esnekliği: Yüksek seviyeli programlama dili ile bütün haberleşme protokolleri, algoritmaları ve iletim teknolojilerinin gerçekçi modellenmesine verdiği destek ile büyük bir esneklik sağlar.
- Simülasyonların otomatik üretimi: Simülasyon modelleri, C programlama dilinde otomatik olarak derlenerek çalıştırılır.
- Uygulamaya özel istatistikler: Simülasyon süresince otomatik olarak elde edilen bir çok performans istatistikleri sağlar. Ayrıca kullanıcı tanımlı prosedürler tarafından hesaplanan uygulamaya özel istatistiklerin de elde edilmesine imkan tanır.
- Tümleştirilmiş simülasyon analiz araçları: Simülasyon sonuçlarını işleme ve grafiksel sunumlar için gelişmiş araçlar içerir.
- Animasyon: Modellerin çalışmaları animasyon kullanılarak gözlemlenebilir.
- Etkileşimli analiz: OPNET Debugger, etkileşimli analiz yapma olanağı sunar (Opnet 2002a).

Çok geniş bir ölçekteki sistemleri modelleme yeteneğine sahip OPNET yazılımının tipik uygulamaları şunlardır:

- Standart LAN ve WAN'ların modellenmesi,

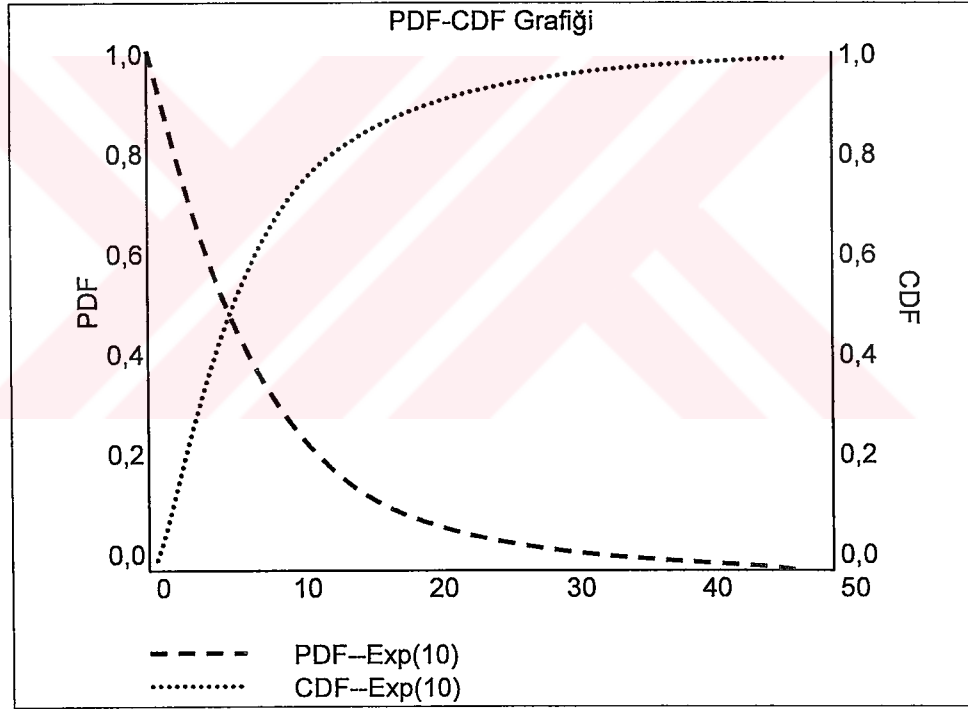
- Ağlar arası ağ (Internetwork) planlama,
- Haberleşme mimarilerinde ve protokollerinde araştırma ve geliştirme,
- Dağıtılmış sensör ve kontrol ağlarının geliştirilmesi,
- Uydu ağlar ve
- Mobil paket radyo ağlar.

4.3.2. OPNET editörleri

OPNET Modeler yazılımıyla bir sistemin modellenmesi, bir çok editörde yapılan işlemlerin birleştirilmesi ile gerçekleştirilir. Örneğin; özel bir ağ modellemesi yapılırken, bu ağ içerisinde kullanılacak bağlantı hatları, veri paketleri, kullanılacak ağ elemanları, katmanlar ve protokoller farklı editörler kullanılarak hazırlanır. Aşağıda OPNET yazılımında yaygın olarak kullanılan editörler ve bunların görevleri sunulmaktadır:

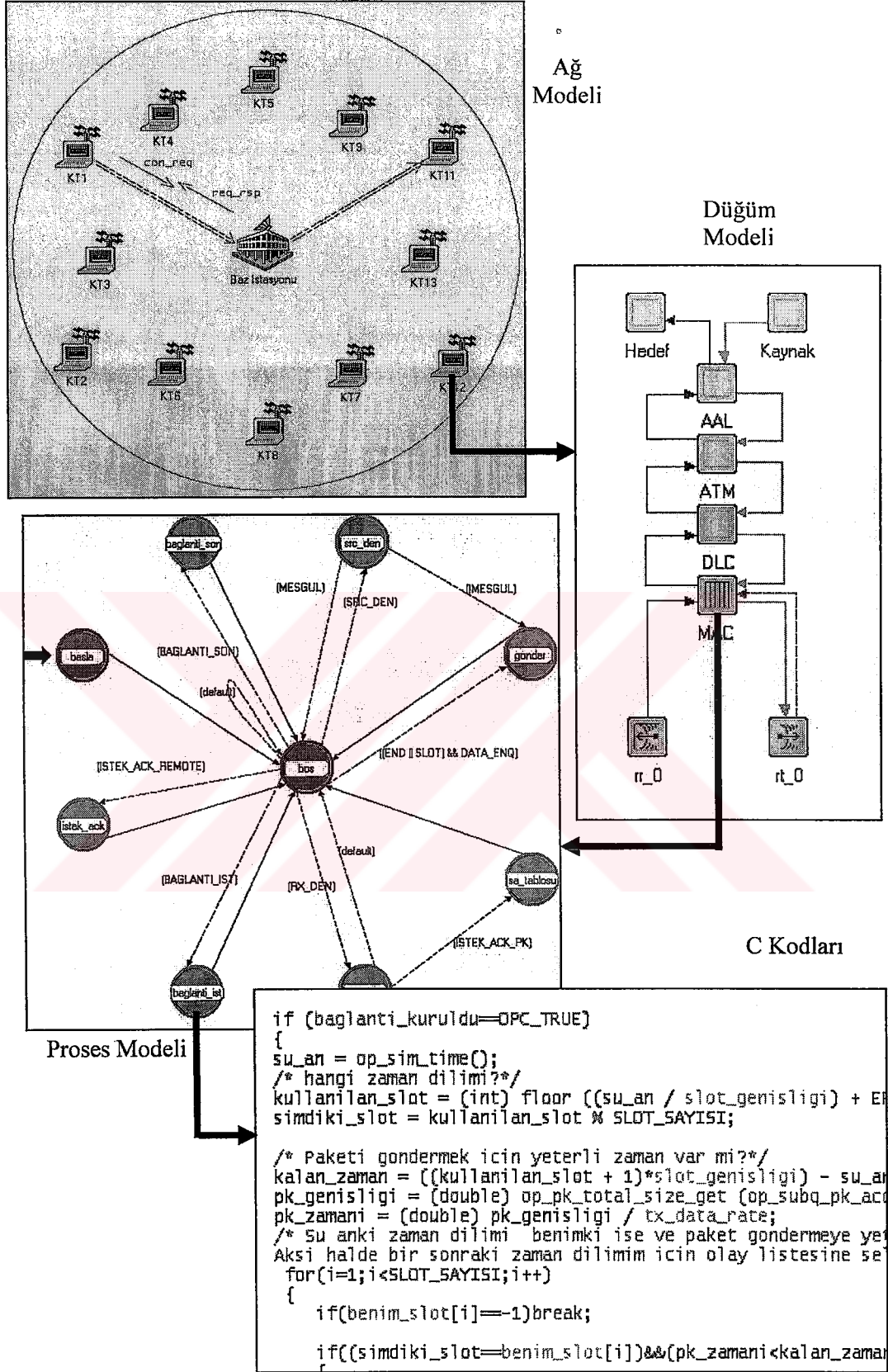
- Proje editörü (Project editor): Ağ modellerinin geliştirildiği, alt ağlar, bağlantı hatları, düğümler (nodes) ve coğrafik içerik tanımlamalarından oluşan editördür. Bu editör temel simülasyon ve analiz yeteneklerini içerir.
- Düğüm editörü (Node editor): Ağ modellerindeki nesnelerin (düğümlerin) geliştirildiği editördür. İçerisinde proses modellerinden oluşan modüller ve bu modülleri birbirine bağlayan iletim hatları bulunur.
- Proses editörü (Process editor): Düğüm editöründeki nesnelerin yapısının, parametrelerinin ve davranışlarının kontrol edildiği ve değiştirildiği editördür. Durum geçiş diyagramları ve bunların davranışlarını belirleyen C kodlarını içerir.
- Bağlantı model editörü (Link model editor): Ağ cihazlarının iletişimini sağlayan bağlantı modellerinin oluşturulduğu ve düzenlendiği editördür.
- Paket biçim editörü (Packet format editor): Bilgi paketlerinin tanımlandığı ve yapılarının geliştirildiği editördür.
- Arayüz kontrol bilgisi editörü (Interface control information (ICI) editor): Prosesler arasında haberleşme kontrol bilgisi tanımlamak için kullanılır.
- Anten model editörü (Antenna pattern editor): Radyo modülündeki alıcı ve vericiler için anten örnekleri oluşturmak ve düzenlemek için kullanılır.

- Modülasyon editörü (Modulation curve editor): Yalnızca, kablosuz modülü eklenmiş OPNET yazılımlarında bulunur. Alıcılar ve vericiler için modülasyon işlemlerini düzenler.
- PDF (Probability Density Function) editörü: Olasılık sıklık fonksiyonlarının düzenlendiği editördür. OPNET içerisinde, rasgele değişen parametreler için kullanılan çok sayıda analitik dağılım fonksiyonları (Exponential (üstel), Poisson, Gamma, Uniform, Geometric, Laplace, Normal v.b.) bulunmaktadır. Bu tez çalışması çerçevesinde geliştirilen örnek ağ uygulamalarında kullanılan trafikler (paket boyutları ve varış süreleri) üstel (exponential) dağılım fonksiyonu ile üretilmektedir. Üstel dağılım fonksiyonu, giriş olarak tek bir pozitif reel sayı (ortalama değer) alır ve geriye yine tek bir pozitif reel sayı döndürür (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Üstel dağılım (Exponential distribution).

OPNET yazılımı ile modellenen haberleşme sistemlerinde genellikle, aralarında hiyerarşik bir yapı ilişkisi olan proses, düğüm ve proje editörleri kullanılır. Şekil 4.4'de OPNET yazılımı ile modellenmiş bir ağ sistemi ve bu sistemi meydana getiren hiyerarşik yapı görülmektedir.



Şekil 4.4. OPNET sistem modellerinin tasarımında kullanılan editörlerin hiyerarşik ilişkisi.

Şekil 4.4'den anlaşılacağı gibi ağ içerisindeki her eleman, düğüm editör içerisinde tanımlanan modüllerden oluşmuştur. Modüllerin içerisinde ise, ağ elemanının davranışları ile özelliklerini belirleyen ve C kodu içeren durum geçiş diyagramlarıyla tasarlanmış proses modelleri bulunur.

Proje editörü en yüksek seviyeli modelleme katmanıdır ve ağların modellenmesi burada gerçekleştirilir. OPNET yazılımı sistemleri modellerken proje-senaryo yaklaşımını kullanır. Proje, modellenen ağın farklı yönlerini ifade eden ve birbirleriyle ilgili olan ağ senaryolarından oluşur. Her projede en az bir adet senaryo bulunur. Senaryo, ağ modelinin bir anıdır ve ağın diğer senaryolardakinden farklı bir düzenlemesini içerir. Bu farklılıklar; protokol, uygulama, topoloji, simülasyon değişkenleri v.b. olabilir. Proje editörü özetle şu işlemleri gerçekleştirir:

- Ağ modellerinin tasarlanması ve düzenlenmesi,
- Ağı oluşturan düğümlerin özelliklerinin değiştirilmesi,
- Ağ topolojilerinin tanımlanması ya da dışarıdan alınması ve trafik üretilmesi,
- Simülasyon sonuçlarının toplanması ve grafiksel olarak gösterilmesi.

Proje editöründe oluşturulan ağ modellerinde kullanılan düğümlerin geliştirildiği ortam, düğüm editörü olarak adlandırılır. Terminal, yönlendirici, anahtar v.b. ağ elemanlarının iç yapılarının modellenmesi için kullanılan düğüm editörünün içerisinde ağ elemanı oluşturmak için kullanılan beş modül ve bu modüllerin haberleşmesini sağlayan bağlantılar vardır.

Düğüm editöründe kullanılan modüller; alıcı, verici, kuyruk, işlemci ve üreticidir. Alıcı ve verici modülleri, trafik sinyallerinin fiziksel ortam ile bağlantısını sağlarken, üretici modülü, kaynakların trafik üretmelerini sağlamak amacıyla kullanılır. İşlemci modülü, ağ elemanının davranış şeklini belirler ve tam olarak programlanabilir. Kuyruk modülü de işlemci modülünün tüm özelliklerine sahip olmakla birlikte, veriler işlenirken kayıpların önlenmesini sağlamak üzere kuyruklama yeteneğiyle donatılmıştır.

Proses modelleme OPNET'deki hiyerarşik modelleme yapısının en alt seviyesini oluşturur. Takip eden bölüm, proses modelleme konusuyla ilgili temel kavram ve yöntemleri açıklayacaktır.

4.3.3. Proses modelleme

Düğüm editörde kullanılan modüllerin yapısının, parametrelerinin ve davranışlarının kontrol edilmesi ve değiştirilmesi proses editörü ile gerçekleştirilir. Proseslerin protokol, algoritma ve uygulama gibi davranışları, içerisinde C kodları bulunan durum geçiş diyagramları ile oluşturulur. Proses modeller kullanılarak şu işlemler tanımlanabilir:

- Haberleşme protokolleri ve algoritmaları
- Paylaştırılmış kaynak yöneticileri
- Kuyruklama işlemleri
- Özelleştirilmiş trafik üreticiler
- İstatistik toplama mekanizmaları
- İşletim sistemleri

Takip eden bölümde, proses modellemenin temelini oluşturan olay, kesme ve durum kavramları açıklanarak, proses modelin davranışlarını belirleyen Proto-C dilinden bahsedilmektedir.

4.3.3.1. Olay, Kesme ve Durum kavramları

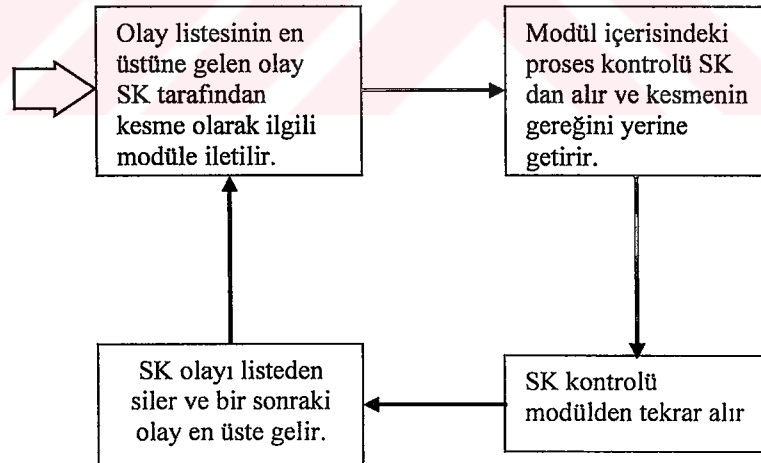
Olay, özel bir aktivitenin belirli bir zamanda olması için istekte bulunmaktır. OPNET simülasyonları olaya dayalıdır (event-driven). Simülasyon zamanı bir olay olduğunda ilerler. Olaya dayalı simülasyon yönteminin dezavantajları şunlardır:

- Sonuçların doğruluğu örnekleme çözünürlüğüyle sınırlandırılmıştır.
- Uzun süre hiçbir olay gerçekleşmezse simülasyon verimli olmaz.

OPNET simülasyonunda tek bir global olay listesi vardır ve simülasyondaki tüm olaylar bu listede zaman sıralamasına göre yer alır. Tablo 4.3, olay listesinin yapısını göstermektedir. Simülasyon sırasında tüm nesnelere aynı simülasyon saatini kullanılır. Olay listesi, SK (Simulation Kernel) adı verilen çekirdek bir program tarafından yönetilir. SK, modüllerden istekleri alır ve yeni olayları olay listesine ekler. Olay listesinin ilk sırasına gelen olay, kesme (interrupt) adını alır ve SK tarafından ilgili modüle yönlendirilir. Artık program akış kontrolü bu modüle geçmiştir. Modül, kesmenin gereğini yerine getirdikten sonra program akış kontrolü yeniden SK'ya geçer. SK olayı listeden siler ve bir sonraki olay ilk sıraya gelerek kesme durumuna geçer. Olay listesinin çalışmasıyla ilgili akış şeması Şekil 4.5'de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Simülasyon olay listesinin yapısı.

<u>Zaman</u>	<u>Olay Türü</u>	<u>Modül</u>
(Kesme)→0.0	Başlatma	src.gen
0.0	Başlatma	src.rte
4.3	Timer expires	src.gen
4.3	Packet arrives	src.rte



Şekil 4.5. Olay listesinin çalışması.

Proses modeller, içerisinde C kodları bulunan durum geçiş diyagramlarından oluşurlar. Durum makineleri sistemin durumunu (ACK bekleniyor, boşta, meşgul v.b.) belirtir ve içlerine C kodları yazılabilen iki bölüm içerir. Bunların birincisi,

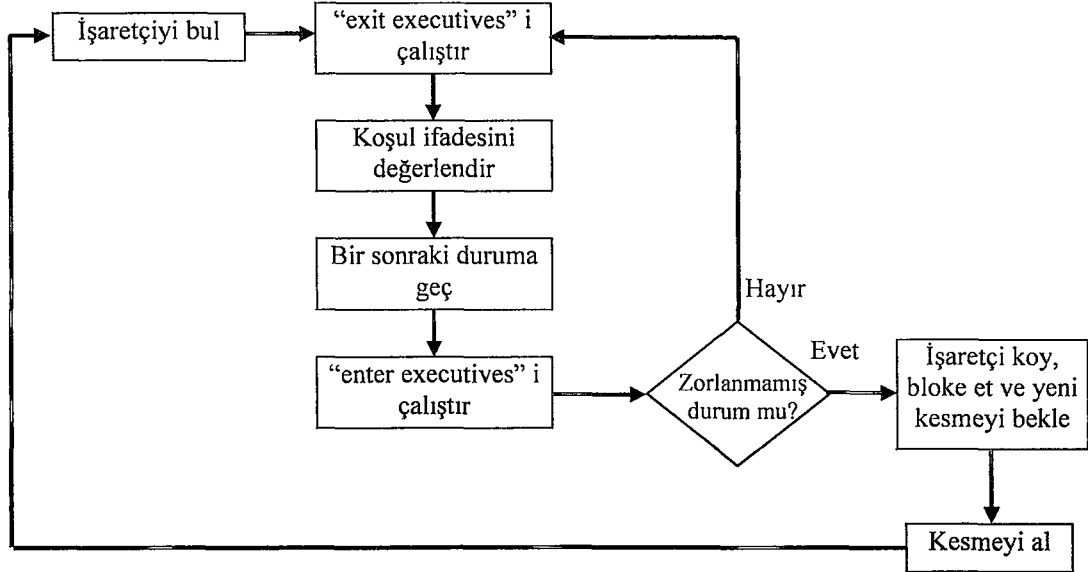
işlem akışı duruma geçtiğinde çalıştırılan “enter executives” bölümü ve ikincisi, durumdan çıkılırken çalıştırılan “exit executives” bölümüdür.

Zorlanmış (forced) ve zorlanmamış (unforced) olmak üzere iki tür durum vardır. Zorlanmış durum, kod tutucu olarak da ifade edilebilir. İşlem akışı bu duruma geçtiğinde önce “enter executives” bölümündeki kodlar ve sonra “exit executives” bölümündeki kodlar çalıştırılır. İşlem akışı herhangi bir bekleme olmadan bir sonraki duruma geçer. Zorlanmamış durum ise sistemin gerçek durumunu ifade eder. İşlem akışı böyle bir duruma geçtiğinde, ilk olarak “enter executives” bölümündeki kodlar çalıştırılır ve durumun ortasına bir işaretçi konarak bir sonraki kesme beklenir. Proses model için yeni bir kesme geldiğinde durum makinesi, işaretçi konulan yerden itibaren çalışır ve “exit executive” bölümündeki kodlar icra edilerek bir sonraki duruma geçilir.

Durumlar arasında bulunan ve üzerindeki koşul ifadesine göre durumlar arası geçişi sağlayan bağlara, geçiş (transition) denir. Durumlar arası geçiş işlemi şu şekilde gerçekleştirilir:

- “exit executives” çalıştırdıktan sonra durumdan giden tüm geçiş koşulları değerlendirilir.
- Doğru olan koşul “true” değerini alır.
- İşlem akışı doğru koşula sahip geçiştikten bir sonraki duruma geçer.
- “Default” koşul değerine sahip geçiş diğer koşullar doğru değil ise “true” değerini alır.
- Koşul değeri olmayan geçiş “unconditional” olarak adlandırılır ve sürekli “true” değerindedir.

Şekil 4.6'daki akış şeması, proseslerin kendilerine gelen kesmeleri nasıl değerlendirdiğini göstermektedir (bu şema, prosesler ilk çalıştırıldığında işletilen başlangıç durumu için geçerli değildir).



Şekil 4.6. Kesmelerin prosesler tarafından değerlendirilmesi.

4.3.3.2. Proto-C ve Kernel Procedure kavramları

Prosesler Proto-C adı verilen bir dille ifade edilir. Proto-C; durum geçiş diyagramları, KP'ler, C programlama dili, durum değişkenleri ve geçici değişkenlerden oluşur.

KP'ler uzun, zor ya da sık kullanılan işlemleri kısa yoldan yapmak için önceden yazılmış fonksiyonlardır. Kullanıcılar KP'ler sayesinde bellek yönetimi, veri yapıları olay değerlendirme v.b. karmaşık işlemlerle uğraşmak zorunda kalmazlar. Tüm KP'ler "op_" ön eki ile başlar. Tablo 4.4, prosesler modellenirken sık olarak kullanılan KP'leri göstermektedir.

Tablo 4.4. Sıkça kullanılan KP'ler.

Packet Paketi: op_pk_create () op_pk_create_fmt () op_pk_copy () op_pk_get () op_pk_total_size_get () op_pk_nfd_set () op_pk_nfd_get () op_pk_send () op_pk_send_delayed () op_pk_destroy ()	Subq Paketi: op_subq_pk_insert () op_subq_pk_remove () ID, Topo ve Internal Model Access Paketleri: op_id_self () op_topo_parent () op_topo_child () op_ima_obj_attr_get ()	Interrupt Paketi: op_intrpt_schedule_self () op_intrpt_type () op_intrpt_strm () op_intrpt_code () Stat Paketi: op_stat_reg () op_stat_write () op_stat_local_read () op_stat_scalar_write ()	Distribution Paketi: op_dist_load () op_dist_outcome () Simulation ve Event Paketleri: op_ev_cancel () op_sim_time ()
---	--	--	--

4.3.4. OPNET Kablosuz (Wireless) Modülü

OPNET Modeller Kablosuz Modülü, kablosuz ağların modellenerek simülasyonlarının gerçekleştirilebilmesini sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Kablosuz ağların çalıştığı ortamın yayın (broadcast) özelliği ve terminallerin hareketliliği tasarım sırasında ilave olarak göz önüne alınmalıdır.

Kablosuz cihazların haberleşmesini sağlayan radyo bağlantıları, kablolu bağlantıların aksine görünmezler ve simülasyon sırasında dinamik olarak oluşturulurlar. Radyo bağlantıları, radyo alıcı-verici kanal çiftleri arasında kurulur ve bağlantının kurulması bileşenlerin zamanla değişen fiziksel karakteristiklerine bağlıdır. Simülasyon sırasında, belirli bir zamanda radyo bağlantılarının olup olmadığının belirlenmesinde frekans bandı, modülasyon türü, gönderici gücü ve (hareketli nesnelere olduğu durumda) mesafe ile anten yönelimi gibi özellikler sıklıkla kullanılan faktörlerdir (OPNETb 2002).

OPNET, kullanıcılara radyo bağlantılarının tüm özelliklerinin belirleyebilecekleri açık bir yapı sunar. 14 düzeyden oluşan bu yapıya “transceiver pipeline” denir ve “transceiver module” içerisinde tanımlanır.

4.3.4.1. “Pipeline” düzeyleri

Radyo ortamı yayın (broadcast) özelliğine sahip olduğundan her bağlantı, ağ içerisindeki tüm alıcıları etkiler. Bununla birlikte, herhangi bir radyo bağlantısı alıcılara farklı davranışlar ve zamanlama ile ulaşır. Sonuç olarak, her bir alıcı için ayrı bir “pipeline” çalıştırılmalıdır. Bu alt bölümde, radyo iletişimi sırasında çalıştırılan 14 “pipeline” düzeylerinden önemli olan bazıları açıklanacaktır.

Düzye 1 (İletim Gecikmesi, Transmission Delay), gönderilecek paket içerisine iletim gecikmesini ekler. İletişim başladığında ilk olarak çalıştırılan bölümdür. Gönderilecek paketin tamamının iletilmesi için gerekli olan süreyi hesaplamak için kullanılır. Paket iletilirken yalnızca bir defa hesaplanır ve diğer tüm alıcılar tarafından kullanılır.

Düzey 4 (Verici Anten Kazancı, Transmitter Antenna Gain), vericinin anten kazancının hesaplandığı bölümdür. Tüm hedef alıcı kanallar için ayrı ayrı hesaplanır. Elde edilen sonuç, SK tarafından doğrudan kullanılmayıp 7. düzey olan alınan güç bölümünde faydalanılır.

