

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKILLI ANTEN KULLANAN GENİŞBANT KABLOSUZ
HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN SERVİS KALİTESİ
DESTEKLİ ORTAM ERİŞİM KONTROL PROTOKOLÜ**

DOKTORA TEZİ

Sedat ATMACA

Anabilim Dalı: Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Celal ÇEKEN

KOCAELİ, 2009

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKILLI ANTEN KULLANAN GENİŞBANT KABLOSUZ
HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN SERVİS KALİTESİ
DESTEKLİ ORTAM ERİŞİM KONTROL PROTOKOLÜ**

DOKTORA TEZİ

Sedat ATMACA

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 2 Ocak 2009

Tezin Savunulduğu Tarih: 17 Şubat 2009

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Celal ÇEKEN

(.....)

Üye

Prof. Dr. Hüseyin EKİZ

(.....)

Üye

Doç. Dr. İsmail ERTÜRK

(.....)

Üye

Yrd. Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM

(.....)

Üye

Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÖZÇELİK

(.....)

KOCAELİ, 2009

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Kablosuz haberleşme teknolojilerine ve ağlarına olan talebin gün geçtikçe artması ve farklı servis sınıfları kullanımının giderek yaygın hale gelmesi, yüksek bantgenişliği ihtiyacının ortaya çıkmasına yol açmıştır. Giderek artan bantgenişliği ve kapasite taleplerinin karşılanabilmesi için araştırmacılar çeşitli yeni yöntemlere başvurumaktadırlar. Bu yöntemlerin en önemlilerinden ikisi gelişmiş anten sistemleri ve özellikle servis kalitesi desteği de sunabilen ortam erişim kontrol protokolleridir. Bu amaçla kullanılan akıllı antenler, sinyal kalitesini arttırırken, girişimleri ve gürültüyü bastırır, güç tasarrufu sağlar ve kablosuz spektrumdan etkin şekilde faydalanma imkânı sağlayarak sistem kapasitesini ve başarımını yükseltir. Sunulan tez çalışmalarında esas alındığı gibi, akıllı antenler yardımıyla kablosuz ortam kullanımı daha verimli hale getirilirken, tasarlanacak yeni ortam erişim kontrol mekanizmaları da güncel ve artan kablosuz/hareketli kullanıcıların oldukça değişken servis kalitesi destekli bantgenişliği taleplerini karşılamak zorundadır.

Tez çalışmalarım süresince her konuda yardımcı olan ve tezin hazırlanmasında bütün detaylara kadar rehberlik eden, değerli zamanlarını ayıran, bilgi ve deneyimlerini paylaşan, çalışmalarımı yönlendiren ve her zaman destek olan tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Celal ÇEKEN'e (KO.Ü), tez izleme jüri üyesi Sayın Doç. Dr. Adnan KAVAK'a (KO.Ü) ve bir dönem danışmanlığımı da yapan ve tez çalışmalarının yürütülmesinde her türlü ilgi ve desteği gösteren Sayın Doç. Dr. İsmail ERTÜRK'e (KO.Ü) teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarım boyunca desteklerini gördüğüm tüm dostlarıma ve arkadaşlarıma da yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Beni bugünlerime getiren, her konuda destek veren ve yanımda olan çok değerli annem Ayşe ve babam Mehmet ATMACA'ya yaptıkları her şey için teşekkürlerimi sunuyorum. Son olarak, en zor anlarımda yanımda olan ve tezin hazırlanması boyunca desteğini esirgemeyen eşim Suna ATMACA'ya teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ	vii
SİMGELER.....	viii
ÖZET	xi
İNGİLİZCE ÖZET.....	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatürde Yapılan Çalışmaların Özetleri	2
1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Motivasyonu	5
1.3. Tez Çalışmasının Katkıları.....	6
1.4. Tez Organizasyonu	7
2. KABLOSUZ İLETİM ve GENİŞBANT KABLOSUZ AĞLAR.....	9
2.1. Giriş.....	9
2.2. Kablosuz Ortam Sınırlamaları	10
2.2.1. Çok-yollu yayılım	11
2.2.2. Yansıma	11
2.2.3. Kırılma.....	12
2.2.4. Dağılma.....	12
2.2.5. Yol zayıflaması	12
2.2.6. Doppler kayması	13
2.3. Hücresel Ağlar	13
2.4. Kablosuz Yerel Alan Ağları.....	14
2.4.1. Mikrodalga kablosuz yerel alan ağları.....	15
2.4.2. Kızılötesi kablosuz yerel alan ağları.....	15
2.4.3. Yayılı spektrum kablosuz yerel alan ağları	16
2.5. Kablosuz Ağ Topolojileri.....	16
2.6. Kablosuz Çoklu Erişim Teknikleri	18
2.6.1. Sabit kanal tahsisli OEK teknikleri.....	18
2.6.1.1. FDMA	19
2.6.1.2. TDMA.....	20
2.6.1.3. CDMA	21
2.6.1.4. SDMA	22
2.6.2. Rastgele erişimli OEK teknikleri.....	23
2.6.2.1. p-ALOHA	23
2.6.2.2. Slotted-ALOHA	24
2.6.2.3. CSMA	25
2.6.3. İstek güdümlü OEK teknikleri.....	26
2.7. Genişbant Ağlar ve ATM Teknolojisi	27
2.7.1. ATM mantıksal bağlantıları.....	28
2.7.2. ATM hücre yapıları	29
2.7.3. ATM servis sınıfları.....	31

2.7.3.1. Sabit bit iletim hızı.....	32
2.7.3.2. Gerçek zamanlı değişken bit iletim hızı	33
2.7.3.3. Gerçek zamanlı olmayan değişken bit iletim hızı.....	33
2.7.3.4. Kullanılabilir bit iletim hızı	34
2.7.3.5. Belirlenmemiş bit iletim hızı	35
2.7.4. Veri trafik tanımlayıcıları ve servis kalitesi (SK) değişkenleri	36
2.8. Kablosuz ATM (Wireless ATM)	38
2.8.1. Kablosuz ATM yapısı.....	38
2.8.2. Kablosuz ATM protokol yapısı	39
2.8.2.1. Veri bağı kontrolü	39
2.8.2.2. Ortam erişim kontrolü.....	40
2.8.2.3. Fiziksel katman	40
2.8.2.4. Kablosuz kontrol.....	41
2.8.3. Gezgin ATM.....	41
2.8.3.1. El değiştirme	41
2.8.3.2. Konum yönetimi	42
2.8.3.3. Yönlendirme	42
2.9. Sonuç.....	43
3. AKILLI ANTEN SİSTEMLERİ	44
3.1. Giriş.....	44
3.2. Anten Sistemlerinde Temel Kavramlar.....	45
3.2.1. Işın örüntüsü	45
3.2.2. Hüzme genişliği	46
3.2.3. Hüzme yönelme noktası	47
3.2.4. Anten kazancı	47
3.2.5. Anten etkin alanı.....	47
3.3. Tüm-yönlü Antenler	48
3.4. Akıllı Anten Sistemleri	48
3.4.1. Anahtarlama ışın anten sistemleri	49
3.4.1.1. Tek ışın hüzmeli anahtarlama ışın anten sistemleri.....	51
3.4.1.2. Çoklu ışın hüzmeli anahtarlama ışın anten sistemleri	51
3.4.2. Uyarlamalı dizi anten sistemleri	52
3.5. Akıllı Anten Sistem Bileşenleri	54
3.5.1. Akıllı anten alıcısı.....	54
3.5.2. Akıllı anten vericisi.....	55
3.6. Anahtarlama ışın Anten Sistemleri İle Uyarlamalı Dizi Anten Sistemlerinin Karşılaştırılması	56
3.7. Akıllı Anten Sistemlerinin Avantajları	58
3.8. Akıllı Anten Sistemlerinin Sınırlamaları	61
3.9. Sonuç.....	61
4. AKILLI ANTEN KULLANAN GENİŞBANT KABLOSUZ AĞLAR İÇİN TASARLANAN YENİ OEK PROTOKOLÜ (AKGOEK)	63
4.1. Giriş.....	63
4.2. Önerilen AKGOEK Protokolü	64
4.3. AKGOEK Protokolünün Benzetim Modeli	65
4.3.1. Kablosuz terminal modeli.....	65
4.3.1.1. Kablosuz terminal düğüm modeli.....	66
4.3.1.2. Kablosuz terminal OEK süreç modeli ve algoritması.....	67
4.3.2. Baz istasyonu OEK modeli.....	69

4.3.2.1. Baz istasyonu düğüm modeli	70
4.3.2.2. Baz istasyonu OEK süreç modeli ve algoritması.....	71
4.3.2.3. Dinamik Slot Tahsis Tablosu (DSAT) ve yönetimi.....	73
4.3.2.3.1. Garantili zaman dilimlerinin bağlantılara tahsis edilmesi.....	75
4.3.2.3.2. Garantisiz zaman dilimlerinin bağlantılara tahsisi.....	76
4.3.2.4. Baz istasyonu akıllı anten modeli	77
4.4. AKGOEK Protokolünün Analitik Modeli	78
4.4.1. Kuyruk sistemleri.....	79
4.4.1.1. Kuyruk sistemlerinin gösterimi	79
4.4.1.2. Kuyruk sistemlerinde kullanılan ifadeler.....	81
4.4.1.3. M/G/1 kuyruk modeli	83
4.4.1.3.1. M/G/1 kuyruk modelinin “Gömülü Markov Zinciri” ile analizi.....	85
4.4.1.3.1.1. Kararlı durumda sistemdeki paket sayısı	88
4.4.1.3.1.2. Sistemde harcanan ortalama süre.....	92
4.4.1.3.1.3. Kuyrukta harcanan ortalama süre	92
4.4.1.3.1.4. Kuyrukta bekleyen ortalama paket sayısı	93
4.4.2. TDMA sistemlerinin kuyruk teoremi ile modellenmesi.....	93
4.4.2.1. TDMA sisteminde sistemdeki ortalama paket sayısı.....	94
4.4.2.2. TDMA sisteminde sistemde harcanan ortalama süre.....	95
4.4.2.3. TDMA sisteminde kuyrukta harcanan ($E[W_Q]$) ortalama süre.....	95
4.4.2.4. TDMA sisteminde kuyrukta bekleyen ortalama paket sayısı ($E[N_Q]$).....	95
4.4.3. AKGOEK protokolünün kuyruk teoremi ile modellenmesi.....	96
4.4.3.1. CBR servis sınıfı kuyruk modeli	96
4.4.3.2. VBR servis sınıfı kuyruk modeli	98
4.4.3.3. ABR servis sınıfı kuyruk modeli	99
4.4.3.4. UBR servis sınıfı kuyruk modeli	100
4.5. Sonuç.....	101
5. ÖNERİLEN AKGOEK PROTOKOLÜNÜN KULLANILDIĞI ÇOKLU ORTAM AĞ UYGULAMASI	102
5.1. Giriş.....	102
5.2. AKGOEK Protokolünün Kullanıldığı Çoklu Ortam Ağın Benzetimi	102
5.2.1. Benzetim parametreleri.....	103
5.2.2. Baz istasyonu benzetim modeli	104
5.2.3. Kablosuz terminal benzetim modeli	105
5.2.4. Benzetim sonuçları	106
5.3. AKGOEK Protokolünün Kullanıldığı Çoklu Ortam Ağın Analitik Modeli	113
5.3.1. Analitik model parametreleri.....	113
5.3.2. Analitik sonuçlar.....	114
5.4. Benzetim Sonuçlarının ve Analitik Sonuçların Karşılaştırmalı Değerlendirmesi	119
5.5. Sonuç.....	123
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	124
6.1. Tartışma ve Öneriler	128
KAYNAKLAR	129
EKLER.....	133
KİŞİSEL YAYINLAR VE PROJELER	145
ÖZGEÇMİŞ	146

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Çok–yollu yayılma: a) Çok–yollu sinyaller b) Çok–yollu sinyal güçleri.	11
Şekil 2.2: Kablosuz ortam sınırlamaları a) Yansıma b) Kırılma c) Dağılma.	12
Şekil 2.3: Hücresel sistem genel yapısı.	14
Şekil 2.4: KLAN topolojileri: a) eşe–eş ağ b) erişim noktalı ağ.	17
Şekil 2.5: FDMA.	19
Şekil 2.6: TDMA.	20
Şekil 2.7: CDMA.	21
Şekil 2.8: SDMA.	23
Şekil 2.9: ATM’de kullanılan sanal yollar ve sanal kanallar.	29
Şekil 2.10: ATM Hücre yapıları a) ATM UNI Hücresi b) ATM NNI Hücresi	31
Şekil 2.11: CBR servis sınıfı için bant genişliği kullanım karakteristiği.	32
Şekil 2.12: VBR servis sınıfı için bant genişliği kullanım karakteristiği.	33
Şekil 2.13: ABR servis sınıfı için bant genişliği kullanım karakteristiği.	34
Şekil 2.14: UBR servis sınıfı için bant genişliği kullanım karakteristiği.	35
Şekil 2.15: KATM ağ yapısı.	38
Şekil 2.16: KATM protokol yapısı	39
Şekil 3.1: Anten örüntüleri a) Dikdörtgensel gösterimi b) Kutupsal gösterimi.	45
Şekil 3.2: Hüzme görüntüleri a) 3–boyutlu gösterim b) 2–boyutlu gösterim.	46
Şekil 3.3: Anahtarlama ışın anten dizisinin ışın örüntüsünün görünümü.	49
Şekil 3.4: Anahtarlama ışın anten sisteminin blok diyagramı.	50
Şekil 3.5: Anahtarlama ışın anten sisteminin ışın örüntüsü.	51
Şekil 3.6: Uyarlamalı anten dizisinin ışın örüntüsünün görünümü.	52
Şekil 3.7: Uyarlamalı dizi anten sistemlerinin blok diyagramı.	53
Şekil 3.8: Akıllı anten alıcısı.	54
Şekil 3.9: Akıllı anten vericisi.	55
Şekil 3.10: Anahtarlama ışın anten sistemi ile uyarlamalı dizi anten sisteminin karşılaştırılması.	58
Şekil 3.11: Farklı anten kullanan sistemler de ortak kanal girişi.	60
Şekil 4.1: AKGOEK–OEK protokolünün çerçeve yapısı.	64
Şekil 4.2: AKGOEK protokolünde kullanılan paket yapıları: a) Bağlantı istek paketi, b) Veri paketi, c) Bağlantı sonlandırma paketi.	66
Şekil 4.3: AKGOEK protokolünün kablosuz terminal düğüm modeli.	67
Şekil 4.4: AKGOEK protokolünün kablosuz terminal OEK süreç modeli.	68
Şekil 4.5: Kablosuz terminal OEK süreç modeli algoritması.	69
Şekil 4.6: 4 adet anten kullanan baz istasyonu düğüm modeli.	71
Şekil 4.7: Baz istasyonu süreç modeli.	72
Şekil 4.8: Baz istasyonu süreç modeli algoritması.	73
Şekil 4.9: DSAT yapısı.	74
Şekil 4.10: DSAT yönetim algoritması.	77
Şekil 4.11: Baz istasyonu anten modeli.	78
Şekil 4.12: Kuyruk sistemlerinin analizinde yaygın kullanılan parametreler.	82
Şekil 4.13: M/G/1 Gömülü Markov Zincirinin durum geçiş diyagramı.	87

Şekil 4.14: TDMA çerçeve yapısı.....	93
Şekil 4.15: CBR servis sınıfı için zaman dilimlerinin dağılımı.	97
Şekil 5.1: AKGOEK protokolünü kullanan örnek bir çoklu ortam ağ uygulaması.	103
Şekil 5.2: Benzetim ortamında CBR servis sınıfı için ortalama uçtan–uca gecikme.	107
Şekil 5.3: Benzetim ortamında VBR servis sınıfı için ortalama uçtan–uca gecikme.	107
Şekil 5.4: Benzetim ortamında ABR servis sınıfı için ortalama uçtan–uca gecikme.	108
Şekil 5.5: Benzetim ortamında UBR servis sınıfı için ortalama uçtan–uca gecikme.	108
Şekil 5.6: Benzetim ortamında tüm servis sınıfları için ortalama uçtan–uca gecikme.	109
Şekil 5.7: Benzetim ortamında tüm servis sınıflarını kullanan terminallerden elde edilen toplam çağrı reddedilme oranı.	110
Şekil 5.8: CBR servis sınıfı için çağrı reddedilme oranı.....	110
Şekil 5.9: VBR servis sınıfı için çağrı reddedilme oranı.	111
Şekil 5.10: ABR servis sınıfı için çağrı reddedilme oranı.	111
Şekil 5.11: UBR servis sınıfı için çağrı reddedilme oranı.	112
Şekil 5.12: Benzetim modelinde kullanılan ağın toplam iş çıkarma oranı.	113
Şekil 5.13: CBR servis sınıfı analitik ortalama uçtan–uca gecikme sonuçları.	116
Şekil 5.14: VBR servis sınıfı analitik ortalama uçtan–uca gecikme sonuçları (T_c en yüksek ve en düşük olduğunda).....	117
Şekil 5.15: ABR servis sınıfı analitik ortalama uçtan–uca gecikme sonuçları (T_c en yüksek ve en düşük olduğunda).....	117
Şekil 5.16: UBR servis sınıfı analitik ortalama uçtan–uca gecikme sonuçları (T_c en yüksek ve en düşük olduğunda).....	118
Şekil 5.17: Tüm servis sınıfları için analitik ortalama uçtan–uca gecikme sonuçları (T_c en yüksek olduğunda).	119
Şekil 5.18: CBR servis sınıfı için analitik ve benzetim ortalama UUG sonuçlarının karşılaştırılması.....	120
Şekil 5.19: VBR servis sınıfı için analitik ve benzetim ortalama UUG sonuçlarının karşılaştırılması (T_c en yüksek ve en düşük olduğunda).	121
Şekil 5.20: ABR servis sınıfı için analitik ve benzetim ortalama UUG sonuçlarının karşılaştırılması (T_c en yüksek ve en düşük olduğunda).	121
Şekil 5.21: UBR servis sınıfı için analitik ve benzetim ortalama UUG sonuçlarının karşılaştırılması (T_c en yüksek ve en düşük olduğunda).	122

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1: Sayısal ses haberleşmesinde kabul edilebilir gecikme sınırları.....	32
Tablo 2.2: ATM Servis sınıfları ve uygulama örnekleri.....	35
Tablo 2.3: ATM servis sınıflarının trafik tanımlayıcıları ve servis kalitesi değişkenleri.....	37
Tablo 2.4: KATM için önerilen fiziksel katman özellikleri.....	40
Tablo 3.1: Anahtarlama ışın anten sistemi ile uyarlamalı dizi anten sisteminin karşılaştırılması.....	58
Tablo 5.1: AKGOEK protokolü için benzetim modelinde kullanılan parametreler.	104
Tablo 5.2: AKGOEK protokolü için analitik modelde kullanılan parametreler.....	114

SİMGELER

λ	: Ortalama paket geliş oranı
μ	: Ortalama servis süresi oranı
ρ	: Trafik yoğunluğu
τ	: Paketler arası ortalama geliş süresi
σ	: Standart sapma
σ^2	: Varyans
w	: Kuyrukta bekleme süresi (s)
r	: Sistemde harcanan süre (s)
s	: Her bir paket için servis süresi (s)
n	: Sistemdeki paket sayısı
$\tilde{B}$	: B 'nin Laplace dönüşümü
P	: Paket uzunluğu (bit)
R	: Veri iletim hızı (bit/s)
T	: Paket gönderme süresi (s)
M	: Kullanıcı sayısı

Alt indisler

s	: Servis
q	: Kuyruk
k	: Dağılım parametresi
n	: Paket sırası
c	: Saykıl (Cycle)

Kısaltmalar

ABR	: Available Bit Rate
ACK	: ACKnowledgement
A/D	: Analog Digital Converter
ANSI	: American National Standard Institute
AP	: Access Point
ARQ	: Automatic Repeat Request
ATM	: Asynchronous Transfer Mode
B-ISDN	: Broadband-Integrated Services Digital Network
BER	: Bit Error Rate
CBR	: Constant Bit Rate
CDMA	: Code Division Multiple Access
CDVT	: Cell Delay Variation Tolerance
CER	: Cell Error Ratio

CLP	: Cell Loss Priority (Hücre Kaybı Önceliği)
CSMA	: Carrier Sense Multiple Access (Taşıyıcı duyarlı çoklu erişim)
D/A	: Digital Analog Converter
DOA	: Direction of Arrival
DSSS	: Direct Sequence Spread Spectrum
FDD	: Frequency Division Duplexing
FCFS	: First Come First Served
FDMA	: Frequency Division Multiple Access
FEC	: Forward Error Control
FHSS	: Frequency Hopping Spread Spectrum
GFC	: Generic Flow Control (Genel Akış Kontrolü)
HEC	: Header Error Control (Başlık Hata Kontrolü)
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISM	: Industries, Scientific, Medical
ISO	: International Standards Organization
ITU	: International Telecommunication Union
ITU-T	: ITU Telecommunication Standardization Sector
LAN	: Local Area Network
LCFS	: Last Come First Served
MAC	: Medium Access Control
MBS	: Maximum Burst Size
MCR	: Minimum Cell Rate
MCTD	: Maximum Cell Transfer Delay
NNI	: Network–Network Interface (Ağ–Ağ Arayüzü)
Nrt-VBR	: Non-Real Time Variable Bit Rate,
OFDM	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	: Open Service Interconnection
PCR	: Peak Cell Rate
PDU	: Packet Data Unit
PHY	: Physical Layer
PN	: Pseudo-noise
PSTN	: Public Switched Telephone Network
PT	: Payload Type (Yük Tipi)
QoS	: Quality of Service
RF	: Radio Frequency
RRC	: Radio Resource Control
Rt-VBR	: Real Time Variable Bit Rate,
SCR	: Sustainable Cell Rate
SDMA	: Space Division Multiple Access
SECBR	: Severely Errored Cell Block Ratio
SINR	: Signal to Interference plus Noise Ratio
TDD	: Time Division Duplexing
TDMA	: Time Division Multiple Access
TCP/IP	: Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TCP	: Transmission Control Protocol
UBR	: Unspecified Bit Rate
UNI	: User–Network Interface (Kullanıcı–Ağ Arayüzü)
VBR	: Variable Bit Rate
VPI	: Virtual Path Identifier (Sanal Yol Numarası)

VCI	: Virtual Channel Identifier (Sanal Kanal Numarası)
VC	: Virtual Connection (Sanal Bağlantı)
VCC	: Virtual Channel Connections
VLSI	: Very Large Scale Integration
WAN	: Wide Area Network (Geniş Alan Ağı)
WLAN	: Wireless Local Area Network
WMAC	: Wireless Medium Access Control

AKILLI ANTEN KULLANAN GENİŞBANT KABLOSUZ HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN SERVİS KALİTESİ DESTEKLİ ORTAM ERİŞİM KONTROL PROTOKOLÜ

Sedat ATMACA

Anahtar Kelimeler: Akıllı Anten, Kablosuz OEK, TDMA, Servis Kalitesi

Özet: Kablosuz haberleşme teknolojilerine ve ağlarına olan talebin gün geçtikçe artması ve gerçek zamanlı çoklu ortam uygulamalarının giderek yaygın hale gelmesi, yüksek bantgenişliği ve hızla artan kapasite ihtiyacının ortaya çıkmasına yol açmıştır. Giderek artan bantgenişliği ve kapasite ihtiyacını karşılamak için araştırmacılar yeni yöntemlere başvurumaktadırlar. Bunlar arasında, sınırlı kablosuz ortam kaynaklarını etkin şekilde kullanan akıllı anten sistemleri, hızla artan kapasite ihtiyacı problemine en uygun çözümlerden birisi olarak görülmektedir.