Düzey 5 (Yayılm Gecikmesi, Propagation Delay), her alıcı kanalı için veri paketi kaynaktan hedefe gidene kadar geçen süreyi hesaplar. Bu sonuç genellikle kaynak ile hedef arasındaki mesafeye bağlıdır.

Düzey 6 (Alıcı Anten Kazancı, Receiver Antenna Gain), alıcının anten kazancını hesaplamak için kullanılır. Elde edilen sonuç SK tarafından doğrudan kullanılmayıp 7. düzey olan alınan güç bölümünde faydalanılır.

Düzey 7 (Alınan Güç, Received power), gelen paket sinyalinin gücünü hesaplamak için kullanılır. Alınan gücün hesaplanmasında verici gücü, alıcı-verici arasındaki mesafe, iletim frekansı ve alıcı-verici anten kazançlarından faydalanılır.

Düzey 8 (Arka Plan Gürültüsü, Background Noise), diğer gürültü kaynaklarının (termal gürültü, diğer kaynaklardan gelen gürültü v.b.) toplam gücünü hesaplayarak pakete ekler.

Düzey 9 (Girişim Gürültüsü, Interference Noise), ardışık olarak gelen paketlerin birbirlerinin üzerine binmesinden kaynaklanan girişim gürültüsünü hesaba katmak için kullanılır.

Düzey 10 (Sinyal/Gürültü Oranı, Signal-to-Noise Ratio, SNR), gelen paketin ortalama güç SNR sonucunu hesaplamak için kullanılır. SNR değeri bulunurken, önceki düzeylerden elde edilen alınan güç, arka plan gürültüsü ve girişim gürültüsü değerlerinden faydalanılır. Paketin SNR değeri, alıcının paketleri doğru olarak alabilme kapasitesini saptayan önemli bir performans ölçüsüdür. Bu düzeyde elde edilen sonuç, alıcının standart çıkış istatistiklerinde ve sonraki düzeylerde kullanılır.

Düzyey 11 (Bit Hata Oranı, Bit Error Rate, BER), SNR değerine bağlı bit hatalarının olma olasılığını belirlemek için kullanılır. Bu değer aynı zamanda iletimde kullanılan modülasyon tekniğinin de bir fonksiyonudur.

Düzyey 13 (Hata Düzeltilme, Error Correction), önceki düzyeylerin sonuçlarına göre, gelen paketin kabul edilip hedefe gönderilmesine ya da yüksek hata oranı nedeniyle kabul edilememesine karar verir. "ecc_threshold" değeri paketlerdeki kabul edilebilir hatalı bit oranını belirler. Bu değerden fazla bit hatasına sahip paketler kabul edilmezler.

4.4. Sonuç

Günümüzde, haberleşme ağlarının performansını değerlendirmek üzere bir çok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bilgisayar simülasyonu diğerlerine oranla daha çok tercih edilmektedir. Bilgisayar yardımıyla bir sistemin simülasyonunu yapabilmek için öncelikle sistemi modellemek gerekir.

Haberleşme ağlarını modelleyerek simülasyonlarının gerçekleştirilmesini sağlayan çok sayıda yazılım bulunmaktadır. OPNET Modeler, haberleşme ağlarını modelleyerek olaya dayalı simülasyon tekniği ile simülasyonunu gerçekleştiren bir yazılımdır. Çalışmamıza konu olan TDMA/FDD MAC protokolü ve bu protokolü kullanan ağ elemanlarından oluşan örnek KATM uygulaması, OPNET Modeler yazılımıyla modellenerek simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 5. KATM AĞLAR İÇİN TASARLANAN YENİ BİR MAC KATMANI MODELİ

5.1. Giriş

MAC protokolü, sınırlı bant genişliğine sahip kablosuz iletim ortamını kullanıcılar arasında etkin olarak paylaşmayı amaçlayan kurallar bütünüdür (Rappaport 96, Chew 1999, Hac 2000). Kablosuz haberleşme sistemlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiş çok sayıda MAC protokolü bulunmaktadır.

MAC protokolü, özellikle servis kalitesi garantisi isteyen trafiklerin servis gereksinimlerinin karşılanmasında çok önemli bir role sahiptir (Kwok 2000, Tzeng 2001). Bu tür trafikler için, yaygın olarak istek güdümlü çoklu erişim teknikleri kullanılmaktadır.

Bu bölümde, kablosuz ağlarda yaygın olarak kullanılan çoklu erişim teknikleri anlatılarak literatürde KATM için önerilen MAC protokollerinden bahsedilmektedir. Ayrıca, tez çalışmasının özünü oluşturan ve KATM ağ modelinde kullanılan TDMA/FDD tekniğine dayalı yeni bir MAC protokolü önerilmektedir. Bu MAC protokolünün tasarımı ve modellenmesi açıklanmaktadır.

5.2. Kablosuz MAC Protokolleri

Kablosuz haberleşme sistemlerinde iletim ortamının, kullanıcıdan baz istasyonuna (uplink, veriş) ve baz istasyonundan kullanıcıya (downlink, alış), aynı anda çift yönlü olarak kullanılması istenir. Kablosuz ortamlarda kullanılan MAC protokolleri, iletim ortamını çift yönlü kullanma (duplexing) yöntemine göre frekans bölmeli (FDD, Frequency Division Duplexing) ve zaman bölmeli (TDD, Time Division Duplexing) olarak ikiye ayrılır.

FDD yönteminde her kullanıcıya alış ve veriş yöntünde farklı frekans bandına sahip iki tek yönlü kanal tahsis edilir. TDD yönteminde ise her kullanıcı için iki farklı frekans bandı yerine tek frekans bandı kullanılır. Alış ve veriş için ayrı zaman dilimlerinden (time slot) faydalanılır. Kısa mesafeli radyo haberleşmesinde TDD yöntemi daha çok kullanılır. Uzun mesafelerde zaman gecikmesi fazla olacağından FDD yöntemi daha avantajlıdır.

5.2.1. Çoklu erişim yöntemleri

Çoklu erişim yöntemleri veri transfer ortamının kullanıcılar arasında nasıl paylaşıldığını tanımlar. Günümüzde, çoklu erişim yöntemleri temel olarak; frekans bölmeli çoklu erişim (Frequency Division Multiple Access, FDMA), zaman bölmeli çoklu erişim (Time Division Multiple Access, TDMA) ve kod bölmeli çoklu erişim (Code Division Multiple Access, CDMA) olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılabilir (Chen et al 1998). Bu teknikler de kendi aralarında dar bant (narrowband) ve geniş bant (wideband) sistemler olarak gruplandırılabilir (Rappaport 1996).

Dar bant çoklu erişim sistemlerinde mevcut bant genişliği çok sayıda dar bantlı kanallara bölünür. Dar bant FDMA sisteminde her kullanıcıya diğerleri tarafından kullanılmayan frekans kanalı tahsis edilir. Diğer taraftan, dar bant TDMA sisteminde frekans kanalları zaman aralıklarına bölünerek çok sayıda kullanıcının aynı frekans kanalını farklı zaman aralıklarında kullanması sağlanır. FDMA/FDD, TDMA/FDD ve TDMA/TDD gibi çoklu erişim sistemleri dar bant uygulamalara örnek olarak gösterilebilir.

Geniş bant çoklu erişim sistemlerinde kullanıcının, frekans spektrumunun geniş bir bölümünü kullanmasına imkan verilir. Ayrıca, aynı kanaldan çok sayıda kullanıcının faydalanması da sağlanır. Geniş bant TDMA sisteminde, frekans kanalı çok sayıda zaman aralıklarına bölünerek kullanıcıların aynı frekans kanalını farklı zamanlarda kullanabilmesi sağlanır. Böylece, belirli bir anda bant genişliğinin tamamı sadece bir kullanıcı (aktif slotun sahibi) tarafından değerlendirilebilir. Geniş bant CDMA sisteminde ise, frekans kanalı aynı zamanda çok sayıda kullanıcıya hizmet verebilir.

Geniş bant sistemleri iletim ortamını çift yönlü kullanma yöntemlerinden FDD ya da TDD'yi kullanabilir (Rappaport 1996).

İletim kanalının tahsis edilmesine göre çoklu erişim teknikleri; sabit paylaşırma (fixed assignment), rasgele paylaşırma (random assingment) ve istek güdümlü paylaşırma (demand assignment) yöntemleri olarak sınıflandırılabilir (Hac 2000, Bostie 2001).

Sabit paylaşırma yönteminde her kullanıcıya geçici bir kanal ayrılır. TDMA ve FDMA sabit paylaşırma yöntemine örnek olarak gösterilebilir. Ses iletimi ya da video konferans gibi sürekli veri akışı (stream) gerektiren uygulamalar için kullanılabilir. Bağlantılar için sabit bant genişliği ayrıldığından veri iletim hızı ani değişimler gösteren patlamalı çoklu ortam uygulamaları için kullanılması uygun değildir.

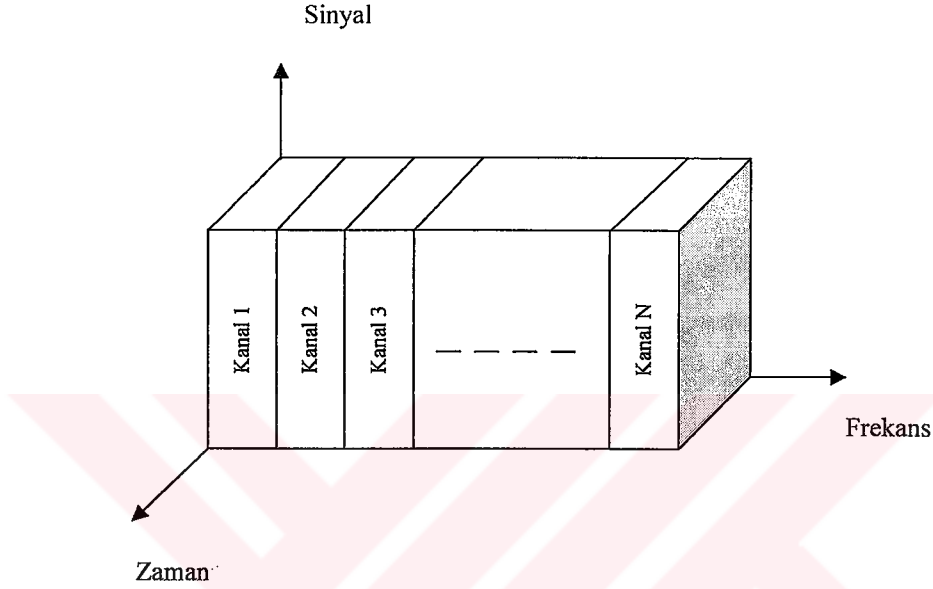
Rasgele paylaşırma yöntemi, çoklu ortam verilerinin transferi açısından, sabit paylaşırma yöntemine oranla daha etkili olmakla birlikte, gecikmeye duyarlı servisler için fazla kullanışlı değildir. CSMA (Carrier Sense Multiple Access), ALOHA ve slotted ALOHA gibi çoklu erişim teknikleri rasgele paylaşırma yöntemini kullanan MAC protokollerine örnek olarak gösterilebilir.

İstek güdümlü paylaşırma yönteminde bant genişliği kullanıcı tarafından istekte bulunulması durumunda ayrılır. En çok kullanılan kablosuz ortam MAC tekniklerindedir. Özellikle, tüm trafik sınıflarına hizmet verebilen tümleşik kablosuz ağlarda bant genişliğinin verimli ve etkin olarak kullanılmasını sağlar.

5.2.1.1. FDMA

FDMA tekniğinde toplam bant genişliği bağımsız frekans kanallarına bölünür. Her kullanıcı kendine ait frekans kanalını kullanır. Böylece aynı iletim ortamına, aynı anda, çok sayıda kullanıcının erişmesine imkan verilir. Şekil 5.1'de N adet kullanıcı için FDMA tekniğinin uygulanması görülmektedir (Rappaport 1996).

Bu teknikte, kullanıcılara ayrılan frekans kanalları kullanılmadığında boş olarak kalır. Bu durum, bant genişliği kullanım verimliliğinin düşmesine neden olur. Gönderilecek paketler için TDMA yöntemindeki gibi fazla kontrol bitlerine ihtiyaç duymaz. Gönderici ve alıcı aynı zamanda çalıştıklarından kablosuz terminallerde çiftleyiciye (duplexer) ihtiyaç duyar ve dolayısıyla maliyet artar.



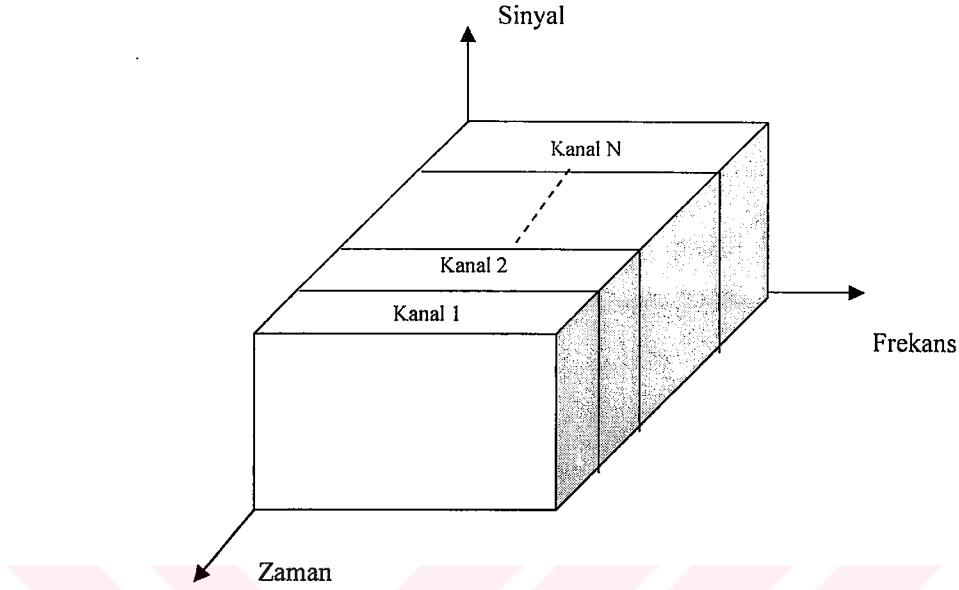
Şekil 5.1. N adet kullanıcı için FDMA tekniği.

5.2.1.2. TDMA

TDMA tekniğinde iletim zamanı, her biri eşit süreli zaman aralıklarına (time slots) bölünmektedir. Her kullanıcı kendisine ayrılmış zaman aralığı içerisinde kendi bilgisini iletir. Alıcı tarafında ise, veri paketleri bu aralıklara göre tekrar çözülür ve alıcısına yönlendirilir. Şekil 5.2, N adet kullanıcı için TDMA tekniğinin uygulamasını göstermektedir (Rappaport 1996).

TDMA yönteminde terminaller sadece veri iletileceği zaman kullanılır. Böylece, veri iletiminin sürekli olmadığı patlamalı trafikler için, terminal batarya kullanımında enerji tasarrufu sağlanır. FDMA yöntemine göre veri iletim hızı çok yüksek olduğundan denkleştirme (equalization) gerektirir. Kullanıcı terminali boş olduğu zamanlarda diğer baz istasyonlarının yayınları dinlenebilir ve böylece el değiştirme (handover) daha kolay yapılabilir (terminal yardımlı el değiştirme). Alış ve veriş

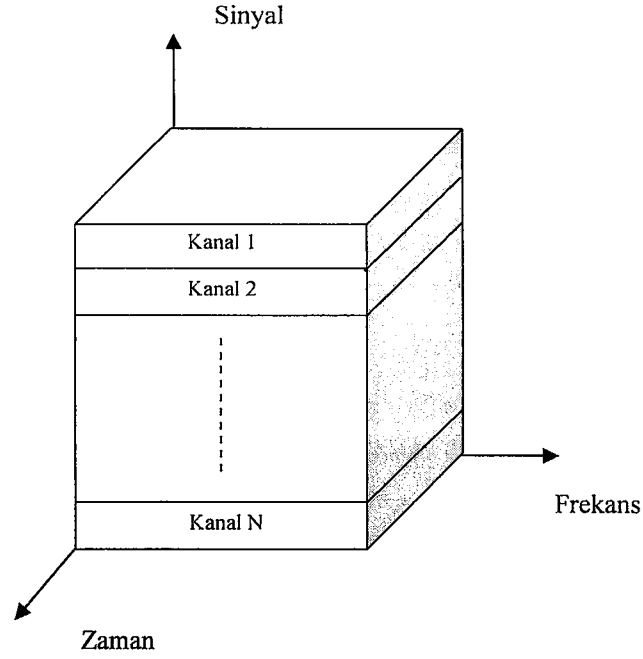
kanalları için TDD kullanılırsa çiftleyiciye ihtiyaç duymaz. FDD kullanılsa dahi çiftleyici yerine daha uygun maliyetli basit bir anahtar da kullanılabilir.



Şekil 5.2. N adet kullanıcı için TDMA tekniği.

5.2.1.3. CDMA

Bilgi sinyalini, bant aralığını genişleterek iletmeye yarayan yayılmış spektrum (SS, Spread Spectrum) tekniklerinden olan CDMA yönteminde tüm kullanıcılar aynı frekans bandını kullanır ve aynı anda iletim yapar. Yayılmış spektrum tekniklerinin tamamında, iletilen sinyalin bant genişliği bilgi transferininkinden çok daha büyük olmalıdır. Ayrıca, iletilen sinyalin bant genişliği, bilgiden bağımsız bir fonksiyon tarafından belirlenmeli ve alıcı bu fonksiyonu bilmelidir. Modüle edilip iletme uygun hale getirilmiş bilgi sinyali, pseudo-noise (PN) adı verilen sayısal sinyalle çarpılarak geniş bant aralığına dönüştürülür. Geniş bant aralığına yayılmış olan sinyal bir verici ile iletilir ve alınan sinyal benzer işlemlerle bilgi haline çevrilir. Her kullanıcı diğer PN sinyallere yaklaşık olarak dikey (orthogonal) olan PN sinyaline sahiptir. Bilgi sinyalinin saptanabilmesi için, alıcının gönderici PN sinyalini bilmesi gereklidir. Şekil 5.3, N adet kullanıcı için CDMA tekniğini göstermektedir (Rappaport 1996).



Şekil 5.3. N adet kullanıcı için CDMA tekniği.

CDMA tekniğinde tüm kullanıcılar aynı frekans bandını kullanabileceğinden, iletişim kanalının paylaşılmasıyla ilgili herhangi bir planlamaya gerek kalmaz. Kullanılan PN kod uzayı, frekans uzayına oranla daha büyük olduğundan bant genişliği sınırlaması kısmen önlenmiş olur (bant genişliği sınırlamasından ziyade güç konusunda sınırlamaları vardır). CDMA tekniğinin en büyük avantajlarından biri de farklı sinyallerin neden olacağı girişimden ve çokyollu sönmülemenden (multipath fading) fazla etkilenmemesidir. Ayrıca, FEC ve şifreleme için geliştirilen modüller CDMA sistemlere kolayca entegre edilebilir.

5.2.1.4. ALOHA

ALOHA, genellikle kablosuz ortamdan veri transferi için kullanılan rasgele erişim protokolüdür. Kullanıcı tarafından gönderilecek mesaj olduğunda beklenmeden kanala erişilerek iletim gerçekleştirilir ve ACK beklenir (aynı kanaldan ya da farklı bir kanaldan). Çarpışma (collision) durumunda, yani NACK alındığında, rasgele belirlenen bir bekleme süresi sonunda mesaj yeniden gönderilir. Kullanıcı sayısının artması çarpışma olasılığını da artacağından yüksek gecikmelere ve erişim problemlerine neden olur.

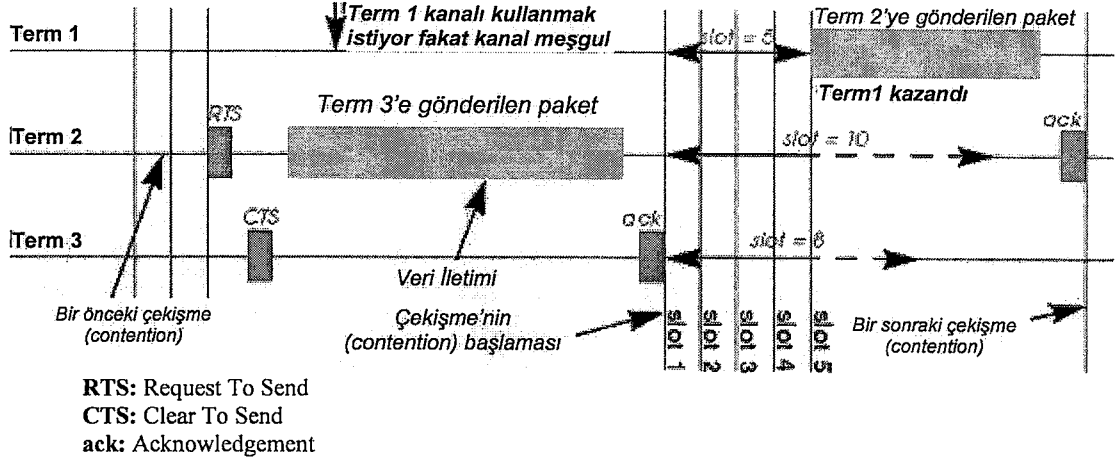
ALOHA protokolünün geliştirilmiş uyarlaması olan “slotted ALOHA” tekniğinde ise iletim zamanı, paket süresinden daha büyük olan eş zaman dilimlerine bölünür. Kullanıcıların senkronize saatleri vardır ve mesaj iletimi, bu zaman dilimlerinin başında gerçekleştirilir. Böylece paketlerin kısmi çarpışması önlenmiş olur. Slotted ALOHA, standart ALOHA protokolünden iki kat daha optimum kanal kullanma imkanı sağlayabilmektedir (Rappaport 1996).

5.2.1.5. CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)

CSMA/CA, ISM (Industrial Scientific Medical) bandında bir çok KLAN tarafından kullanılan kanal erişim mekanizmasıdır. CSMA/CA protokolünde terminal tarafından ilk olarak erişim kanalı dinlenir (carrier sensing) ve kanal boş ise ilk paket iletim kuyruğuna gönderilir. Eğer kanal meşgul ise (bir başka terminal tarafından kullanılıyor ya da girişim nedeniyle), boş olana kadar beklenir ve daha sonra çekişme (contention) başlar (rasgele bir süre bekler). Terminalin çekişme zamanlayıcısının süresi dolduğunda kanal hala boş ise paket gönderilir. En kısa çekişme süresine sahip terminal kanala erişim hakkını kazanır ve verisini gönderir. Diğer terminaller ise bir sonraki çekişmeyi bekler (kanal boş olana kadar). Çekişme süresi rasgele seçildiğinden kanala erişim açısından hiçbir düğümün diğerlerine göre önceliği yoktur.

Şekil 5.4’de CSMA/CA protokolünü kullanan örnek bir uygulama görülmektedir:

- “Term1” veri göndermek için iletim kanalını dinler (bu sırada kanal, “Term 3” tarafından kullanılmaktadır).
- İletim kanalı boş olduğunda çekişme başlar ve rasgele belirlenen bir süre beklenir.
- Çekişmeyi “Term 1” kazanır ve kanalın kullanım hakkını elde ederek verisini gönderir.
- RTS ve CTS gizli terminal (hidden terminal) etkisini önlemek, “ack” ise mesajın alındığını onaylamak için kullanılır.



Şekil 5.4. CSMA/CA kanal erişim tekniği.

CSMA/CA kablolu ortamda kullanılan CSMA/CD'ye benzemektedir. CSMA/CD, çarpışma bulma (collision detection) yöntemine göre çalışır. Kablosuz ortamda ise çarpışmanın saptanması olanaksız olduğundan CSMA/CA protokolünde kullanılan çekişme periyodu ile çarpışma kısmen önlenir.

5.3. KATM İçin Kullanılan MAC Protokolleri

KATM teknolojisi çoklu ortam uygulamalarına servis kalitesi garantili hizmetler sunmayı amaçlamaktadır. Bu nedenle, kullanılması düşünülen MAC protokolünün ihtiyaç duyulan servis gereksinimlerini karşılaması zorunludur. ALOHA ve CSMA gibi rasgele paylaşırma yöntemini kullanan MAC protokolleri, patlamalı trafikler için, sabit paylaşırma yöntemini kullanan MAC protokollerinden çok üstün olmakla birlikte, rasgele yapıları nedeniyle uçtan uca gecikme ve gecikme değişimi gibi servis kalitesi parametreleri göz önüne alındığında oldukça kullanışsızdırlar. Sabit paylaşırma yöntemini kullanan MAC protokollerinin verimliliği (throughput) ise özellikle bant genişliği ihtiyacı zamanla ani değişimler gösteren patlamalı trafikler için oldukça kötüdür.

KATM; hücre iletim gecikmesi, gecikme değişimi ve hücre kayıp oranı gibi servis kalitesi parametrelerini sağlamak zorunda olduğundan, KATM sistemlerin tasarımında istek güdümlü paylaşırma tekniğine dayalı MAC protokolleri kullanılmalıdır (Akyildiz et al 1999, Hyon 2001). İstek güdümlü paylaşırma

yönteminde kullanıcı terminali baz istasyonundan erişim kanalı istemek ya da kanal ayırtmak üzere veriş yönünde (uplink, terminalden baz istasyonuna) bir kontrol kanalı kullanır. Baz istasyonu ise bu isteği değerlendirerek, mevcut kaynaklar çerçevesinde, ilgili terminale ihtiyacı olan bant genişliğini ayırır.

KATM'de kullanılması düşünülen MAC protokolleri, kullandıkları çoklu erişim tekniklerine göre TDMA ve CDMA temelli olmak üzere iki sınıfa ayrılır (Akyildiz 1999, Chen 2000). Tablo 5.1 KATM ağlarda yaygın olarak kullanılan MAC protokollerinin sınıflandırılmasını göstermektedir.

Tablo 5.1. KATM MAC protokollerinin sınıflandırılması.