Akıllı antenler, kablosuz haberleşme sistemlerinin başarımlarını artıran ve yoğun trafik ve kullanıcı ortamlarında yüksek verimlilik sağlamak için ihtiyaç duyulan bantgenişliğinin etkin bir şekilde kullanımına izin veren çözümlerdir. Güçlü, düşük maliyetli ve karmaşık işlemleri oldukça hızlı gerçekleştirebilen sayısal işaret işlemcilerin geliştirilmesi ve bunlarla yazılım tabanlı yeni yaklaşımların desteklenmesi, akıllı anten teknolojisinin hücreli haberleşme sistemlerinde kullanımlarını yaygın hale getirmiştir.

Bu tez çalışmasında, kablosuz ortam kaynaklarını etkin bir şekilde kullanmak için servis kalitesi (QoS) yönetim algoritmaları ve akıllı antenler kullanan TDMA/FDD tabanlı yeni bir ortam erişim kontrol (OEK) protokolü (AKGOEK) geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yeni OEK protokolü, tasarlanan yeni dinamik garanti–tabanlı servis kalitesi yönetim algoritmaları yardımıyla CBR, VBR, ABR ve UBR gibi ATM’in standart servis sınıflarını desteklemektedir. AKGOEK, sistem iş çıkarma oranını (throughput) önemli ölçüde arttırırken buna bağlı olarak çağrı reddedilme oranını (call–blocking ratio) ve gerçek zamanlı uygulamalar için uçtan–uca gecikme değerini iyileştirmektedir. AKGOEK protokolü, analitik olarak modellenerek doğrulanması gerçekleştirilmiştir. OPNET Modeller benzetim programıyla elde edilen benzetim modeli ve benzetim sonuçları, AKGOEK protokolünün akıllı anten kullanmayan eşleniğinin sonuçları ile karşılaştırılarak, değişik çoklu ortam uygulamaları, artan kullanıcı sayıları ve artan yük miktarları esas alınarak sunulmakta ve başarımlar değerlendirilme yapılmaktadır.

A NEW QoS-SUPPORTED MAC PROTOCOL FOR BROADBAND WIRELESS NETWORKS USING SMART ANTENNA

Sedat ATMACA

Keywords: Smart Antenna, Wireless MAC, TDMA, Quality of Service

Abstract: Recently, the importance of wireless/mobile data communications has been increased, and the use of smart antennas has gained much significance to enhance the network capacity, together with the developments in both high performance wireless computers and real-time multimedia applications. In addition, there has been a remarkable interest in developing new MAC (Medium Access Control) protocols for wireless networks equipped with smart antennas to efficiently utilize the limited bandwidth resources.

Smart antennas (SAs) are one of the most promising technologies that enable a higher capacity in wireless networks. SAs employ a set of radiating elements arranged in the form of an array. The signals from these elements are combined to form a steerable or switchable beam pattern that follows the desired user/users. In a SA system the arrays by themselves are not smart; it is the digital signal processing that makes them smart. With the advent of powerful, low-cost digital signal processing technologies and the development of software-based techniques have made SA systems a practical reality for cellular communications systems.

In this thesis, a new TDMA/FDD MAC (named as AKGOEK) protocol well integrating a novel QoS management algorithm and SAs to efficiently exploit wireless resources is presented. AKGOEK supports standard ATM CBR, VBR, ABR and UBR service classes by adopting a well-managed dynamic guarantee-based QoS scheduling algorithm through its new dynamic slot allocation table. It mainly aims at increasing the wireless system throughput as well as improving the call-blocking ratios and end-to-end delays for real-time multimedia applications. This seamless communication enables both handling real-time multimedia traffics in a fair manner and granting call requests on the basis of the connection types. The system has been developed, modeled and simulated using OPNET Modeler. Its analytical model has been obtained and presented in order to validate the obtained simulation results. The simulation results of an example wireless network with AKGOEK employing SAs have also been compared with those of the AKGOEK not exploiting SAs (i.e., using omni-directional antennas) to show the impact of the proposed MAC and its application.

1. GİRİŞ

Son yıllarda elektronik ve bilgi teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte haberleşme sistemlerinde baş döndürücü yenilikler ortaya çıkmıştır. Hücreli haberleşme sistemleri, uydu iletişim teknolojileri ve kablosuz bilgisayar ağları gibi sosyal yaşamı büyük ölçüde etkileyen uygulamalar geliştirilmiştir. Gelişen teknoloji ile birlikte hem kullanıcıların hızlı ve yüksek kapasiteli veri aktarma ihtiyacı giderek artmış, hem de sadece veri değil, aynı zamanda ses ve görüntünün de gerçek zamanlı olarak iletimi aranan özelliklerden olmuştur.

Kablolu ağ teknolojilerine olan üstünlüklerinden dolayı giderek yaygın hale gelen kablosuz ağ sistemleri de, son yıllarda büyük gelişmelere sahne olmuştur. Özellikle veri iletişimde çok yüksek hızlara ulaşılması, ses ve görüntü gibi çoklu ortam trafiklerinin gerçek zamanlı iletilmesi, kablosuz ağların daha da yaygın kullanılmasını sağlamıştır. Bununla birlikte, giderek artan kablosuz ağ kullanma isteği, bazı problemleri de beraberinde getirmiştir. Bu problemlerin başında bantgenişliği ve kapasite ihtiyacı, sınırlayıcı iki temel unsur olarak görülmektedir. Araştırmacılar, artan bantgenişliği ve kapasite ihtiyacını karşılamak için kablosuz ortam kaynaklarını en etkin şekilde kullanan çeşitli yöntemler ve yaklaşımlar üzerinde çalışmışlardır. Geliştirilen bazı ortam erişim ve kontrol mekanizmaları ile kablosuz ortam, kullanıcılar arasında paylaştırılmıştır. Kullanılan bu teknikler ihtiyacı karşılamakta yetersiz kalınca, sınırlı kablosuz ortam kaynaklarını etkin şekilde kullanan akıllı anten sistemleri ile diğer ortam erişim kontrol protokolleri birlikte kullanılarak, SDMA (Space Division Multiple Access) adı verilen yeni bir OEK (Ortam Erişim Kontrol) katmanı geliştirilmiş ve kapasite ihtiyacı problemine en uygun çözüm olarak düşünülmüştür.

Akıllı antenler, kablosuz haberleşme sistemlerinin başarımlarını artıran, yoğun trafik ve kullanıcı ortamında yüksek verimlilik sağlamak için ihtiyaç duyulan bant genişliğinin etkili bir şekilde kullanımına izin veren sistemlerdir (Loadman, ve diğ., 2003). Başlangıçta, düşman tarafından gönderilen girişimleri (interference) ve boğma

sinyallerini (jamming signal) bastırmak için askeri uygulamalarda kullanılmıştır. Daha sonra güçlü, düşük maliyetli ve karmaşık işlemleri kısa sürede yapan sayısal işaret işlemcilerin ortaya çıkması ve yazılım tekniklerinin geliştirilmesi ile kablosuz haberleşme sistemlerinde yaygın halde kullanılmaya başlanmıştır.

Akıllı antenler, sinyal kalitesini artırırken, girişimleri ve gürültüyü bastırır, güç tasarrufu sağlar ve kablosuz spektrumun etkin şekilde kullanılmasını sağlayarak hem sistemin kapasitesini ve başarımını yükseltir hem de daha kaliteli bir iletişim sağlar (Balanis, 2005).

Günümüze kadar akıllı anten sistemleri kullanan ortam erişim kontrol protokolleri üzerine birçok çalışma/araştırma gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki alt bölümde bu çalışmalardan birkaçı kısaca özetlenmektedir.

1.1. Literatürde Yapılan Çalışmaların Özetleri

Ward ve Compton (1993), çalışmalarında çok-ışın hüzmeli uyarlamalı dizi (Multiple Beam Adaptive Array, MBAA) anten sistemleri kullanarak Slotted-ALOHA paket radyo sisteminin başarımını arttırmayı önermişlerdir. Paketlerin alımı ile ilgili bir yordam geliştirerek MBAA kullanan paket radyo sisteminin başarımlarını analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında MBAA kullanan Slotted-ALOHA OEK sisteminin çarpışmaların azaltılmasından dolayı klasik Slotted-ALOHA OEK tekniğine göre sistem kapasitesinde önemli ölçüde artış sağladığı gösterilmiştir. Ayrıca önerilen tekniğin darbant paket sistemleri ile kullanabileceğini ve geniş spektrum sistemlere alternatif olabileceğini ifade etmişlerdir.

Xu ve Li (1994), kablosuz LAN'lar için kullanıcıları uzaysal olarak ayırarak iş çıkarma gücünü arttıran yeni bir SDMA protokolü önermişlerdir. Ayrıca, ön hazırlık niteliğinde deneysel çalışmalar yaparak yeni protokolün gerçek kablosuz LAN ortamında gerçekleştirilebilirliğini doğrulamışlardır. Xu ve Li, çalışmalarında TDMA ortam erişim mekanizması ile birlikte TDD (Time Division Duplexing) tekniğini kullanmışlardır. Bu çalışma, hem ikileyici (duplexing) tekniği, hem de zaman dilimi (time slot) tahsis algoritmaları açısından tez çalışması ile farklılık göstermektedir.

Chockalingam ve Rao (1998) çalışmalarında baz istasyonunda çok-ışın hüzmeli anten kullanan Slotted-ALOHA protokolünün iş çıkarma oranı-gecikme (throughput-delay) başarımını değerlendirmişlerdir. Özellikle farklı hüzmeye genişliği, hüzmeye sayısı, hüzmeye yönetilebilirliği (beam steering) ve hüzmeye servis süresinin iş çıkarma oranı-gecikme başarım ölçütlerine etkisi analiz edilmiştir. Çalışmalarının sonucunda, yüksek yük altında uzun hüzmeye servis süreli yönetilebilir hüzmeler daha iyi başarım gösterirken, hafif yük durumunda statik hüzmeler daha iyi sonuçlar vermiştir.

Shad ve diğ. (2001), bina içi kablosuz paket anahtarlama SDMA/TDMA (Space Division Multiple Access / Time Division Multiple Access) sisteminde yeni bir dinamik dilim tahsis (dynamic slot allocation, DSA) tablosu önermişlerdir. Önerilen sistem TDD çiftleyici tekniğini kullanan sistemler için uygundur. Sistemde baz istasyonu uygun SDMA/TDMA çerçevelerini oluşturmak için yukarı bağlantı kanal ölçümlerini kullanmaktadır. Sistemin başarımını değerlendirmek için hem teorik yayılım modelleri hem de deneysel çalışmalardan elde edilen veriler kullanılmıştır. Çalışmalarının sonucunda DSA tablosu kullanılan MAC modelinde bina içi ortamlarda sistem kapasitesinde önemli ölçüde artış olduğu gösterilmektedir. Bu çalışma, ikileyici tekniği, zaman dilimi tahsis algoritmaları, kullanılan akıllı anten teknolojisi ve fiziksel katmanda kullanılan bazı büyüklükler açısından tez çalışması ile farklılık göstermektedir.

Jia ve diğ. (2002), paket tabanlı verilerin desteklendiği kablosuz ağlarda, asimetrik trafiklerin iletimi için yeni bir TDD-SDMA/TDMA sistem önermektedir. Önerilen sistem aşağı-bağlantı (downlink) için asimetrik trafiklerin iletiminde her bir terminale birden fazla zaman dilimi (time slot) tahsis etmektedir. Geliştirilen sistem, bilgisayar benzetimi ile ortalama gecikme (average delay) ve ortalama iletim oranı (average transmission rate) parametreleri referans alınarak, simetrik zaman dilimi tahsis eden eşleniği ile karşılaştırılmaktadır. Her bir terminal için birden fazla zaman dilimi tahsis eden yeni TDD-SDMA/TDMA tekniği ile sistem başarımında önemli artışlar elde edilmiştir. Bu çalışma, ikileyici tekniği ve zaman dilimi tahsis algoritmaları açısından tez çalışması ile farklılık göstermektedir.

Yang ve diğ. (2003), kablosuz ağlar için baz istasyonunda akıllı antenlerden faydalanan ve servis kalitesi destekli uyarlamalı dilim tahsis tablosu kullanan yeni bir OEK (QoS-Supported adaptive slot allocation multiple access protocol, QASAMA) protokolü önermiştir. QASAMA protokolünde TDD ikileyici tekniği kullanılmıştır. Önerilen protokolde, aktif gezgin terminaller, her çerçevenin başında bir eğitici dizi (training sequence) gönderir, böylece terminallerin uzaysal imzaları (spatial signature) akıllı antenler tarafından elde edilir. En iyi SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio) ışın şekillendiriciye (beamforming) dayanarak, PPO (Point by point optimizing) ve GO (Global optimizing) adı verilen iki adet dilim tahsis tablosu elde edilir. Dilim tahsis algoritmasına ve farklı trafiklerin QoS gereksinimlerine göre baz istasyonu, yukarı ve aşağı bağlantı için dilimleri dinamik olarak tahsis eder. Önerilen MAC protokolü benzetim sonuçlarına göre, akıllı anten uygulamaları etkin bir şekilde desteklenebilmekte bununla birlikte, ses ve veri trafikleri için QoS garantisi sağlamaktadır. Bu çalışma, ikileyici (duplexing) tekniği, zaman dilimi (time slot) tahsis algoritmaları ve destek sağladığı QoS servis sınıfları açısından tez çalışması ile farklılık göstermektedir.

Hwang ve diğ. (2003), baz istasyonunda çok-ışın hüzmeli (multi-beam) anten, gezgin terminallerde tüm-yönlü anten kullanan kablosuz ağ mimarisi önermiştir. Çalışmada saklı düğüm (hidden node) ve güç kontrolünün sistem başarımına etkisi araştırılmış, bununla birlikte önerilen ağ yapısı, iş çıkarma oranı (throughput), gecikme (delay) ve çarpışma olasılığı (collision probability) başarımlar ölçütleri açısından baz istasyonunda ve gezgin terminallerde tüm-yönlü anten kullanan eşleniği ile kıyaslanmıştır. Çok-ışın hüzmeli anten kullanan baz istasyonu birden fazla terminalin aynı anda paket iletimine imkan tanıyarak sistem kapasitesinde büyük ölçüde artışlar sağlamaktadır. Bu çalışma tez çalışmasından farklı olarak, IEEE 802.11 çoklu erişim tekniğini kullanmakta ve SK (Servis Kalitesi) desteğini göz önünde bulundurmamaktadır.

Rom ve Sidi (1990) çalışmalarında, kullanıcılara birden fazla zaman dilimi ayırabilen genelleştirilmiş TDMA (Generalized-TDMA) protokolünün gecikme ve tampon gecikme (buffer occupancy) analizini kuyruk teorisini kullanarak yapmışlardır. Analiz edilen TDMA sisteminde zaman dilimlerinin sıralı dizilme zorunluluğu

yoktur. Bu çalışma ile genelleştirilmiş TDMA sisteminin gecikme ve tampon gecikme değerlerinin dağılımları ve beklenen değerleri (mean value, expected value) elde edilmiştir. Ayrıca, sistem performansını arttırmak için çerçeve içerisinde zaman dilimlerinin nasıl tahsis edileceğini de değerlendirmişlerdir.

Khan ve Peyravi (2005), genelleştirilmiş TDMA (G-TDMA) protokolüne dayalı, kapalı formdaki “Demand–Assignment Multiple Access (DAMA)” protokolünün gecikme (delay) ve gecikme değişimi (jitter) analizlerini kuyruk teorisini kullanarak yapmışlardır. Çalışılan protokolde, terminallerin farklı bantgenişliği ve zaman dilimi ihtiyacı vardır. Bir terminal için tahsis edilen zaman dilimleri, mevcut bantgenişliği ve terminalin trafik ihtiyacı ile orantılıdır. Çalışmanın sonucunda, kuyruk teorisinin G/D/1 modeli ile farklı veri trafiklerinin G-TDMA protokolünün başarımına etkisinin nasıl olacağı tanımlanmıştır.

1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Motivasyonu

Kablosuz haberleşme teknolojilerine ve ağlarına olan talebin gün geçtikçe artması ve farklı servis sınıfları kullanımının giderek yaygın hale gelmesi, yüksek bant genişliği ve hızla artan kapasite ihtiyacının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Araştırmacılar bantgenişliği ve kapasite ihtiyacını karşılamak amacıyla çeşitli yeni yöntemlere başvurumaktadırlar. Bu yöntemler arasında, sınırlı kablosuz ortam kaynaklarını verimli şekilde kullanan akıllı anten sistemleri, kapasite ihtiyacı problemine en etkili çözümlerden birisi olarak görülmektedir.

Akıllı antenler, kablosuz ortamda kullanıcıları uzaysal olarak ayrıştırarak, SDMA adı verilen yeni bir ortam erişim kontrol tekniğinin kullanılmasını sağlar. SDMA, FDMA (Frequency Division Multiple Access) tekniğinde frekansın, TDMA tekniğinde ise zaman dilimlerinin yeniden kullanımı (time slot reuse)’na imkan tanımakta ve sınırlı kablosuz ortam kaynaklarının daha etkin kullanılmasını sağlamaktadır. Bu erişim mekanizması sayesinde uzaysal olarak ayrılmış kullanıcılar, aynı anda aynı frekans kanalını kullanarak haberleşebilmektedirler. Böylece, bir hücre içerisinde frekansın veya zaman dilimlerinin tekrar kullanılmasıyla sistem kapasitesinde büyük oranda artış sağlanır.

Bu tez çalışmasında önerilen ve akıllı antenler kullanılarak gerçekleştirilen yeni OEK protokolünün iki ana hedefi bulunmaktadır;

- Akıllı anten sistemleri ile kablosuz spektrumu daha etkin kullanmak ve böylece sistem kapasite kullanım artışı sağlamak,
- Farklı karakteristiklere sahip genişbant çoklu ortam uygulama trafiklerini (ses, veri ve video gibi), sistem kaynaklarını en etkin şekilde kullanarak gerekli servis kalitesi desteğiyle kablosuz ortamda iletmek.

1.3. Tez Çalışmasının Katkıları

Bu tez çalışmasında akıllı anten kullanan ve gerçek zamanlı çoklu ortam trafiklerinin gereksinim duydukları servis kalitesi garantisi ile iletimine olanak sağlayan, TDMA/FDD tekniğine dayalı yeni bir OEK protokolü önerilmiştir. Bu protokol kablosuz ortamda, tüm ATM (Asenkron Transfer Mode) servis sınıflarına (CBR, VBR, ABR, UBR) hizmet vermeyi garanti etmektedir. Önerilen bu yeni OEK protokolü ile bilime ve teknolojiye iki temel katkı sağlanmıştır;

- Akıllı anten sistemleri kullanılarak sınırlı kablosuz spektrumun daha etkin kullanılması sağlanmış ve sistem kapasite kullanımında artış gerçekleştirilmiştir.
- Farklı karakteristiklere sahip genişbant çoklu ortam uygulama trafiklerinin (ses, veri ve video gibi), sistem kaynaklarını en etkin şekilde kullanarak gerekli servis kalitesi desteğiyle kablosuz ortamda iletimi gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasının yukarıda ifade edilen ana katkılarının yanı sıra bazı ek katkıları da bulunmaktadır. Bunlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Akıllı anten sistemlerinin kullanımı ile; ortak kanal girişimleri, çok-yollu yayılım ve gürültü azaltılacağı için daha kaliteli haberleşme gerçekleştirilir.
- Hem yukarı (uplink) hem de aşağı (downlink) bağlantı için gönderilecek sinyalin güç gereksinimini azaltır.
- Yukarı bağlantı için iletilen gücün azaltılmış olması gezgin kullanıcıların batarya kullanım sürelerinin artmasını sağlar.

- Aşağı bağlantı için iletilen gücün azaltılmış olması, bir hücre içerisinde servis verilebilecek kullanıcı sayısında artış sağlar.
- Akıllı anten sistemleri kullanılarak daha güvenli bir haberleşme gerçekleştirilmiştir. Böyle bir sistemde herhangi bir kullanıcıya ait bilgilerin elde edilebilmesi veya dinlenebilmesi için bu kullanıcının hedef kullanıcı ile yaklaşık olarak aynı konuma sahip olması gerekir.
- Akıllı anten sistemleri kullanılarak ileride gerçekleştirilecek araştırma çalışmalarında referans olarak kullanılabilecek farklı ışın örüntülerine sahip akıllı anten modelleri gerçekleştirilmiştir.
- Önerilen yaklaşımın benzetim ve analitik modelleri gerçekleştirilerek araştırmacıların kullanımına sunulmuştur.

1.4. Tez Organizasyonu

Bölüm 2’de kablosuz haberleşme teknolojilerinde fiziksel katman ile ilgili genel bilgilerin yanı sıra, hücresel ağlar, kablosuz yerel alan ağları (Wireless Local Area Network, WLAN) ve genişbant kablosuz ağlar ile özellikle servis kalitesi desteği açısından KATM (Kablosuz ATM) hakkında temel bilgiler verilmektedir. Ayrıca, bu bilgilerin gerçekleştirilen yeni OEK protokolündeki yeri vurgulanmaktadır.

Bölüm 3’de, anten ve anten sistemleri anlatılmaktadır. Akıllı anten, çeşitleri ve birbirlerine olan üstünlükleri detaylı olarak açıklanmaktadır. Bu bölümde ayrıca akıllı anten sistemlerinin kablosuz haberleşme sistemlerine katkıları, özellikle de geliştirilen yeni OEK protokolündeki önemine değinilmektedir.

Bölüm 4, üç altbölümden oluşmaktadır. Birinci altbölümde, önerilen akıllı anten kullanılan genişbant kablosuz sistemler için OEK protokolünün yapısı ayrıntılı bir şekilde sunulmaktadır. İkinci altbölümde tez çalışması ile gerçekleştirilen genişbant kablosuz OEK protokolünün OPNET Modeler yazılımı ile modellenmesi ve benzetimlerinin gerçekleştirilmesi, üçüncü altbölümde ise benzetimleri gerçekleştirilen yeni OEK protokolünün analitik modelleri yer almaktadır.

Bölüm 5’de, gerçekleştirilen OEK protokolünün örnek bir ağ benzetim uygulaması ve analitik olarak incelenmesi sunulmaktadır. Elde edilen benzetim ve analitik sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir.

Önerilen OEK protokolünün temel özellikleri, bilime ve teknolojiye sunmuş olduğu katkılar, sonuçlar ve değerlendirmeler bölümünde ifade edilmektedir. Bu bölümde ayrıca, tasarlanan OEK protokolünü kullanan genişbant kablosuz sistemlerin geliştirilmesine yönelik öneriler de bulunmaktadır.

2. KABLOSUZ İLETİM ve GENİŞBANT KABLOSUZ AĞLAR

2.1. Giriş

Kablosuz haberleşme, 1896 yılında Guglielmo Markoni'nin kablosuz telgrafi keşfiyle başlamış ve çeşitli yeni teknoloji ve gelişmeleri de beraberinde getirerek günümüz dünyasında pek çok insan tarafından benimsenmiştir. Bu alanda son yüzyıl içerisinde radyo, televizyon ve uydu haberleşmesi gibi birçok yeni teknolojiler ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, özellikle son 20 yılda baş döndürücü gelişmelerle birlikte kablosuz haberleşme, sosyal yaşamı da yeniden şekillendirmeye başlamıştır. Yaşanan hızlı gelişmeler neticesinde günümüzde veri, ses ve görüntü gibi değişik karakteristiklere sahip küresel ölçekte bilgi iletimi dünyanın her köşesi ile yapılabilmektedir. Son yıllarda, özellikle uydu haberleşmesi, kablosuz ağlar ve hücresel haberleşme teknolojileri üzerine yoğunlaşmıştır.

Uydu haberleşmesi 1960'lı yıllarda uygulanmaya başlamıştır. İlk zamanlarda sınırlı sayıda kapasiteleri bulunan bu sistemler yaklaşık 250 ayrı ses trafiğini kotarabiliyordu. Teknolojideki hızlı gelişmelerle birlikte günümüzde veri, ses, televizyon yayını, internet erişimi ve gezgin kullanıcılar gibi birçok alanda hizmet verebilmektedir.

Hücresel haberleşme sistemlerinde ilk nesil (First Generation, 1G) analog teknoloji ile çalışan kablosuz telefonları içeriyordu. Bu cihazlar oldukça büyük ve kapsama alanları da sınırlı idi. Bu sistemler günümüz gezgin haberleşme sistemlerinin ilk sinyallerini veriyordu. Sayısal teknolojiyi kullanan ikinci nesil (Second Generation, 2G) hücresel sistemler, analog sistemlere göre daha fazla trafik taşıyabiliyor, daha güvenli ve daha kaliteli haberleşme gerçekleştirebiliyorlardı. Günümüzde ise bu teknolojiler 3G (Third Generation), 4G (Fourth Generation) olarak sürekli gelişmekte ve buna paralel olarak hem sistem kapasitesi artmakta hem de farklı veri türleri daha kaliteli transfer edilebilmektedir.

Kablosuz ağlar, kullanımı hızla artan kablosuz haberleşme sistemleriyle birlikte 1980’li yıllarda gelişmeye başlamıştır. İlk yıllarda bu alanda standartların olmayışı ağ teknolojilerinin gelişimini geciktirmiştir. IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)’nin 802.11 standartlarını tanımlamasıyla kablosuz ağlar hızla yaygınlaşmıştır. Başlangıçta 2 Mbps veri iletim hızına sahip olan bu ağlar, şimdilerde 54 Mbps veri hızlarını kullanabilmektedirler.

Bugüne kadar dünyadaki çok az gelişme kablosuz haberleşme teknolojilerinin yaptığı etkiyi yapabilmiştir ve bu alandaki gelişmelerin durmaksızın devam edeceği öngörülmektedir.

Bu bölümde, kablosuz ortam karakteristikleri ve sınırlamaları, hücresele ağlar, kablosuz yerel alan ağları, kablosuz ağ topolojileri, kablosuz çoklu erişim teknikleri, ATM ve Kablosuz ATM sistemleri açıklanmaktadır.

2.2. Kablosuz Ortam Sınırlamaları

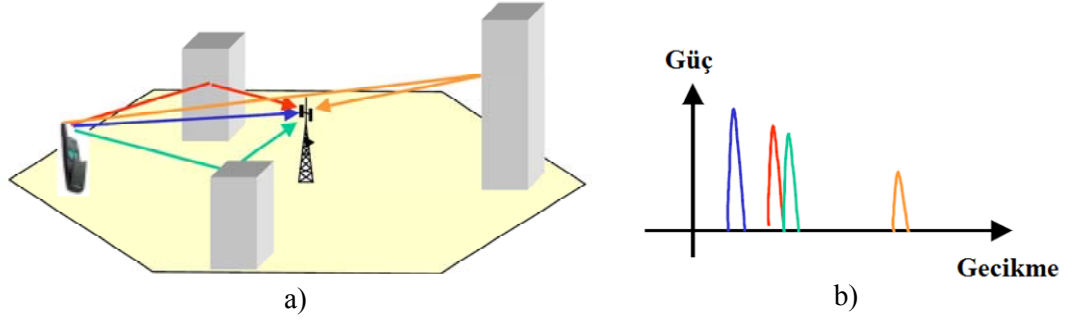
Kablosuz ortam, kablolu ortama göre çok farklı karakteristiklere sahiptir ve kestirilebilirlik ihtimali nispeten düşüktür. Kablosuz ortam fiziksel yapısından ve kullanıcıların gezgin olmasından dolayı bazı sınırlamalara sahiptir.

Kablosuz iletim ortamının, kablosuz haberleşme sistemlerinin ve ağlarının tasarımında önemli bir rolü vardır. Kablolu ortamla karşılaştırıldığında, kablosuz ortamın en büyük dezavantajı yüksek bit hata oranıdır (BER). Bir kablosuz haberleşme sisteminde BER değeri 10^{-3} gibi yüksek bir değere çıkabilmekte iken, tipik bir kablolu sistemde bu değer 10^{-10} olmaktadır. Kablosuz ortamdaki yüksek BER değeri, atmosfer gürültüsünden, sinyal yolu üzerindeki fiziksel engellerden, çok-yollu yayılımdan ve diğer sistemlerin sebep olduğu girişimlerden dolayı yüksek olmaktadır.

Aşağıdaki altbölümlerde kablosuz ortam fiziksel yapısından kaynaklanan ve sinyalin yapısında bozulmalara sebep olan etkiler açıklanmaktadır.

2.2.1. Çok-yollu yayılım

Çok-yollu yayılım (multipath), verici tarafından gönderilen sinyalin katı cisimlere çarparak yansması ve alıcıya farklı yollardan gitmesidir (Muller, 2003, Stallings, 2005, Bing, 2000). Alıcıya farklı fazlarda birden fazla sinyal geldiğinden elde edilen güçte dalgalanmalar meydana gelir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Çok-yollu yayılma: a) Çok-yollu sinyaller b) Çok-yollu sinyal güçleri.

Çok-yollu yayılım aşağıda belirtilen bazı önemli olumsuzlukların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır;

- Sönümlenme (Fading): Çok-yollu yayılım sinyalleri farklı fazlarda olduğundan, alıcıda elde edilen sinyalin gücünde azalmalara yol açabilir. Bu duruma sönümlenme (Rayleigh fading veya fast fading) denilmektedir.
- Faz iptali (Phase cancellation): Çok-yollu sinyaller 180° faz farklı olduğunda sinyaller birbirlerini sıfırlamaktadır.
- Yayılım gecikmesi (Delay spread): Bir sinyalin alıcıya farklı yollardan gelmesi farklı zamanlarda olmaktadır. Bu durum simgeler arası girişime (intersymbol interference) yol açacağından bit-hata oranı artarak sinyal kalitesinde bozulmalar meydana gelecektir.

2.2.2. Yansıma

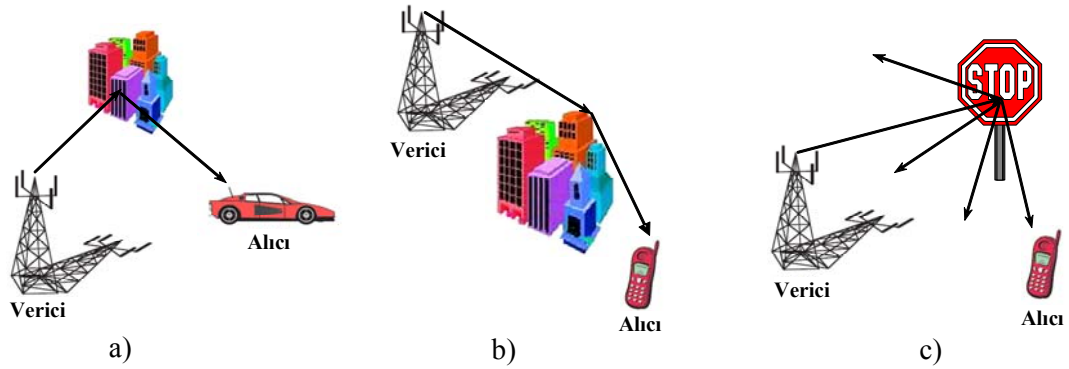
Verici tarafından gönderilen sinyal, farklı elektromanyetik özelliğe sahip bir ortama çarptığında yansıma (reflection) meydana gelir (Şekil 2.2.a). Yansıyan sinyalin genliği ve fazı, ortamın öz empedansı, sinyalin geliş açısı ve elektrik alan polarizasyonu ile yakından ilişkilidir (Garg, 2007).

2.2.3. Kırılma

Verici tarafından gönderilen sinyal, kendi dalga boyundan daha yüksek bir cismin kenarına çarptığında kırılma (diffraction) oluşur (Şekil 2.2.b). Bu durumda, cismin kenarı sinyalin kaynağıymış gibi sinyali farklı yönlerde gönderir (Stallings, 2005).

2.2.4. Dağılma

Verici tarafından yayılan sinyal, sert bir yüzeye veya sinyalin dalga boyundan küçük veya dalga boyuna yakın bir cisme çarptığında dağılma (scattering) meydana gelir (Şekil 2.2.c). Bu sinyaller, enerjinin farklı yönlerde dağılmasına sebep olur ve alıcıda farklı sinyaller gibi algılanırlar (Stallings, 2005, Gang, 2007).



Şekil 2.2: Kablosuz ortam sınırlamaları a) Yansıma b) Kırılma c) Dağılma.

2.2.5. Yol zayıflaması

Kablosuz haberleşme sistemlerinde vericiden gönderilen sinyal tüm yönlerde yayılır ve artan mesafe ile birlikte sinyalde zayıflamalar meydana gelir. Böylelikle sinyal enerjisinin küçük bir kısmı alıcıya ulaşır. Sinyalde meydana gelen bu zayıflamalara yol zayıflaması (path-loss) denir (Bing, 2000). Yol zayıflaması sadece mesafeye ve iletilen sinyalin gücüne bağlı değildir, yansıyan sinyaller, fiziksel engeller, diğer vericilerden kaynaklanan girişimlerde sinyal gücünde zayıflamalara sebep olur.

2.2.6. Doppler kayması

Doppler kayması (Doppler shift) terminallerin hareketliliği sonucunda ortaya çıkar. Verici veya alıcıdan biri diğerine göre hareket halinde ise vericiden gönderilen sinyalin frekansı ile alıcıda elde edilen sinyalin frekansı birbirinden farklı olur. Eğer verici ve alıcı birbirlerine doğru hareket ederlerse, alınan sinyalin frekansı vericiden gönderilen sinyalin frekansından yüksek olur. Verici ve alıcı birbirlerine ters yönde hareket ederse, alınan sinyalin frekansı gönderilen sinyalin frekansından düşük olur. Bu olay özellikle gezgin kablosuz haberleşme sistemlerinin tasarlanmasında önemlidir (Nicopolitidis ve diğ., 2003).

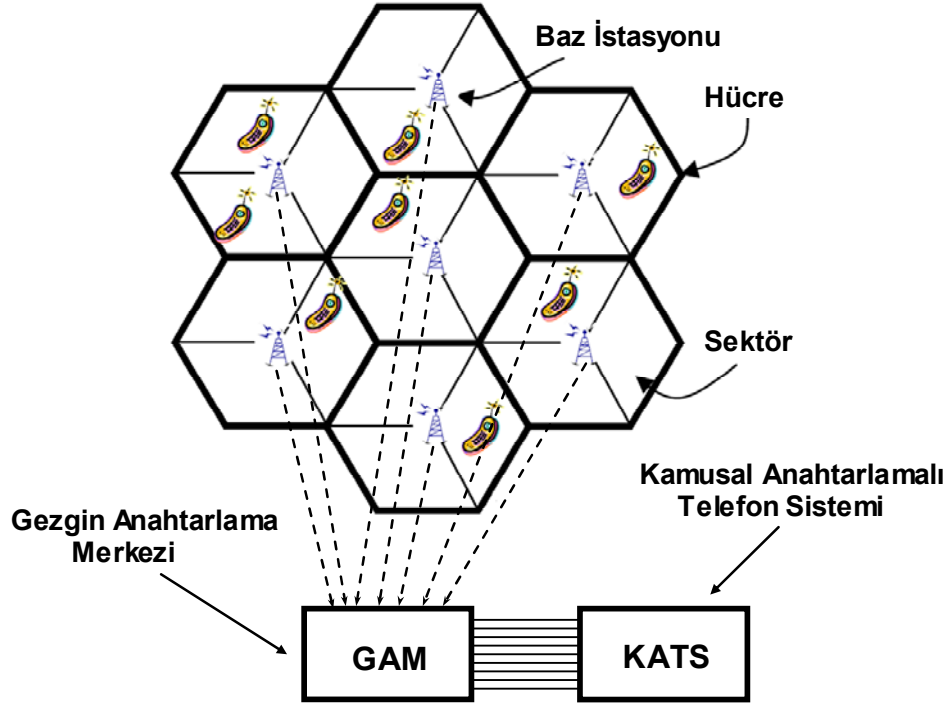
2.3. Hücresel Ağlar

Hücresel haberleşme (cellular communications), gezgin radyo haberleşmesinin kapasitesini artırmak için geliştirilmiştir. Hücresel ağlar (cellular networks) kullanılmadan önce, kablosuz gezgin telefon hizmeti çok yüksek güçlü alıcı-vericilerle gerçekleştirilmekteydi ve 80 km. yarıçapında bir alana yaklaşık 25 kanal sağlanabiliyordu. Bu sistemler bir süre sonra artan servis isteklerini karşılayamayınca, sistemin kapasitesini artırmak için, daha küçük yarıçapa sahip bir alanda, daha düşük güçlü ve çok sayıda alıcı-verici kullanma ihtiyacı doğmuştur (Stallings, 2005).

Hücreleme (cellurization), büyük bir coğrafi servis alanını hücre (cell) adı verilen küçük parçalara ayırır. Her bir hücrede bir baz istasyonu kullanılır ve mevcut bantgenişliğinin bir kısmı bu istasyona tahsis edilir (Rappaport, 2002). Bir baz istasyonuna tahsis edilen kanallar yeteri kadar uzak mesafedeki başka bir baz istasyonu tarafından tekrar kullanılarak frekansın yeniden kullanılması ve böylece kapasite artışı elde edilmiş olur.

Şekil 2.3'te temel hücresel haberleşme sisteminin yapısı görülmektedir. Baz istasyonu, bir hücredeki bütün gezgin kullanıcılar ile gezgin anahtarlama merkezi arasında köprü işlevi görür. GAM olarak ta adlandırılan gezgin anahtarlama merkezi (Mobile Switching Center, MSC), bütün baz istasyonları arasındaki trafiği kontrol

eder ve bütün hücresel sistemi kamusal anahtarlama telefon sistemi KATS'a (Public Switched Telephone Network, PSTN) bağlar (Andrew, 2003). Hücre içerisindeki bütün hareketli/sabit terminaller baz istasyonu üzerinden birbirleriyle haberleşirler.



Şekil 2.3: Hücresel sistem genel yapısı.

2.4. Kablosuz Yerel Alan Ağları

Kablosuz yerel alan ağları (KLAN, Wireless Local Area Networks–WLAN), veri iletimi için radyo frekans sinyallerini veya kızılötesi ışınları kullanan ve bir oda, bir kampüs alanı gibi sınırlı bir kapsama alanı içerisinde bilgisayarların birbirleriyle haberleşmesini sağlayan ağlardır.

KLAN'lar çeşitli üstünlüklerinden (hareketlilik, kurulum kolaylığı, düşük maliyet) dolayı kablolu eşleniklerinin yerini almaya başlamıştır. 1990'lı yılların ortalarında ISM (Industrial, Scientific and Medicine) bandı kullanımının lisans koşulu kaldırılınca, kablosuz ağlarda standartlaşma çalışmaları başlamış ve günümüze kadar çok hızlı gelişmeler yaşanmıştır (Nicopolitidis ve diğ., 2003).

2.4.1. Mikrodalga kablosuz yerel alan ağıları

Mikrodalga kablosuz yerel alan ağıları (Microwave Wireless LANs), veri iletimi için frekans spektrumunun 10^9 – 10^{11} Hz aralığını kullanır. Bu frekanslarda haberleşme yönlendirilmiş ışın örüntüleriyle mümkündür ve mikrodalga sinyaller daha çok noktadan noktaya (point to point) haberleşme için uygundur (Stallings, 2005).

Mikrodalga sinyallerin duvar vb. metal olmayan katı cisimlerden geçebilmesi bu sistemler için kapsama alanını arttırdığı için avantaj, ortak kanal girişimini ve güvenliği azalttığı için de dezavantaj oluşturmaktadır. Ayrıca mikrodalga fırınlar gibi aynı spektrumu kullanan diğer cihazlar da bu sistemlere girişim oluşturmaktadır. Bununla birlikte bu sistemlerin verici ve alıcı maliyeleri oldukça yüksektir (Nicolitidis ve diğ., 2003).

2.4.2. Kızılötesi kablosuz yerel alan ağıları

Kızılötesi kablosuz yerel alan ağıları (Infrared Wireless LANs), veri iletimi için frekans spektrumunda 10^{11} – 10^{14} Hz aralığını kullanır (Stallings, 2005). Kızılötesi kablosuz ağda yer alan verici ve alıcıların mutlaka görüş hattında (line of sight) bulunması gerekmektedir ve iletişim mesafesi de yaklaşık 10 metredir. Bu sistemler toz, nem, ışık, yağmur vb. gibi fiziksel etkilerden çok fazla etkilenmektedirler. Bu sınırlamalarından dolayı kızılötesi kablosuz ağlar, günümüzde nadiren kullanılmaktadır.