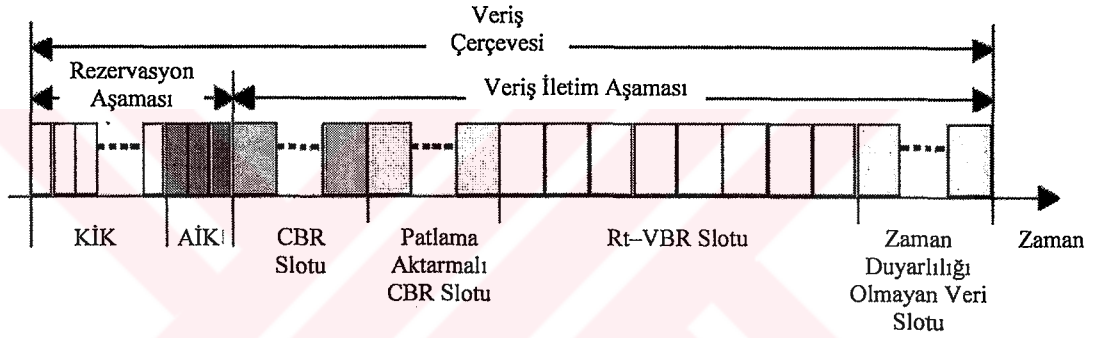
KATM MAC Protokolleri			
TDMA		CDMA	
FDD Kullanan	TDD Kullanan	TDMA/CDMA	CDMA
<ul style="list-style-type: none"> • DQRUMA (Distributed Queuing Request Update Multiple Access) • DSA++ (Dynamic Slot Assignment Protocol) • PRMA/DA (Packet Reservation Multiple Access / Dynamic Allocation) 	<ul style="list-style-type: none"> • TDMA/DR (Time Division Multiple Access/ Dynamic Reservation) • MASCARA (Mobile Access Scheme Based on Contention and Reservation for ATM) 	<ul style="list-style-type: none"> • MD-PRMA BB (Multidimensional PRMA with Prioritized Bayesian Broadcast) • WISPER (Wireless Multimedia Access Control Protocol with Bit Error Rate Scheduling) 	<ul style="list-style-type: none"> • CDMA/Multirate • W-CDMA (Wideband CDMA)

5.3.1. TDMA/DR (Time Division Multiple Access with Dynamic Reservation)

Wong et al (2000)'de sunulan TDMA/DR protokolü, TDMA çoklu erişim tekniğini kullanır (Şekil 5.5). Veriş yönü çerçevesi rezervasyon aşaması ve veri iletim aşaması olmak üzere iki bölümden oluşur. Rezervasyon aşamasında, bir sonraki veriş çerçevesinin veri iletim aşamasındaki bant genişliğini istemek üzere çok sayıda küçük slot kullanılır. Gezgin Terminaller (GT) tarafından üretilen trafik üç sınıfa ayrılır. Sınıf 1, gerçek zamanlı VBR ve zamana duyarlı veri trafiği, sınıf 2, patlama

aktarmalı CBR ses (on/off) ve sınıf 3, zamana duyarlı olmayan veri trafiği için kullanılır.

Rezervasyon aşaması iki bölüme ayrılmıştır: kullanılabilir istek kanalı (KİK) ve ayrılan istek kanalı (AİK). KİK, slotted-ALOHA erişim yöntemi ile tüm trafik sınıfları tarafından rasgele kullanılabilir. AİK ise, isteklerini KİK’da başarılı olarak iletebilen sınıf 1 trafikleri için ayrılır. KİK, sınıf 1 trafiklerin isteklerini çarpışma olmadan gönderebilmelerini sağlamak ve böylece gerçek zamanlı VBR trafiklerin gecikme ihtiyaçlarını karşılayabilmek için kullanılır. Sınıf 2 ve sınıf 3 trafikleri KİK’den faydalanamazlar.



Şekil 5.5. TDMA/DR MAC protokolü.

Veri iletim aşaması dört bölüme ayrılmıştır. Bunlar; CBR, patlama aktarmalı CBR, gerçek zamanlı VBR ve zaman duyarlılığı olmayan kritik veri bölümleridir. Her bölüm Bİ tarafından tahsis edilen farklı sayıda veri slotu içerir ve ayrılan slot sayısı trafik yüküne göre değiştirilebilir özelliindedir.

5.3.2. MASCARA (Mobile Access Scheme based on Contention and Reservation for ATM)

MASCARA (Mikkonen et al 1998), Magic WAND projesinde kullanılan MAC protokolüdür. HiperLAN2’de de standart MAC protokolü olarak kullanılır. TDD’ye dayalı olarak çalışan MASCARA protokolünde kullanılan çerçeve yapısı değişken uzunluktadır. Bir MASCARA çerçevesi yayın, veri iletimi ve rezervasyon olmak üzere üç aşamadan oluşur. Her üç aşamanın çerçeve üzerindeki yeri değişebilir ve Bİ

tarafından kontrol edilir. Yayın aşaması alışı yönündedir. Tüm GT'lere güncel zaman çerçevesinin yapısı ve veriş yönündeki iletim slotlarıyla ilgili bilgi vermek ve önceki çerçeveden gelen isteklere yanıt vermek (ack) için kullanılır. Veri iletim aşaması alışı ve veriş yönünde olmak üzere iki bölümden oluşur. Alışı aşaması, Bİ'den GT'lere veri taşımak için kullanılırken veriş aşaması, her birinin genişliği değişken olan bir çok veri slotu içerir. Bu slotların her biri bir GT'ye tahsis edilmiştir. GT'ler veri slotlarının kendilerine tahsis edildiğini bildiren istek paketlerini rezervasyon aşamasında gönderirler. Rezervasyon aşaması çok sayıda küçük istek slotları içerir ve bunlar GT'lerin istek ya da kontrol paketlerini Bİ'ye göndermelerini sağlar. Rezervasyon aşamasında iletilen paketlerin tamamı "slotted ALOHA" erişim protokolünü kullanır. İstek paketi tek bir küçük slota ihtiyaç duyarken kontrol paketi için iki adet küçük slot gereklidir. İstek kabul edildikten sonra, Bİ, veriş slotlarının tahsisini PRADOS (Prioritized Regulated Allocation Delay-oriented Scheduling) (Chlamtac et al 1999) algoritması ile yeniden düzenler.

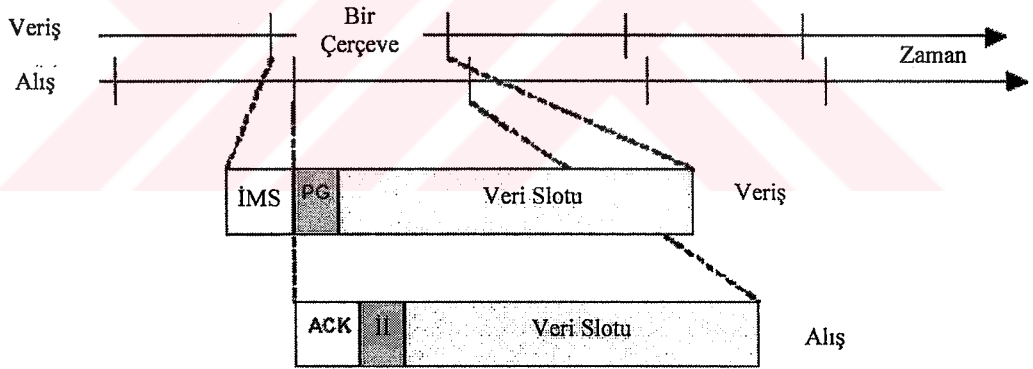
5.3.3. DQRUMA (Distributed-Queuing Request Update Multiple Access)

DQRUMA (Karol et al 1995) alışı ve veriş yönü kanalları için FDD yöntemini kullanır. Protokolde kullanılan çerçeveler çok küçük ve sabit boyuttadır. Standart veriş çerçevesi; bir istek mini slotu (İMS) (rezervasyon aşaması), bir "piggybacking" alanı (PG) ve bir veri slotundan (veri iletim aşaması) oluşur. İstek güdümlü paylaşırma yöntemini kullanan diğer protokollerden farklı olarak bir DQRUMA çerçevesiyle sadece bir veri paketi taşınabilir. İstek mini slotlarına slotted-ALOHA protokolüyle erişilir. PG alanı veri slotuna atanan GT için kullanılır. GT'nin iletecek daha fazla veri paketi var ise PG alanını kullanarak daha fazla sayıda slot tahsis edilmesini isteyebilir.

Standart alışı çerçevesi; ACK alanı, iletim-izni (İİ) alanı ve alışı veri slotundan oluşur. ACK alanı veriş çerçevesinin istek mini slotuna bilgi sağlar. Veriş ve alışı yönü için FDD yöntemi kullanıldığından veriş çerçevesindeki isteğe hemen yanıt (ACK) verilir (herhangi bir GT'nin isteğine bir sonraki çerçeve başlamadan yanıt (ACK) iletilir). İİ alanı, bir sonraki veriş çerçevesinin veri slotunu kullanabilecek GT'nin tanımlayıcı numarasını içerir. Alışı veri slotu ise, Bİ'den ilgili GT'ye alışı veri trafiğini taşır.

Veriş ve alış veri slotları boş olduğunda bunların yerine çok sayıda istek mini slotu ve ACK alanı kullanılır. Veriş ve alış erevesi N 'e bölünür. Veriş erevesinde $N-1$ adet istek kk slotu, alış çerçevesinde $N-1$ adet ACK alanı ve bir adet İİ alanı bulunur. Boş veri slotlarının bu Şekilde kullanılması bant genişliğinin kullanılabilirliğini artırarak kaynak israfını da önler.

Bir GT veri ileteneği zaman ilk olarak, veriş erevesinin İMS'sinde slotted-ALOHA yöntemiyle istek paketi gönderir ve istek paketine verilen yanıt için alış erevesinin ACK alanını kontrol eder. Eğer veriş İMS'sinde çarpışma olmuş ise istek paketi yeniden gönderilir. Çarpışma olmamış ise daha ayrıntılı bilgi için İİ alanı dinlenir. GT, İİ alanında kendi tanımlayıcı numarasını bulursa, bir sonraki veriş çerçevesinin veri slotunda veri paketini gönderir. Gönderilecek daha fazla veri paketi var ise, daha fazla veri slotu istemek için PG alanını kullanarak mesaj gönderir. Şekil 5.6, DQRUMA tekniğinde kullanılan ereve yapılarını göstermektedir.



Şekil 5.6. DQRUMA MAC protokolü.

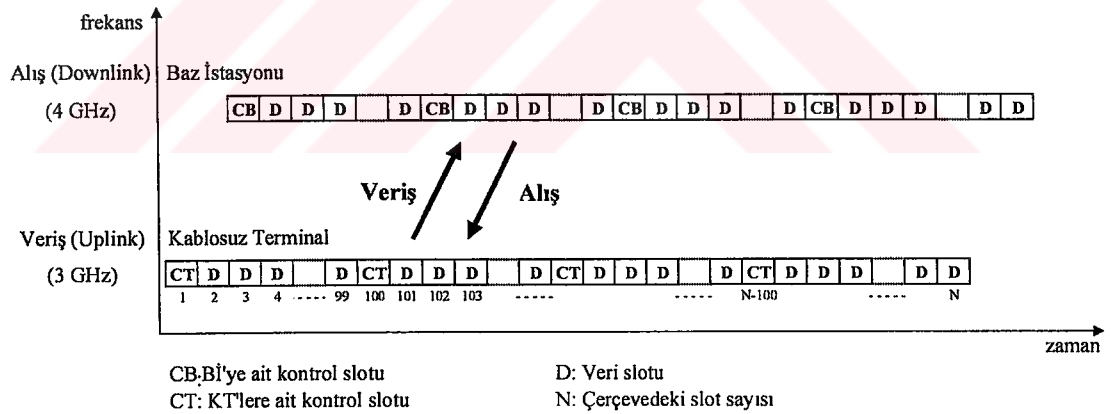
5.3.4. Hybrid TDMA/CDMA

Dastango (1995)'de, slotlardan oluşan ereve yapısını kullanan bir MAC protokolü tanımlanmıştır. Her bir slot içerisinde çok sayıda kod (CDMA) ve gecikmeye duyarlı trafik öncelik mekanizması bulunmaktadır. Burada, mevcut protokollerin ALOHA, TDMA ve CDMA gibi özelliklerinden faydalanılmaktadır. Kaynak, kanal erişimini kazanmak için bir slotta kendi erişim verisini iletirken diğer erişim verilerini de

dinler. Kanal geri beslemesine dayalı olarak kaynak, kodu kullanmaya devam edebilir ya da iletimi sonraya bırakabilir. Mevcut bant genişliği, kuyrukta bekletilmemeleri gerektiğinden CBR ve VBR için ayrılır. VBR kullanan trafikler slot içerisindeki kodların çoğunu kullanabilirken (yüksek öncelikli) ABR ile hizmet verilenler en düşük önceliğe sahiptirler.

5.4. KATM Ağ İçin Tasarlanan Yeni Bir MAC Protokolü

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen KATM MAC protokolünün tasarımında istek güdümlü paylaşırma tekniğı kullanılmıştır. Çoklama yöntemi olarak ise üstünlükleri ve çoklu ortam trafiklerinin ihtiyaçlarına (özellikle düşük gecikme ihtiyacı) uygunluğı nedeniyle TDMA/FDD tercih edilmiştir. Önerilen bu yeni MAC protokolünde, iletim ortamı slot adı verilen zaman aralıklarına bölünmüştür ve kablosuz uygulamalar veri iletimi için kendilerine tahsis edilen slotları kullanır. Kablosuz ortam alış ve veriş kanalları için farklı frekans bandı kullanır (FDD). Şekil 5.7, yeni MAC protokolünde kullanılan çerçeve yapısını göstermektedir.



Şekil 5.7. Önerilen MAC protokolü çerçeve yapısı.

Kablosuz terminaller, ihtiyaç duyduklarında gönderecekleri veriler için baz istasyonundan kanal isteğinde bulunur. Baz istasyonu da terminalde çalışan uygulamanın servis kalitesi değışkenlerini göz önüne alarak, yeterli miktardaki slotu, mevcut bant genişliğinin yönetiminden sorumlu slot tahsis tablosundan (zaman aralığı) bu bağlantı için ayırır. Kullanılabilecek slot sayısı, uygulamanın servis kalitesini sağılamaya yetecek kadar değıl ise bağlantı kurulamaz.

Şekil 5.7’de görüldüğü gibi alış yönü kanalı için 4 GHz, veriş yönü kanalı için ise 3 GHz bandı kullanılmaktadır. KT’ler tarafından veri ve kontrol paketlerini göndermek için kullanılan veriş yönü frekans kanalı, her biri eşit büyüklükteki zaman aralıklarına (slot) bölünmüştür. N ile gösterilen slot sayısı, çerçevenin kaç slot içerdiğini gösterir. N sayısı, kanalın bit iletim hızına göre farklı değerler olabilir.

CT ile ifade edilen slotlar, bağlantı ve sonlandırma isteği için kullanılan kontrol paketleri için ayrılmıştır. Bir çerçevede bulunan her 100 slottan biri kontrol slotu olarak kullanılmaktadır.

D ile gösterilen slotlar veri göndermek için kullanılmaktadır. Kaynak ile hedef arasında bağlantı kurulduktan sonra KT’lerin veri göndermek üzere kullanabileceği slotlar belirlenir. Her KT yalnızca kendisi için ayrılmış slotu kullanabilir. Slotların KT’lere ayrılmasından, Bİ’de bulunan ve mevcut bant genişliğinin kullanımını organize eden Slot Tahsis Tablosu (STT) yönetim algoritmaları sorumludur. Uygulamalara slot tahsisi yapılırken, ihtiyaç duyulan servis kalitesi garantisi göz önüne alınır.

Şekil 5.7’deki alış yönü frekans kanalında bulunan ve CB ile ifade edilen kontrol slotları, bağlantı isteğinde bulunan KT’lere yanıt vermek için kullanılır. KT tarafından bildirilen bağlantı isteği kabul edilmişse, uygulamaya tahsis edilen slot numaraları, CB ile gösterilen kontrol slotlarında ilgili KT’ye gönderilir.

Alış yönü frekans kanalında bulunan ve D ile gösterilen veri slotları ise KT’lerden gelen veri hücrelerini yayın yoluyla tüm terminallere göndermek için kullanılır. Hücresel ağ topolojisinde, KT’ler arasındaki bilgi transferi Bİ’ler üzerinden (centralized) gerçekleştirilebildiği için, hücre iletim gecikmesi noktadan–noktaya bağlantılara oranla daha fazla olur.

KATM ağ için tasarlanan bu yeni MAC protokolü, işlevleri birbirini tamamlayan KT–MAC ve Bİ–MAC bölümlerinden oluşur.

5.4.1. Kablosuz Terminal MAC (KT-MAC) modeli

MAC protokolünün terminal kısmında; bağlantının kurulması ve sona erdirilmesi için istekte bulunulması, slot tahsis tablosunda terminale ait slotların alınması ve bu slotlarda verinin gönderilmesi işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bağlantı isteğinde bulunulurken, terminal tarafından bağlantının servis kalitesi değişkenlerini de içeren “cc_baglanti_istek” paketi (Şekil 5.8.a) oluşturulur ve ilk boş slotta (kullanılmayan ilk data slotu ya da ilk boş kontrol slotu) baz istasyonuna gönderilir. Bu slot kontrol ya da veri slotu olabilir. Bİ’ye gelen paketler formatlarına bakılarak ilgili modüllere yönlendirilir. Bağlantı kurulduktan sonra ATM hücreleri (Şekil 5.8.b) terminale ait slotlarda hedefe gönderilir. Bağlantıyı sonlandırmak için yine terminal tarafından “cc_baglanti_sonlandir” paketi (Şekil 5.8.c) oluşturulur ve ilk boş slotta (kontrol ya da veri slotu olabilir) baz istasyonuna gönderilir.

TermAdres (4 bit)	UygNo (4 bit)	ServisSınıfı (4 bit)	SLS1 (16 bit)	SLS2 (16 bit)	SLS3 (16 bit)	SLS4 (16 bit)	CRC (16 bit)
----------------------	------------------	-------------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	-----------------

a)

GFC (4 bit)	VPI (8 bit)	VCI (16 bit)	PT (3 bit)	CLP (1 bit)	HEC (8 bit)	CRC (16 bit)
PAYLOAD (384 bit)						

b)

TermAdres (4 bit)	ServisSınıfı (4 bit)	CRC (16 bit)
----------------------	-------------------------	-----------------

c)

Şekil 5.8. a) Bağlantı istek paketi. b) KATM hücresi. c) Bağlantı sonlandırma istek paketi.

ATM ağlarda kullanılan servisler CBR, rt-VBR, nrt-VBR, ABR ve UBR olmak üzere beş farklı sınıfa ayrılmıştır (Pildush 2001). Bağlantı isteğinde bulunmak üzere KT tarafından oluşturulan ve Bİ’ye gönderilen “cc_baglanti_istek” paketi servis sınıflarının trafik ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik olarak kullanılan bir takım değişkenler (servis düzeyi belirleyicileri, SLS) içerir. Bu değişkenlerin sayısı ve özellikleri servis sınıflarına göre değişir:

- CBR servis sınıfı, bağlantı süresince sabit bant genişliği gerektiren; hücre kaybı, gecikme ve gecikme değişimine duyarlı trafikler için tanımlanmıştır. KT tarafından, CBR servislerin trafik gereksinimlerinin karşılanması için PCR ve CTD değerleri kullanılarak ihtiyaç duyulan slot sayısı bulunur. CDV değeri kullanılarak ise hücre gecikme değişiminin garanti edilebilmesi için slotlar arasında bırakılabilecek en büyük aralık sınırı hesaplanır.

İhtiyaç duyulan ve garanti edilmesi istenilen slot sayısı (ss); PCR değeri, veri hücresi boyutu (v_{hb} = 53 Bayt), bir slottaki KATM hücre sayısı (shs = 5) ve çerçeve süresine (çs = 200 ms) bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$ss = \frac{PCR \times \text{çs}}{v_{hb} \times shs}$$

Örneğin PCR değeri 50 KBayt/s olan bir CBR bağlantı için bir çerçevede ihtiyaç duyulan slot sayısı:

$$ss = \frac{(50 \times 1024 \text{ Bayt/s}) \times (200 \times 10^{-3} \text{ s})}{53 \text{ Bayt} \times 5} \cong 39$$

Gerekli gecikme değerinin (CTD) garanti edilebilmesi için bu slotlar çerçeve boyunca eşit aralıklarla dağıtılır. Eğer dağıtım esnasında bu slotlardan herhangi birisi mevcut bir bağlantı için garanti edilmiş slot ile çakışırsa bu slottan geriye doğru, CDV değeri (örneğin; ses trafiği için 1 ms) de göz önünde bulundurularak, boş veya garanti edilmemiş ilk slot bağlantıya tahsis edilir. Ancak, bu işlem CDV değerini sağlamak amacıyla geriye doğru en çok 5 slot için (5 slot × 200 μs = 1 ms) tekrar edilir.

Yukarıdakine benzer bir yaklaşımla VBR, ABR ve UBR servis sınıfları için de gerekli slot sayısı ve bunların hangi aralıklarla garantili ya da garantisiz olarak bağlantılara tahsis edileceği hesaplanır. Bu bilgiler daha sonra bağlantı istek paketiyle, STT algoritmalarında kullanılmak üzere Bİ'ye iletilir.

- VBR servis sınıfı, bant genişliği ihtiyacı ani değişimler gösteren patlamalı trafikler için kullanılmaktadır. rt-VBR ve nrt-VBR olmak üzere iki alt sınıfa ayrılmıştır. rt-VBR; hücre kaybı, gecikme ve gecikme değişimine duyarlı patlamalı trafikler için kullanılırken, nrt-VBR servisleri, gecikme ve gecikme değişimine duyarlı değildir. PCR, SCR, CTD, MBS ve CDV değerleri kullanılarak ihtiyaç duyulan slot sayısı ve slotlar arasında bırakılabilecek en büyük aralık sınırı hesaplanır.
- ABR servis sınıfı, paket kaybına duyarlı olan ve bant genişliği ihtiyacı zamanla değişim gösteren uygulamalar için kullanılır. PCR ve MCR trafik tanımlayıcıları yardımıyla ihtiyaç duyulan slot sayısı elde edilir.
- UBR servis sınıfı, herhangi bir servis kalitesi gereksinimi olmayan kritik uygulamalar dışındaki hizmetler için kullanılır. PCR değeri ile kullanabileceği en fazla slot sayısı hesaplanır.

Servis sınıflarının trafik karakteristiklerine göre elde edilen bu değişkenler, Bİ tarafından slot tahsisinde değerlendirilmek üzere, bağlantı isteğinde kullanılan “cc_baglanti_istek” paketine eklenir.

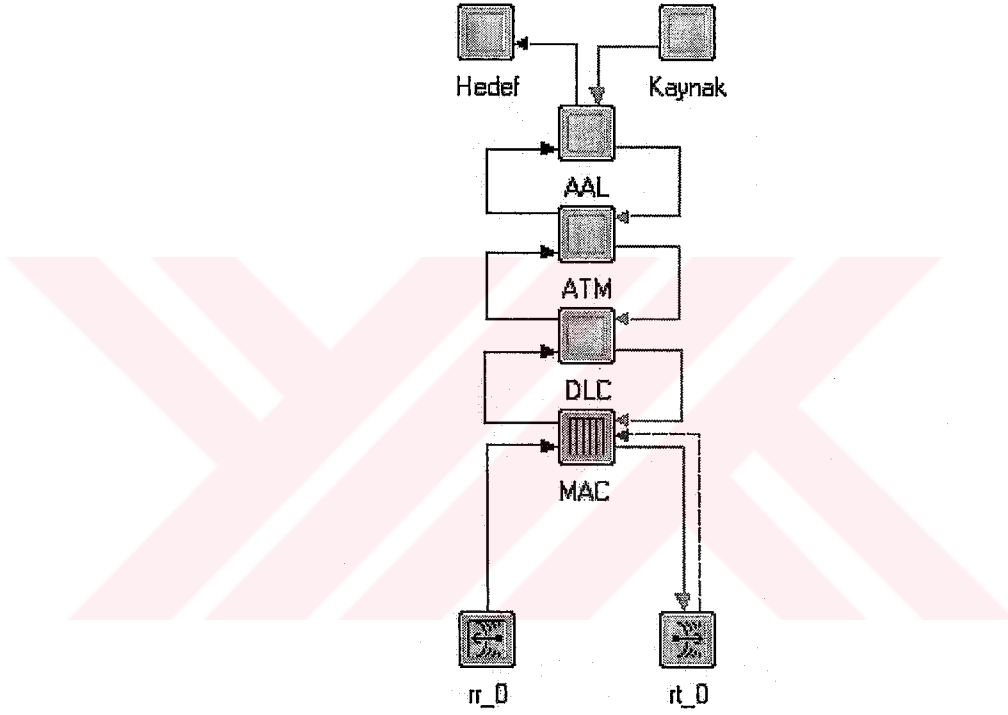
Yeni MAC protokolü tasarımında, fiziksel ortamın BER değerinin çok düşük olduğu ve paketlere eklenen CRC bitlerinin hataları önlediği kabul edilerek detaylı bir paket kaybı çalışması yapılmamıştır.

5.4.1.1. KT düğüm modeli

Şekil 5.9’da OPNET yazılımıyla tasarlanan kablosuz terminal düğüm modeli görölmektedir. Modelde kullanılan kaynak modülü, paket boyutu ve paket varış süresine bağlı olarak trafik üretilmesinden sorumludur. Hedef modülü, düğüme gelen paketlerin istatistiksel bilgileri hesaplandıktan sonra yok edilmesini sağlar. AAL ve ATM modülleri, standart ATM katmanlarının işlevlerini yerine getirirler. DLC modülü, fiziksel ortamın karakteristiklerinden kaynaklanan iletim hatalarının bulunup düzeltilmesinden sorumludur. MAC modülü, ortak olarak kullanılması gereken kablosuz ortamın tüm terminallere etkin olarak paylaştırılabilmesi için

gerekli fonksiyonları içerir. Fiziksel katman (rr_0 ve rt_0) ise düğüm modelinin kablosuz ortam ile haberleşmesini sağlar.

Modüller arasında bulunan ve onları birbirine bağlayan düz çizgiler modüller arası haberleşmeyi ifade ederken, rt_0–MAC arasında bulunan kesikli çizgi MAC katmanına kablosuz ortamın kullanım durumu (meşgul ya da boş) ile ilgili istatistiksel bilgi taşımak için kullanılır.



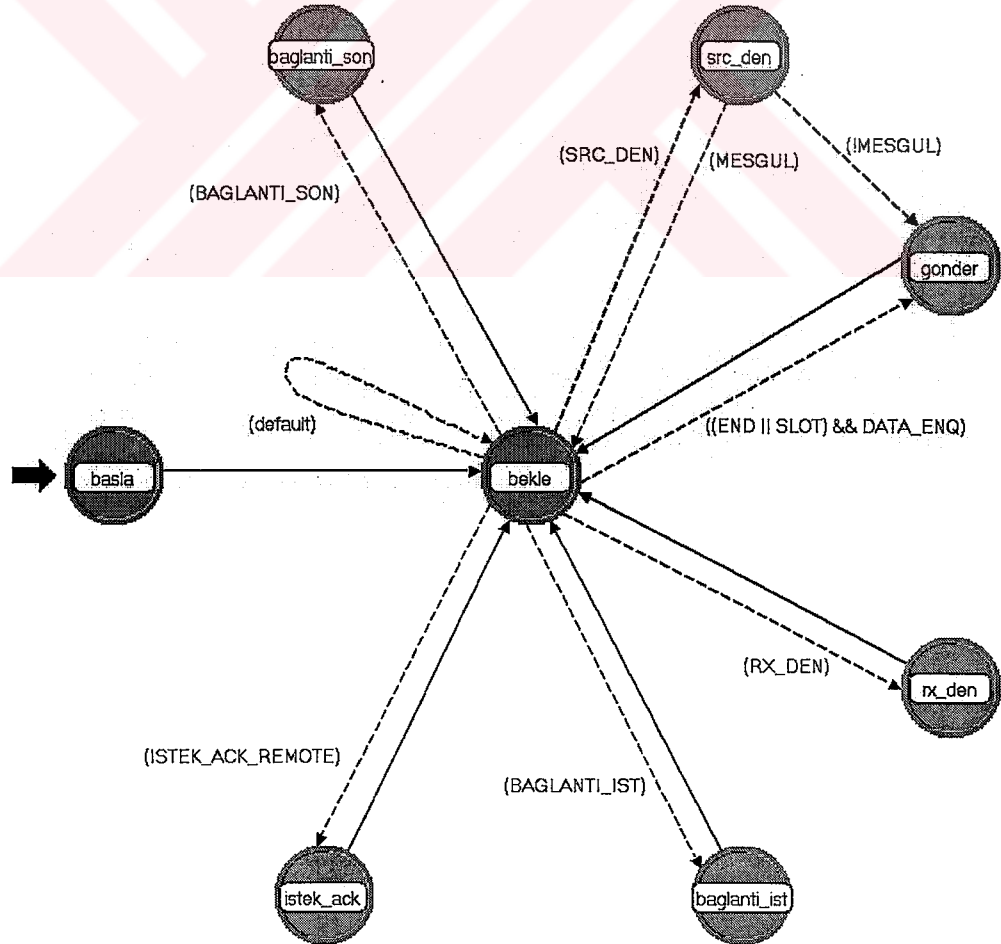
Şekil 5.9. Kablosuz terminal düğüm (node) modeli.

5.4.1.2. KT–MAC proses modeli ve algoritması

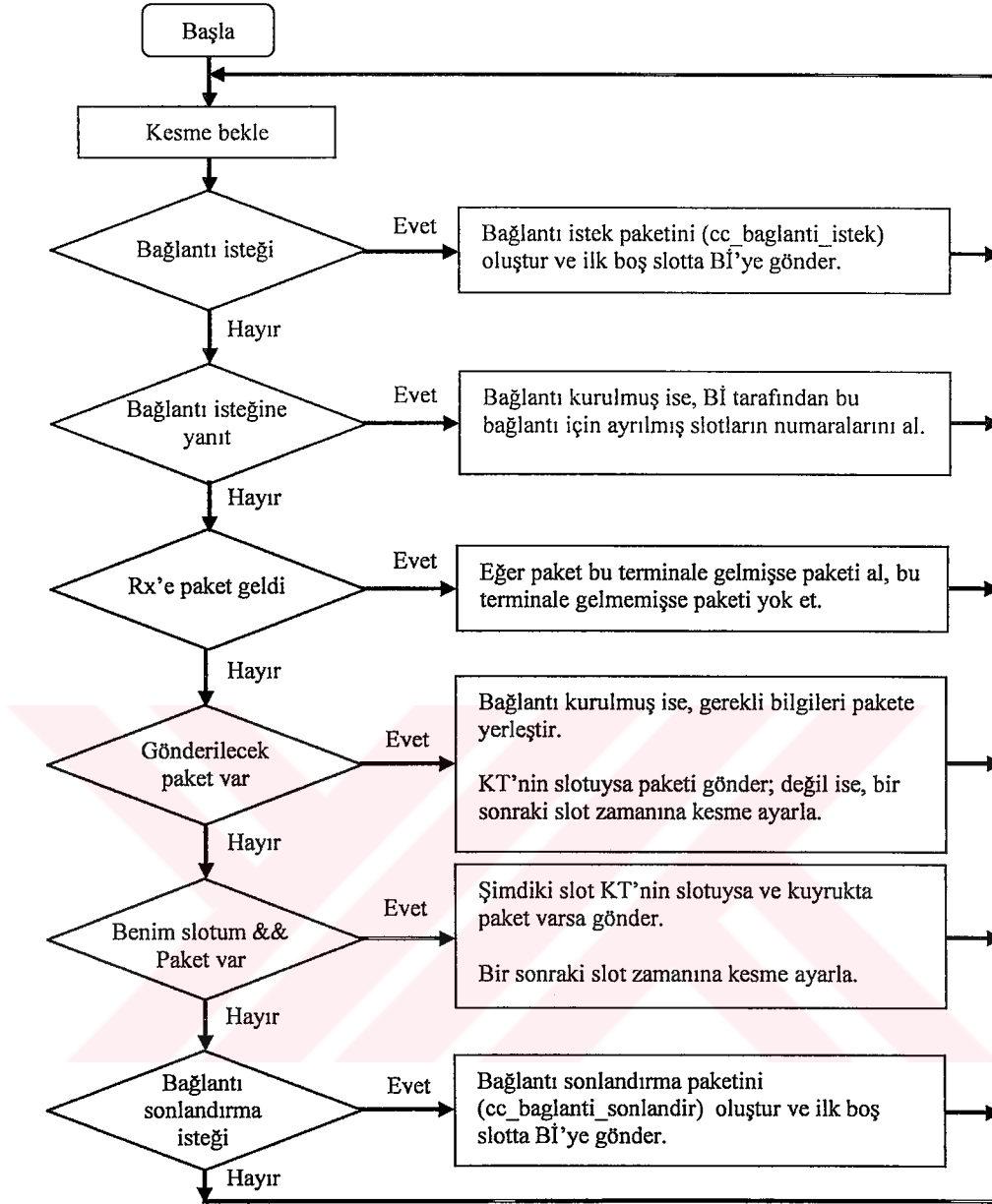
Şekil 5.10’da kablosuz terminal düğüm modelinin içerisinde kullanılan MAC katmanının proses modeli görülmektedir. Buradaki her bir durum makinesinin işlevi şunlardır:

- “baglantı_ist” durum makinesi, KT’nin bağlantı isteğini belirtmek için kullanılan ve ihtiyaç duyulan servis kalitesi değişkenlerini de içeren bağlantı istek paketinin oluşturulmasını sağlar.

- “src_den” ve “gönder” durum makineleri, ATM katmanından gelen hücrelerin gerekli işlemler yapıldıktan sonra terminale ait slotlarda hedefe gönderilmesinden sorumludur.
- “istek_ack” durum makinesi, KT’nin bağlantı isteğine yanıt olarak Bİ tarafından gönderilen paketin alınarak terminale tahsis edilen slotların belirlenmesinden sorumludur.
- “baglanti_son” durum makinesi, bağlantının sonlandırılarak terminale ait slotların serbest bırakılmasını sağlayacak bağlantı sonlandırma istek paketini oluşturur.
- “rx_den” durum makinesi ise terminale gelen paketlerin alınarak ATM katmanına iletilmesinden sorumludur. KT-MAC katmanında yapılan bu işlemlerin algoritması genel hatlarıyla Şekil 5.11’de gösterilmektedir. Ayrıca, KT-MAC katmanı proses modeline ait program kodları Ek-A’da verilmektedir.



Şekil 5.10. KT-MAC katmanı proses modeli.



Şekil 5.11. KT-MAC katmanı proses modeli algoritması.

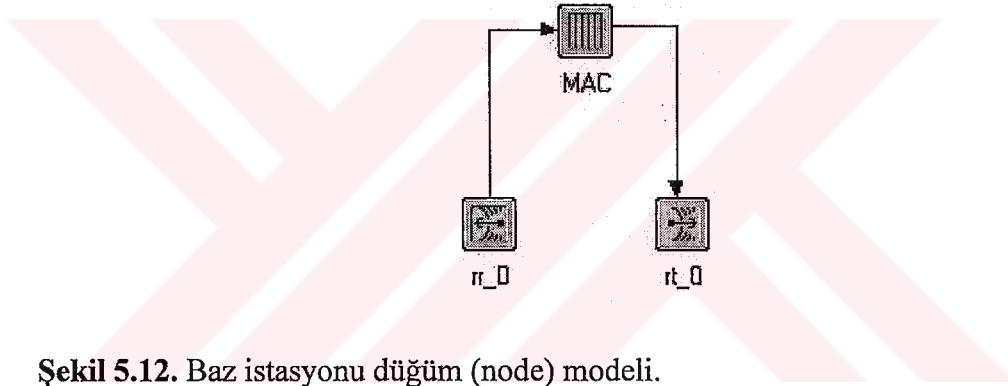
5.4.2. Baz İstasyonu MAC (Bİ-MAC) modeli

MAC protokolünün baz istasyonu bölümünde; kablosuz terminallerden gelen bağlantı isteklerinin değerlendirilerek ihtiyaç duyulan servis kalitesini sağlayacak bant genişliğinin STT'den tahsis edilmesi, veri paketlerinin ilgili alıcılara yönlendirilmesi ve bağlantıların sonlandırılması gibi işlemler gerçekleştirilir.

Önerilen MAC protokolünün en önemli bölümü, mevcut bant genişliğini uygulamaların servis kalitesi gereksinimlerini göz önüne alarak etkin bir şekilde paylaşmayı sağlayan STT yönetim algoritmalarıdır. STT ve onu yönetmek için kullanılan algoritmalar Bİ içerisinde yer alır.

5.4.2.1. Bİ düğüm modeli

Şekil 5.12’de OPNET yazılımıyla tasarlanan Bİ düğüm modeli görülmektedir. Buradaki MAC modülü, iletim ortamının kapsama alanı içerisindeki kablosuz terminallere paylaşılması ve veri paketlerinin hedeflerine yönlendirilmesi işlemleri için kullanılırken fiziksel katman (rr_0 ve rt_0), düğüm modelinin kablosuz ortam ile haberleşmesini sağlar.



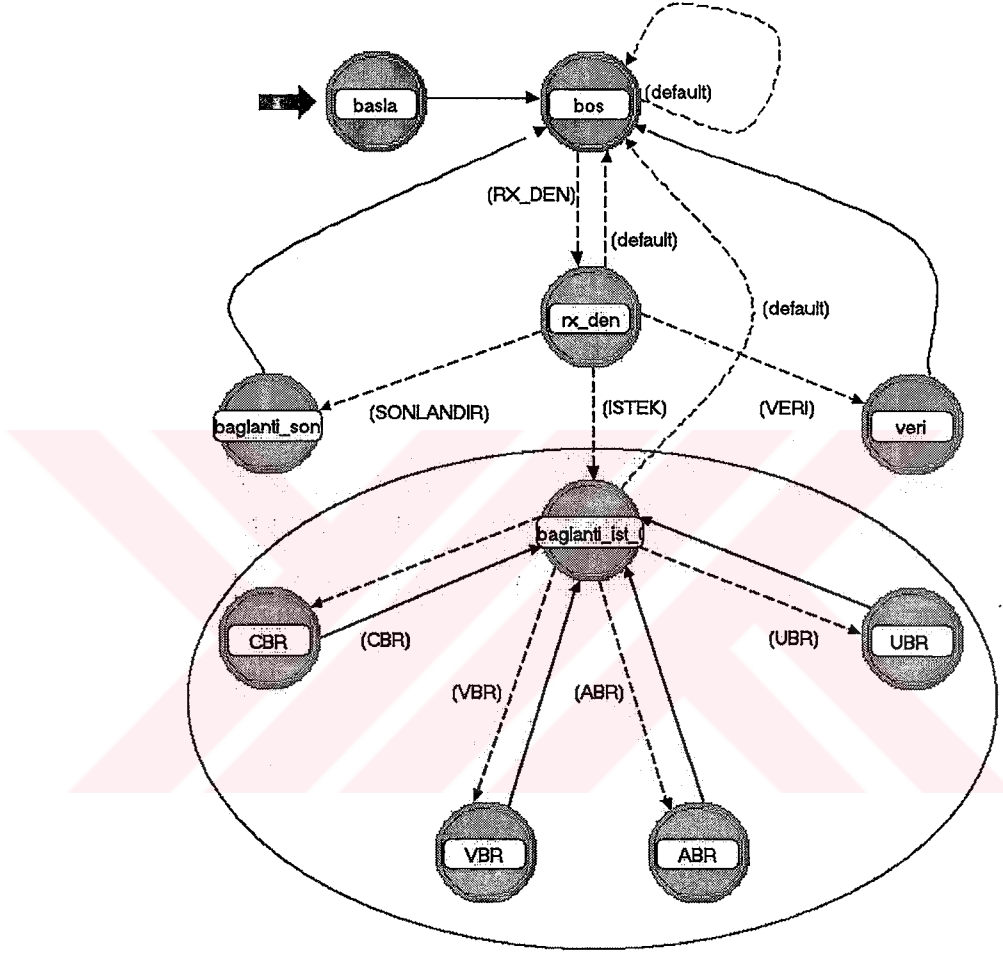
Şekil 5.12. Baz istasyonu düğüm (node) modeli.

5.4.2.2. Bİ-MAC proses modeli ve algoritması

Şekil 5.13’de MAC modülünün proses modeli görülmektedir. Buradaki her bir durum makinesinin işlevi şunlardır:

- “rx_den” durum makinesi, gelen paketlerin formatlarına göre ilgili modüllere yönlendirilmesinden sorumludur.
- “baglanti_ist” durum makinesi, KT’lerden gelen bağlantı istek paketlerinin, servis sınıfı talepleri göz önüne alınarak, ilgili modüle yönlendirilmesini sağlar.
- CBR, VBR, ABR ve UBR durum makineleri sırasıyla; CBR, VBR, ABR ve UBR bağlantı istekleri için STT’den kanal ayrılmasını sağlayan algoritmaları içerirler.

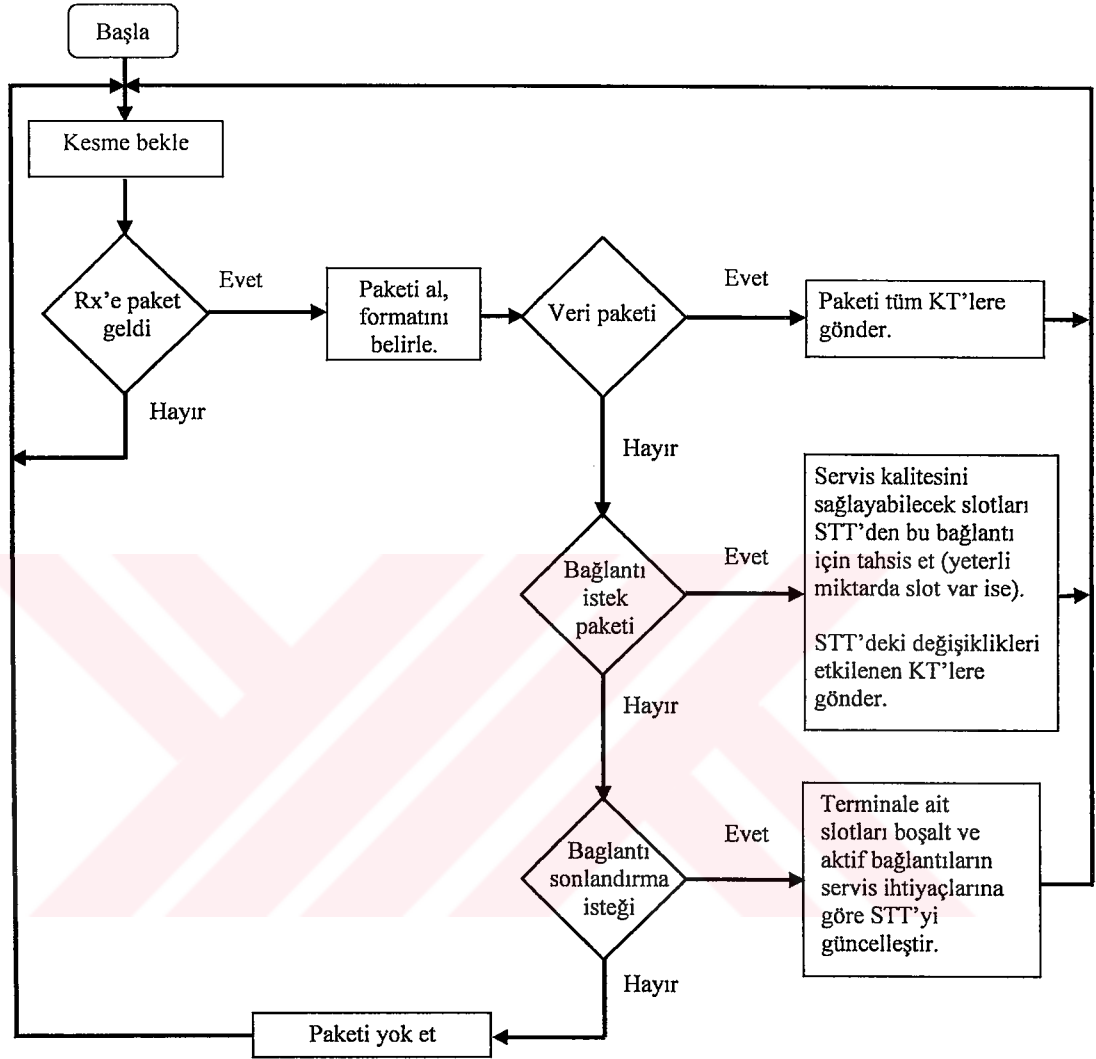
- “baglanti_son” durum makinesi bağlantı sonlandırma isteğini bildiren kontrol paketini alarak bağlantının sonlandırılmasını sağlar.
- “veri” durum makinesi ise KT’lerden gelen veri paketlerinin kapsama alanındaki KT’lere yayın şeklinde yönlendirilmesinden sorumludur.



Şekil 5.13. Baz istasyonu proses modeli.

Şekil 5.14’de, Bİ-MAC katmanı proses modelinin algoritması görülmektedir (Bİ-MAC katmanı proses modeline ait program kodları Ek-B’de verilmektedir). Algoritmadan da anlaşılacağı gibi baz istasyonuna gelen paketler formatlarına göre değişik modüllere yönlendirilir. Gelen paket veri içeren hücrelerden oluşuyor ise alınır ve yayın olarak kapsama alanındaki tüm KT’lere gönderilir. Bağlantı isteğini bildiren kontrol paketleri, uygulamalar için STT’den, servis sınıfı ve servis kalitesi değişkenleri göz önüne alınarak, slot ayrılmasını sağlamak amacıyla kullanılır.

Bağlantı sonlandırma isteğini bildiren kontrol paketleri ise bağlantının sonlandırılarak STT’de gerekli düzenlemelerin (güncelleme) yapılmasını sağlar.



Şekil 5.14. B1-MAC katmanı algoritması.

5.4.2.3. Slot Tahsis Tablosunun yönetimi

Slot tahsis tablosu (STT), kullanıcılara sunulacak servisin kalitesi açısından, tasarlanan bu yeni MAC protokolünün en önemli bölümüdür. Uygulamalara servis kalitesi sağlanmış hizmetler sunulması, STT'nin etkin bir şekilde yönetilmesine bağlıdır. STT'nin yapısı Şekil 5.15'de gösterilmiştir. STT içerisindeki "Slot No" alanı slotun numarasını, "Terminal No" alanı slotun ait olduğu terminalin adresini, "Uygulama No" alanı terminalde çalışan uygulama numarasını (1, 2, 3...), "Öncelik"

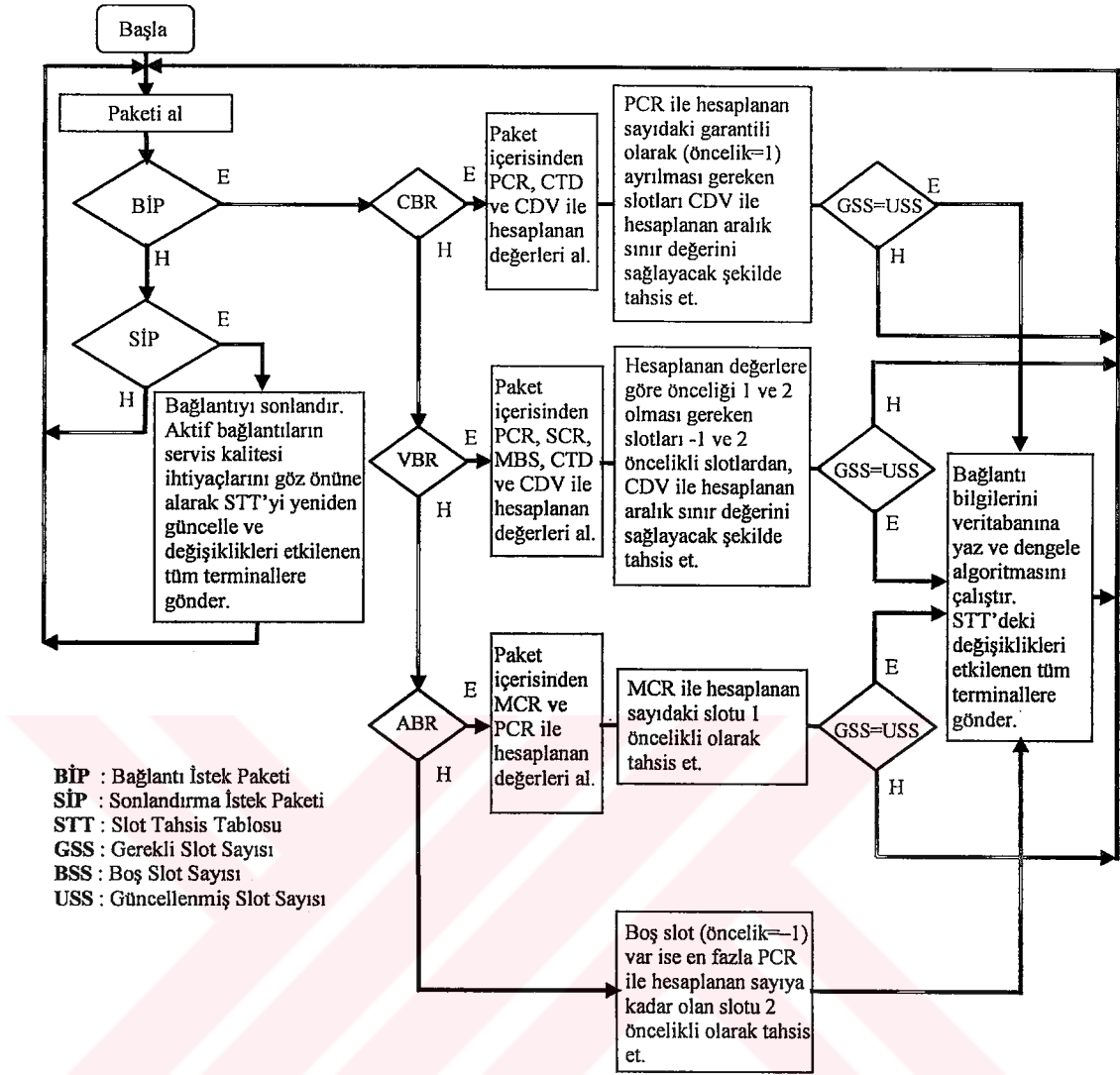
alanı bağlantının önceliğini (-1:boş, 1:yüksek öncelikli, 2:düşük öncelikli) ve “Servis Sınıfı” alanı da slotun ait olduğu servis sınıfını (0:CBR, 1:VBR, 2:ABR, 3:UBR) belirtmektedir.

Slot No	1	2	3	4	5	6	7		N-1	N
Terminal No	-1	1	3	3	3	3	3		5	5
Uygulama No	-1	1	1	1	1	1	2		1	1
Öncelik	-1	1	1	2	2	2	1		2	1
Servis Sınıfı	-1	0	0	2	2	3	3		3	2

Şekil 5.15. Slot tahsis tablosunun (STT) yapısı.

Yeni bir bağlantı için slotların ne kadar ve nasıl ayrılacağı belirlenmesinde, standart ATM bağlantılarda olduğu gibi, servis kalitesi ve trafik belirleyici parametreleri etkilidir. Bağlantı için ne kadar slotun hangi öncelik değerleriyle ve ne kadar aralıklarla ayrılması gerektiği KT tarafından hesaplanarak bağlantı istek paketi içerisine eklenir (Bölüm 5.4.1’de bu hesaplamalara değinilmiştir.). CBR, VBR ve ABR servis sınıflarının sırasıyla; PCR, SCR ve MCR değerlerini karşılayacak sayıdaki slot, önceliği “1” olarak ayrılır (bu slotlar bağlantılar için garanti edilmiştir). Uygulamalar tarafından kullanılmayan boş slotlar VBR, ABR ve UBR bağlantıların garanti edilmeyen ihtiyaçlarını karşılamak üzere öncelik değerleri “2” olacak şekilde ayrılır (bu slotlar garantili servis ihtiyacı olan bağlantıların yüksek önceliğe sahip olması gereken slotları için kullanılabilir). Herhangi bir bağlantıya ait “2” öncelik değeri olan bir slot, öncelik değeri “1” olması gereken bir başka bağlantı slotu için tahsis edilebilir. UBR servis sınıfına ait slotların tamamı “2” öncelik değerine sahiptir ve önceliği “1” olması gereken herhangi bir bağlantı slotu için kullanılabilir.