Kızılötesi ile mikrodalga arasındaki en önemli fark, kızılötesi ötesi sinyaller, duvar vb. gibi katı cisimlerden geçemez. Kızılötesi sistemlerde, mikrodalga sistemlerde karşılaşılan güvenlik ve girişim problemleri yoktur. Ayrıca kullanımı için lisans gerektirmediğinden, bir frekans tahsisine ihtiyaç duymaz (Stallings, 2005, Nicolitidis ve diğ., 2003).

2.4.3. Yayılı spektrum kablosuz yerel alan ağıları

Yayılı spektrum kablosuz yerel alan ağıları (Spread Spectrum Wireless LANs), iletim gücünü, kullanılabilir bütün spektrum boyunca yayar. Bu teknikte, bantgenişliği darbant sistemlere göre daha az etkin kullanılır. Ancak, güvenilirliği (reliability), bütünlüğü (integrity) ve koruması (security) daha yüksektir.

Yayılı spektrum sinyallerinin iletimi için iki tür modülasyon tekniği kullanılır;

- Direkt sıralı yayılı spektrum (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS)
- Frekans atlamalı yayılı spektrum (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS)

DSSS tekniğinde, iletilecek her bir bit, spektrumun tamamına yayılmış ve kodlanmış bitler ile temsil edilir. Bu işlem, veri bitlerinin ‘chip code’ adı verilen bit dizisi ile mantıksal özel–VEYA (XOR) işlemi ile gerçekleştirilir. ‘chip code’ ile veri arasındaki oran, yayılım oranı olarak adlandırılır ve genel olarak 10 ile 100 arasındadır (Nicopolitidis ve diğ., 2003). DSSS tekniği, frekans atlamalı yayılı spektrum ile kıyaslandığında hem daha fazla bantgenişliğine ve daha yüksek veri iletişim hızına sahiptir, hem de girişimlerden daha az etkilenir.

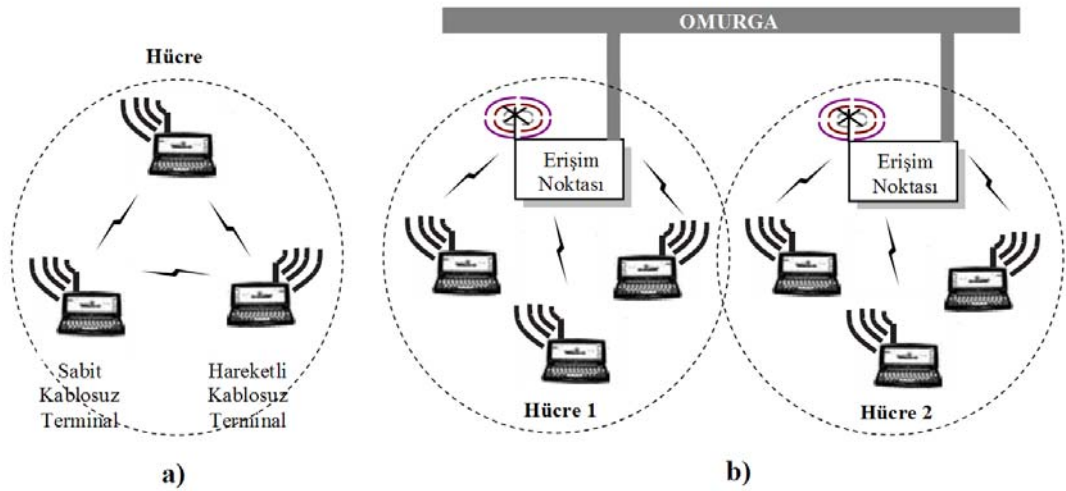
FHSS, frekans düzeni hem verici hem de alıcı tarafından bilinen ve bir frekanstan diğerine atlayarak veri iletimi gerçekleştiren dar bantlı bir taşıyıcı kullanır. Doğru senkronizasyon sağlandığında, sürekli bir mantıksal kanal elde edilmektedir (Garg, 2007, Nicopolitidis ve diğ., 2003). Bu teknikte verici bir atlama kodu seçerek sinyal gönderir. Doğru zamanda doğru vericiden gelecek sinyalleri almak için, alıcı aynı atlama koduna ayarlanır. Haberleşme için senkronizasyon sağlanmamış bir alıcı tarafından FHSS sinyali kısa süreli bir gürültü darbesi şeklinde yorumlanır.

2.5. Kablosuz Ağ Topolojileri

Kablosuz ağlar, eşe–eş (peer to peer) ağ topolojisi ve erişim noktalı (Infrastructure BSS) ağ topolojisi olmak üzere iki farklı yapıda gerçekleştirilmektedir.

Eş-eş ağ çalışma modelinde, iki ya da daha çok kablosuz terminal, bir erişim noktası olmadan birbirine bağlanır. Bu tür ağlar, geçici bağlantılar sağlamak üzere kurulan, kurulumu hızlı ve kolay olan bir yapıya sahiptir (Stallings, 2005). Ağ içerisinde bulunan bilgisayarlar birbirleri ile program, veri gibi kaynakları paylaşabilir, ancak kablo bağlantısı kullanılmadığından internet bağlantısı kuramazlar.

Eş-eş ağ modelinde ağ içindeki bütün bilgisayarlar eşit düzeydedir ve birbirlerine üstünlükleri olmaksızın kaynaklarını paylaşabilirler. Bu tür yapıyı kullanan terminaller geçici de olsa kapsama alanından çıkabileceğinden, bu ağların tam bağlanmış bir ağ topolojisi oluşturduğu düşünülmez (Nicopolitidis ve diğ., 2003). Eş-eş çalışma modeli Şekil 2.4.a.'da görülmektedir.



Şekil 2.4: KLAN topolojileri: a) eş-eş ağ b) erişim noktalı ağ.

Erişim noktalı ağlarda, hücre içerisinde iletişim koordinasyonunu sağlayan erişim noktaları (Access Point, AP) kullanılır (Şekil 2.4.b). Birbirleriyle iletişim kurmak isteyen terminaller erişim noktasını kullanmak zorundadır. Bu yapıdaki ağlar genelde merkezi ortam erişim kontrol tekniğini (polling, yoklamalı) kullanırlar (Nicopolitidis ve diğ., 2003). Uygulama karmaşıklığının terminallerden çok erişim noktasında olduğu bu teknikte, bütün protokol algoritmaları burada gerçekleştirilmektedir.

2.6. Kablosuz Çoklu Erişim Teknikleri

Kablosuz ortamda haberleşme için sınırlı bir bantgenişliği kullanılmaktadır. Kablosuz sistemin, bu sınırlı bantgenişliğini tüm kullanıcılara etkin bir biçimde paylaştırması istenir. Birden fazla kullanıcının sistem başarımını en az düşürecek şekilde, aynı anda sınırlı bantgenişliğini paylaşmasına çoklu erişim denilmektedir (Rappaport, 2002, Prasad ve Ruggieri, 2003). Çoklu erişim teknikleri (Multiple Access Control, MAC) darbant (narrowband) ve genişbant (wideband) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Rappaport, 2002).

Dartbantlı oklu erişim tekniklerinde mevcut bantgenişliği çok sayıda darbantlı kanallara bölünerek kullanıcılar arasında paylaştırılırken, genişbantlı çoklu erişim tekniklerinde kullanıcıların mevcut spektrumun geniş bir bölümünü kullanmasına izin verilir (eken, 2004, Rappaport, 2002). Genişbant oklu erişim tekniklerinde birden çok verici aynı anda kanalı kullanabilir. Örneğin darbantlı TDMA sisteminde, kullanıcılara farklı zaman dilimleri (time–slot) tahsis edilir ve her kullanıcı sadece kendi zaman diliminde veri iletimi gerçekleştirebilirken, genişbant CDMA sisteminde bütün kullanıcılar aynı anda kanalı kullanabilirler.

Kablosuz oklu erişim teknikleri üç ana grup altında incelenmektedir;

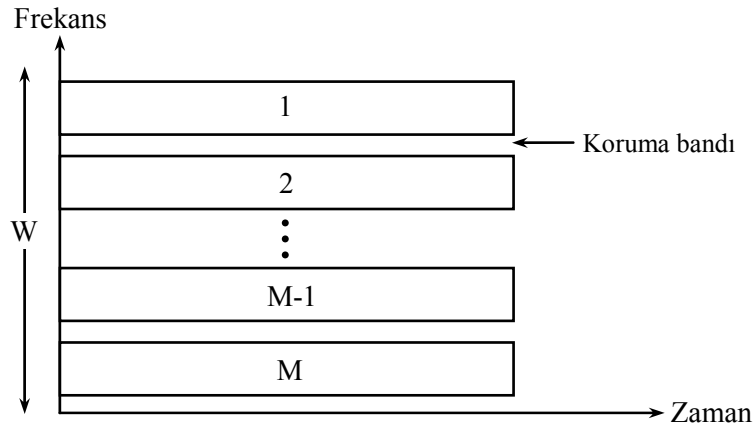
- Sabit Kanal Tahsisli OEK Teknikleri (Fixed Assignment MAC Techniques),
- Rastgele Erişimli OEK Teknikleri (Random Access MAC Techniques),
- İstek Güdümlü OEK Teknikleri (Demand Assignment MAC Techniques).

2.6.1. Sabit kanal tahsisli OEK teknikleri

Sabit kanal tahsisli OEK teknikleri her bir kullanıcıya önceden belirlenmiş, sabit ortam kaynaklarını ayırır. Eğer iletişim sürekli veri iletimi gerektiriyorsa (ses iletimi veya video konferans gibi) ve gecikmelerin düşük olması isteniyorsa, bu ortam erişim tekniklerinden biri tercih edilir (Garg, 2007, Prasad ve Ruggieri, 2003). Bu teknikler bağlantılar için sabit bantgenişliği ayırdığından, ani değişmeler gösteren patlamalı çoklu ortam uygulama trafiklerinin iletimi için uygun değildirler.

2.6.1.1. FDMA

FDMA (Frequency Division Multiple Access) tekniği toplam frekans bandını bağımsız alt bantlara bölerek her kullanıcıya bir frekans bandı tahsis eder. Böylece aynı anda birden fazla kullanıcının iletim ortamını kullanmasına olanak sağlar (Rappaport, 2002, Garg, 2007). Şekil 2.5'te FDMA tekniğinde frekans kanalları görölmektedir. Buradaki 'W' toplam bantgenişliğini göstermektedir ve 'M' adet ayrı frekans kanalına bölünmüştür. Komşu kanal girişimlerini önlemek için frekans kanalları arasına koruma bantları eklenmiştir (Garcia ve Widjaja, 2001).



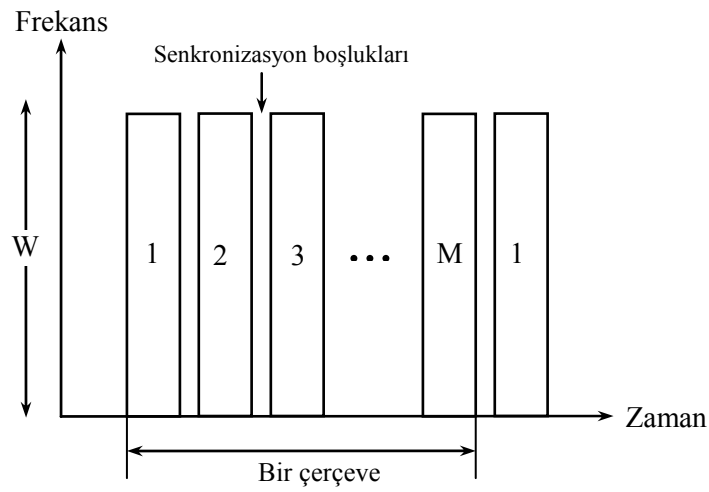
Şekil 2.5: FDMA.

FDMA tekniğinin temel özellikleri şunlardır;

- FDMA kanalı bir anda sadece bir kullanıcıya tahsis edilir.
- Eğer FDMA kanalı kullanılmıyor ise, kanal boş duruma geçer; ancak, diğer kullanıcılar tarafından sistem kapasitesini artırmak ve paylaşmak için kullanılamaz. Bu durum kaynakların verimli kullanılamaması anlamına gelir.
- FDMA kanallarının bantgenişliği oldukça dardır (AMPS için 30 kHz) ve sadece darbant sistemlere uygulanabilir.
- Komşu kanal girişimlerini en aza indirmek için gelişmiş RF filtrelerine ihtiyaç duyar.
- TDMA sistemlere göre daha az karmaşıktır.
- Alıcı ve verici aynı zamanda çalıştıklarından gezgin kullanıcılarda çiftleyiciye (duplexer) ihtiyaç duyar ve dolayısıyla maliyet artar.

2.6.1.2. TDMA

TDMA (Time Division Multiple Access) tekniğinde bir çerçeve Şekil 2.6'da görüldüğü üzere belli sayıda örtüşmesiz (non-overlapping) zaman dilimine ayrılır ve her bir zaman dilimine 'time slot' adı verilir. Her terminal kendisine tahsis edilen zaman dilimi veya dilimlerinde kanalın kullanım hakkına sahiptir. Zaman aralıkları arasındaki boşluklar baz istasyonu ile terminaller arasındaki senkronizasyonu sağlar (Garcia ve Widjaja, 2001, Rappaport, 2002).



Şekil 2.6: TDMA.

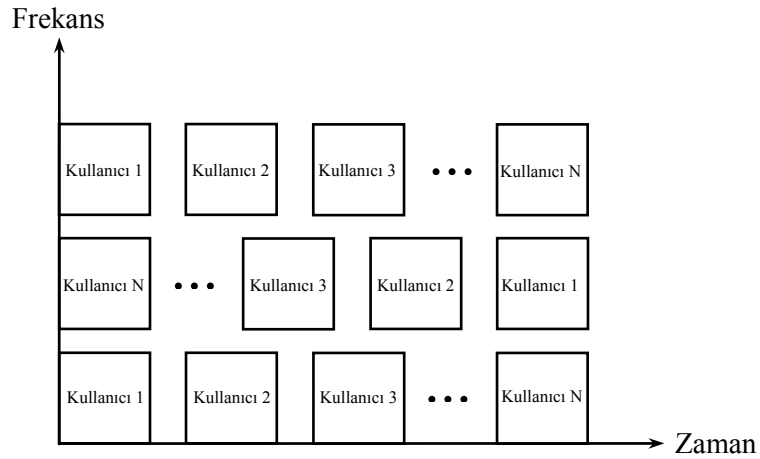
TDMA tekniğinin temel özellikleri şunlardır;

- Senkronizasyon gerektirir. Senkronizasyon bozulduğunda kanallar birbirine girebilir.
- Kullanıcılar için veri iletimi sürekli değildir, patlamalıdır (bursty). Böylece gönderici veri ilemediği durumlarda 'boşta' durumuna geçerek daha az güç harcanmasını sağlar.
- Veri iletimi sürekli olmadığından, kullanıcılar için el-değişme (hand-off, handover) süreci daha basittir.
- Kullanıcılara bir çerçeve içerisinde birden fazla zaman dilimi tahsis edilebildiğinden, bantgenişliği kullanıcıların isteklerine uygun olarak kullanılabilir (Rappaport, 2002).

2.6.1.3. CDMA

CDMA (Code Division Multiple Access) tekniğinde iletim ortamındaki tüm kullanıcılar aynı anda, aynı frekans bandını kullanarak haberleşirler. Bu sistemlerde darbantlı bilgi sinyali, çok genişbantlı yayılmış sinyal adı verilen (spreading signal) bir sinyal ile çarpılır. Yayılmış sinyal, pseudo-noise (PN) adı verilen bir kod sırasındır. Sistemdeki her kullanıcı yalnızca kendisine ait ve diğer PN sinyallerine yaklaşık olarak dik (orthogonal) olan bir PN kod sözcüğüne sahiptir. Verici, PN kod-sözcüğü ile bilgi sinyalini çarparak gönderir. Gönderilen bilgiyi tespit edebilmek için, alıcının verici tarafından kullanılan PN kod-sözcüğünü bilmesi gerekir. Bu durumda alıcı, kullanıcının kod dizisini bilir ve işareti aldıktan sonra kodunu çözerek orijinal bilgiyi yeniden elde eder. Diğer bütün bilgiler alıcıda gürültü olarak görülür. Bütün kullanıcılar birbirlerinin bilgilerini bilmeden, birbirlerinden bağımsız olarak çalışır.

CDMA tekniğinde tüm kullanıcılar aynı frekans bandını aynı anda kullanabileceğinden, iletişim kanalının paylaşılmasıyla ilgili herhangi bir planlamaya gerek kalmaz. Kullanılan PN kod uzayı, frekans uzayına oranla daha büyük olduğundan bantgenişliği sınırlaması kısmen ortadan kalkmaktadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: CDMA.

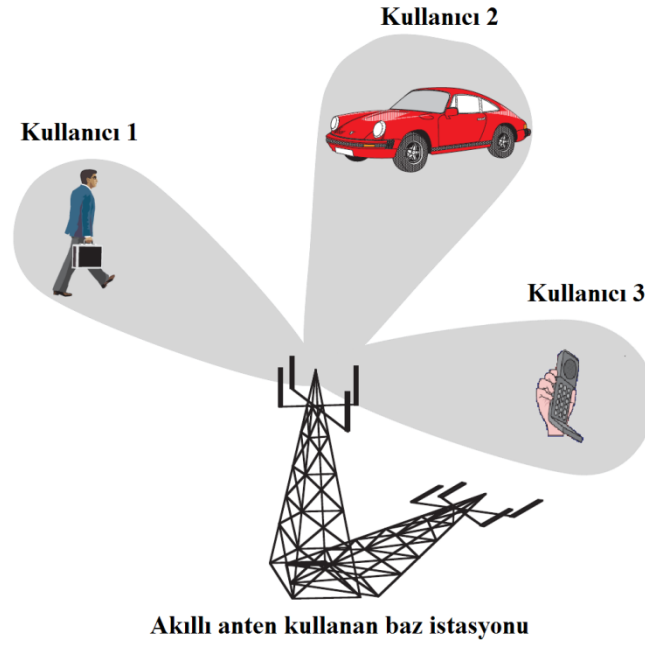
CDMA tekniğinin temel özellikleri şunlardır;

- İkileyici (duplexing) tekniği olarak ister FDD ister TDD kullanılsın, CDMA sisteminde kullanıcılar aynı frekans bandını paylaşırlar.
- Sinyal geniş bir spektruma yayıldığından, çok-yollu yayılımlarından ve girişimlerden fazla etkilenmez.
- Teorik olarak, sınırsız sayıda kullanıcı aynı kanalı aynı zamanda kullanabilirler. Ancak, kullanıcı sayısı arttıkça gürültü oranı artmaya başlar ve kalite giderek düşer.
- Kanal veri iletim hızları çok yüksektir (Rappaport, 2002).
- Eğer alıcıda istenmeyen kullanıcının gücü istenilir kullanıcıdan daha yüksek sezilirse, bu durumda yakın-uzak (near-far) problemi oluşur.
- Yakın-uzak (near-far) probleminin üstesinden gelmek için gezgin kullanıcılarda çok hassas güç kontrol sistemlerine ihtiyaç duyar (Muller, 2003).

2.6.1.4. SDMA

Kablosuz haberleşme sistemlerinin en büyük zorluklarından biri, sınırlı olan spektrumun, sayısı sürekli artan kullanıcılar arasında paylaştırılmasıdır. Diğer bir ifade ile kapasite problemidir. FDMA, TDMA ve CDMA teknikleri ile artan kapasite ihtiyacı bir miktar karşılanmıştır; fakat sadece bu tekniklerin kullanımı günümüz uygulamalarına yeterli gelmemektedir.

SDMA (Space Division Multiple Access) tekniğinde kullanıcılar uzaysal olarak ayrılarak kablosuz spektrumun daha etkin kullanılması sağlanır. Bu teknik, bir hücre içerisinde bir frekansın tekrar kullanılmasına olanak sağlar. Bir hücreyi sektörlerle bölerek aynı anda, aynı frekansı kullanan farklı sektörlerdeki kullanıcıların baz istasyonu ile iletişim kurmasını sağlar (Şekil 2.8). Böylece frekansın yeniden kullanılması mümkün olur.



Şekil 2.8: SDMA.

2.6.2. Rastgele erişimli OEK teknikleri

Sabit hızda sürekli veri iletimi (dosya transferi) gerçekleştiren kullanıcılar için, sabit kanal tahsisli OEK teknikleri haberleşme kaynaklarının etkin paylaşımı amacıyla tercih edilebilir. Ancak patlamalı özellikler gösteren uygulama trafikleri için, bu teknikler kanal kaynaklarının boşa harcanmasına sebep olmaktadır. Rastgele erişimli OEK teknikleri (Random Access MAC Techniques), verilerin iletimi için kanala erişimde daha etkin ve esnektir (Garg, 2007). Bu protokollerde (p-ALOHA, slotted-ALOHA, CSMA gibi), gönderilecek verisi olan her kullanıcı, ağı serbest erişim hakkına sahiptir. Bu serbestliğe bağlı olarak, kullanıcılar ağı erişirlerken çekişmeler (contention) meydana gelir. Çekişmeler ise çarpışmalara yol açabildiğinden verilerin yeniden gönderilmesi gerekebilmektedir (Prasad ve Ruggieri, 2003).