STT’deki belirli slotlar (1, 100, 200,..., N-100) bağlantı isteği ve bağlantı sonlandırma isteği gibi kontrol paketleri için ayrılmış kontrol slotlarıdır. Kontrol paketleri gönderilirken öncelikle bağlantılar tarafından kullanılmayan ilk boş slot tercih edilir. Eğer boş slot yok ise kontrol slotlarından herhangi biri kullanılır. STT’nin yönetimi için kullanılan algoritma genel hatlarıyla Şekil 5.16’da gösterilmiştir.



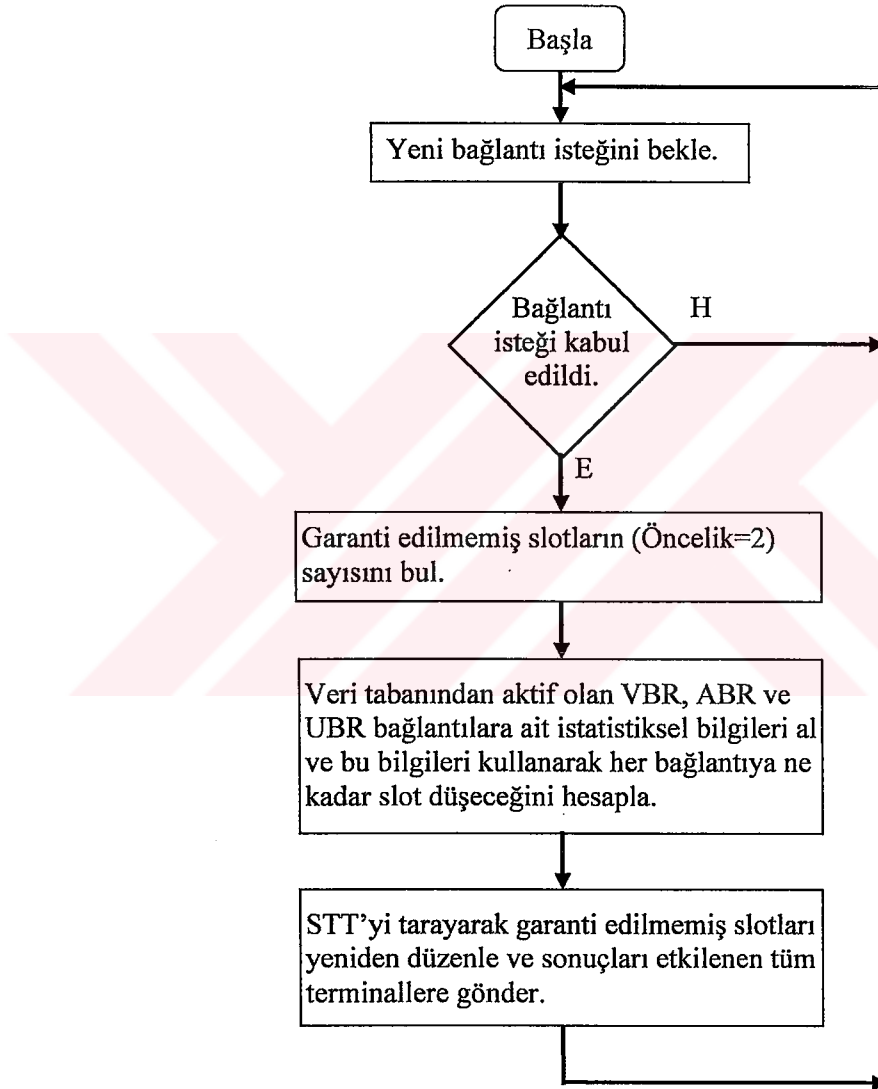
Şekil 5.16. Slot tahsis tablosunun yönetim algoritması.

5.4.2.3.1. Garanti edilmemiş slotların paylaşılması (STT optimizasyon algoritması)

STT'deki "Öncelik" değeri "2" olan slotlar VBR, ABR ve UBR bağlantılar tarafından kullanılan garanti edilmemiş slotlardır ve bu slotlar uygulamaların "Öncelik" değeri "1" olması gereken slotlarına tahsis edilebilir. VBR servislerinin MBS ve PCR değişkenleri, ABR servislerinin PCR değişkeni ve UBR servislerinin PCR değişkeni, STT içerisindeki garanti edilmemiş slotların hangi bağlantılar için ve ne kadar kullanılabilirliğini belirler. Bİ'ye her bağlantı isteği geldiğinde, garanti

edilmemiş slotların tüm bu parametreler göz önüne alınarak yeniden düzenlenmesi gereklidir.

Her bağlantı isteğinden sonra çalıştırılması gereken ve garanti edilmemiş slotları VBR, ABR ve UBR bağlantıları arasında trafik ihtiyaçlarını göz önüne alarak dengelemeye yarayan algoritma Şekil 5.17’de gösterilmiştir.



Şekil 5.17. Garanti edilmemiş slotların paylaşılması.

STT optimizasyon algoritması içerisinde, aktif olan bağlantılara ait servis kalitesi, trafik değişkenleri, v.b. gibi bilgilerin kullanılması gerekir. Bağlantılara ait bu bilgiler bağlantı kurulduktan sonra veri tabanına yazılır ve daha sonra kullanılmak

üzere saklanır. Tablo 5.2, Bİ tarafından kullanılan ve bağlantılara ait istatistiksel bilgilerin yer aldığı veritabanı tablosunu göstermektedir.

Tablo 5.2. Bağlantılara ait istatistiksel bilgilerin tutulduğu veritabanı tablosu.

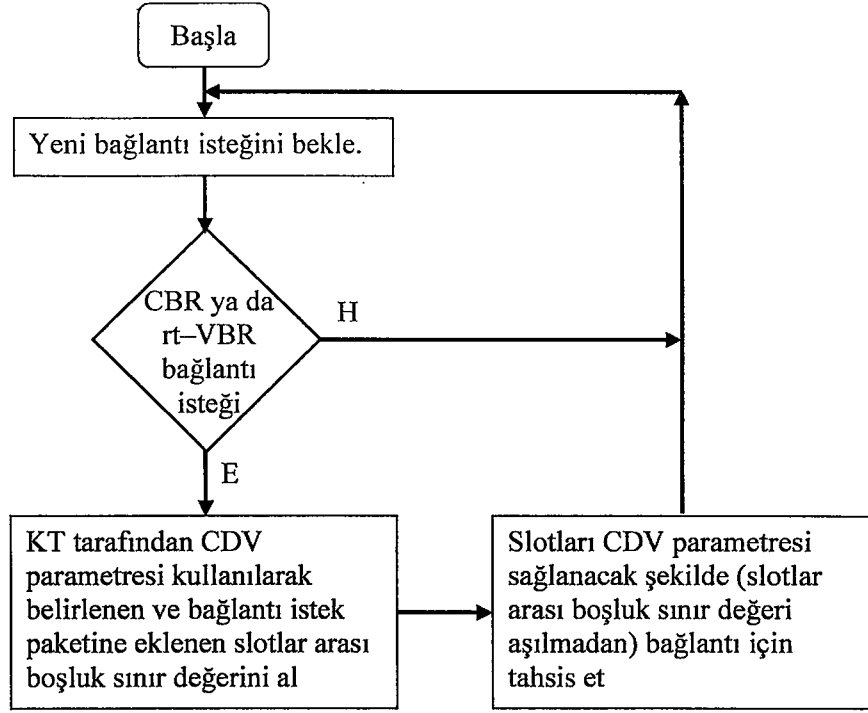
TermID	UygNo	Ssmfı	SLS1	SLS2	SLS3	SLS4	Aktif	BKZamanı	BSZamanı
1	1	0					1	1,100000000	
3	1	2					1	1,300100000	
2	1	1					0	2,000000000	60,200000000
4	1	3					0	5,000000000	500,400000000
5	1	2					1	6,200000000	

TermID : Terminal Numarası
UygNo : Uygulama Numarası
Ssmfı : Servis Sınıfı
SLS1 : Servis Kalitesi Değişkeni
SLS2 : Servis Kalitesi Değişkeni
SLS3 : Servis Kalitesi Değişkeni
SLS4 : Servis Kalitesi Değişkeni
Aktif : Bağlantının Durumu (Aktif:1 / Pasif: 0)
BKZamanı : Bağlantı Kurulum Zamanı (s)
BSZamanı : Bağlantı Sonlandırma Zamanı (s)

5.4.2.3.2. Gecikme değişimi kontrol algoritması

Gecikme değişimi (CDV), CBR ve rt-VBR servislerinin duyarlı olduğu bir servis kalitesi değişkenidir ve “jitter” olarak da bilinir. Gecikme değişiminin garanti edilebilmesi için STT’de CBR ve rt-VBR servis sınıflarını kullanan bağlantılara ayrılan slotların arasında bulunan sürenin belirli bir sınır değerini geçmemesi gerekmektedir. Bir bağlantı için slotlar arasında bırakılabilecek en çok süre, istekte bulunan KT tarafından hesaplanarak (Bölüm 5.4.1) bağlantı isteğini bildiren kontrol paketi içerisinde Bİ’ye gönderilir.

CBR ve rt-VBR bağlantı istekleri için CDV parametresini garanti etmeye yönelik olarak çalıştırılan algoritma genel hatlarıyla Şekil 5.18’de gösterilmiştir.



Şekil 5.18. Gecikme değişimi kontrol algoritması.

5.5. Sonuç

Kablosuz MAC protokolleri, uygulamalara servis kalitesi garanti edilmiş hizmetler sunulabilmesi açısından son derece önemlidir. KATM ağlarda kullanılmak üzere tasarlanmış değişik MAC protokolleri bulunmaktadır. Bunlar, TDMA ya da CDMA çoklu erişim tekniğini kullanır.

Bu tez çalışmasında, uygulamalara servis kalitesi sağlayabilmek amacıyla KATM ağlar için geliştirilen yeni bir MAC protokolü önerilmektedir. Bu protokolde diğerlerine olan üstünlüklerinden dolayı TDMA/FDD erişim tekniği tercih edilmiştir.

Önerilen KATM MAC protokolü ana hatlarıyla; KT-MAC ve Bİ-MAC fonksiyonlarından oluşmaktadır. Bİ STT yönetim algoritması, servis kalitesi desteği açısından, bu yeni protokolün en önemli bölümüdür ve uygulamalara servis kalitesinin garanti edilmesi STT'nin etkin olarak yönetilmesine bağlıdır.

BÖLÜM 6. YENİ MAC KATMANI İLE KATM ÇOKLU ORTAM AĞ UYGULAMASI

6.1. Giriş

Günümüzde yaygın olarak kullanılan kablosuz ağ teknolojilerinde özellikle çoklu ortam uygulamaları gibi servis kalitesi garantisi gerektiren patlamalı trafikler için istenen özellikler bulunmamaktadır. ATM teknolojisinin kablosuz uyarlaması olarak kabul edilen KATM, bu tür geniş bant uygulamalara trafik ihtiyaçları karşılanmış hizmetler sunma konusunda potansiyel bir çözüm olarak düşünülmektedir.

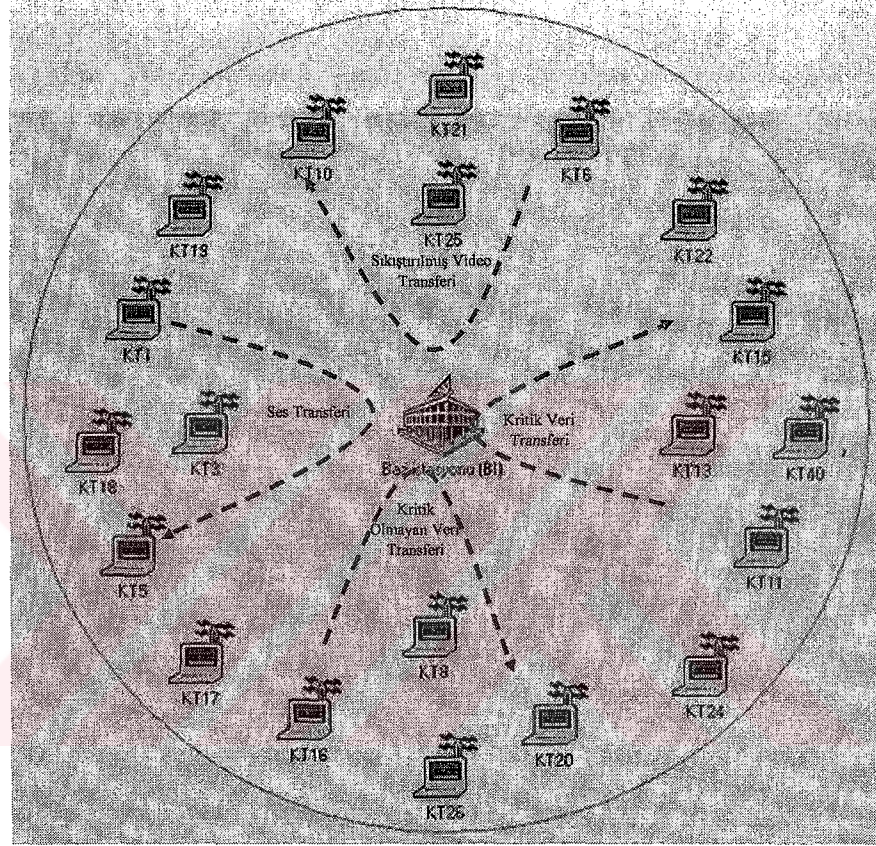
Bu bölümde, OPNET Modeller simülasyon yazılımı kullanılarak, TDMA/FDD yöntemine dayalı yeni MAC katmanını kullanan örnek bir çoklu ortam KATM ağ uygulaması tasarlanmıştır. Ayrıca, örnek uygulamanın performansı, değişik yük koşulları altında elde edilen simülasyon sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.

Bununla birlikte, örnek KATM ağ uygulaması ile benzer çalışma ve simülasyon parametrelerine sahip bir IEEE 802.11b standardı KLAN uygulaması da yine, OPNET Modeller ile modellenerek, simülasyon sonuçları KATM eşlenikleri ile karşılaştırılmıştır.

6.2. KATM Simülasyon Modeli

OPNET simülasyon yazılımı ile modellenen ve Şekil 6.1’de gösterilen örnek uygulamada KT’ler, aynı fiziksel ortamı kullanarak birbirleriyle aynı hücre içerisinde haberleşebilmek için yeni tasarlanan ve Bölüm 5’de açıklanan TDMA/FDD tekniğine dayalı MAC protokolünden faydalanırlar. Ağ topolojisini oluşturan hücrelerin çapı 100 metre’dir. Kanal modeli olarak ise “free space” yayılım modelinden yararlanılır. “Free space” yayılım modeli, alıcı ile verici arasında

herhangi bir engel olmadığı durumlarda (çizgisel görüş alanı, line-of-sight), alınan sinyal gücünü hesaplamak için kullanılır. Yeni önerilen MAC protokolünün gecikmeye karşı göstereceği performansa odaklanılması açısından kablosuz kanal bit hata oranının (BER) çok küçük olduğu ve paketlere eklenen CRC bitlerinin olası hataları önlediği kabul edilmiştir.



Şekil 6.1. TDMA/FDD'ye dayalı yeni MAC protokolünü kullanan KATM uygulaması.

Örnek KATM uygulamasında iki temel ağ bileşeni bulunmaktadır. Bunlardan ilki, kapsama alanı içerisindeki KT'lerin haberleşmesini kontrol eden baz istasyonu, diğeri ise üzerinde çoklu ortam uygulamalarının çalıştığı KT'lerdir.

6.2.1. Baz İstasyonu

KATM bağlantı yönelimli bir kablosuz ağ teknolojisidir. Bu nedenle, KT'ler iletme başlamadan önce bağlantı isteklerini ve servis kalitesi ihtiyaçlarını içeren kontrol

paketini baz istasyonuna göndererek kendilerine kanal tahsis edilmesini sağlar. Baz istasyonu ise aldığı bu istek paketini değerlendirerek, servis kalitesini sağlayabilecek miktardaki bant genişliğini, yeteri kadar var ise, bu bağlantı için tahsis eder ve bağlantı tarafından hangi slotların kullanılabileceği bilgisini istekte bulunan terminale gönderir. İstenilen servis kalitesini karşılamaya yetecek kadar kaynak yok ise bağlantı kurulamaz.

KT'de çalışan uygulama sona erdiğinde ise Bİ'ye terminal tarafından bağlantıyı sonlandırma isteğini içeren kontrol paketi gönderilir. Bİ bu isteği değerlendirerek STT'de bağlantıya ait slotları boşaltır ve aktif bağlantıların ihtiyaçlarına göre STT'yi yeniden düzenler.

Bİ, kapsama alanı içerisinde bulunan KT'lerin birbirleriyle haberleşmesini kontrol ettiği gibi, onların diğer hücrelerdeki KT'lerle haberleşmesini de sağlar. Hücresel topoloji içerisindeki her hücrede 1 adet Bİ bulunur. Bİ'ler ATM omurga ile birbirlerine bağlanarak servis verilen kapsama alanını genişletmek amacıyla da kullanılabilir.

6.2.2. Kablosuz Terminal

KT'ler trafik üretmek ve almak için kullanılan uygulamaların çalıştırdığı kullanıcı uç birimleridir. Bu tez çalışmasında kullanılan KT'ler, Bİ'ler gibi sabit olup hareketlilik destek fonksiyonlarını içermemektedir.

Örnek KATM uygulamasında çoklu ortam trafiği üretmek ve almak için kullanılan 20 adet KT vardır. Her bir KT'de tek uygulama çalışmaktadır. Bu uygulamalardan 1 tanesi ATM CBR servis sınıfı ile ses transferi (Chen et al (1998) ve Cotroneo et al (2003) çalışmalarındaki ses trafiğine benzer özelliktedir), 1 tanesi VBR servis sınıfı ile sıkıştırılmış video transferi (Chen et al (1998) ve Cotroneo et al (2003) çalışmalarındaki video trafiğine benzer özelliktedir), 8 tanesi ABR servis sınıfı ile kritik veri transferi ve son 10 tanesi ise ATM UBR servis sınıfı ile kritik olmayan veri transferi gerçekleştirmektedir.

Örneğin; KT1–KT5 terminalleri arasındaki uygulama trafiği, bağlantı süresince sabit bant genişliği gerektiren; paket kaybı, gecikme ve gecikme değişimine duyarlı ATM CBR servis sınıfı ile, KT6–KT10 terminalleri arasındaki uygulama trafiği, bant genişliği ihtiyacı zamanla değişen; paket kaybı, gecikme ve gecikme değişimine duyarlı ATM VBR servis sınıfı ile, KT11–KT15 terminalleri arasındaki uygulama trafiği sadece paket kaybına duyarlı ATM ABR servis sınıfı ile ve KT16–KT20 terminalleri arasındaki uygulama trafiği, hiçbir servis kalitesi garantisi sağlamayan ATM UBR servis sınıfı ile transfer edilmektedir.

6.2.3. Simülasyon parametreleri

KATM için önerilen yeni MAC protokolünde; çoklu ortam uygulamalarına ihtiyaç duydukları servis kalitesi garantisini sağlayabilmesi, tasarımının basit olması ve kablosuz sistemlerde kullanımının yaygın olması nedeniyle TDMA/FDD tekniği tercih edilmiştir. KATM sistemlerin mikro ve piko hücrelerde (500 metreye kadar) 25 Mbit/s'lik veri iletim hızını desteklemesi düşünülmektedir (Raychaudhuri 1999). Bu çalışmada önerilen MAC protokolünde kullanılan slotların genişliği 25 Mbit/s veri iletim hızı için deneysel çalışmalar neticesinde optimum sonucu veren 200 µs değeri önerçek olarak kabul edilmek suretiyle, bir TDMA çerçevesindeki (frame) slot sayısı $N = 1000$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, her slotta toplam 5 KATM hücresi taşınmaktadır.

Bir çerçevedeki slot sayısı olarak kullanılan 1000 değeri ses ve video gibi gecikme duyarlılığı olan trafikler için fazla, veri trafiği için ise daha uygundur. Modellenen çoklu ortam ağ uygulamasında, aynı ortamdan ses, video ve veri transferi gerçekleştirileceğinden, deneysel olarak yapılan çalışmalarda en iyi sonucu veren 1000 (slot/çerçeve) ve 5 (hücre/slot) değerleri tercih edilmiştir.

Tüm kablosuz terminallerde çalışan uygulamaların ürettikleri trafik yükleri Tablo 6.1'de belirtilen aralıklarda değiştirilerek simülasyon süresince KT1–KT5, KT6–KT10, KT11–KT15 ve KT16–KT20 terminalleri arasında oluşan uçtan–uca ortalama gecikme, maksimum gecikme ve gecikme değişimi değerleri elde edilmiştir. Tüm uygulamalar için aynı olasılık dağılım fonksiyonu ve parametreler seçilerek,

kullanılan servis sınıflarına ait performansların da karşılaştırılabilmesine imkan verilmiştir.

Tablo 6.1. Simülasyon parametreleri.

KATM Trafik Kaynakları	30.000–100.000*(Bayt/s)
Veriş/Alış (Uplink/Downlink) Hızı	25 Mbit/s
Modülasyon Tekniği	QPSK
MAC Protokolü	TDMA/FDD
CBR Parametreleri	PCR=100 KBayt/s, CTD=150 ms, CDV=1 ms
VBR Parametreleri	SCR=85 KBayt/s, PCR = 110 KBayt/s, CTD=100 ms, CDV=1 ms
ABR Parametreleri	MCR=50 KBayt/s, PCR=100 KBayt/s
UBR Parametresi	PCR=50 KBayt/s
Kanal Modeli	Free Space Yayılım Modeli (Line of Sight)
<i>*Üstel (Exponential) Dağılım Fonksiyonu (Exp(mean)) kullanılarak üretilmiştir.</i>	

KT1–KT5 arasındaki ses transferi için kullanılan CBR servis sınıfı, bağlantı boyunca PCR değeriyle belirlenen bit iletim hızını garanti eder. Ayrıca, CTD ve CDV değerleriyle belirlenen gecikme ve gecikme değişimi servis kalitesi parametrelerini de sağlamak zorundadır.

KT6–KT10 arasındaki sıkıştırılmış video transferi için kullanılan VBR servis sınıfı, bağlantı boyunca SCR değeriyle belirlenen bit iletim hızını garanti eder. CBR servis sınıfında olduğu gibi, CTD ve CDV değerleriyle belirlenen gecikme ve gecikme değişimi servis kalitesi parametrelerinin de sağlanması gerekir. Ayrıca, MBS ve PCR değerleriyle de patlama anında kullanabileceği maksimum bant genişliğini belirler.

KT11–KT15 arasındaki kritik veri transferi için kullanılan ABR servis sınıfı, bağlantı boyunca MCR değeriyle belirlenen bit iletim hızını garanti eder. Gecikme ve gecikme değişimine duyarlı değildir. Mevcut bant genişliğinin garanti edilmemiş kısmını PCR değerine kadar kullanabilir.

KT16–KT20 arasındaki kritik olmayan veri transferi için kullanılan UBR servis sınıfı ise, diğer servislerden arta kalan bant genişliğini kullanır. Hiçbir servis garantisi yoktur. UBR servis sınıfına ait PCR değeri, kullanılacak maksimum bit iletim hızını belirler.

6.2.4. Simülasyon sonuçları

Yukarıda belirtilen parametreler kullanılarak yapılan simülasyon sonuçları bu alt bölümde sunularak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların güvenilirliğinin ve hassasiyetinin sağlanması açısından, istatistiksel değerler, belirli bir çalışma süresinden (warm-up session) sonra alınmıştır.

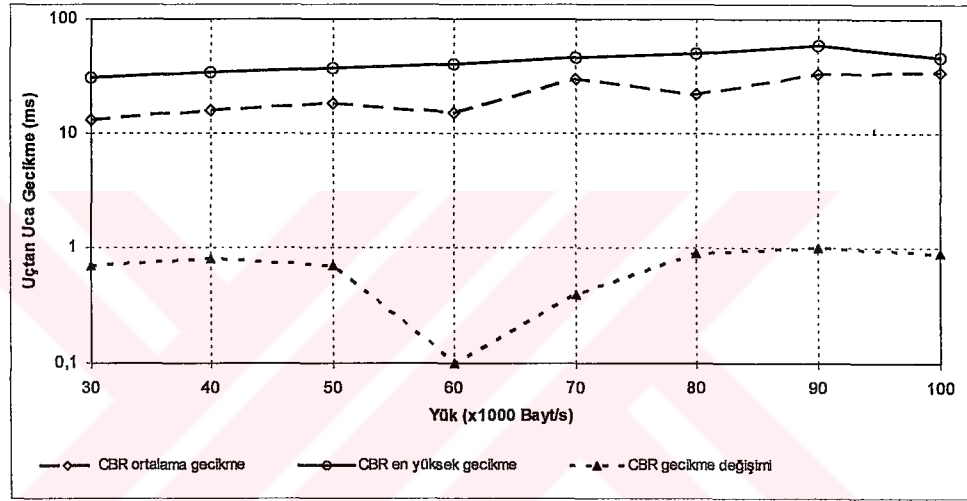
Örnek uygulamanın performansını değerlendirmek üzere kullanılan ölçütler; uçtan-uca ortalama gecikme, maksimum gecikme ve gecikme değişimi değerleridir. Paketlerin kaynak tarafında üretildiği andan hedef tarafında yok edildiği ana kadar geçen ortalama süre ortalama gecikmeyi, en yüksek süre de maksimum gecikmeyi ifade eder. Paketlerin gecikme sürelerinin değişimi (standart sapma) ise gecikme değişimini (jitter) verir.

Tablo 6.2 ve Şekil 6.2, KT1–KT5 arasındaki ses transferi için çeşitli yük değerlerinde elde edilen uçtan-uca ortalama gecikme, maksimum gecikme ve gecikme değişimi değerlerini göstermektedir.

CBR servis sınıfı gecikme ve gecikme değişimine duyarlı olduğundan, CTD ve CDV ile belirtilen servis kalitesi parametrelerinin sağlanması gereklidir. Örnek uygulamadaki ses transferi için CTD değeri 100 ms ve CDV değeri 1 ms olarak alınmıştır. Şekil 6.2’de görüldüğü gibi en yüksek ortalama gecikme değeri 34 ms (100000 Bayt/s yük değeri için) ve en yüksek maksimum gecikme değeri 59 ms’dir (90000 Bayt/s yük değeri için). Gecikme değişimi ise tüm yük koşulları için 1 ms sınır değerini geçmemektedir (en yüksek değeri 90000 Bayt/s için elde edilen 1 ms’dir).

Tablo 6.2. KT1–KT5 arasındaki ses transferine (CBR ile) ait uçtan–uca gecikme değerleri.

Yük (x 1000 Bayt/s)	Ortalama Gecikme (ms)	En Yüksek Gecikme (ms)	Gecikme Değişimi (ms)
30	13	31	0,7
40	16	34	0,8
50	18	37	0,7
60	15	40	0,1
70	30	46	0,4
80	22	50	0,9
90	33	59	1,0
100	34	46	0,9



Şekil 6.2. KT1–KT5 arasındaki ses transferine (CBR ile) ait uçtan–uca gecikme sonuçları.

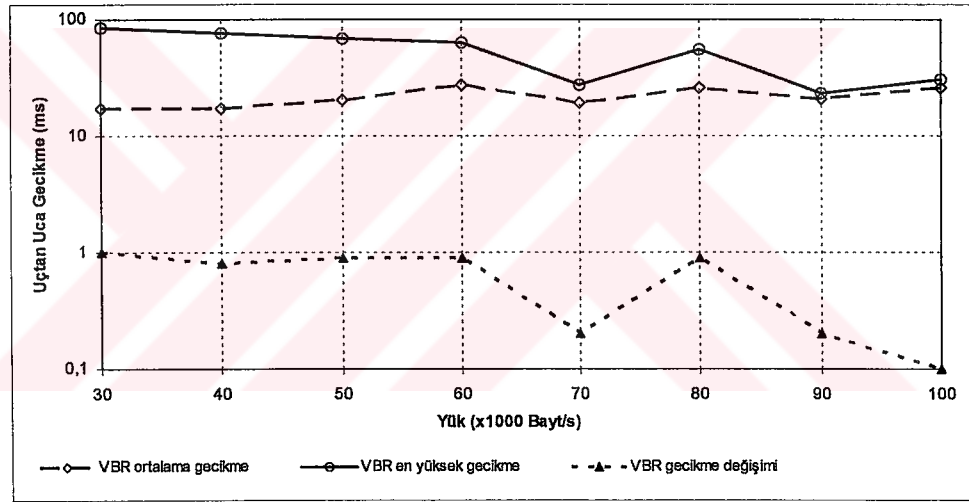
Tablo 6.3 ve Şekil 6.3, KT6–KT10 arasındaki sıkıştırılmış video transferi için çeşitli yük değerlerinde elde edilen uçtan–uca ortalama ve maksimum gecikme ile gecikme değişimi değerlerini göstermektedir.

VBR servis sınıfı gecikme ve gecikme değişimine duyarlı olduğundan, CTD ve CDV ile belirtilen servis kalitesi parametrelerinin sağlanması gereklidir. Örnek uygulamadaki sıkıştırılmış video transferi için CTD değeri 100 ms ve CDV değeri 1 ms olarak alınmıştır. Grafikten anlaşılacağı üzere en yüksek ortalama gecikme değeri 27 ms (60000 Bayt/s yük değeri için) ve en yüksek maksimum gecikme değeri 85 ms'dir (30000 Bayt/s yük değeri için). Gecikme değişimi ise tüm yük koşulları için 1

ms sınır değerini geçmemektedir (en yüksek değeri 30000 Bayt/s için elde edilen 1 ms'dir).

Tablo 6.3. KT6–KT10 arasındaki sıkıştırılmış video transferine (rt–VBR ile) ait uçtan–uca gecikme değerleri.

Yük (x 1000 Bayt/s)	Ortalama Gecikme (ms)	En Yüksek Gecikme (ms)	Gecikme Değişimi (ms)
30	17	85	1,0
40	17	76	0,8
50	20	69	0,9
60	27	63	0,9
70	19	27	0,2
80	26	55	0,9
90	21	23	0,2
100	26	30	0,1



Şekil 6.3. KT6–KT10 arasındaki sıkıştırılmış video transferine (rt–VBR ile) ait uçtan–uca gecikme sonuçları.

Tablo 6.4 ve Şekil 6.4, KT11–KT15 arasındaki kritik veri transferi sırasında çeşitli yük değerleri için elde edilen uçtan–uca ortalama ve maksimum gecikme ile gecikme değişimi değerlerini göstermektedir.

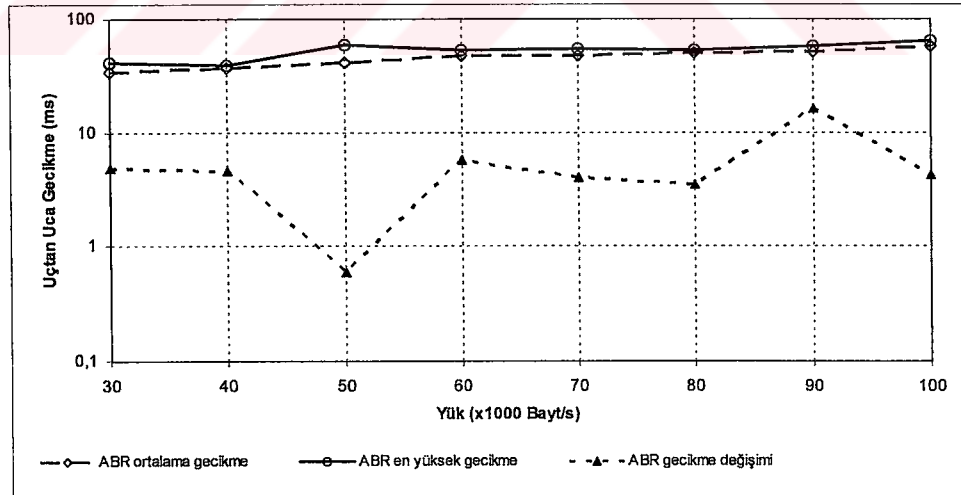
ABR servis sınıfı gecikme ve gecikme değişimine duyarlı olmayan trafikler için kullanılır. Bu nedenle bağlantı kurulumu sırasında gecikmeyle ilgili herhangi bir servis kalitesi değişkeni kullanılmaz. ABR servis sınıfı, hizmet verdiği uygulamalara

MCR parametresiyle belirlenen en küçük bant genişliğini garanti eder ve PCR değeriyle belirtilen miktardaki bant genişliğini kaynaklar elverdiği ölçüde kullanır.

Grafikte gösterildiği gibi KT11–KT15 arasındaki kritik veri transferi sırasında elde edilen en yüksek ortalama gecikme değeri 58 ms (100000 Bayt/s yük değeri için) ve en yüksek maksimum gecikme değeri 64 ms'dir (100000 Bayt/s yük değeri için). Gecikme değişiminin en yüksek değeri ise 16,4 ms'dir (90000 Bayt/s yük değeri için).

Tablo 6.4. KT11–KT15 arasındaki kritik veri transferine (ABR ile) ait uçtan–uca gecikme değerleri.

Yük (x 1000 Bayt/s)	Ortalama Gecikme (ms)	En Yüksek Gecikme (ms)	Gecikme Değişimi (ms)
30	34	41	4,8
40	37	39	4,6
50	42	59	0,6
60	47	53	5,7
70	47	54	4,0
80	50	53	3,5
90	51	57	16,4
100	58	64	4,19



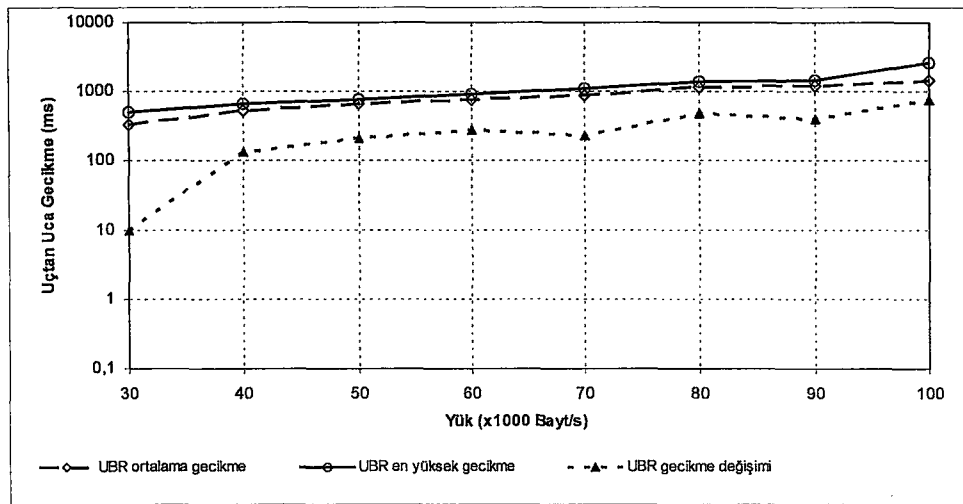
Şekil 6.4. KT11–KT15 arasındaki kritik veri transferine (ABR ile) ait uçtan–uca gecikme sonuçları.

Tablo 6.5 ve Şekil 6.5, KT16–KT20 arasındaki kritik olmayan veri transferi sırasında çeşitli yük değerleri için elde edilen uçtan–uca ortalama ve maksimum gecikme ile gecikme değişimi değerlerini göstermektedir.

UBR servis sınıfı, uygulamalara herhangi bir servis garantisi sağlamadığından gecikme ya da gecikme değişimi gibi parametrelere duyarlı olmayan trafikler için kullanılır. Bu nedenle, bağlantı kurulumu sırasında gecikmeyle ilgili herhangi bir servis kalitesi değişkeni kullanılmaz. UBR servis sınıfı diğer servis sınıflarından geriye kalan boş bant genişliğinden faydalanır. En çok PCR değeriyle belirlenen miktara kadar bant genişliği UBR servislerine tahsis edilebilir.

Tablo 6.5. KT16–KT20 arasındaki kritik olmayan veri transferine (UBR ile) ait uçtan–uca gecikme değerleri.

Yük (x 1000 Bayt/s)	Ortalama Gecikme (ms)	En Yüksek Gecikme (ms)	Gecikme Değişimi (ms)
30	341	515	10,0
40	528	670	132,8
50	664	779	214,0
60	777	935	274,7
70	861	1087	231,8
80	1171	1422	484,9
90	1194	1434	401,4
100	1424	2669	756,5



Şekil 6.5. KT16–KT20 arasındaki kritik olmayan veri transferine (UBR ile) ait uçtan–uca gecikme sonuçları.

Grafikte gösterildiği gibi KT16–KT20 arasındaki kritik olmayan veri transferi sırasında elde edilen en yüksek ortalama gecikme değeri 1424 ms (100000 Bayt/s yük değeri için) ve en yüksek maksimum gecikme değeri 2669 ms'dir (100000 Bayt/s yük değeri için). Gecikme değişiminin en yüksek değeri ise 756,5 ms'dir (100000 Bayt/s yük değeri için).

6.3. KLAN (IEEE 802.11b) Simülasyon Modeli

Performans karşılaştırmasında kullanılacak IEEE 802.11b standardı KLAN uygulamasının modellenmesi ve simülasyonu yine OPNET yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. KATM senaryosunda olduğu gibi bu uygulamada da 20 KT, aynı yük değerleri ile ses, sıkıştırılmış video, kritik veri ve kritik olmayan veri transferi gerçekleştirmektedir. Performans karşılaştırmasının doğru, geçerli ve anlamlı olması için KLAN ağına çalışma koşulları (KT sayısı, uygulama çeşitleri, uygulama sayısı, kapsama alanı, BER, kanal modeli ve simülasyon süresi, ağ topolojisi) KATM eşleniğinininki ile benzer seçilmiştir.

6.3.1. Simülasyon parametreleri

KATM ile performans karşılaştırması yapılan KLAN uygulaması, IEEE 802.11b standardını kullanır. OPNET Modeler yazılımı ile simülasyonu gerçekleştirilen KLAN uygulamasına ait çalışma parametreleri Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.6. Simülasyon parametreleri.

KLAN Trafik Kaynakları	30.000–100.000* (Bayt/s)
Veri/Alış Hızı	11 Mbit/s
Modülasyon Tekniği	BPSK
MAC Protokolü	CSMA/CA
Kanal Modeli	Free Space Yayılım Modeli (Line of Sight)
<i>*Üstel (Exponential) Dağılım Fonksiyonu (Exp(mean)) kullanılarak üretilmiştir.</i>	

KLAN uygulamasında kullanılan IEEE 802.11b standardı, en yüksek 11 Mbit/s bit iletim hızını desteklemektedir. MAC protokolü olarak CSMA/CA yöntemini, modülasyon tekniği olarak da BPSK şemasını kullanır.

Tüm KT'lerde çalışan uygulamaların ürettikleri trafik yükleri Tablo 6.2'de belirtilen aralıklarda değiştirilerek, simülasyon süresince KT1–KT5 arasında oluşan uçtan–uca ortalama gecikme, maksimum gecikme ve gecikme değişimi değerleri elde edilmiştir.

6.3.2. Simülasyon sonuçları

KLAN, kullandığı çoklu erişim tekniği (CSMA/CA) nedeniyle uygulamalara herhangi bir servis garantisi sağlayamaz. CSMA/CA çoklu erişim tekniğinde mevcut frekans kanalının tamamı, kısa ve rasgele olan zaman dilimlerinde bir uygulamaya (türüne bakılmaksızın) ayrılır. KT'ler gönderecekleri bilgi paketleri için kablosuz ortamın boş olmasını bekler. Bu teknik, paket anahtarlama yöntemini kullandığından gecikmeye duyarlı servisler için kullanışlı değildir. Herhangi bir uygulama için garanti edilmiş bant genişliği ya da “öncelik” gibi mekanizmalar söz konusu değildir. Örnek senaryoda kullanılan uygulamalar ağa eşit miktarda yük gönderdikleri için, herhangi bir uygulamaya (örneğin, KT1–KT5 arasındaki ses transferi) ait gecikme değerlerini ele almak yeterli olacaktır.

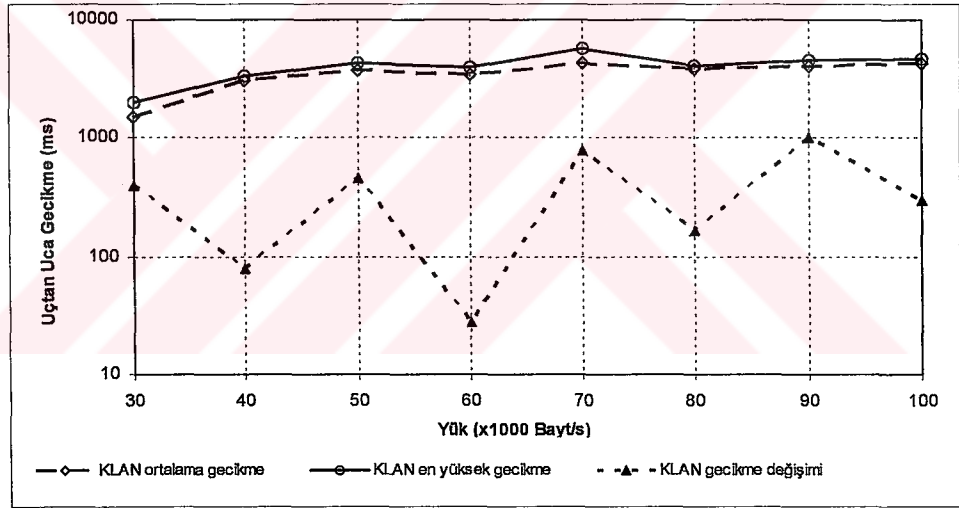
Tablo 6.7 ve Şekil 6.6, KLAN uygulaması için değişik yük değerlerinde elde edilen uçtan–uca ortalama gecikme, maksimum gecikme ve gecikme değişiminin sonuçlarını göstermektedir.

Grafikte gösterildiği gibi uygulamaların yük değeri arttıkça, paketlerin iletiminde meydana gelen ortalama ve maksimum gecikme değerleri düzensiz olarak artmaktadır. KT1–KT5 arasındaki ses transferi sırasında elde edilen en yüksek ortalama gecikme değeri 4295 ms (100000 Bayt/s yük değeri için) ve en yüksek maksimum gecikme değeri 5620 ms'dir (70000 Bayt/s yük değeri için). Gecikme değişiminin en yüksek değeri ise 1021 ms'dir (90000 Bayt/s yük değeri için).

Bununla birlikte, trafik üreten uygulamaların sayısındaki artış, kullanılan MAC tekniğinin özelliği nedeniyle, paket iletim gecikmesini de artıracaktır.

Tablo 6.7. KLAN KT1–KT5 arasındaki ses transferine ait uçtan–uca gecikme değerleri.

Yük (x 1000 Bayt/s)	Ortalama Gecikme (ms)	En Yüksek Gecikme (ms)	Gecikme Değişimi (ms)
30	1517	1978	398
40	3042	3336	79
50	3724	4221	460
60	3440	3901	28
70	4260	5620	785
80	3836	4011	167
90	4070	4494	1021
100	4295	4602	301



Şekil 6.6. KLAN KT1–KT5 arasındaki ses transferine ait uçtan–uca gecikme sonuçları.

6.4. KATM ve KLAN Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu alt bölümde, üzerinde çalışılan KATM ve KLAN senaryolarının değişik trafik yükleri altında elde edilen simülasyon sonuçlarının performansı karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir.

KATM sistemleri, mikro ve piko hücrelerde (500 metreye kadar) 25 Mbit/s'lik veri iletim hızını destekleyebilmektedir. Diğer taraftan KLAN senaryosunda kullanılan IEEE 802.11b kablosuz ağ standardı, en yüksek 11 Mbit/s veri iletim hızını desteklemektedir. Her iki kablosuz ağın, aynı çalışma koşullarında göstermiş olduğu performansın kararlı ve adil olarak karşılaştırılabilmesi için KATM modelinin simülasyon sonuçları 11 Mbit/s veri iletim hızı için tekrar elde edilmiştir.

Daha önce de belirtildiği gibi, ses transferinde kullanılan ATM CBR servis sınıfı, bağlantı boyunca PCR değeriyle belirtilen hücre iletim hızını garanti eder. Sıkıştırılmış video transferinde kullanılan VBR servis sınıfı, SCR ile belirtilen ortalama hücre iletim hızını garanti eder. Kritik veri transferini gerçekleştiren ABR servis sınıfı bağlantı boyunca MCR değeriyle belirlenen hücre iletim hızını garanti eder. Kaynakların yeterliliği çerçevesinde en çok PCR değeriyle belirtilen bant genişliğini de kullanabilir. Kritik olmayan veri transferini gerçekleştiren ATM UBR servis sınıfı diğer servis sınıflarından geriye kalan boş bant genişliğini kullanır. Bu nedenle, herhangi bir servis kalitesi garantisi sağlamamakla birlikte en çok PCR değeriyle belirlenen miktara kadar bant genişliğini uygulamalar için tahsis edilebilir.

Diğer yandan ikinci senaryoda kullanılan, KATM ile benzer çalışma parametrelerine sahip KLAN modeli ise CSMA/CA MAC protokolü esasına göre çalışmaktadır. Bu MAC protokolünde, mevcut bant genişliği veri göndermek isteyen terminallere kısa süreli olarak ve rasgele ayrıldığından, türüne bakılmaksızın uygulamalara hiçbir veri iletim hızı garantisi sağlanamaz. Dolayısıyla, özellikle gecikme ve gecikme değişimine duyarlı trafikler için kullanışlı değildir.

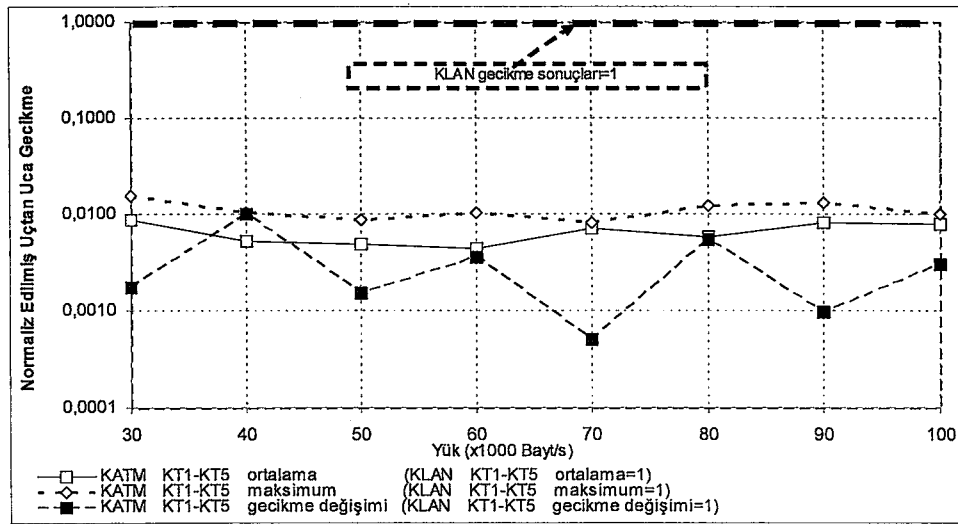
Burada, KATM ile KLAN performans karşılaştırmasının daha anlaşılır olması için KATM uygulamalarına ait gecikme sonuçları, KLAN eşleniklerine göre normalize edilerek (düzeltilen) sunulmuştur. Normalize işlemi yapılırken KLAN uygulamasına ait gecikme değerleri 1 kabul edilerek, KATM gecikme sonuçları nispi olarak yeniden hesaplanmıştır. Örneğin; KT1-KT5 arasındaki ses transferine ait 100000 Bayt/s yük değerindeki uçtan-uca ortalama gecikme, KLAN için 4295 ms ve KATM için 34 ms olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla bu yük miktarında KLAN ortalama gecikme değeri 1 kabul edilirse, aynı yük şartlarındaki KATM ortalama

gecikme değeri 0,0079 (=34/4295) olacaktır. Diğer bir ifade ile ses transferi için KATM kullanıldığında aynı trafik değeri için yaklaşık 126 (=4295/34) kat daha iyi sonuç elde edilmiştir. Böylece KATM kullanılan modeldeki ses transferinin, KLAN kullanılan modeldekine oranla kaç kat daha az gecikmeyle gönderilmiş olduğu anlaşılabilir.

Tablo 6.8 ve Şekil 6.7, KATM CBR servis sınıfı ile gerçekleştirilen KT1–KT5 arasındaki ses transferine ait uçtan-uca ortalama gecikme, maksimum gecikme ve gecikme değişimi değerlerinin, KLAN eşleniklerine göre normalize edilmiş sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 6.8. KT1–KT5 arasındaki ses transferine (CBR ile) ait uçtan-uca gecikme değerlerinin KLAN eşleniklerine göre normalize edilmiş sonuçları.

Yük (x 1000 Bayt/s)	Ortalama Gecikme	En Yüksek Gecikme	Gecikme Değişimi
30	0,0086	0,0157	0,0018
40	0,0053	0,0102	0,0101
50	0,0048	0,0088	0,0015
60	0,0044	0,0103	0,0036
70	0,0070	0,0082	0,0005
80	0,0057	0,0125	0,0054
90	0,0081	0,0131	0,0010
100	0,0079	0,0100	0,0030



Şekil 6.7. KT1–KT5 arasındaki ses transferine (CBR ile) ait uçtan-uca gecikme değerlerinin KLAN eşleniklerine göre normalize edilmiş sonuçları.

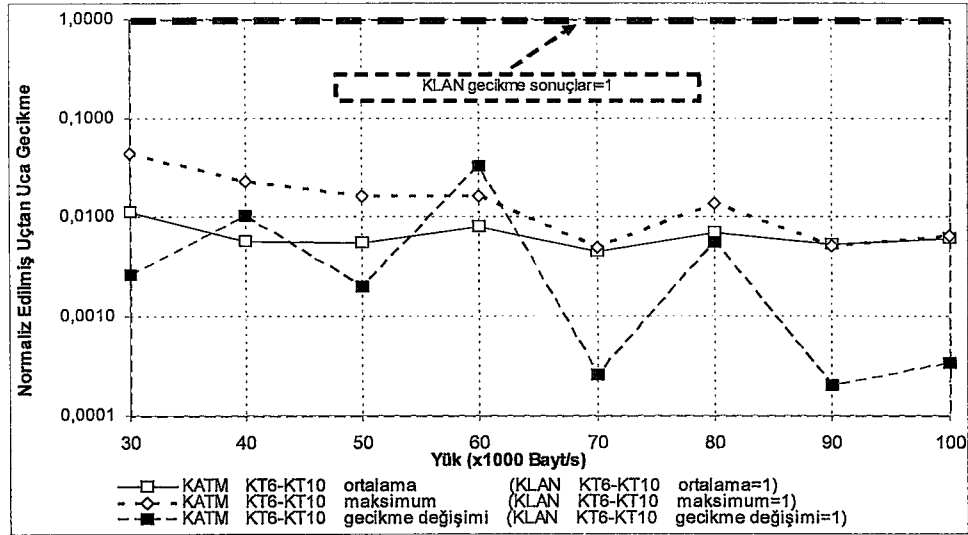
KATM CBR servis sınıfı ile gerçekleştirilen ses transferine ait sonuçlar en kötü durumda dahi KLAN eşleniklerinden; ortalama gecikme değeri için yaklaşık 116 kat (yük değeri 30000 Bayt/s iken), maksimum gecikme değeri için yaklaşık 64 kat (yük değeri 30000 Bayt/s iken) ve gecikme değişimi değeri için yaklaşık 99 kat (yük değeri 40000 Bayt/s iken) daha düşüktür. En iyi durumda ise ortalama gecikme değeri için yaklaşık 227 kat (yük değeri 60000 Bayt/s iken), maksimum gecikme değeri için yaklaşık 122 kat (yük değeri 70000 Bayt/s iken) ve gecikme değişimi değeri için yaklaşık 2000 kat (yük değeri 70000 Bayt/s iken) daha düşüktür.