2.6.2.1. p-ALOHA

p-ALOHA (pure-ALOHA) protokolünde, ortama erişim koordinasyonu bulunmamaktadır. Diğer bir ifade ile kullanıcı herhangi bir zamanda ortama erişebilir. Gönderilecek verisi olan bir kullanıcı, verisini hemen gönderir (Prasad ve Ruggieri, 2003, Garg, 2007). Veriler paketler halinde gönderilir ve kullanıcı bir paketi gönderdikten sonra, ACK (acknowledge) sinyalinin gidip-gelme (round-trip

delay) süresince bekler. Eğer ACK sinyali alınmazsa, paketin çarpışmalardan dolayı kaybolduğu düşünülür ve paket tekrar gönderilir. Paket tekrar gönderilmeden önce, yeni çarpışmaları önlemek için rastgele seçilmiş bir bekleme süresi kadar beklenir. Bu yöntemin en önemli avantaj ve dezavantajları şunlardır:

Avantajları:

- Patlamalı veri trafiği kullanan terminallerin fazla olduğu ağlarda başarımlı yüksektir.
- Ağdaki terminal sayısının değişimine kolay uyum sağlar.

Dezavantajları:

- Teorik olarak en yüksek iş çıkarma oranı % 18.4 olarak elde edilmiştir.
- Paketlerin tekrar iletimi için kuyruk tamponlarına ihtiyaç duyar.

2.6.2.2. Slotted–ALOHA

Slotted–ALOHA protokolünde iletim süresi zaman dilimlerine (time slot) bölünür. Her bir zaman dilimi, bir paketi gönderme süresi ile eşit tutulur ve paket iletimi zaman diliminin başında başlar. Bütün kullanıcılar senkronize edilir. Gönderilecek verisi olan bir kullanıcı, sıradaki zaman diliminin başını bekledikten sonra verisini gönderir. Senkronize edilmiş zaman dilimleri tekniği ile herhangi bir paket için olası bir çarpışma aralığı, iki paket süresinden bir paket süresine düşürülmüştür (Prasad ve Ruggieri, 2003, Garg, 2007). Bu yöntemin en önemli avantaj ve dezavantajları şunlardır:

Avantajları:

- p–ALOHA protokolüne göre verimliliği iki kata kadar yükselebilir.
- Ağdaki terminal sayısının değişimine kolay uyum sağlar.

Dezavantajları:

- Teorik olarak en yüksek iş çıkarma oranı % 36.8 olarak elde edilmiştir. Bu oran p–ALOHA protokolüne nispeten daha iyi olmasına karşın diğer OEK tekniklerine göre oldukça düşüktür.

- Paketlerin tekrar iletimi için kuyruk tamponlarına ihtiyaç duyar.
- Senkronizasyon gerektirir.

2.6.2.3. CSMA

Kablolu ve kablosuz LAN’larda yaygın olarak kullanılan CSMA (Carrier Sense Multiple Access, CSMA) protokolü, p–ALOHA ve slotted–ALOHA protokollerinin geliştirilmiş ve iyileştirilmiş şeklidir (Garg, 2007). p–ALOHA ve slotted–ALOHA protokollerinden farklı olarak bu protokolde, her bir terminalde iletişim ortamında taşıyıcının olup–olmadığını dinleme (carrier sense) yeteneği bulunmaktadır. Ortamdaki taşıyıcının dinlenmesi yaklaşımı, çarpışma aralıklarının en aza indirilmesi için kullanılır. Veri iletimi yalnızca ortam boş durumda olduğunda yapılır. İki kullanıcı arasındaki yayılım gecikmesinden dolayı, bir kullanıcı veri iletimine başlamışken, diğer bir kullanıcı da ortamı boş düşünüp veri iletimine başlayabilir, bu durumda çarpışma meydana gelir. ACK bilgisini alamayan gönderici çarpışmanın olduğunu sezer ve rastgele bir sürenin sonunda tekrar veri paketini göndermeye çalışır (Prasad ve Ruggieri, 2003, Garg, 2007). CSMA, kablolu ortamlarda CSMA/CD (Carries Sense Multiple Access / Collision Detection) olarak kullanılırken, kablosuz ortamlarda CSMA/CA (Carries Sense Multiple Access / Collision Avoidance) olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemin en önemli avantaj ve dezavantajları şunlardır:

Avantajları:

- İletim hattının kullanımı (utilization) p–ALOHA ve slotted–ALOHA protokollerinden çok yüksektir.
- Büyük boyutlu veriler için küçük boyutlu kontrol çerçeveleri kullandığından çarpışma olasılığını azaltır.
- Ağdaki terminal sayısının değişimine kolay uyum sağlar.
- Senkronizasyon gerektirmez.

Dezavantajları:

- Saklı terminal (hidden terminal) problemi bulunmaktadır.

- Yoklamalı ortam erişim tekniği olduğundan iletişim başlamadan önce el sıkışma sinyalleri kullanılır.
- Kullanıcı sayısının artması başarımı düşürür.

2.6.3. İstek güdümlü OEK teknikleri

İstek güdümlü OEK teknikleri (Demand Assignment MAC Techniques), mevcut bantgenişliğini kullanıcıların veri trafik ihtiyaçlarına (veri, ses, görüntü) göre tahsis etmeye çalışır (Gummala ve Limb, 2000). Bağlantılara servis kalitesi desteği sağlayan ATM, bu protokoller için önemli bir motivasyon sağlamıştır. Gecikmeye duyarlı gerçek zamanlı çoklu ortam trafiklerinin, belirli bir servis kalitesi desteği ile iletimi rastgele erişimli OEK protokolleri ile oldukça zordur. Bu tür uygulamalarda, hem uçtan–uca gecikmenin hem de gecikme değişiminin (jitter) garanti edilmesi gereklidir. Böyle bir servis garantisi işlemi ise ancak, bir erişim noktasının terminallerin ihtiyaçlarını değerlendirerek, mevcut bantgenişliğini en etkin ve uygun kullanmasıyla gerçekleştirilebilir.

İstek güdümlü OEK tekniklerinde istek, planlama ve veri iletimi olmak üzere üç aşama bulunmaktadır. Birinci aşamada terminaller erişim noktasına bağlantı isteğinde bulunurlar. İsteği alan baz istasyonu, ikinci aşamada, terminalin isteğine cevap verecek şekilde mevcut bantgenişliğinden bu terminale ayırır. En son aşamada terminaller kendilerine tahsis edilen bantgenişliğini kullanarak çekişmeye girmeden (contention–free) veri iletimini gerçekleştirirler.

Son yıllarda istek güdümlü OEK tekniği kullanılarak geliştirilmiş birçok araştırma/geliştirme bulunmaktadır. MASCARA (Mobile Access Scheme based on Contention and Reservation for ATM) (Mikkonen ve diğ., 1998), rezervasyon ve çekişme tabanlı erişim tekniklerini içeren TDMA/TDD tekniğine dayalı OEK protokolüdür. 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 alış yönündedir. Tüm gezgin terminallere güncel zaman çerçevesinin yapısı ve veriş yönündeki iletim slotlarıyla ilgili bilgi vermek ve önceki çerçeveden gelen isteklere yanıt vermek (ACK) için kullanılır.

Veri iletimi aşamasında Bİ ile gezgin terminaller arasındaki veri iletimi gerçekleştirilir. Rezervasyon aşaması küçük istek slotlarından oluşur ve bu slotlar terminallerin istek ya da kontrol paketlerini Bİ'ye iletmelerini sağlar.

DQRUMA (Karol ve diğ., 1995) protokolü özellikle paket anahtarlama için tasarlanmıştır ve ATM'in farklı servis sınıflarına destek sağlamak için etkin bantgenişliği paylaşım tekniği sunmaktadır. Protokolde kullanılan çerçeveler çok küçük ve sabit boyuttadır. İstek-erişim kanalı (RA) ve veri iletim kanalı (Xmit) olmak üzere TDMA tekniğine dayanan bir zaman dilimi yapısı bulunmaktadır.

Standart veri çerçevesi; bir istek mini zaman dilimi (İMZD) (rezervasyon aşaması), daha fazla iletilecek verisinin olup olmadığını gösteren bir "piggybacking" alanı (PG) ve bir veri zaman dilimi (veri iletim aşaması) kapsar. DQRUMA çerçevesiyle sadece bir veri paketi taşınabilir. İstek mini zaman dilimlerine slotted-ALOHA protokolüyle erişilir.

Standart alış çerçevesi; ACK alanı, iletim-izni (İİ) alanı ve alış veri zaman diliminden oluşur. ACK alanı veri çerçevesinin İMZD'ye bilgi sağlar. Veri ve alış yönü için FDD yöntemi kullanıldığından veri çerçevesindeki isteğe hemen yanıt (ACK) verilir. Veri ve alış veri zaman dilimleri boş olduğunda bunların yerine çok sayıda İMZD ve ACK alanı kullanılır. Veri ve alış çerçevesi N'e bölünür. Veri çerçevesinde N-1 adet istek küçük zaman dilimi, alış çerçevesinde N-1 adet ACK alanı ve bir adet İİ alanı bulunur. Boş veri zaman dilimlerinin bu şekilde kullanılması bant genişliğinin etkin kullanımını sağlar.

Bu tez çalışmasıyla gerçekleştiren yeni ortam erişim kontrol protokolünde istek güdümlü OEK yaklaşımından faydalanılmıştır.

2.7. Genişbant Ağlar ve ATM Teknolojisi

Genişbant ağlar, (Broadband-Integrated Services Digital Network, B-ISDN) mikrodalga teknolojisine dayanan, sayısal veri, ses ve görüntü gibi farklı veri trafiklerinin iletimi için tasarlanan ağlardır.

ATM, B-ISDN için ISO–OSI referans modelinin ilk iki işlevsel katmanını içererek tanımlanan ve veri, ses, görüntü gibi çoklu ortam trafiklerinin aynı ortamda hızlı bir şekilde aktarılmasını sağlayan bir çoklama ve anahtarlama teknolojisidir (Çölkesen ve Örencik, 2003, Stallings, 2004). ATM ile daha esnek hale getirilen hız ve bantgenişliği, kullanıcı isteğine göre tahsis edilebilmekte ve ara bağlantılarda kanallar dinamik olarak değiştirilebilmektedir.

ATM, paket ve devre anahtarlama tekniklerinin üstün yönlerini birleştirmektedir. Paket anahtarlama tek bir fiziksel hat üzerinden istatistiksel çoklama yöntemi kullanarak ağ yapısından kaynaklanan gecikmeleri azaltırken, devre anahtarlama hücreleri basit ve kısa sürede işleyerek, hata düzeltme işlemlerini uç cihazlara bırakır (Sreetharan and Subramaniam, 2002).

ATM, bağlantı yönelimli bir ağ teknolojisidir. İki düğüm arasında veri iletişiminin gerçekleştirilebilmesi için, önce düğümler arasında bağlantının kurulması gerekir. Bağlantı kurulduktan sonra, aktarılacak veri paketleri (hücreler) bu yol üzerinden, alıcı ve verici adresleri veri paketlerinin içerisine konulmadan gönderilir (Çölkesen ve Örencik, 2003).

Tez çalışması ile gerçekleştiren OEK protokolü özellikle genişbant ağlar için akıllı antenler kullanarak farklı veri trafiklerinin iletimini gerçekleştirmektedir ve ATM'in standart bütün servis sınıflarına (CBR, VBR, ABR, UBR) hizmet vermektedir.

2.7.1. ATM mantıksal bağlantıları

ATM ağlardaki mantıksal bağlantılar, sanal kanal bağlantıları (Virtual Channel Connections, VCC) olarak adlandırılır. Sanal yol (Virtual Path, VP) ve sanal kanal (Virtual Channel, VC) olmak üzere iki çeşit sanal bağlantı vardır (Stallings, 2005). Bir sanal yol, aynı uç noktalara sahip çok sayıda sanal kanaldan oluşur (Şekil 2.9). Sanal kanal ise, aynı servis düzeyine sahip uygulama trafiklerini taşımak üzere kullanılır.

Hücrelerin iletilmesinden önce iki uç nokta arasında ATM adresleri yardımıyla sanal bir devrenin kurulması gerekmektedir. Hücreler, bağlantı kurulumu sırasında hücre başlığına yerleştirilen sanal yol ve sanal kanal değerlerine (VPI/VCI) göre anahtarlanır ve her bir anahtardan geçtiklerinde yeni VPI/VCI değerleri ile yüklenirler (Çeken, 2004).

ATM bağlantıları kalıcı (permanent) ve anahtarlama (switched) olmak üzere iki farklı sanal devre ile oluşturulabilir (Ertürk ve Özcerit, 2002).

Mantıksal bağlantıların aşağıda ifade edildiği gibi bazı önemli avantajları bulunmaktadır;

- Ağın başarımını ve güvenilirliğini artırır,
- Ağın mimari yapısını basitleştirir,
- Bağlantı kurma ve işlem sürelerini azaltır,
- Ağın hizmet kabiliyetini artırır.



Şekil 2.9: ATM’de kullanılan sanal yollar ve sanal kanallar.

2.7.2. ATM hücre yapıları

ATM, verilerin iletimi için 5 bayt başlık (header) ve 48 bayt yükten (payload) oluşan toplam 53 baytlık sabit uzunlukta hücreler kullanır. Bu şekilde sabit uzunlukta ve küçük hücre kullanımının oldukça önemli avantajları bulunmaktadır (Stallings, 2005). Bunlar aşağıda maddeler halinde ifade edilmiştir;

- Küçük hücre kullanımı, yüksek öncelikli hücreler için kuyruk gecikmesini azaltır. Zira sistem kaynaklarına erişim hakkı elde etmiş bir düşük öncelikli hücreden kısa bir süre sonra ulaşan yüksek öncelikli hücreler daha az bekler.

- Çok yüksek veri iletim hızına sahip ATM için önemli olan etkin anahtarlama, sabit uzunluktaki hücreler ile daha iyi sağlanabilir.
- Sabit uzunlukta hücreler kullanarak, anahtarlama mekanizmasının donanımsal gerçekleştirilmesi daha kolaydır.

Şekil 2.10’da ATM hücre yapıları görülmektedir. Hücre içerisinde kullanılan alanlar ve görevleri kısaca aşağıda açıklanmıştır:

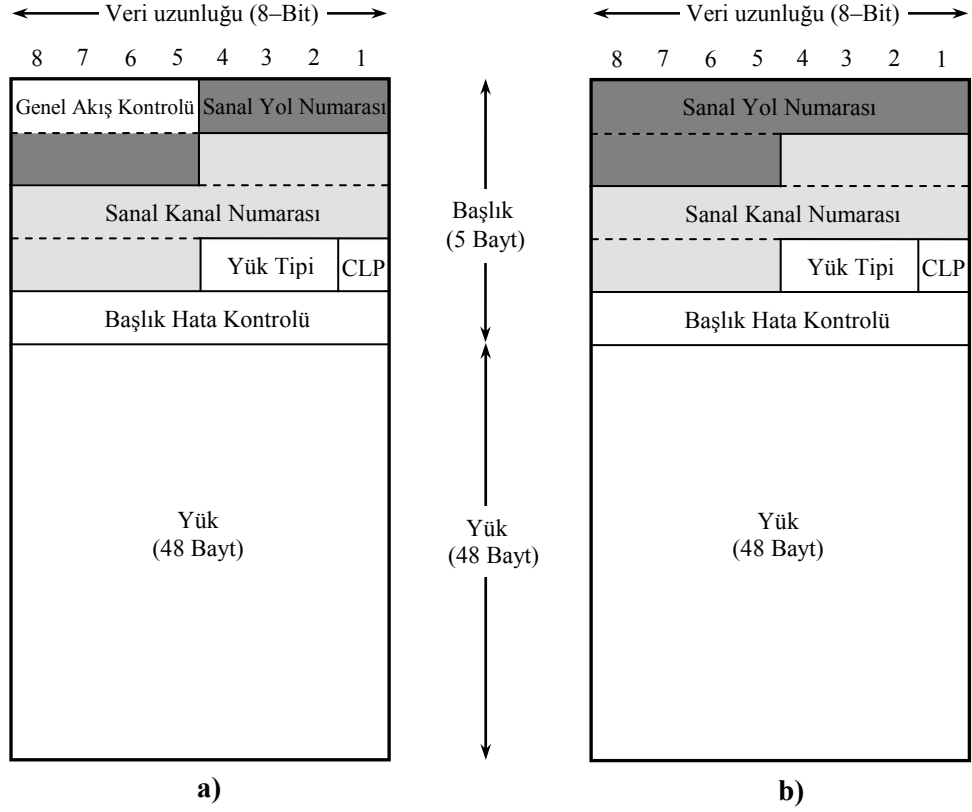
Genel Akış Kontrolü (Generic Flow Control, GFC): Bu alan kullanıcı–ağ arayüzü (User–Network Interface, UNI) arasında hücre akış ve hata kontrolünü sağlamakla görevlidir.

Sanal Yol Numarası (Virtual Path Identifier, VPI): VCI değeri ile birlikte hücrenin ait olduğu sanal bağlantıyı tanımlamak için kullanılır. 48 baytlık yük için çok büyük olacağından, burada hedef ağ adresi kullanılmaz (IBM, 1995). 8 bitten oluşan bu alan 256 farklı sanal yol oluşturabilecek şekilde, hücrenin gideceği bir sonraki hedefi belirler.

Sanal Kanal Numarası (Virtual Channel Identifier, VCI): VPI değeri ile birlikte hücrenin ait olduğu sanal bağlantıyı tanımlamak için kullanılır. 16 bitlik bu alan ile bir sanal yol içerisinde 65536 adet sanal kanal tanımlanabilir. VCI bitlerinden bazıları (VCI=0 ile VCI=15 arası ve VCI=16 ile VCI=31 arası) işaretleşme, bakım ve kaynak yönetimi gibi işlemler için ayrılmıştır.

Yük Tipi (Payload Type, PT): Hücre içerisindeki 48 baytlık yük (veri) tipinin tanımlanmasında kullanılır. 8 farklı yük tipi tanımlanabilir.

Hücre Kaybı Önceliği (Cell Loss Priority): Bu alan tıkanıklık durumunda ağa yardımcı olmak için kullanılır. Bir bitlik bu alan “0” olduğunda hücreler yüksek önceliğe sahiptir ve göz ardı edilemez. “1” olduğunda ise düşük önceliğe sahiptir ve göz ardı edilebilirler (Stallings, 2004).



Şekil 2.10: ATM Hücre yapıları a) ATM UNI Hücresi b) ATM NNI Hücresi

Başlık Hata Kontrolü (Header Error Control, HEC): 8 bitten oluşan bu alan, hücrenin başlık bilgisinde meydana gelebilecek tek bitlik hataların düzeltilmesinde ve iki bitlik hataların tespitinde kullanılır (Stallings, 2005).

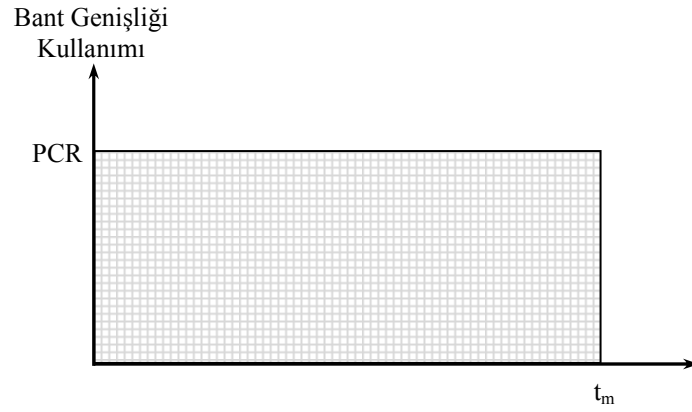
2.7.3. ATM servis sınıfları

ATM ağlar, veri, ses ve görüntü gibi farklı tip trafiklerin aynı anda iletilebilmesi için tasarlanmıştır. Her ne kadar bütün paketler sanal kanallar boyunca 53 baytlık hücreler şeklinde iletirse de, her bir paketin ağ içerisindeki hareketi o paketin trafik karakteristiklerine ve uygulamanın servis kalitesi gereksinimlerine bağlıdır. Örneğin gerçek zamanlı video trafiği en az gecikme değişimi ile iletilmelidir. ATM ağlarda, terminaller tarafından gerekli servis tipinin belirlenmesi için 5 adet servis sınıfı tanımlanmıştır. Bunlar gerçekleştirilen tez çalışmasında da esas alınmıştır.

2.7.3.1. Sabit bit iletim hızı

Sabit bit iletim hızı (Constant Bit Rate, CBR), bağlantı süresince sabit veri iletim hızı gerektiren servis sınıfıdır. Bu servis sınıfı hem gecikme hem de gecikme değişimine duyarlıdır (IBM, 1995). CBR servis sınıfının ihtiyaç duyduğu sabit bit iletim hızı, en yüksek hücre iletim hızı (Peak Cell Rate, PCR) değeri ile belirlenir (Şekil 2.11). CBR genellikle aşağıdaki uygulamalarda kullanılır;

- Görüntü veya ses dağıtımı (televizyon, uzaktan öğrenme),
- Sesli veya görüntülü kaynak isteği,
- Etkileşimli ses iletimi (telefon).