Tablo 6.9 ve Şekil 6.8, KATM VBR servis sınıfı ile gerçekleştirilen KT6–KT10 arasındaki sıkıştırılmış video transferine ait uçtan-uca ortalama gecikme, maksimum gecikme ve gecikme değişimi değerlerinin, KLAN eşleniklerine göre normalize edilmiş sonuçlarını göstermektedir.

KATM VBR servis sınıfı ile gerçekleştirilen sıkıştırılmış video transferine ait sonuçlar en kötü durumda dahi KLAN eşleniklerinden; ortalama gecikme değeri için yaklaşık 89 kat (yük değeri 30000 Bayt/s iken), maksimum gecikme değeri için yaklaşık 23 kat (yük değeri 30000 Bayt/s iken) ve gecikme değişimi değeri için yaklaşık 30 kat (yük değeri 60000 Bayt/s iken) daha düşüktür. En iyi durumda ise ortalama gecikme değeri için yaklaşık 222 kat (yük değeri 70000 Bayt/s iken), maksimum gecikme değeri için yaklaşık 208 kat (yük değeri 70000 Bayt/s iken) ve gecikme değişimi değeri için yaklaşık 5000 kat (yük değeri 90000 Bayt/s iken) daha düşüktür.

Tablo 6.9. KT6–KT10 arasındaki sıkıştırılmış video transferine (VBR ile) ait uçtan-uca gecikme değerlerinin KLAN eşleniklerine göre normalize edilmiş sonuçları.

Yük (x 1000 Bayt/s)	Ortalama Gecikme	En Yüksek Gecikme	Gecikme Değişimi
30	0,0112	0,0430	0,0025
40	0,0056	0,0228	0,0101
50	0,0054	0,0163	0,0020
60	0,0078	0,0161	0,0321
70	0,0045	0,0048	0,0003
80	0,0068	0,0137	0,0054
90	0,0052	0,0051	0,0002
100	0,0061	0,0065	0,0003



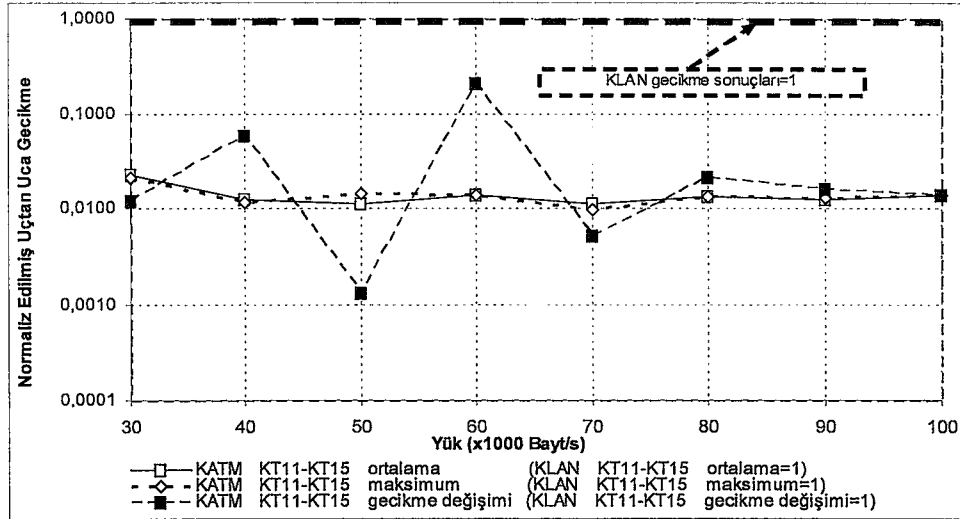
Şekil 6.8. KT6–KT10 arasındaki ses transferine (VBR ile) ait uçtan–uca gecikme değerlerinin KLAN eşleniklerine göre normalize edilmiş sonuçları.

Tablo 6.10 ve Şekil 6.9, KATM ABR servis sınıfı ile gerçekleştirilen KT11–KT15 arasındaki kritik veri transferine ait uçtan-uca ortalama gecikme, maksimum gecikme ve gecikme değışimi değerlerinin, KLAN eşleniklerine göre normalize edilmiş sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 6.10. KT11–KT15 arasındaki kritik veri transferine (ABR ile) ait uçtan–uca gecikme değerlerinin KLAN eşleniklerine göre normalize edilmiş sonuçları.

Yük (x 1000 Bayt/s)	Ortalama Gecikme	En Yüksek Gecikme	Gecikme Değışimi
30	0,0224	0,0207	0,0121
40	0,0122	0,0117	0,0582
50	0,0113	0,0140	0,0013
60	0,0137	0,0136	0,2036
70	0,0110	0,0096	0,0051
80	0,0130	0,0132	0,0210
90	0,0125	0,0127	0,0161
100	0,0135	0,0139	0,0139

KATM ABR servis sınıfı ile gerçekleştirilen kritik veri transferine ait sonuçlar KLAN eşleniklerinden; ortalama gecikme değeri için yaklaşık 45 ila 91 kat arasında, maksimum gecikme değeri için yaklaşık 48 ila 104 kat arasında ve gecikme değışimi değeri için yaklaşık 5 ila 769 kat arasında daha iyi olarak elde edilmiştir.



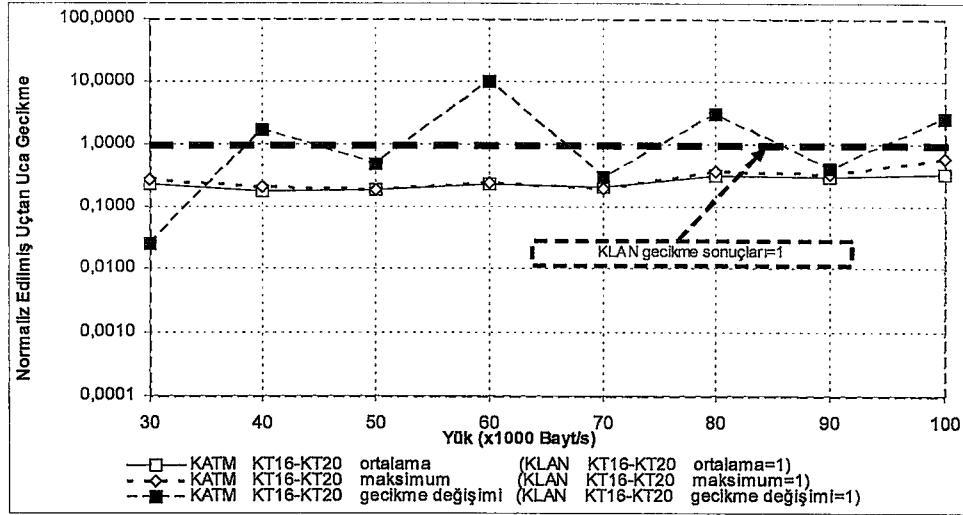
Şekil 6.9. KT11–KT15 arasındaki kritik veri transferine (ABR ile) ait uçtan–uca gecikme değerlerinin KLAN eşleniklerine göre normalize edilmiş sonuçları.

Tablo 6.11 ve Şekil 6.10, KATM UBR servis sınıfı ile gerçekleştirilen KT16–KT20 arasındaki kritik olmayan veri transferine ait uçtan-uca ortalama gecikme, maksimum gecikme ve gecikme değişimi değerlerinin, KLAN eşleniklerine göre normalize edilmiş sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 6.11. KT16–KT20 arasındaki kritik olmayan veri transferine (UBR ile) ait uçtan–uca gecikme değerlerinin KLAN eşleniklerine göre normalize edilmiş sonuçları.

Yük (x 1000 Bayt/s)	Ortalama Gecikme	En Yüksek Gecikme	Gecikme Değişimi
30	0,2248	0,2604	0,0251
40	0,1736	0,2008	1,6810
50	0,1783	0,1846	0,4652
60	0,2259	0,2397	9,8107
70	0,2021	0,1934	0,2953
80	0,3053	0,3545	2,9036
90	0,2934	0,3191	0,3931
100	0,3315	0,5800	2,5133

KATM UBR servis sınıfı ile gerçekleştirilen kritik olmayan veri transferine ait sonuçlar KLAN eşleniklerine göre; ortalama gecikme için yaklaşık 6 kata kadar (yük değeri 40000 Bayt/s iken), maksimum gecikme için yaklaşık 5 kata kadar (yük değeri 50000 Bayt/s iken) ve gecikme değişimi için yaklaşık 40 kata kadar (yük değeri 30000 Bayt/s iken) daha iyi performans göstermektedir.



Şekil 6.10. KT16–KT20 arasındaki kritik olmayan veri transferine (UBR ile) ait uçtan–uca gecikme değerlerinin KLAN eşleniklerine göre normalize edilmiş sonuçları.

6.5. Sonuç

Bu bölümde, kablosuz çoklu ortam uygulamalarına hizmet vermek amacıyla TDMA/FDD tekniğine dayalı yeni MAC protokolünü kullanan örnek bir KATM ağ senaryosunun, 25 Mbit/s ve 11 Mbit/s iletim hızlarındaki simülasyon sonuçları sunulmuştur. Elde edilen uçtan–uca ortalama gecikme, maksimum gecikme ve gecikme değişimi değerleri benzer çalışma ve ağ koşullarına sahip IEEE 802.11b standardı KLAN (11 Mbit/s) eşlenikleriyle karşılaştırılarak performans değerlendirilmesi yapılmıştır.

KATM, bağlantı yönelimli bir kablosuz ağ teknolojisi olduğundan uygulamalar arasında veri iletimi başlamadan önce kaynak ile hedef arasında ihtiyaç duyulan servis kalitesini destekleyen bir kanal kurulur. Böylece uygulamalara servis garantili hizmetler sunulabilir. KATM ağlar için önerilen yeni MAC protokolü, mevcut bant genişliğini etkin olarak yönetmek amacıyla geliştirilen STT yönetim algoritmaları ile tüm trafik türlerinin servis gereksinimlerini karşılayabilmektedir. Diğer yandan, karşılaştırmada kullanılan IEEE 802.11b standardı KLAN, uygulamalara servis kalitesi garantisi sağlayabilecek mekanizmalara sahip değildir. MAC protokolü

olarak kullanılan CSMA/CA çoklu erişim tekniğinde mevcut bant genişliği kısa ve rasgele zaman dilimleri için bir tek uygulamaya ayrılır. Uygulamalar gönderecekleri bilgi paketleri için kablosuz ortamın boş olmasını bekler.

Ses transferinde kullanılan KATM CBR servis sınıfı gecikmeye duyarlı olduğundan, elde edilen simülasyon sonuçları KLAN eşleniklerinden oldukça üstündür. Ortalama gecikme sonuçları için CBR servis sınıfı, en kötü durumda dahi KLAN eşleniğinden yaklaşık 116 kat daha iyi performans göstermiştir.

KATM ağ içerisinde gecikmeye duyarlı sıkıştırılmış video transferi için kullanılan VBR servis sınıfına ait gecikme sonuçları KLAN eşlenikleriyle karşılaştırıldığında, gecikme değişimi (jitter) için en kötü durumda dahi yaklaşık 30 kat daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Kritik veri transferinde kullanılan KATM ABR servis sınıfı, gecikmeye duyarlı olmadığı halde KLAN eşleniklerinden, maksimum gecikme değeri için yaklaşık 48 ila 104 kat arasında daha iyi sonuçlar vermiştir.

KATM ağ içerisinde kritik olmayan veri transferi için kullanılan UBR servis sınıfı diğer servis sınıflarından (CBR, VBR ve ABR) artan boş bant genişliğini kullanır. Uygulamalara, garantili hizmet kalitesi desteği sağlayamamakla birlikte, en çok PCR parametresiyle belirlenen ve ortam kaynaklarının elverdiği miktarda bant genişliğini kullanıcılara (uygulamalara) tahsis eder. Bu nedenle, simülasyon sonuçlarından da anlaşılacağı gibi, elde edilen gecikme değerleri açısından KLAN eşleniklerinden genelde daha üstün olduğu görülmektedir.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Çoklu ortam; ses, video, metin ve görüntü gibi farklı karakteristiklere sahip bilgilerin birleşimi şeklinde tanımlanabilir. Aynı ortam kullanılarak transfer edilen trafiklerin farklı özellikler göstermesi haberleşme sistemine ek yükler getirir. ATM, devre anahtarlama ve paket anahtarlama yöntemlerinin üstün yönlerini kullanarak çoklu ortam uygulamaları gibi patlamalı yapıya sahip servislerin ihtiyaç duydukları yüksek veri iletim hızı ve garantili servis kalitesi (QoS) desteğini en iyi şekilde karşılayabilen ve bu konuda eşleniklerine göre daha iyi bir gelecek vaat eden bir kablolu ağ teknolojisidir. Bu niteliklerinden dolayı tüm dünyada B-ISDN için standart olarak kabul edilmektedir.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan kablosuz ağ teknolojileri, özellikle servis kalitesi garantisine gereksinim duyan gerçek zamanlı çoklu ortam uygulamaları için yetersiz kalmaktadır. Bu tür servislere son yıllarda giderek artan kablosuz erişim ihtiyacı ve ATM'nin kablolu ortamda servis garantili hizmetler sunma konusundaki başarısı, KATM düşüncesinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. KATM, servis kalitesi garantisi gerektiren geniş bant trafiklere, kablosuz ortamda hizmet sunmak amacıyla geliştirilen ve ATM mimarisini kullanan kablosuz bir ağ teknolojisidir.

Kablosuz haberleşme sistemlerinin tasarımında, veri iletiminde kullanılan fiziksel ortamın özelliklerinden kaynaklanan bir takım sınırlamalar olacaktır. Bu sınırlamalar şöyle özetlenebilir:

- Bit hata oranı nispeten çok yüksektir ($BER=10^{-3}$).
- Kullanılabilecek bant genişliği sınırlıdır.
- Çokyollu sönmüleme (multipath fading) etkisi söz konusudur.
- Hareketlilik (handover, doppler shift v.s.) sorunları kaçınılmazdır.

- Hava koşullarına ve çevresel etkilere göre zamanla değişen özelliklerle karşılaşılabilir.

Kablosuz ortamın sınırlamaları nedeniyle, KATM sistemleri tasarlanırken standart ATM protokolüne ilave protokol ve modüller gerekmektedir. Fiziksel ortamı farklı kullanıcılara paylaştıran kablosuz MAC katmanı ve BER oranı yüksek olan kablosuz ortamdan iletilen veri paketlerinde meydana gelebilecek olası hataları sezme ve düzeltme için kullanılan DLC katmanı, standart ATM katmanlarına ilave olarak ihtiyaç duyulan katmanlardır.

Kablosuz MAC protokolü, özellikle servis kalitesi garantisi isteyen trafiklerin gereksinimlerinin karşılanmasında DLC katmanı ile beraber çok önemli bir role sahiptir. Patlamalı yapıya sahip geniş bant trafiklerin servis gereksinimlerini karşılamak için istek güdümlü paylaşım yöntemine dayalı çoklu erişim teknikleri kullanılmaktadır. İstek güdümlü paylaşım tekniğinde kullanıcı terminal, baz istasyonundan kendisine kanal tahsis etmesi için istekte bulunur. Baz istasyonu (Bİ) ise bu isteği değerlendirerek, mevcut kaynaklar çerçevesinde, ilgili kablosuz terminale (KT) ihtiyacı olan bant genişliğini, servis gereksinimlerini karşılayacak şekilde ayırır.

Kablosuz ATM teknolojisi çoklu ortam uygulamalarına servis kalitesi (QoS) garantili hizmetler sunmayı amaçlamaktadır. Bu nedenle, kullanılması düşünülen MAC protokolünün ihtiyaç duyulan servis gereksinimlerini karşılaması zorunludur. Bu tez çalışması kapsamında, KATM ağlarında kullanılmak üzere geliştirilen, TDMA/FDD tekniğine dayalı yeni bir MAC protokolü önerilerek OPNET Modeler yazılımı ile tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yeni MAC protokolü, birisi KT tarafında ve diğeri Bİ tarafında olmak üzere koordineli çalışan iki ana bölümden oluşur.

Önerilen bu yeni MAC protokolünde, mevcut bant genişliğini uygulamaların servis gereksinimlerini göz önüne alarak etkin bir şekilde paylaştıran STT yönetim algoritmaları önemli bir rol oynamaktadır. Uygulamalara servis kalitesi garanti edilmiş hizmetler sunulması, STT'nin verimli bir şekilde yönetilmesine bağlıdır.

KATM bağlantı yönelimli bir kablosuz ağ teknolojisi olduğundan uygulamalar arasında veri iletimi başlamadan önce kaynak ile hedef arasında ihtiyaç duyulan servis kalitesini destekleyen bir kanal kurulur. Böylece uygulamalara servis garantili hizmetler sunulabilir. KATM ağlar için önerilen yeni MAC protokolü, mevcut bant genişliğini etkin olarak yönetmek için geliştirilen STT yönetim algoritmaları ile tüm trafik türlerinin servis gereksinimlerini, fiziksel şartların elverdiği en yüksek ölçüde karşılayabilmektedir.

Tez çalışmasının son bölümünde, kablosuz çoklu ortam uygulamalarına hizmet vermek amacıyla, TDMA/FDD tekniğine dayalı yeni MAC protokolünü kullanan örnek bir KATM ağ senaryosunun 25 Mbit/s ve 11 Mbit/s iletim hızlarındaki simülasyon sonuçları sunulmuştur. Bununla birlikte, elde edilen KATM uçtan–uca ortalama gecikme, maksimum gecikme ve gecikme değişimi simülasyon sonuçları, benzer çalışma ve ağ koşullarına sahip IEEE 802.11b standardı KLAN (11 Mbit/s) sonuçlarıyla karşılaştırılarak performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Karşılaştırmada kullanılan IEEE 802.11b standardı KLAN, uygulamalara servis kalitesi garantisi sağlayabilecek mekanizmalara sahip değildir. Kullanılan CSMA/CA çoklu erişim tekniğinde, mevcut bant genişliği kısa ve rasgele olan zaman dilimlerinde herhangi bir öncelik olmaksızın bir tek uygulamaya ayrılır. Uygulamalar gönderecekleri bilgi paketleri için kablosuz ortamın boş olmasını bekler. Bu teknik, paket anahtarlama yöntemini kullandığından gecikmeye duyarlı servisler için kullanışlı değildir.

Ses trafiğinin taşınmasında kullanılan CBR servis sınıfı gecikmeye duyarlı olduğundan, elde edilen KATM simülasyon sonuçları KLAN eşleniklerinden çok daha üstündür. Ortalama gecikme sonuçları için CBR servis sınıfı en kötü durumda dahi KLAN eşleniğinden yaklaşık 116 kat daha iyi performans göstermiştir. Gecikmeye duyarlı sıkıştırılmış video transferi için kullanılan KATM VBR servis sınıfına ait gecikme sonuçları KLAN eşleniklerinden daha düşüktür. Gecikme değişimi (jitter) sonuçları için VBR servis sınıfı, en kötü durumda dahi KLAN eşleniğinden yaklaşık 30 kat daha iyi sonuç vermiştir. KATM ABR servis sınıfı ile gerçekleştirilen kritik veri transferine ait sonuçlar, KLAN eşleniklerinden,

maksimum gecikme değeri için yaklaşık 104 kat ile 48 kat arasında daha iyi olarak elde edilmiştir. Kritik olmayan veri transferinde kullanılan KATM UBR servis sınıfı ise uygulamalara, garantili hizmet kalitesi desteği sağlayamamakla birlikte, simülasyon sonuçlarına göre gecikme değerleri açısından KLAN eşleniğinden genel olarak daha üstün olduğu görülmektedir.

Yapılan çalışmalar sonucunda, önerilen yeni MAC protokolünü kullanan KATM ağın performansı (servis sınıflarının tümü için), özellikle çoklu ortam uygulamaları gibi servis kalitesi garantisi gerektiren patlamalı trafikler açısından değerlendirildiğinde, elde edilen ortalama gecikme, maksimum gecikme ve gecikme değişimi değerlerine göre, standart KLAN ağlardan oldukça üstün olduğu görülmüştür.

Tartışma ve Öneriler

Bu tez çalışmasında, tasarlanan yeni MAC protokolü ve kullanıldığı KATM sisteminin OPNET Modeller simülasyon yazılımı ile geliştirilen modeli üzerinde çalışmalar yapılmıştır. DSP ya da FPGA gibi yüksek işlem hızına sahip teknolojiler kullanılarak yeni MAC protokolünün ve KATM ağının fiziksel gerçekleştirilmesi çalışmanın devamı niteliğindeki bir başka araştırma-geliştirme projesine konu olabilir.

Yeni MAC protokolünün geliştirilmesinde çoklu erişim tekniği olarak TDMA kullanılmaktadır. TDMA yerine kablosuz sistemlerde giderek yaygınlaşan CDMA ve W-CDMA çoklu erişim teknikleri kullanılarak KATM ağın performansının yeniden ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi mümkündür.

BER oranı daha yüksek ortamlar için DLC katmanında kullanılan hata bulma ve düzeltme algoritmalarının daha gelişmişleri kullanılabilir (Hamming, Reed Solomon, Viterbi v.b.). BER oranı çok yüksek ortamlarda kullanılmak üzere DLC katmanında ARQ kullanımı için yeni düzenlemeler ise ayrıca incelenebilir.

Tez çalışmasında kullanılan KT'ler sabit olarak düşünölmüştür. MAC protokolü hareketliliği destekleyecek şekilde geliştirilebilir. Bu durumda, gezgin ATM'nin önemli konularından el değiştirme (handover), konum yönetimi (location management) ve gezgin yönlendirmeyi (mobile routing) destekleyecek ilave modöllerin tasarlanması gereklidir.

Genetik algoritmalar veya diğer optimizasyon yöntemleri kullanılarak KT uygulamalarına servis garantisinin sağlanmasında çok büyük öneme sahip STT yönetim algoritmalarının iyileştirilmesi ve performanslarının geliştirilmesi ayrı bir çalışma konusudur.

Kablosuz ortamın en büyük sorunlarından bir diğeri de güvenlidir. KATM ağ modelinde radyo ortamından aktarılan KATM hücrelerinin güvenliğini sağlayacak algoritmalar ve modöller geliştirilebilir.

Akıllı (smart) antenler kablosuz haberleşme sistemlerinin performansında önemli artışlar sağlayabilecek yeni teknolojiler arasında yer almaktadır. Akıllı antenlerin en önemli özelliklerinden biri, aynı hücre içerisinde hizmet verilecek kullanıcı sayısında artış sağlayabilmesidir. Bunun yanı sıra; daha yüksek bit iletim hızı, daha iyi iletim kalitesi ve yayılım gecikme sürelerinde azalma sağlanabilmektedir. KATM ağlarda akıllı antenler kullanılarak performans artışı sağlanabilir.

Geliştirilen KATM sisteminde, CBR servis sınıfı ile taşınan trafiklerin ABR ve VBR ile taşınan trafikler üzerinde oluşturacağı etkiler incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. AKYILDIZ, I.F., McNAIR, J., CARRASCO, L., PUIGJANER, R., and YESHA, Y., 1999. Medium Access Control Protocols for Multimedia Traffic in Wireless Networks. IEEE Network Magazine, Vol. 13, No 14, pp. 39–47.
2. AYANOGLU, E., 1999. Wireless Broadband and ATM Systems. Computer Networks, Elsevier Science B.V., Vol. 31, pp.395–409.
3. BOSTIE, J., and KANDUS, G., 2001. MAC Scheduling for Fixed Broadband Wireless Access Systems. European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research.
4. CHEN, J.C., SIVALINGAM, M.K., and ACHARYA, R., 1998. Comparative Analysis of Wireless Channel Access Protocols Supporting Multimedia Traffic. Mobile Networks and Applications, Vol. 3, 293–306.
5. CHEN, X., and CHENG, S., 2000. Dynamic TDM Access Protocol for Wireless ATM Networks. IEEE Proc., pp.726–729.
6. CHEW, L.B., and HAC, A., 1999. A Multiple Access Protocol for Wireless ATM Networks. IEEE Proc., pp. 1715–1719.
7. CHLAMTAC, I., MYERS, A., SYROTIUK, V., and ZARUBA, G., 2000. An Adaptive Medium Access Control (MAC) Protocol for Reliable Broadcast in Wireless Networks. IEEE International Conference on Communications, Vol. 3, pp. 1692–1696.
8. CISCO, 2001. Cisco Network Academy. Cisco Systems, Inc.
9. COMNET, 1998. Getting Started Guide: Modelling with COMNET III. CACI, Release 2.0.
10. CORTIZO, D.V., 2000. Design and Analysis of MAC Protocols for Wireless LAN. ANTWERPEN University.
11. COTRONEO, D., IANNNELLO, G., RUSSO, S., and VENTRE, G., 2003. A real time-based architecture for QoS multimedia provisioning. Microprocessors and Microsystems, Vol. 27, pp.55–63.

12. DASTANGO, S., 1995. A Multimedia Access Control Protocol for ATM Based Mobile Networks. Proc. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), pp. 794–798.
13. ERTURK, I., 2003. Transporting CAN Messages over WATM. Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 2639, 724–729.
14. ERTÜRK, İ., 2000. Internetworking Between ATM LANs and Legacy LANs Over ATM Networks. DPhil. Thesis, The School of Engineering and Information Technology, University of Sussex.
15. ERTÜRK, İ. ve ÖZCERİT, A.T., 2002. ATM Bilgisayar Ağlarına Giriş. Beta Yayınevi, İstanbul.
16. FALKNER, M., 1996. Modelling ATM Networks with COMNET III. V 1.0, CACI.
17. GONZALEZ, L.V., TSAKIRIDOU, S., BARBOSA, L., and LAMONT, L., 2001. Performance Analysis of Wireless ATM/AAL2 Over a Burst Error Channel. Computer Communications, pp. 1–8.
18. HAC, A., 2000. Multimedia Applications Support for Wireless ATM Networks. Prentice Hall PTR.
19. HALSALL, F., 1996. Data Communications, Computer Networks and Open Systems. Wesley Publishers Ltd.
20. HOUDT, B., V., BLONDIA, C., CASALS, O., and GARCIA, J., 2001. Performance Analysis of a MAC protocol for Broadband Wireless Networks with QoS Provisioning. Journal of Interconnection Networks, Vol. 2, No. 1, pp. 103–130.
21. HYON, T., 2001. Wireless ATM Network Medium Access Control with Adaptive Parallel Multiple Substream CDMA Air–interface. Doctor of Philosophy in Electrical Engineering, Blacksburg, Virginia.
22. ILIC, Z., BAZENT, A., and KOS, M., 2001. Data Link Control Schema for Wireless ATM Transmission. IEEE Proc., pp. 1400–1404.
23. KAROL, M., J., LIU, Z., and ENG, K., Y., 1995. An Efficient Demand Assignment Multiple Access Protocol for Wireless Packet (ATM) Networks. Wireless Networks, Vol. 1, pp. 267–279.
24. KWOK, Y.K., and LAU, V.K.N., 2000. A Performance Study of Multiple Access Control Protocols for Wireless Multimedia Services. IEEE Proc., pp. 283–292.
25. MIKKONEN, J., AWATER, G., A., LUNN, A., and HUTCHISON, D., 1998. The Magic WAND – Functional Overview. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 16, No. 6, pp. 953–972.