Şekil 2.11: CBR servis sınıfı için bant genişliği kullanım karakteristiği.

Tablo 2.1’de görülen ITU–T’nin G.114 standardına göre tek yönlü ses haberleşmesi için gecikme sınırları bu tezde sunulan benzetim modellerinde de esas alınmıştır.

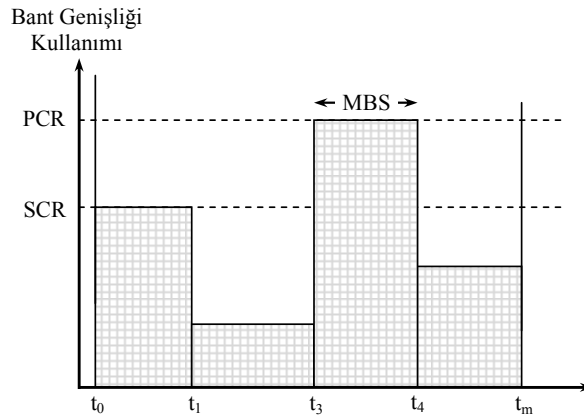
Tablo 2.1: Sayısal ses haberleşmesinde kabul edilebilir gecikme sınırları.

Gecikme	Kabul edilebilirlik
0 –150 ms	Kabul edilebilir
150 – 400 ms	Düşük servis kalitesi göz önüne alınarak kabul edilebilir
400 ms ve üzeri	Kabul edilemez

2.7.3.2. Gerçek zamanlı değişken bit iletim hızı

Gerçek zamanlı değişken bit iletim hızı (real-time Variable Bit Rate, rt-VBR), gecikme ve gecikme değişimine karşı çok hassas, zaman duyarlı uygulamaların ihtiyaç duyduğu servis sınıfıdır. CBR servis sınıfı ile arasındaki fark; rt-VBR servis sınıfının bit iletim hızı zamanla değişen, patlamalı (bursty) trafiklere hizmet vermesidir. Örneğin, standart video sıkıştırma tekniği, kapasiteleri farklı büyüklükteki çerçevelerin (frame) arka-arkaya sıralanmasını içerir. Bu nedenle gerçek zamanlı video haberleşmesi, eşit zaman aralıklarında (uniform) sırasıyla çerçeve iletimi gerektirdiğinden, veri iletim hızında değişiklikler olmaktadır. Ayrıca CBR servis sınıfı ile kıyaslandığında ağın daha esnek çalışmasını sağlar (Stallings, 2005). rt-VBR servis sınıfı PCR, SCR (Sustainable Cell Rate, sürdürülebilir hücre iletim hızı) ve MBS (Maximum Burst Size, en yüksek patlama boyutu) trafik tanımlayıcıları ile ifade edilir (Şekil 2.12). Gerçek zamanlı değişken bit iletim hızı aşağıdaki uygulamalarda kullanılır;

- Etkileşimli sıkıştırılmış video,
- Telefon konuşmaları,
- Sesli posta.



Şekil 2.12: VBR servis sınıfı için bant genişliği kullanım karakteristiği.

2.7.3.3. Gerçek zamanlı olmayan değişken bit iletim hızı

Gerçek zamanlı olmayan değişken bit iletim hızı (Non-Real Time Variable Bit Rate, nrt-VBR), gecikme ve gecikme değişimine rt-VBR servis sınıfı kadar çok duyarlı

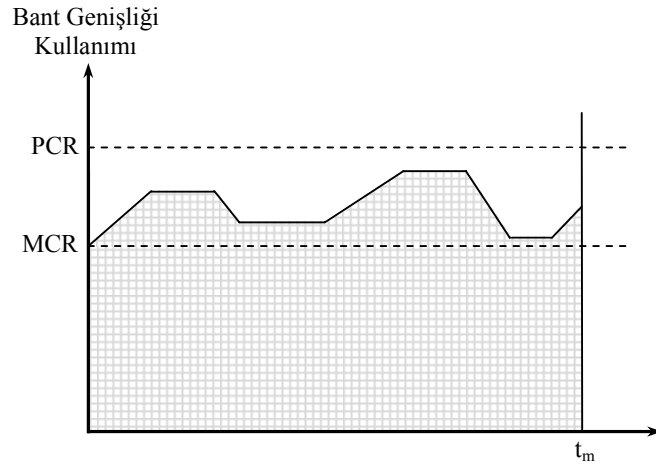
olmayan patlamalı trafik servis sınıfıdır. PCR, SCR ve MBS trafik tanımlayıcıları ile ifade edilir ve kritik cevaplama sürelerinin gerektiği aşağıdaki uygulamalarda kullanılır;

- Uçuş rezervasyonları,
- Bankacılık işlemleri,
- Süreç izleme (process monitoring).

2.7.3.4. Kullanılabilir bit iletim hızı

Kullanılabilir bit iletim hızı (Available Bit Rate, ABR), bantgenişliği ihtiyacı zamana bağlı olarak değişen uygulamalar için tanımlanmıştır (Çeken, 2004). Ağdaki tıkanıklık durumuna göre kaynak, veri iletim hızını ayarlar. PCR ve MCR (Minimum Cell Rate, en düşük hücre iletim hızı) trafik tanımlayıcıları ile karakterize edilen ABR servis sınıfı aşağıdaki uygulamalarda kullanılır (Şekil 2.13);

- Elektronik posta,
- Dosya transferi,
- Kütüphane tarama.

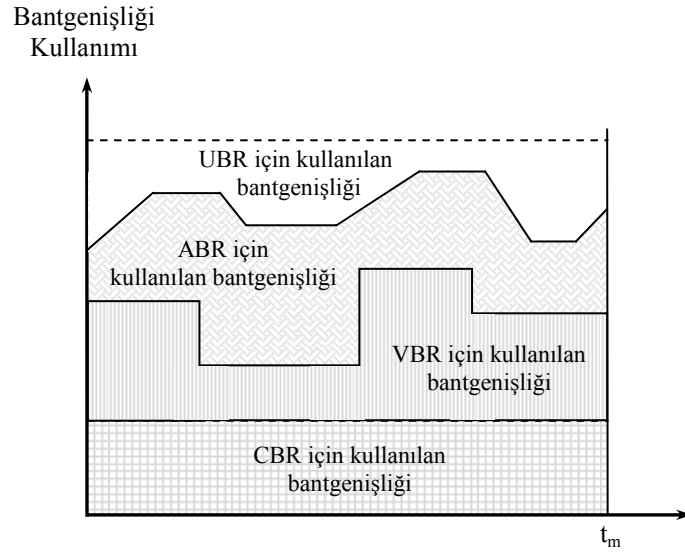


Şekil 2.13: ABR servis sınıfı için bant genişliği kullanım karakteristiği.

2.7.3.5. Belirlenmemiş bit iletim hızı

Belirlenmemiş bit iletim hızı (Unspecified Bit Rate, UBR), gecikme veya gecikme değişimine duyarlı olmayan, bazı hücre kayıplarını göz ardı edebilen uygulamalar için tanımlanmıştır. UBR servis sınıfı PCR trafik tanımlayıcını kullanır (Şekil 2.14) ve aşağıdaki uygulamalarda kullanılır;

- Dosya transferi,
- Elektronik posta.



Şekil 2.14: UBR servis sınıfı için bant genişliği kullanım karakteristiği.

ATM servis sınıfları ve uygulama örnekleri Tablo 2.2’de özet olarak görülmektedir.

Tablo 2.2: ATM Servis sınıfları ve uygulama örnekleri.

Servis Sınıfı	Örnek Uygulama
CBR	Telefon konuşmaları, video konferans, televizyon yayınları
rt-VBR	Etkileşimli sıkıştırılmış video, telefon konuşmaları, sesli posta
nrt-VBR	Uçuş rezervasyonları, bankacılık işlemleri ve süreç izleme
ABR	Kritik veri iletimi
UBR	Dosya transferi, elektronik posta, kütüphane tarama

2.7.4. Veri trafik tanımlayıcıları ve servis kalitesi (SK) değişkenleri

Bir ATM ağın SK garanti yeteneği, kaynağın veri hücrelerini nasıl ürettiğine (düzgün, patlamalı) ve ayrıca tampon, bantgenişliği gibi ağ kaynaklarının durumuna bağlıdır. Kullanıcı ile ağ arasındaki trafik sözleşmesi, kaynak tarafından üretilen trafiklerin özellikleri hakkında bilgiler içermektedir. Trafik tanımlayıcıları bu trafiklerin karakteristiklerini belirleyen değişkenlerdir. Ağ içerisinde kullanılan algoritmalar, kaynağın trafik sözleşmesine uyup uymadığını test eder ve sadece bu parametrelere uyan hücrelere SK garantisi sağlar. Bağlantı öncesi işletileşmeyle ağ, kullanıcının istediği servisi sunabilecek kaynaklara sahip olup olmadığını değerlendirerek yeterli kaynağa sahipse bağlantıyı garanti eder, değilse bağlantıyı iptal eder. Trafik tanımlayıcılar aşağıda ifade edilmiştir;

- PCR (Peak Cell Rate, En Yüksek Hücre İletim Hızı): Birim zamanda kaynak tarafından ağa gönderilebilecek en fazla hücre sayısıdır. Bu değerin üzerindeki hücreler atılabilir.
- SCR (Sustainable Cell Rate, Sürdürülebilir Hücre İletim Hızı): Patlamalı trafik içeren bir bağlantı için izin verilen sürdürülebilir (ortalama) hücre iletim hızıdır.
- MBS (Maximum Burst Size, En Fazla Patlama Boyutu): PCR bağlantı hızında arka arkaya transfer edilecek en fazla hücre sayısıdır.
- MCR (Minimum Cell Rate, En Düşük Hücre İletim Hızı): Bir bağlantı süresince iletilecek en düşük hücre sayısıdır.
- CDVT (Cell Delay Variation Tolerance, Hücre Gecikme Değişimi Toleransı): Ağ tarafından kabul edilebilir en yüksek hücre gecikme değişimini ifade eder (Çeken, 2004). Hücre gecikme değişiminin üst sınırını belirler.

ATM'in ana hedefi ağın bir ucundan diğer ucuna hücreleri transfer ederken servis kalitesi garantisi sağlamaktır. SK (Quality of Service, QoS), ağ içerisindeki bir bağlantının uçtan uça başarımını etkileyen değişkenler tarafından belirlenir (Çeken, 2004). Bu değişkenler aşağıda ifade edilmektedir;

- MCTD (Maximum Cell Transfer Delay, En Yüksek Hücre İletim Gecikmesi): Bir hücrenin kaynaktan hedefe iletilmesi sırasında geçen en uzun süreyi ifade eder.
- Ortalama 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): ‘Jitter’ olarak da bilinen bu değer, bağlantı boyunca elde edilen en yüksek ve en düşük hücre iletim gecikmelerinin farkını ifade eder. Uygulamalarda tepeden tepeye ve anlık hücre gecikme değişim değerleri kullanılmaktadır.
- CLR (Cell Loss Ratio, Hücre Kayıp Oranı): Hatalardan veya tıkanıklıktan dolayı ağda kaybolan hücre sayısının başarılı olarak iletilen toplam hücre sayısına oranıdır.
- CER (Cell Error Ratio, Hücre Hata Oranı): Hatalı hücre sayısının üretilen toplam hücre sayısına oranıdır.
- SECBR (Severely Errored Cell Block Ratio, Çok Hatalı Hücre Bloklama Oranı): Yüksek hatalı hücre blok sayısının üretilen toplam hücre sayısına oranıdır.

Tablo 2.3, ATM servis sınıflarının trafik tanımlayıcılarını ve servis kalitesi değişkenlerini göstermektedir.

Tablo 2.3: ATM servis sınıflarının trafik tanımlayıcıları ve servis kalitesi değişkenleri.

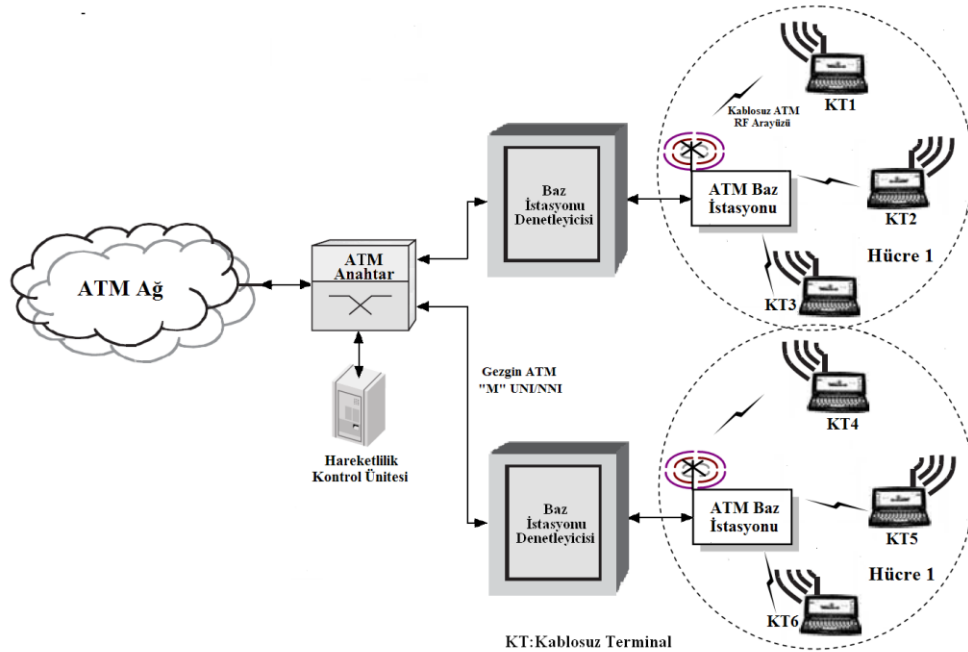
Servis Sınıfı	Trafik Tanımlayıcıları	Servis Kalitesi (SK) Değişkeni	Bantgenişliği Garantisi	İç Çıkarma Garantisi
CBR	PCR, CDVT	Max CTD, CDV, CLR	Var	Var
rt-VBR	PCR, SCR, MBS, CDVT	Max CTD, CDV, CLR	Var	Var
nrt-VBR	PCR, SCR, MBS, CDVT	Mean CTD, CLR	Var	Yok
UBR	PCR, CDVT	Yok	Yok	Yok
ABR	PCR, MCR, CDVT	CLR	Az	Az

2.8. Kablosuz ATM (Wireless ATM)

ATM Forum 1996 yılında kablosuz ATM çalışmaları için bir araştırma/geliştirme grubu kurmuştur. Kablosuz ATM, kablosuz ağların hareket serbestliği avantajı ile klasik ATM ağlar tarafından desteklenen SK garantisi ve istatistiksel çoklama (esnek bantgenişliği tahsisi) özelliklerini birleştirmeyi amaçlamaktadır (Raychaudhuri, 1999, Awater ve Kruys, 1996). Klasik kablosuz LAN'lerden en büyük farkı/üstünlüğü, çoklu ortam trafiklerinin iletimi için gerekli olan SK garantisidir.

2.8.1. Kablosuz ATM yapısı

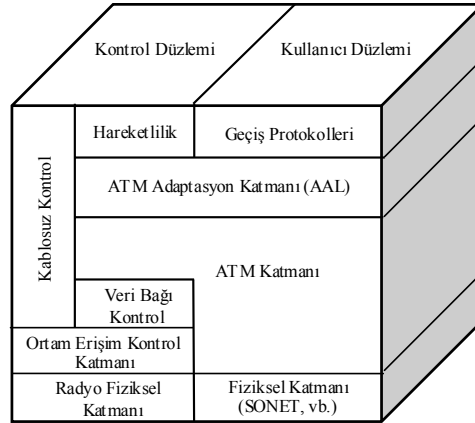
Şekil 2.15'de temel KATM ağ yapısı görülmektedir. Bu yapı, her bir baz istasyonu ve baz istasyonu denetleyicisi içeren hücrelerden oluşur. Baz istasyonun görevi, ağın kablolu ve kablosuz kısımlarını birleştirmektir. Her bir hücre, gezgin veya sabit ATM terminaller içerir. Hücre içerisindeki terminaller sadece o hücreye ait baz istasyonu ile haberleşebilirler, kendi aralarında haberleşemezler. Gezgin terminalleri desteklemek için, ATM anahtara hareketlilik birimi eklenmiştir. ATM anahtar, hücreler arası trafikler için kullanılır. Terminaller hücre içerisinde ve hücreler arasında hareket edebilir, bu yüzden etkin konum yönetimi ve el-değiştirme tekniklerine ihtiyaç duyulur (Nicopolitidis ve diğ., 2003).



Şekil 2.15: KATM ağ yapısı.

2.8.2. Kablosuz ATM protokol yapısı

ATM forum tarafından önerilen KATM protokol mimarisi Şekil 2.16'da görülmektedir. KATM bileşenleri, gezgin ATM ve KATM radyo erişim olmak üzere iki ayrı parçaya bölünmüştür (Raychaudhuri, 1999). Gezgin ATM kısmı, hareketliliği desteklemek amacıyla kontrol ve işaretleme işlemlerini gerçekleştirir. Radyo erişim katmanı ise, KATM erişimi için gerekli kablosuz bağlantının kurulmasından sorumludur. Radyo erişim katmanı, radyo fiziksel katmanı, ortam erişim kontrol katmanı ve veri bağı kontrol katmanlarını içerir. Çoğunlukla yapılan çalışmalar, fiziksel radyo katmanı ve ortam erişim kontrol katmanı üzerine odaklanmıştır. Veri bağı kontrol ve kablosuz kaynak kontrol (Radio Resource Control, RRC) kısımları henüz önerilmemiştir (Nicolitidis ve diğ., 2003).



Şekil 2.16: KATM protokol yapısı

2.8.2.1. Veri bağı kontrolü

Veri bağı katmanı, ATM katmanı ile alt katmanlar arasındaki arabağlaşımı sağlar. Kablosuz ortamın fiziksel özelliklerinden kaynaklanan hataları sezer veya ileri hata kontrolü (Forward Error Control, FEC) ile düzeltir, ya da hatalı paketlerin yeniden gönderilmesini (Automatic Repeat Request, ARQ) sağlar. Bu katman, ATM katmanı ile 53 baytlık ATM hücrelerinin alışı-verişini gerçekleştirir. Bir veri bağı veri paketi (Packet Data Unit), bir veya daha fazla ATM hücre içerebilir. Bu paket tek bir birim olarak iletebilmek için, fiziksel katmana gönderilir. Bu şekilde bir çok hücre içeren veri bağı paketi başlık bilgilerini kısaltır, ancak ATM hücre formatı ile veri bağı veri formatı dönüştürme fonksiyonlarına ihtiyaç duyar (Nicolitidis ve diğ., 2003).

2.8.2.2. Ortam erişim kontrolü

KATM için birçok OEK önerilmiştir (Awater ve Kruys, 1996). Önerilen protokollerin çoğu TDMA çoklu erişim tekniğini benimsemektedir. Etkin bir KATM OEK protokolü için gerekli koşullar takip eden satırlarda sıralanmıştır;

- CBR, VBR, ABR, UBR gibi standart ATM servislerini desteklemeli,
- Bağlantılara düşük gecikme değerleri ile kanal tahsisi yapmalı,
- Gezgin kullanıcıların düşük enerji tüketimine olanak sağlamalı,
- Birçok fiziksel katmanı desteklemeli, örneğin; 5 GHz'in üzerinde çalışan bir OEK aynı zamanda 60 GHz fiziksel katman seçeneklerini de desteklemeli,
- Bağlantı kurulmadan önce kullanıcıların yerlerini tespit edebilmek ve gezgin kullanıcıları izleyebilmek için etkin konum yönetim teknikleri sağlamalıdır.

2.8.2.3. Fiziksel katman

KATM terminaller genel olarak fiziksel katmanda 25–155 Mbps arasında veri iletim hızına sahiptirler. Fakat kablosuz ortam sınırlamalarından dolayı KATM'de bu hızlara ulaşmak zordur. KATM fiziksel katman'da 25 Mbps hızı desteklemektedir. Bununla birlikte, fiziksel katmanda daha yüksek hızlara çıkma çabaları sürmektedir. 60 GHz bandında OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) tekniğini kullanan KATM projesi ile 155 Mbps veri iletim hızına ulaşılabilmektedir. Tablo 2.4'te KATM fiziksel katman için önerilen özellikler görülmektedir (Ayanoğlu, 1999, Raychaudhuri, 1999).

Tablo 2.4: KATM için önerilen fiziksel katman özellikleri.

Özellik	Düşük Hızlı Fiziksel Katman	Yüksek Hızlı Fiziksel Katman
Frekans Bandı	5,15 – 5,35 GHz 5,725 – 5,875 GHz.	59 – 64 GHz
Hücre yarıçapı	80 m.	15 m.
Kanal bantgenişliği	30 MHz	150/170 MHz
Veri iletim hızı	25 Mbps	155 – 622 Mbps
Modülasyon	16–DQPSK	32–DQPSK
Fiziksel katman paket genişliği	Fiziksel katman başlık + OEK başlığı + 4*ATM hücre	

2.8.2.4. Kablosuz kontrol

Kablosuz kontrol katmanı, radyo kaynaklarının kontrolü ile fiziksel katman, ortam erişim kontrol katmanı ve veri bağı kontrol katmanlarının yönetimlerinden sorumludur (Raychaudhuri, 1996). Radyo kaynaklarının gezgin terminallere tahsis edilmesi ve el değiştirme sırasında bu kaynakların yönetilmesi de bu katmanın görevidir. Baz istasyonları, OEK protokolünü kullanarak gezgin terminallerle kısa işaretleşme paketleri yardımıyla kablosuz kontrol mesaj alış-verişinde bulunur. Bu mesajlar, kimlik doğrulama, el değiştirme ve el değiştirme anında bağlantı aktarım durumu gibi fonksiyonları gerçekleştirmek için kullanılır.

2.8.3. Gezgin ATM

Gezgin ATM (Mobile ATM) katmanı, sabit KATM ağ terminallerine hareketlilik desteği sağlamak için kullanılır. Ayrıca, gezgin kullanıcıların konum yönetimi ve el değiştirme işlevlerinden de sorumludur.

2.8.3.1. El değiştirme

El değiştirme (Handoff), gezgin kullanıcılar ağ içerisinde hareket ederlerken bir baz istasyonu kapsama alanından diğer bir baz istasyonu kapsama alanına geçtiklerinde, bağlantının sürdürülmesini sağlar (Raychaudhuri, 1996). El değiştirme işlemi, ağ denetiminde (network-controlled), gezgin kullanıcı denetiminde (mobile-controlled) veya gezgin kullanıcı yardımı (mobile-assisted) ile gerçekleştirilebilir.

El değiştirme işleminin başarılı olabilmesi için, bütün sanal devrelerdeki servis kalitesi desteğinin kabul edilebilir bir gecikme ile sürdürülmesi gereklidir. Bu yüzden, el değiştirme işlemi, dinamik kaynak tahsisi, yönlendirme ve servis kalitesi desteği gibi konuları göz önünde bulundurmalıdır.

Katı (hard) ve yumuşak (soft) olmak üzere iki farklı el değiştirme bulunmaktadır. Yumuşak el değiştirme yönteminde, gezgin terminal bağlantıları eski baz istasyonu ile kesilmeden yeni baz istasyonuna aktarılır.

Katı el değiştirme yönteminde, gezgin terminal bağlantıları eski baz istasyonu ile kesilir ve yeni baz istasyonu ile yeniden kurulur. Günümüzde KATM tarafından sadece katı el değiştirme tekniği desteklenmektedir.

2.8.3.2. Konum yönetimi

KATM’de mevcut birçok protokol bağlantı kurulumu sırasında terminallerin konumlarının sabit olduğunu kabul etmektedir. Bu durumda, ilk bağlantı kurulduğundaki terminalin adresi, konumunu tanımlamak için yeterlidir. Fakat terminaller gezgin olduğunda, ek adresleme/konum belirleme tekniklerine ve gezgin ATM terminallerini izleyen protokollere ihtiyaç duyulmaktadır. Gezgini ATM ağda, terminal kendisine hizmet veren bir baz istasyonundan, başka bir baz istasyonunun hizmet bölgesine geçebilir. Ancak bu durumda da aynı ismini (kalıcı adresini) sürdürmesi gereklidir. Konum yönetimi (location management), kullanıcının başka baz istasyonundaki fiziksel konumu ile kendi baz istasyonundaki kalıcı adresi arasındaki ilişkiyi devam ettirmesi için gerekli işlemlerin yerine getirilmesinde kullanılır (Raychaudhuri, 1996).

2.8.3.3. Yönlendirme

Gezgini ATM sisteminde el değiştirme süreci sonunda kullanıcılara hizmet veren baz istasyonları da değişeceğinden, bu işlemleri yerine getirecek ek yönlendirme (routing) algoritmalarına ihtiyaç duyulur. Genel olarak el değiştirme, gezgin terminalin ilişkili olduğu sanal devrelerin yönlerinde önemli değişikliklere yol açar. Bu durumda yönlendirme işlemi, gezgin terminalin bulunduğu çevreye göre sanal devre yönlendirmesini uygun başarım ölçütlerine göre yeniden kurar (Raychaudhuri, 1996).

2.9. Sonuç

Kablolu iletişim teknolojilerine olan üstünlüklerinden dolayı giderek yaygın hale gelen kablosuz haberleşme sistemlerinde, özellikle son yıllarda sosyal yaşamı da etkileyen çok hızlı gelişmeler görülmüştür. Kablosuz iletişim ortamının sınırlamalarına rağmen birçok avantajlarından (hareketlilik, kurulum kolaylığı, esneklik, genişleme kolaylığı, basitlik, maliyet) dolayı insan hayatındaki yeri ve önemi giderek artmaktadır.

Tezin bu bölümünde kablosuz iletişim teknolojileri incelenerek, tez çalışmasında akıllı anten sistemleri kullanılarak gerçekleştirilen OEK protokolünün altyapısını da oluşturan TDMA sistemi ile diğer OEK sistemlerine kısaca değinilmiştir. Ayrıca ses, görüntü ve veri gibi çoklu ortam trafiklerinin iletimini gerçekleştiren ATM teknolojisi, KATM sistemi ve ATM servis sınıfları açıklanmıştır.

3. AKILLI ANTEN SİSTEMLERİ

3.1. Giriş

Kablosuz haberleşme teknolojilerine ve ağlarına olan talebin gün geçtikçe artması ve farklı servis sınıfları kullanımının giderek yaygın hale gelmesi, yüksek bantgenişliği ihtiyacının ortaya çıkmasına yol açmıştır. Giderek artan bantgenişliği ve kapasite ihtiyaçlarını karşılamak için önerilen yöntemlerin en önemlilerinden biri anten sistemlerinin geliştirilmesidir. Başlangıçta antenler kablosuz haberleşme sistemlerinin en ihmal edilen parçasıydı ve haberleşme yönsüz (omni-directional / isotropic) antenler kullanılarak gerçekleştirilmekteydi (Cooper ve Goldberg, 1996, ArrayComm, 2000). Giderek artan bantgenişliği ve kapasite ihtiyaçları anten sistemlerinin gelişmesine ve akıllı antenlerin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Akıllı antenler, kablosuz haberleşme sistemlerinin başarımını artıran ve yoğun trafik ve kullanıcı ortamında yüksek verimlilik sağlamak için ihtiyaç duyulan bantgenişliğinin en etkin kullanımına izin veren sistemlerdir (Loadman, ve diğ., 2003).

Başlangıçta akıllı anten sistemleri, düşman tarafından gönderilen girişimleri (interference) ve boğma sinyallerini (jamming signal) bastırmak için askeri uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır (Lehne, 1999). Daha sonra, güçlü, düşük maliyetli ve karmaşık işlemleri çok kısa sürede gerçekleştirebilen sayısal işaret işlemcilerin ortaya çıkması ve bununla birlikte yazılım tabanlı tekniklerin geliştirilmesi ile akıllı antenler hücresel haberleşme sistemlerinde yaygın hale gelmiştir.

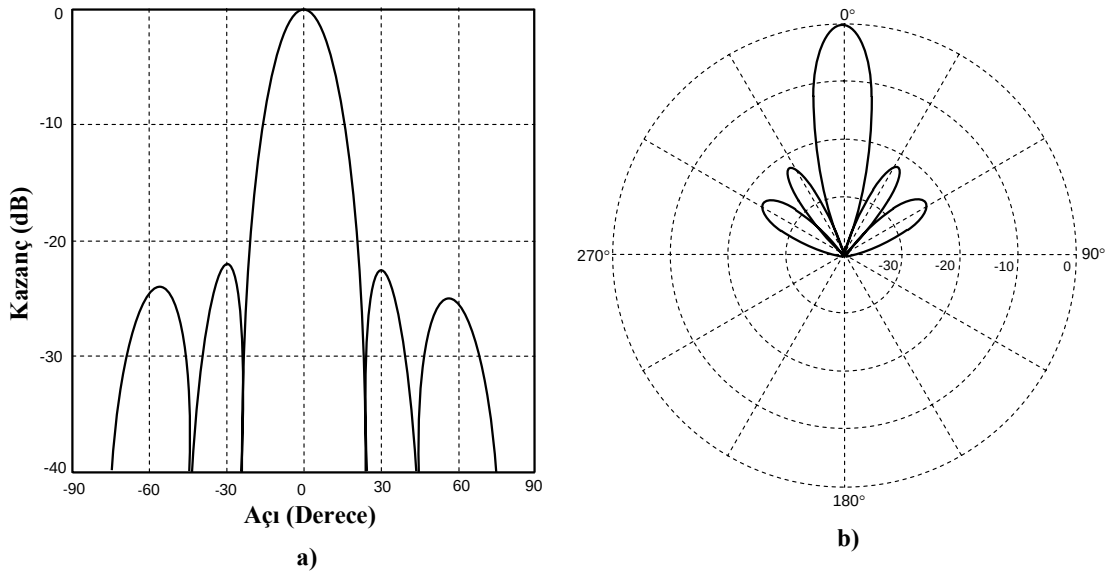
Bu tez çalışmasında da önerilen OEK protokolünün önemli bir bölümünü oluşturan akıllı antenler, sinyal kalitesini arttırırken, girişimleri ve gürültüyü bastırır, güç tasarrufu sağlar ve kablosuz spektrumun etkin şekilde kullanılmasını sağlayarak haberleşme sistemin kapasitesini ve buna bağlı olarak başarımını yükseltir (Balanis, 2005).

3.2. Anten Sistemlerinde Temel Kavramlar

Kablosuz haberleşme sistemlerinde anten, RF (Radyo Frekans) sinyalini vericiden dış dünyaya veya dış dünyadan alıcıya transfer işleminde görev yapan elektriksel iletim noktasıdır (Cooper ve diğ., 1996). Sinyalin gönderilmesi için radyo frekanslı elektrik enerjisi gönderici tarafından elektromanyetik enerjiye dönüştürülerek anten üzerinden ortama veya atmosfere yayılır. Alma işleminde ise, antene gelen elektromanyetik enerji radyo frekanslı elektrik enerjisine dönüştürülerek alıcıya iletilir (Stallings, 2005). Antenlerin radyo frekans sinyallerini uzaya yayma–alma şekli ile radyo frekans spektrumunun etkin kullanımı arasında önemli bir bağlantı bulunmaktadır.

3.2.1. Işın örüntüsü

Bir antenin ışın örüntüsü (radiation pattern – antenna pattern), anten tarafından ışınan gücün bağıl dağılımını uzay koordinatlarının fonksiyonu olarak karakterize eden matematiksel bir ifade veya grafiksel gösterimidir (Balanis, 2005). Antenin tipi, boyutları, tasarım şekli ve üzerinden akımın nasıl yayıldığı antenin ışın örüntüsünün özelliklerini belirler.

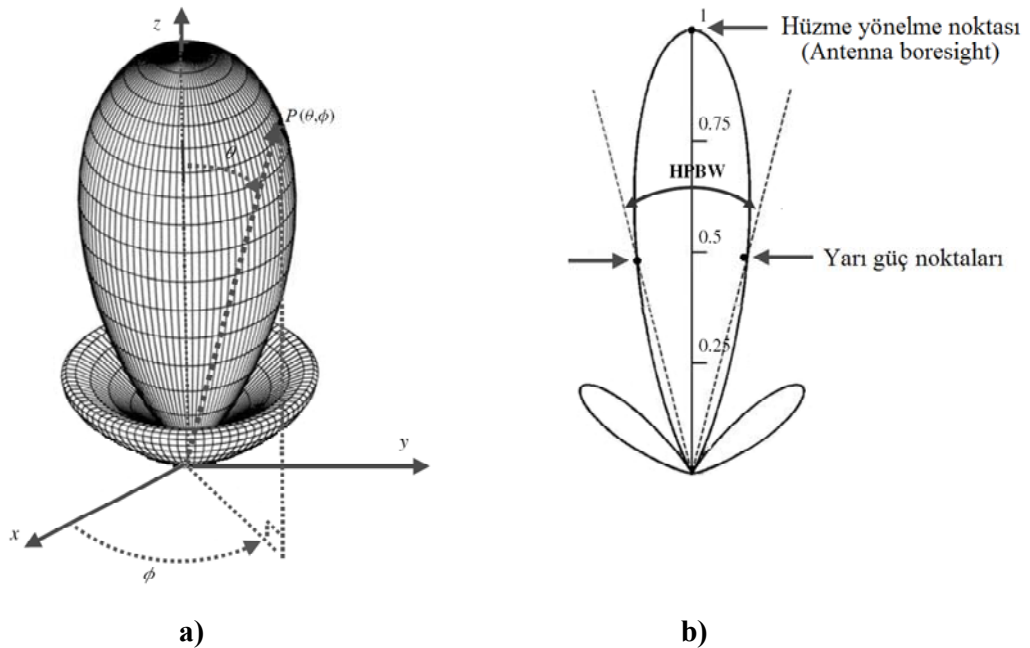


Şekil 3.1: Anten örüntüleri a) Dikdörtgensel gösterimi b) Kutupsal gösterimi.

Işın örüntüsü dikdörtgensel / kartezyen veya kutupsal koordinatlar olmak üzere iki farklı şekilde gösterilir. Dikdörtgensel gösterimdeki değerler daha hassas okunurken, kutupsal gösterimin anlaşılması daha kolaydır. Şekil 3.1.a)'da ışın örüntüsünün dikdörtgensel gösterimi, b)'de ise kutupsal gösterimi verilmektedir. Şekil 3.1.a)'daki gösterimde antenin hüzme yönelme noktasındaki veya ışınan gücün en yüksek olduğu yerdeki güç, 0 dB olarak gösterilir. Diğer yönlerdeki güçler, buna bağlı olarak negatif görünür. Şekil 3.1.b)'deki kutupsal gösterimde ise antenin hüzme yönelme noktası 0° olmak üzere, açılar merkezden çıkan kesik çizgilerin üzerlerine sırasıyla yazılır. Güç yoğunlukları da kesik çizgilerle gösterilen dairelerin yarıçaplarını ifade edecek şekilde desibel (dB) cinsinden gösterilir.

3.2.2. Hüzme genişliği

Bir antenin ışın örüntüsü, antenin yönlülüğünün genel bir ölçüsü olan hüzme genişliğinin (beamwidth) belirlenmesini sağlar. Hüzme genişliği aynı zamanda yarı-güç hüzme genişliği (Half-Power Beamwidth, HPBW) olarak da bilinir ve anten gücünün en fazla olduğu noktadan yarıya kadar indiği noktaların arasındaki genişlik olarak da tanımlanır (Gross, 2005). Şekil 3.2.a'da 3 boyutlu hüzme, Şekil 3.2. b.'de hüzme genişliği görülmektedir.



Şekil 3.2: Hüzme görüntüleri a) 3-boyutlu gösterim b) 2-boyutlu gösterim.

3.2.3. Hüzme yönelme noktası

Bir antenin hüzme yönelme noktası (antenna boresight), antenin fiziksel olarak hedeflenen yönünü veya en yüksek kazancın elde edildiği nokta olarak tanımlanır (Şekil 3.2.b). Hüzme yönelme noktası ayrıca, antenin ana-ışırma (main lobe) merkez eksenidir (Gross, 2005).

3.2.4. Anten kazancı

Antenin kazancı (antenna gain), bir antenin yönlülük ölçüsüdür ve belirli bir yöndeki gücün, ideal bir yönsüz anten tarafından üretilen herhangi bir yerdeki güç ile karşılaştırılması olarak tanımlanır. Diğer bir tanım ise, antenin elektromanyetik enerjiyi belirlenen bir yöne yönlendirme becerisi olarak ifade edilir. Örneğin bir anten 3 dB kazanca sahipse, bu anten belirlenen bir yönde yönsüz antene göre 3 dB'lik veya 2 kat daha fazla güç ile ışıma yapar (Stallings, 2005). Bu işlem, gücün belli yönlerde artırılarak yayılması, diğer yönlerde ise azaltılması ile gerçekleştirilir. Kısaca bir antenin kazancı, o antenin çıkış gücü ile giriş gücü arasındaki oranın değil, antenin yönlülüğünün bir ifadesidir.

3.2.5. Anten etkin alanı

Bir antenin etkin alanı (antenna effective area), fiziksel büyüklüğü ve şekli ile ilgilidir. Ayrıca antenin kazancı ile etkin alanı arasında bir ilişki vardır. Bu ilişki Denklem 2.1'deki gibi ifade edilebilir;

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} = \frac{4\pi f^2 A_e}{c^2} \quad (2.1)$$

Burada;

G: Anten kazancını,

A_e : Antenin etki alanını (m^2),

f: Taşıyıcı frekansını (Hz),

c: Işık hızını (3×10^8 m/sn),

λ : Taşıyıcı dalga boyunu göstermektedir.

3.3. Tüm-yönlü Antenler

Başlangıçta kablosuz haberleşme sistemleri tüm-yönlü anten (Omni-directional / Isotropic Antennas) kullanılarak gerçekleştirilmekteydi. Bu tür antenlerde ışıma örüntüsü, istenilir kullanıcıya erişebilmek için tüm ortama yayılmaktadır. Bu durumda iletilen gücün büyük bir miktarı istenilir kullanıcı yönünde değil, diğer doğrultularda olduğundan ortamda elektromanyetik kirlilik ve boşa giden güçten dolayı bir enerji israfı meydana gelmektedir (Lehne, 1999, ArrayComm, 2000, Balanis, 2005). Buna ek olarak istenmeyen doğrultularda yayılan güç, diğer kullanıcılar için parazit etkisi oluşturarak onların iletişim kalitelerini de olumsuz etkilemektedir.

3.4. Akıllı Anten Sistemleri

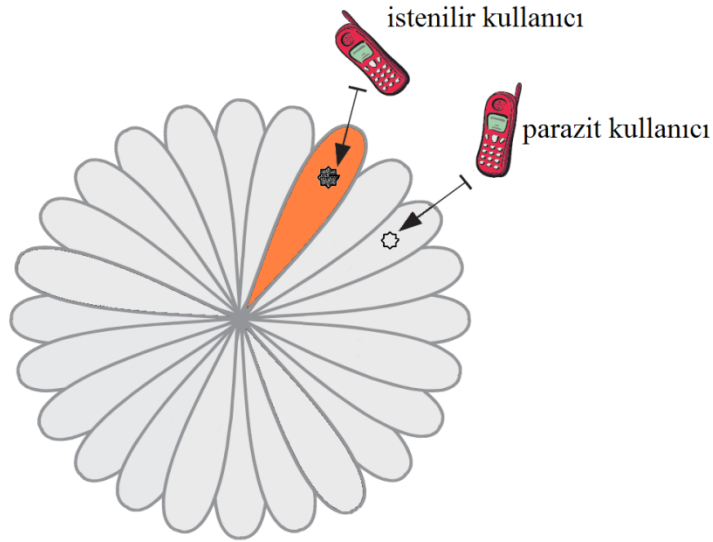
Akıllı antenler, dizi şeklinde belli sayıdaki anten elemanlarının bir araya gelmesiyle oluşan kablosuz sistemler için geliştirilmiş bir anten teknolojisidir. Anten elemanlarından alınan sinyal dinamik bir ışın örüntüsü oluşturacak şekilde biçimlendirilir. Sayısal işaret işleme sistemleri ve uygun yazılımın kullanılması ile istenilir kullanıcı doğrultusunda ışın örüntüsünü yönlendirir. Böylece sadece belirli bir yönde sinyal iletimi sağlandığından, güç yoğunluğunun tek noktada odaklanması ile diğer kullanıcılar için oluşacak girişim etkisinin en aza indirilmesi ve ortamdaki istenmeyen gürültünün azaltılması sağlanmış olur (Ponnekonti, 1999, Balanis, 2005).

Akıllı anten sistemlerinde akıllı olan antenin kendisi değildir; anten sadece elektromanyetik sinyali uzaya yaymak veya uzaydan almak için kullanılan mekanik bir elemandır. Anteni akıllı yapan dizi şeklinde bir araya gelen anten elemanları ve kullanılan işaret işleme algoritmalarıdır (ArrayComm, 2000). Bir akıllı anten sistemi belli sayıda ışın yayan elemanlardan, ağ ve kontrol birimlerinden oluşmaktadır. Kontrol birimi akıllı anten sisteminin beynidir ve sayısal işaret işleyici (DSP) kullanılarak bu görevi yerine getirir. Genellikle baz istasyonunda bulunan işlemci ünite, verimli iletişimi sağlayabilmek için antene gelen parametreleri sürekli kontrol ederek ışın örüntüsünün istenen kullanıcı doğrultusunda odaklanmasını sağlar (Küçük ve diğ., 2003).

Akıllı antenler genel olarak anahtarlama ışın anten sistemleri ve uyarlamalı dizi anten sistemleri olarak sınıflandırılır. Aşağıdaki altbölümlerde bu anten sistemleri anlatılmaktadır.