26. OPNET, 2002a. Modeler Modeling Concepts Manual. OPNET Technologies, Inc., Vol. 5, Release 9.0.
27. OPNET, 2002b. Wireless Module User Guide Manual, OPNET Technologies, Inc., Vol. 5, Release 9.0, 2002.
28. ORAL, A., 2000. Data Haberleşmesi ve ATM, <http://www.ttarge.gov.tr>.
29. ÖRENCİK, B. ve ÇÖLKESEN, R., 2002. Bilgisayar Haberleşmesi ve Ağ Teknolojileri. Papatya Yayınevi.
30. ÖZÇELİK, İ., 2002. CAN/ATM ve PROFIBUS/ATM Yerel Köprülerinin Tasarımı. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
31. PAHLAVAN, K., ZAHEDI, A., and KRISHNAMURTHY, P., 1997. Wideband Local Access: Wireless LAN and Wireless ATM. Invited paper IEEE Communication Society Magazine, pp. 1–15.
32. PANDYA, A.S., and ŞEN, E., 1999. ATM Technology for Broadband Telecommunications Networks. CRC Press LLC.
33. PARK, S., LEE, S., SONG, Y.-J., CHO, D.-H., and DHONG, Y.-B., 2000. Performance Improvements of Data Link Layer Protocol in WATM. IEEE Proc., pp. 1090–1094.
34. PILDUSH, G.D., 2001. Cisco ATM Solutions. Cisco Pres.
35. PORTER, J.A., HOPPER, D., GILMURRAY, O., and MASON, J.N., 1996. The ORL Radio ATM System, Architecture and Implementation. Olivetti Research Technical Report 96.5.
36. PRIHANDOKO, Ali, B.M., HABAEBI, M.H., and PARAKASH, V., 2000. An Adaptive End-to-End QoS Management for Multimedia Applications over Wireless ATM Network. IEEE Proc., pp. 399–403.
37. RAPPAPORT T.S., 1996. Wireless Communications Principles and Practice. Prentice Hall, 1996.
38. RAYCHAUDHURI, D., 1999. Wireless ATM Networks Technology Status and Future Directions. Proceedings of IEEE Proc., Vol.87, No.10, pp. 1790–1805.
39. SANCHEZ, J., MARTINEZ, R., and MARCELLIN, M.V., 1997. A Survey of MAC Protocols Proposed for Wireless ATM. IEEE Network, Vol. 11, No. 6, pp. 52–62.
40. SEYDIM, A.Y., 2000. Wireless ATM: An Overview. Southern Methodist University.

41. SKYRIANOGLU, D. and MERAKOS, L., 1999. Data Link Control Protocols for a Wireless ATM Network. *IEEE Proc.*, pp. 1077–1081.
42. TZENG, L.–H., CHIENHUA, C., 2001. Performance Comparison of Two MAC Protocols for Wireless ATM Networks. *IEEE Proc.*, pp. 806–810.
43. WALKE, B.H., 1999. *Mobile Radio Networks: Networking and Protocols*. John Wiley & Sons.
44. WANG, X., and CHEN, Y., 2001. A Wireless TDMA/FDD Protocol Based on a Novel Resource Updating Scheme. *Proceedings of IEEE Proc.*, pp.1903–1907.
45. WARSHNEY, U., 1999. Error Control Techniques for Wireless ATM Networks. *IEEE Proc.*, pp. 104–110.
46. WONG, T., MARK, J., and CHUA, K., 2000. Access and Control in a Cellular Wireless ATM Network. *IEEE International Conference on Communications*, Vol. 3, pp. 1524–1529.
47. YOON, S., and BAHK, S., 2001. An Adaptive QoS Guaranteeing MAC Protocol for Real-time Traffic in TDMA-based Wireless ATM Networks. *Computer Communications*, Vol. 24, pp. 344–352.

EK-A: KT-MAC PROTOKOLÜNE AİT PROGRAM KODLARI

Bu ekte, KT-MAC protokolüne ait proses modelinin C programlama dilinde yazılan kodları verilmektedir.

“Başla” Durum Makinesi:

```
/* tum dugumler icin slot genisligini al */
op_ima_sim_attr_get (OPC_IMA_DOUBLE, "Slot Length", &slot_genisligi);
slot_genisligi=slot_genisligi/SLOT_BOLENI;
my_id = op_id_self();
my_id1= op_id_self();
my_node_id = op_topo_parent (my_id);
op_ima_obj_attr_get (my_id, "Terminal ID", &TermID);
op_ima_obj_attr_get (my_id, "Hedef ID", &HedefID);
//op_ima_obj_attr_get (my_id, "VPI", &vpi_degeri);
//op_ima_obj_attr_get (my_id, "VCI", &vci_degeri);
//op_ima_obj_attr_get (my_id, "QoS", &QoS);
op_ima_obj_attr_get (my_node_id, "Uretec.Start Time", &baslama);
op_ima_obj_attr_get (my_node_id, "Uretec.Stop Time", &bitis);
//op_ima_obj_attr_get (my_node_id, "tdma.ServisSinifi", &ServisSinifi);

//Durum degiskenlerini baslat
istek_ack=0;
baglanti_kuruldu=OPC_FALSE;
for (i=0;i<SLOT_SAYISI;i++)
    benim_slot[i] =-1;
//baslama ve bitis zamanlarına göre self interrupt ayarla
if ((bitis <= baslama) && (bitis != SSC_INFINITE_TIME))
{
    baslama = SSC_INFINITE_TIME;
    // hata mesaji yaz
    hata_msg("(tdma katmani):", "baslama zamani bitis zamanindan kucuk olmalı", OPC_NIL);
}

if (baslama!= SSC_INFINITE_TIME)
{
    op_intrpt_schedule_self (baslama, INTR_KOD_BASLA);
    if (bitis!= SSC_INFINITE_TIME)
    {
        op_intrpt_schedule_self (bitis, INTR_KOD_BITIR);
    }
}

/* daha önceden baslatılmamissa tdma setup baslatilir */
if (tdma_setup != TDMA_COMPLETE)
{
    //num_slots = 0;
    tdma_setup = TDMA_COMPLETE;
}

/* Transmitter veri hizini al */
tx_id = op_topo_assoc (my_id, OPC_TOPO_ASSOC_OUT, OPC_OBJTYPE_RATX, 0);
comp_id = op_topo_child (tx_id, OPC_OBJTYPE_COMP, 0);
tx_ch_id = op_topo_child (comp_id, OPC_OBJTYPE_RATXCH, 0);
op_ima_obj_attr_get (tx_ch_id, "data rate", &tx_data_rate);

// Trafik Sözleşmesi degiskenlerini al
```

```

op_ima_obj_attr_get(my_node_id, "Trafik Sozlesmesi", &trafik_sozlesmesi);
comp_id = op_topo_child(trafik_sozlesmesi, OPC_OBJTYPE_GENERIC, 0);
op_ima_obj_attr_get(comp_id, "CBR", &servis_sinifi_id);
servis_sinifi_alt_id = op_topo_child(servis_sinifi_id, OPC_OBJTYPE_GENERIC, 0);
if( op_ima_obj_attr_get(servis_sinifi_alt_id, "PCR", &PCR_CBR) == OPC_COMPCODE_FAILURE
)
    hata_msg("Trafik Sozlesmesi CBR Parametrelerini alamiyor..", OPC_NIL, OPC_NIL);
else if (PCR_CBR!==-1)
    {
    ServisSinifi=0; //CBR Servis Sinifi
    QoS1=PCR_CBR*4; // PCR degeri 4 ile carpilarak gerekli slot sayisi hesaplaniyor
    servis_sinifi_secildi = OPC_TRUE;
    printf("CBR QoS1 degeri=%d", QoS1);
    op_ima_obj_attr_get(servis_sinifi_alt_id, "CDV", &CDV_CBR);
    }
op_ima_obj_attr_get(comp_id, "VBR", &servis_sinifi_id);
servis_sinifi_alt_id = op_topo_child(servis_sinifi_id, OPC_OBJTYPE_GENERIC, 0);
if( op_ima_obj_attr_get(servis_sinifi_alt_id, "PCR", &PCR_VBR) ==
OPC_COMPCODE_FAILURE )
    hata_msg("Trafik Sozlesmesi VBR Parametrelerini alamiyor..", OPC_NIL, OPC_NIL);
else if (PCR_VBR!==-1)
    {
    ServisSinifi=1; //VBR Servis Sinifi
    op_ima_obj_attr_get(servis_sinifi_alt_id, "SCR", &SCR_VBR);
    QoS1=SCR_VBR*4;
    QoS2=PCR_VBR*4;
    if (servis_sinifi_secildi== OPC_TRUE)
        hata_msg("Birden fazla servis sinifi secildi... ", OPC_NIL, OPC_NIL);
    else
        servis_sinifi_secildi = OPC_TRUE;
    printf("VBR QoS1 degeri=%d", QoS1);
    printf("VBR QoS2 degeri=%d", QoS2);
    }
op_ima_obj_attr_get(comp_id, "ABR", &servis_sinifi_id);
servis_sinifi_alt_id = op_topo_child(servis_sinifi_id, OPC_OBJTYPE_GENERIC, 0);
if( op_ima_obj_attr_get(servis_sinifi_alt_id, "MCR", &MCR_ABR) ==
OPC_COMPCODE_FAILURE )
    hata_msg("Trafik Sozlesmesi ABR Parametrelerini alamiyor..", OPC_NIL, OPC_NIL);
else if (MCR_ABR!==-1)
    {
    QoS1=MCR_ABR*4;
    ServisSinifi=2; //ABR Servis Sinifi
    if (servis_sinifi_secildi== OPC_TRUE)
        hata_msg("Birden fazla servis sinifi secildi... ", OPC_NIL, OPC_NIL);
    else
        servis_sinifi_secildi = OPC_TRUE;
    printf("ABR QoS1 degeri=%d", QoS1);
    }
op_ima_obj_attr_get(comp_id, "UBR", &servis_sinifi_id);
servis_sinifi_alt_id = op_topo_child(servis_sinifi_id, OPC_OBJTYPE_GENERIC, 0);
if( op_ima_obj_attr_get(servis_sinifi_alt_id, "PCR", &PCR_UBR) ==
OPC_COMPCODE_FAILURE )
    hata_msg("Trafik Sozlesmesi VBR Parametrelerini alamiyor..", OPC_NIL, OPC_NIL);
else if (PCR_UBR!==-1)
    {
    ServisSinifi=3; //UBR Servis Sinifi
    QoS1=PCR_UBR*4;
    if (servis_sinifi_secildi== OPC_TRUE)
        hata_msg("Birden fazla servis sinifi secildi... ", OPC_NIL, OPC_NIL);
    }

```

```

else
    servis_sinifi_secildi = OPC_TRUE;
    printf("UBR QoS1 degeri=%d",QoS1);
}

if(servis_sinifi_secildi == OPC_FALSE)
    hata_msg("En az bir servis sinifi secilmeli... ",OPC_NIL, OPC_NIL);

op_intrpt_schedule_self (op_sim_time (), 0);

```

“Bağlantı_ist” Durum Makinesi:

```

pkptr = op_pk_create_fmt ("cc_baglanti_istek");
op_pk_nfd_set (pkptr, "TermAdres", TermID);
op_pk_nfd_set (pkptr, "ServisSinifi", ServisSinifi);
op_pk_nfd_set (pkptr, "ObjID", my_id1);
op_pk_nfd_set (pkptr, "QoS1", QoS1);
// VBR icin QoS2 degiskeni
if(ServisSinifi==1)
    op_pk_nfd_set (pkptr, "QoS2", QoS2);
su_an = op_sim_time();

/* hangi zaman dilimi?*/
kullanilan_slot = (int) floor ((su_an / slot_genisligi) + EPSILON);
simdiki_slot = kullanilan_slot % SLOT_SAYISI;

/* Paketi gondermek icin yeterli zaman var mi?*/
kalan_zaman = ((kullanilan_slot + 1)*slot_genisligi) - su_an;
pk_genisligi = (double) op_pk_total_size_get (pkptr);
pk_zamani = (double) pk_genisligi / tx_data_rate;

/* Su anki zaman dilimi benimki ise ve paket gondermeye
/*yetecek kadar zaman varsa paketi gonder. Aksi halde */
/* bir sonraki zaman dilimim icin olay listesine self interrupt ekle*/
if (op_prg_odb_ltrace_active ("tdma"))
{
    printf ("Simdiki slot= %d—pk_zamani=%f—
kalan_zaman=%f", simdiki_slot, pk_zamani, kalan_zaman);
    printf ("\n");
}
//if((simdiki_slot==0)&&(pk_zamani<kalan_zaman)&&!MESGUL)
if(!MESGUL)
{
    if (op_prg_odb_ltrace_active ("tdma"))
    {
        printf ("Terminal %d band genisligi istek paketini %f de gönderiyor\n", TermID, op_sim_time
());
        printf ("\n");
    }
    op_pk_send (pkptr, TX_OUT_STRM);
}
else
{
    //op_intrpt_schedule_self ((op_sim_time()+(1*slot_genisligi)),INTR_KOD_BASLA);
    op_intrpt_schedule_self ((op_sim_time()+(SLOT_SAYISI-şimdiki_slot)*slot_genisligi),
INTR_KOD_BASLA);
}

```

```
}
```

“Gonder” Durum Makinesi:

```
if (baglanti_kuruldu==OPC_TRUE)
{su_an = op_sim_time();

/* hangi zaman dilimi?*/
kullanilan_slot = (int) floor ((su_an / slot_genisligi) + EPSILON);
simdiki_slot = kullanilan_slot % SLOT_SAYISI;
/* Paketi gondermek icin yeterli zaman var mi?*/
kalan_zaman = ((kullanilan_slot + 1)*slot_genisligi) – su_an;
pk_genisligi = (double) op_pk_total_size_get (op_subq_pk_access (0, OPC_QPOS_HEAD));
pk_zamani = (double) pk_genisligi / tx_data_rate;
/* Su anki zaman dilimi benimki ise ve paket gondermeye
/*yetecek kadar zaman varsa paketi gonder. Aksi halde */
/* bir sonraki zaman dilimim icin olay listesine self interrupt ekle*/
//gonderildi=0;
for(i=1;i<SLOT_SAYISI+1;i++)
{
    if(benim_slot[i]==-1)
        break;
    if (op_prg_odb_ltrace_active ("tdma"))
        {
            printf ("simdiki slot=%d —ve benim
slot=%d",simdiki_slot,benim_slot[i]);
            printf ("\n");
        }
    if((simdiki_slot==benim_slot[i]&&(pk_zamani<kalan_zaman))
{
    /* paketi kuyruktan al ve gonder */
    pkptr = op_subq_pk_remove (0, OPC_QPOS_HEAD);
    if (op_prg_odb_ltrace_active ("tdma"))
    {
        printf ("Terminal %d paketi %f de gönderiyor\n",TermID,op_sim_time ());
        printf ("\n");
    }
    op_pk_send (pkptr, TX_OUT_STRM);
    break;
}
}

} //for
```

```

//Gonderilecek veri var ise bir sonraki slotu int. programla
if(DATA_ENQ)
{
//   if (op_prg_odb_ltrace_active ("tdma"))
//   {           printf ("Terminal %d paketi gönderemedi,bir sonraki slotta gönderecek",TermID);
//             printf ("\n");
//   }
//yeni bir interrupt programla
for(i=1;i<SLOT_SAYISI+1;i++)
if(satablo->slot_term[((simdiki_slot+i)%SLOT_SAYISI)]==TermID)
{//eger bir sonraki slot time için programlanmamissa self interrupt programla
//hat bosaldigi an yine bu kod calisir ve yine paket gonderilmez ise(baska zaman dilimi ya da
//packet_left_time nedeniyle) zaten tanimli olan self int. bir daha tanimlanmasin diye
op_intrpt_schedule_self (op_sim_time()+(i*slot_genisligi), 0);
break;
}
}
}
}

```

“rx_den” Durum Makinesi:

```

pkptr = op_pk_get (RX_IN_STRM);
if (pkptr == OPC_NIL)
    hata_msg("Unable to get cell from ATM translation module.", OPC_NIL, OPC_NIL);
op_pk_format(pkptr,pk_format);
if (strcmp(pk_format,"cc_ams_atm_cell_7")==0)
{
    op_pk_nfd_get (pkptr, "VPI", &vpi_degeri);
    op_pk_nfd_get (pkptr, "VCI", &vci_degeri);
    if (vpi_degeri==TermID || vci_degeri==TermID)
    {
        op_pk_send (pkptr, SINK_OUT_STRM);
    }
    else
        op_pk_destroy(pkptr);
}
else
    op_pk_destroy(pkptr);

```

EK-B: Bİ-MAC PROTOKOLÜNE AİT PROGRAM KODLARI

Bu ekte, Bİ-MAC protokolüne ait proses modelinin C programlama dilinde yazılan kodları verilmektedir.

“Basla” Durum Makinesi:

```
/* tum dugumler icin slot genisligini al */
//op_ima_sim_attr_get (OPC_IMA_DOUBLE, "Slot Length", &slot_length);

my_id = op_id_self();
my_node_id = op_topo_parent (my_id);

/* Durum Degiskenlerini baslat */

veri=0;
istek=0;
sonlandir=0;
istek_degerlendirildi=0;
op_prg_mem_free(&satablo);
satablo = (slot_ayirma_tablosu*) op_prg_mem_alloc (sizeof(slot_ayirma_tablosu));
for (i=0;i<SLOT_SAYISI;i++)
    {satablo->slot_term[i]=0;
    }
sprintf(DosyaAdi, "c:/cc_db.txt");
fptr = fopen(DosyaAdi, "w");
fprintf(fptr, "Sim Time\n");
fclose(fptr);

op_intrpt_schedule_self (op_sim_time (), 0);
```

“rx_den” Durum Makinesi:

```
pkptr = op_pk_get(RX_IN_STRM);
if (pkptr == OPC_NIL)
    hata_msg("Hücre alinamadi...", OPC_NIL, OPC_NIL);
op_pk_format(pkptr,pk_format);
if (strcmp("cc_ams_atm_cell_7",pk_format)==0)
//pk_genisligi = (double) op_pk_total_size_get (pkptr);
//if (pk_genisligi==ATM_HUCRE_BOYUTU)
{
    op_pk_send (pkptr, TX_OUT_STRM);
    veri=1;
    if (op_prg_odb_ltrace_active ("tdma"))
    {
        printf ("Baz istasyonu veri paketini gönderiyor");
        printf ("\n");
    }
}
else if (strcmp("cc_baglanti_istek",pk_format)==0)
```

```

{
    if (op_prg_odb_ltrace_active ("tdma"))
    {
        printf ("Baz istasyonu istek paketini aldi");
        printf ("\n");
    }
    istek=1;
    op_pk_nfd_get (pkptr, "TermAdres", &IsteyenTermAdres);
    op_pk_nfd_get (pkptr, "ServisSinifi", &ServisSinifi);
    op_pk_nfd_get (pkptr, "ObjID", &ObjID);
    op_pk_nfd_get (pkptr, "QoS1", &QoS1);
    op_pk_nfd_get (pkptr, "QoS2", &QoS2);
    op_pk_nfd_get (pkptr, "QoS3", &QoS3);
    op_pk_nfd_get (pkptr, "QoS4", &QoS4);
    printf ("VBR QoS1 degeri=%d",QoS1);
    printf ("VBR QoS2 degeri=%d",QoS2);
}
else if (strcmp("cc_baglanti_sonlandir",pk_format)==0)
{
    sonlandir=1;
    if (op_prg_odb_ltrace_active ("tdma"))
    {
        printf ("Baz istasyonu istek paketini aldi");
        printf ("\n");
    }

    op_pk_nfd_get (pkptr, "TermAdres", &IsteyenTermAdres);
    op_pk_nfd_get (pkptr, "ServisSinifi", &ServisSinifi);
}
else
{
    if (op_prg_odb_ltrace_active ("tdma"))
    {
        printf ("Paket yok ediliyor...");
    }

    op_pk_destroy(pkptr);
}
}

```

“baglanti_ist” Durum Makinesi:

```

//transition kosullarini sifirla
istik=0;
cbr=0;vbr=0;abr=0;ubr=0;
//slot_ayrilmis=0;
//Bu terminal icin zaten bir slot ayrilmis mi?
//for(i=1;i<SLOT_SAYISI;i++)
//    if (satablo->slot_term[i]==IsteyenTermAdres)
//        slot_ayrilmis=1;
//if(slot_ayrilmis==0)
if(istik_degerlendirildi==0)
{
    //Slot ayrilmamissa ihtiyac duyulan slot sayisini hesapla
    if(ServisSinifi==0)
    {

```

```

        cbr=1;
    }else if(ServisSinifi==1)
    {
        vbr=1;
    }else if(ServisSinifi==2)
    {
        abr=1;
    }else if(ServisSinifi==3)
    {
        ubr=1;
    }else
    {
        if(op_prg_odb_ltrace_active ("tdma"))
        {
            printf ("Paket icerisindeki Servis Sinifi bilgisi yanlis ...\n");
        }
    }
}
// Terminala icin zaten slot ayrilmis
}else
{
    if(op_prg_odb_ltrace_active ("tdma"))
    {
        printf ("Bu terminal icin zaten slot ayrilmis...\n");
    }
}

```

“UBR” Durum Makinesi:

```

slot_ayrilmis=0;
//slot_kapasitesi=5;//bir slotun kapasitesi( iletim hizi/SLOT_SAYISI)
//ihtiyac_duyulan_slot_sayisi=50;//ihtiyac_duyulan_slot_sayisi=QoS1/slot_ka
PCR_ssay=20;
//PCR_ssay=QoS1;

//satablosunda yeterli bos slot var mi?
bos_slot_sayisi=0;

for(i=1;i<SLOT_SAYISI;i++)
    if((satablo->slot_onceelik[i]==0)||((satablo->slot_onceelik[i]==2))
        bos_slot_sayisi++;

if(bos_slot_sayisi!=0)
{
    //Slotlari tahsis et
    guncellenen_slot_sayisi=0;
    d=0;
    //Onceligi 0 olan slotlari tahsis et

    for(i=1;i<SLOT_SAYISI;i++)
    {
        if(guncellenen_slot_sayisi==PCR_ssay) break;
        if(satablo->slot_onceelik[i]==0)
        {
            d++;
            satablo->slot_term[i]=IsteyenTermAdres;
        }
    }
}

```



```

        satablo->servis_sinifi[i]=ServisSinifi;
        if(d<2)satablo->slot_oncecik[i]=1;
        else satablo->slot_oncecik[i]=2;
        guncellenen_slot_sayisi++;
    }
}

// baglanti istegi icin hic slot ayrilamamissa 1 tane slotu oncecik 1 olacak sekilde ayir...
if(d==0)
{
    //Onceligi 2 olan UBR slotlarindan 1 tanesini 1 olarak tahsis et
    for(i=1;i<SLOT_SAYISI;i++)
    {
        if((satablo->slot_oncecik[i]==2)&&(satablo->servis_sinifi[i]==3))
        {
            satablo->slot_term[i]=IsteyenTermAdres;
            satablo->servis_sinifi[i]=ServisSinifi;
            satablo->slot_oncecik[i]=1;
            d++;
            break;
            //guncellenen_slot_sayisi++;
        }
    }
}

if(d==0)
{
    //Onceligi 2 olan UBR slotlarindan 1 tanesini 1 olarak tahsis et
    for(i=1;i<SLOT_SAYISI;i++)
    {
        if((satablo->slot_oncecik[i]==2)&&(satablo->servis_sinifi[i]==2))
        {
            satablo->slot_term[i]=IsteyenTermAdres;
            satablo->servis_sinifi[i]=ServisSinifi;
            satablo->slot_oncecik[i]=1;
            d++;
            break;
            //guncellenen_slot_sayisi++;
        }
    }
}

if(d==0)
{
    //Onceligi 2 olan UBR slotlarindan 1 tanesini 1 olarak tahsis et
    for(i=1;i<SLOT_SAYISI;i++)
    {
        if((satablo->slot_oncecik[i]==2)&&(satablo->servis_sinifi[i]==1))
        {
            satablo->slot_term[i]=IsteyenTermAdres;
            satablo->servis_sinifi[i]=ServisSinifi;
            satablo->slot_oncecik[i]=1;
            d++;
            break;
            //guncellenen_slot_sayisi++;
        }
    }
}

```


KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER

1. **Çeken, C.**, Ertürk, İ. ve Bayılmış, C., “Kablosuz ATM Kullanarak Veri ve Ses Transferi Uygulaması”, ELECO 2002 Sempozyumu, pp. 273–277, 18–22 Aralık 2002, Bursa.
2. **Çeken, C.**, Ertürk, İ. ve Bayılmış, C., “Kablosuz ATM Teknolojisi ile Çoklu Ortam Trafiklerinin Transferi”, OTOMASYON Dergisi, Ağustos 2003, 122–127.
3. Bayılmış, C., Ertürk, İ. ve **Çeken, C.**, “Kablosuz Yerel Alan Ağı Uygulaması”, TAINN03 Sempozyumu, 2003, Çanakkale, Türkiye.



ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Mersin ilinin Tarsus ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Tarsus'ta, lise öğrenimini Mersin'de tamamladı. 1994 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik–Bilgisayar Eğitimi Bölümü'nden, 1998 yılında Bilgisayar Teknik Öğretmeni olarak mezun oldu. 1998 yılında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik–Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı ve 2001 yılında mezun oldu. Aynı yıl Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı'nda başladığı doktora eğitimine halen devam etmektedir.

Halen Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.