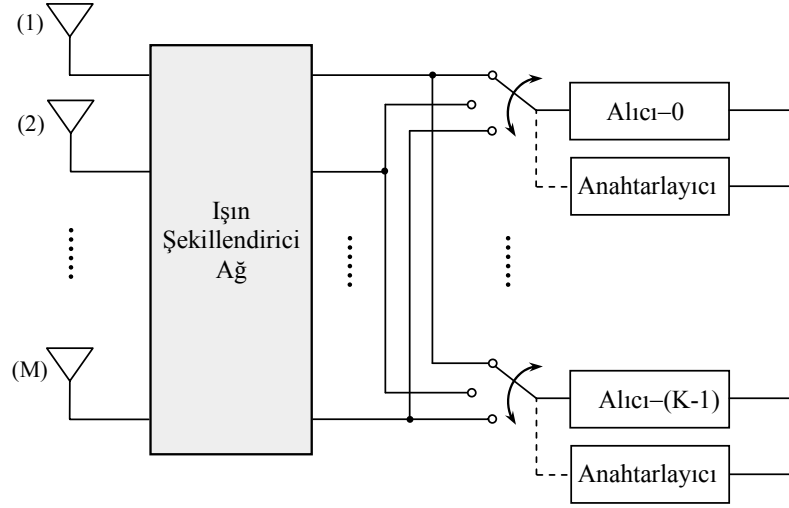
3.4.1. Anahtarlama ışın anten sistemleri

Anahtarlama ışın anten sistemleri (switched beam antenna systems), önceden belirlenen doğrultulara yönlendirilmiş ve bu yönlerde yüksek kazanç sahip antenlerin dizi şeklinde bir araya gelmesinden oluşur (ArrayComm, 2000). Bu sistemler istenilen yönlendirilmiş anteni veya önceden tanımlanmış ışın örüntüsünü seçmek için basit bir anahtarlama fonksiyonuna sahiptir. Gelen sinyalin gücünü periyodik olarak denetler ve sabit ışın örüntülerinden istenilir kullanıcı yönünde bu bağlantı için en iyi başarıyı gösterecek olanı seçerek aktif hale getirir (Şekil 3.3). İstenilir kullanıcı sektör içerisinde hareket halinde ise mevcut sabit ışınlardan birinden diğerine sürekli en uygun olan anahtarlanarak ışın örüntüsü kullanıcı yönünde hareket ettirilir (Liberti ve Rappaport, 1999).



Şekil 3.3: Anahtarlama ışın anten dizisinin ışın örüntüsünün görünümü.

Şekil 3.4'te anahtarlama ışın anten sisteminin blok diyagramı görülmektedir. Bu sistem, bir ışın şekillendirici ağ, bir RF anahtar ve ilgili ışını seçmek için bir kontrol-mantık devresinden oluşmaktadır (Al-Jazzar ve Radhakrishnan 2000).



Şekil 3.4: Anahtarlama ışın anten sisteminin blok diyagramı.

Sistemde kullanılan M anten dizisi “Butler” matrisi kullanılarak her bir anten elemanından gelen giriş sinyallerini toplayan ve M farklı hüzmeye üreten bir ışın şekillendirici ağ ile birleştirilmiştir. Sistemde kullanılan alıcılar, her bir anten çıkışındaki sinyal gücünü izleyerek, belirli kullanıcı için en yüksek RSS (Received Signal Strength – Alınan Sinyal Gücü) değerine sahip portu belirler. Böylece anahtarlayıcı birim, ışın şekillendirici ağ çıkışı ile istenen alıcı kanal arasında bir yol oluşturur (Bhobe ve Perini 2000).

Bu tip akıllı anten sistemleri basit bir çalışma tekniğine sahip olduklarından daha ucuz ve kolay elde edilebilirler. Yapısal özelliklerinden ve önceden tanımlanmış sabit ışın örüntülerinden dolayı girişimin fazlaca bulunduğu alanlar için başarılarının düşük olmasına rağmen, girişimin olmadığı veya çok az olduğu alanlarda oldukça yüksek başarıma sahiptirler.

Anahtarlama ışın anten sistemleri iki farklı gruba ayrılır;

- Tek ışın hüzmeli anahtarlama ışın anten sistemleri (single beam directional antenna)
- Çoklu ışın hüzmeli anahtarlama ışın anten sistemleri (multi beam directional antenna)

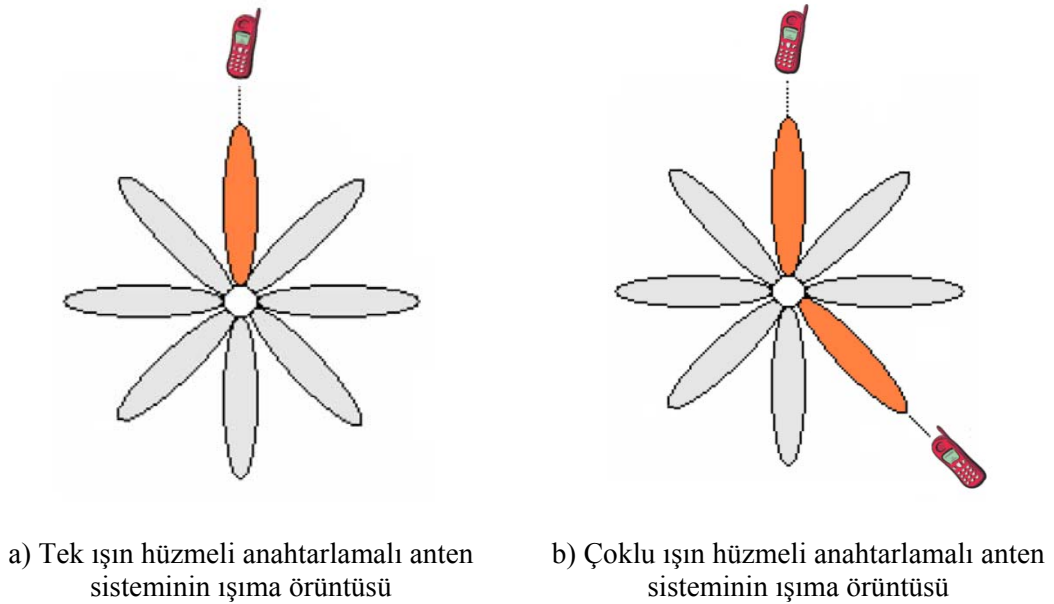
3.4.1.1. Tek ışın hüzmeli anahtarlama anten sistemleri

Tek ışın hüzmeli anahtarlama anten sistemlerinde, herhangi bir anda sadece bir ışın hüzmesi aktiftir. Diğer bir ifade ile eş zamanlı haberleşmenin gerçekleştirilemediği bu sistemde sadece bir adet gönderici–alıcı (transceiver) mevcuttur. Şekil 3.5.a.’da tek ışın hüzmeli anahtarlama anten sisteminin ışın örüntüsü görülmektedir.

3.4.1.2. Çoklu ışın hüzmeli anahtarlama anten sistemleri

Çoklu ışın hüzmeli anahtarlama anten sistemlerinde ise, herhangi bir anda birden fazla ışın hüzmesi kullanılabilir ve böylece aynı anda, aynı frekansa sahip birden fazla haberleşmenin eş zamanlı olarak gerçekleştirilmesi sağlanır. Diğer bir ifade ile SDMA (Space Division Multiple Access) gerçekleştirilmiş olur (Ulukan, 2005). Bu sistemde kullanılan gönderici–alıcı sayısı hüzmeye sayısına eşittir. Şekil 3.5.b.’de çoklu ışın hüzmeli anahtarlama anten sistemlerinin ışın örüntüsü görülmektedir.

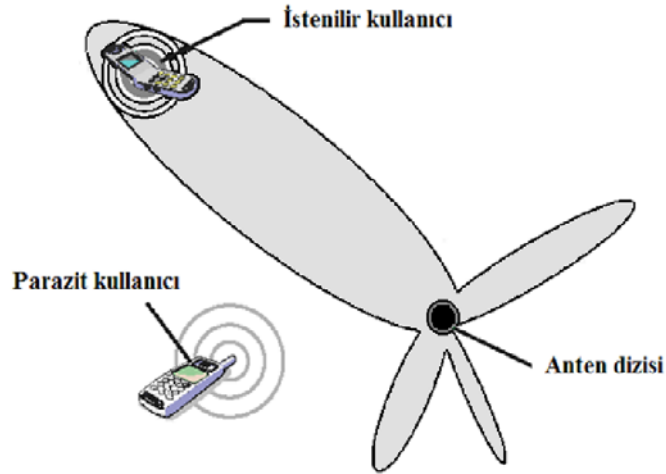
Bu tez çalışması ile gerçekleştirilen AKGOEK sisteminde baz istasyonu çoklu ışın hüzmeli anahtarlama anten sistemi kullanmaktadır.



Şekil 3.5: Anahtarlama ışın anten sisteminin ışın örüntüsü.

3.4.2. Uyarlamalı dizi anten sistemleri

Kablosuz haberleşme sistemlerinde anahtarlamalı ışın anten sistemleri, klasik yönsüz anten sistemleri ile karşılaştırıldığında sınırlı bir başarımlı artışı göstermektedir. Bununla birlikte, anten dizilerinden elde edilen bilgiyi işleyen gelişmiş sinyal işleme teknikleri kullanılarak daha yüksek başarımlı artışları elde edilebilir. Uyarlamalı dizi anten sistemleri (adaptive array antenna systems) kapsama alanlarını sürekli gözleyerek, kullanıcıların (genellikle gezgin) ve girişimlerin olduğu değişen RF ortamına kendilerini ayarlamaya çalışırlar (Chryssomallis, 2000, Bhobe ve Perini 2000, Balanis, 2005). Anahtarlamalı ışın anten sistemlerinin tersine uyarlamalı dizi anten sistemlerine gerçekten akıllı antenler denilebilir; çünkü bu antenler radyo frekans ortamındaki değişikliklere dinamik olarak cevap verebilmektedir (Cooper, 1996). Bu sistemlerde, anahtarlanmalı ışın anten sistemlerinde olduğu gibi dizi antenler kullanılır, fakat bunlar güçlü bir sinyal işleme ünitesi tarafından kontrol edilir. Şekil 3.6’da uyarlamalı dizi anten sisteminin ışınma örüntüsü görülmektedir.

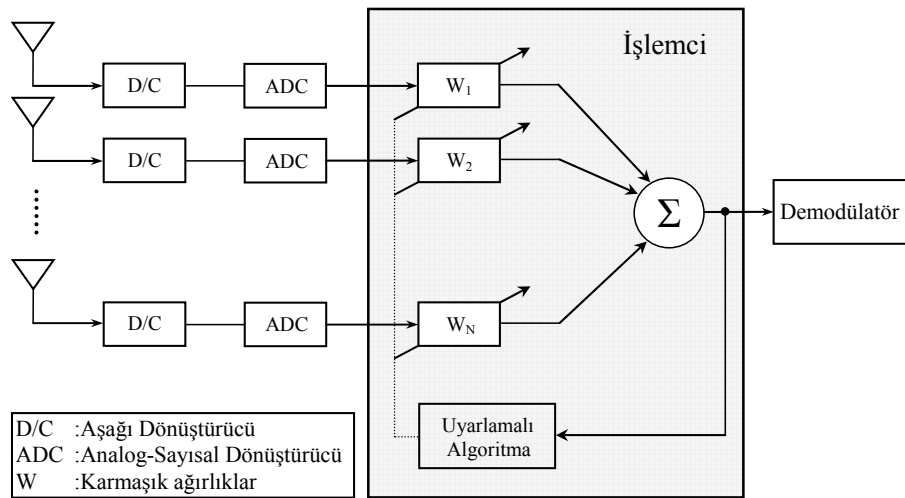


Şekil 3.6: Uyarlamalı anten dizisinin ışınma örüntüsünün görünümü.

Uyarlamalı dizi anten sistemlerinin en önemli ve aynı zamanda sistemi akıllı yapan kısmı sayısal işaret işleme ünitesidir. Sayısal işaret işlemci, ışınma örüntüsünü hedeflenen kullanıcı hareket ettikçe bu kullanıcıya doğru yönlendirirken aynı zamanda diğer kullanıcılardan kaynaklanan girişimleri an aza indirir (Şekil 3.6). Bu sistemler çeşitli sinyal işleme algoritmalarının kullanılmasıyla, dinamik olarak istenilir yöndeki sinyali en iyileştirirken, diğer yönlerden gelecek olan girişim ve gürültü etkilerini de en aza indirecek biçimde ışın örüntüsünü şekillendirirler.

Böylece istenilir yöndeki SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio) değeri de artırılmış olur. Anten ağırlık vektörlerinin sürekli olarak yenilenmesi ile ışın örüntüsünün istenilir kullanıcı yönünde odaklanması bu şekilde sağlanır. Şekil 3.7’de uyarlamalı dizi anten sisteminin blok diyagramı görülmektedir.

Şekil 3.7’deki blok diyagramda her bir anten elemanına gelen sinyaller, istenen yönde tek bir hüzme oluşturmak için birleştirilir. Gelen sinyallerin ağırlık vektörleri oluşturulmadan önce tabanband veya ortaband frekansına (Intermediate Frequency, IF) düşürülürler. Her bir elemanın çıkışında bulunan alıcılar, frekans dönüştürme işlemini gerçekleştirirler. Bu frekansı düşürülmüş–dönüştürülmüş sinyallerin sayısal işaret işlemciler (Digital Signal Processor, DSP) tarafından işlenebilmesi için sayısal işarete dönüştürülmesi gereklidir. Analog–sayısal dönüştürücüler (Analog Digital Convertor, ADC) bu amaçla kullanılmaktadır. Sistemin hatasız çalışabilmesi için analog RF sinyallerinin sayısal işarete oldukça hassas dönüştürülmesi gereklidir. Sayısal formdaki IF sinyallerini alan ve işleyen sayısal işaret işlemcisi sistemin en önemli kısmını oluşturur ve bir yazılım ile çalıştırılır. İşlemci gelen verileri yorumlar ve karmaşık ağırlık vektörlerini (yükseltme ve faz bilgisi) belirleyerek en uygun örüntüyü elde etmek için ağırlıkları her bir elemanın çıkışı ile çarpar. En iyi örüntü, istenen yönde en yüksek hüzme kazancını elde ederken, gürültü ve diğer kullanıcılardan kaynaklanan girişimleri en aza indiren özel bir algoritma ile gerçekleştirilir.



Şekil 3.7: Uyarlamalı dizi anten sistemlerinin blok diyagramı.

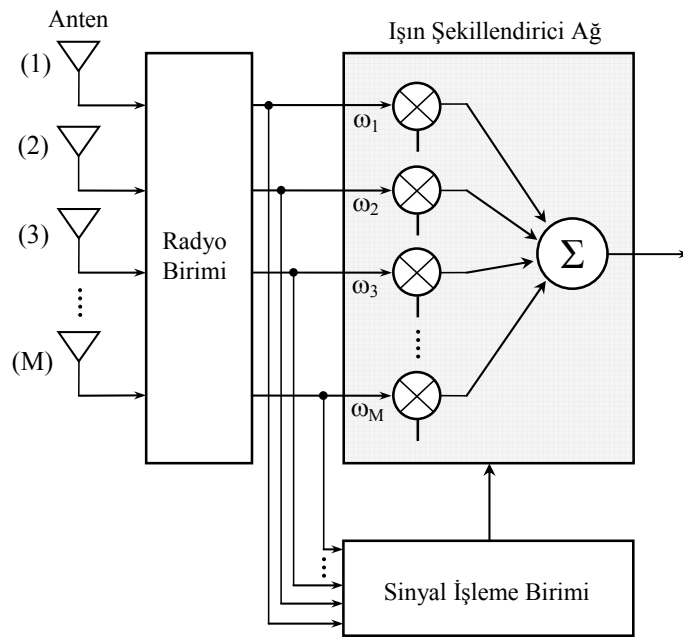
3.5. Akıllı Anten Sistem Bileşenleri

Herhangi bir kablosuz sistem gibi akıllı anten sistemleri de alıcı ve verici kısımlardan oluşur ve bu iki birimin karışıklı uyum içerisinde çalışması gerekir. Aşağıdaki alt bölümlerde akıllı anten sisteminin alıcı ve verici kısımları açıklanmaktadır.

3.5.1. Akıllı anten alıcısı

Şekil 3.8’de M elemanlı akıllı anten içeren bir kablosuz sistemin alıcı kısmı görülmektedir.

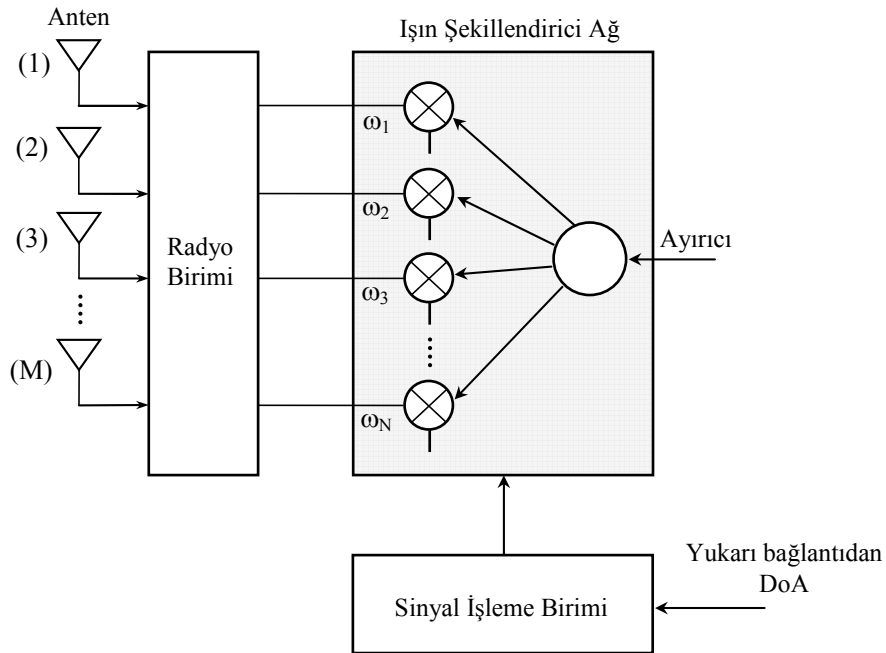
Alıcı sistem M adet anten, radyo birimi, ışın şekillendirici ağ ve sinyal işleme biriminden oluşur. Dizi antenler, bir, iki veya üç boyutlu olabilir. Radyo birimi, frekans dönüştürücü (down-converter) zinciri ve karmaşık analog–sayısal dönüştürücüden (A/D) oluşur. Dizi elemanlarının her biri için bir frekans dönüştürücü vardır. Gezgin terminallerden alınan sinyaller alıcının geri kalan kısımlarından (yükselteç, kanal kodlama vb.) birinin girişine uygulanmak üzere tek bir çıkışta birleştirilir. Alınan sinyale göre, sinyal işleme birimi $w_1, w_2, \dots, w_M$ ağırlık vektörlerini hesaplar. Bu ağırlıklar yukarı bağlantı için anten örüntüsünü belirler.



Şekil 3.8: Akıllı anten alıcısı.

3.5.2. Akıllı anten vericisi

Akıllı anten sisteminin verici kısmının blok diyagramı Şekil 3.9’da görülmektedir. Burada iletilecek sinyal, ışın şekillendirme birimindeki $w_1, w_2, \dots, w_M$ gibi ağırlık vektörleri ile çarpılarak N kola ayrılır. Sinyal işleme birimi aşağı bağlantı yönündeki anten örüntüsünden uygun ağırlıkları hesaplar. Radyo birimi, D/A dönüştürücülerden ve frekans yükseltici (up-converter) zincirinden oluşur. Anten elemanları ve sayısal işaret işleyici gibi üniteler alıcı ile aynı yapıdadır. Aşağı ve yukarı bağlantı arasındaki temel fark; aşağı bağlantı sırasında kanal ortamı hakkında sınırlı bilginin (channel state information) olmasıdır. Bu yüzden aşağı bağlantı için ışın şekillendirme daha zordur ve yukarı bağlantıda elde edilen başarımlar aşağı bağlantıda gerçekleştirilemez. Bu nedenle aşağı bağlantı yönündeki en iyi ışın şekillendirme işlemi için en çok kullanılan teknik DOA (Direction of Arrival) kestirimine dayanan yaklaşımdır. Yukarı bağlantı sırasında istenilir kullanıcıdan gelen sinyalin geliş açısı, aşağı bağlantı sırasında aynı kullanıcıya gönderilecek olan verinin iletim açısı olarak düşünülmektedir. Böylece baz istasyonu kullandığı DOA algoritmaları ile yukarı bağlantı sırasında istenilir gezgin kullanıcıya ait geliş açısını tahmin ederek, bu açıyı aşağı bağlantı sırasında $w_1, w_2, \dots, w_M$ ağırlıklarının hesaplanmasında ve bu doğrultuda bir ışın örüntüsünün oluşturulmasında kullanılır.



Şekil 3.9: Akıllı anten vericisi.

3.6. Anahtarlama Işın Anten Sistemleri İle Uyarlamalı Dizi Anten Sistemlerinin Karşılaştırılması

Anahtarlama ışın anten teknolojisi ışın örüntüsü yönünden incelendiğinde, her bir hücreyi 120° makro-hücelere bölen günümüz hücresel sektörizasyon tekniğinin bir uzantısı olarak düşünülebilir (Chryssomallis, 2000). Anahtarlama ışın anten yaklaşımı her bir makro-sektörü ihtiyaç duyulan çeşitli özelliklere göre belirli sayıda mikro-sektörlere ayırır. Her bir mikro-sektör daha önceden belirlenmiş en yüksek kazancı ışın örüntüsünün merkezinde olacak şekilde sabit ışın örüntülerinden oluşmaktadır. Bu ışın örüntüleri merkez doğrultuda maksimum hassasiyet ve güce sahip olup kenarlara doğru bu hassasiyet ve güçte azalmalar gösterir.

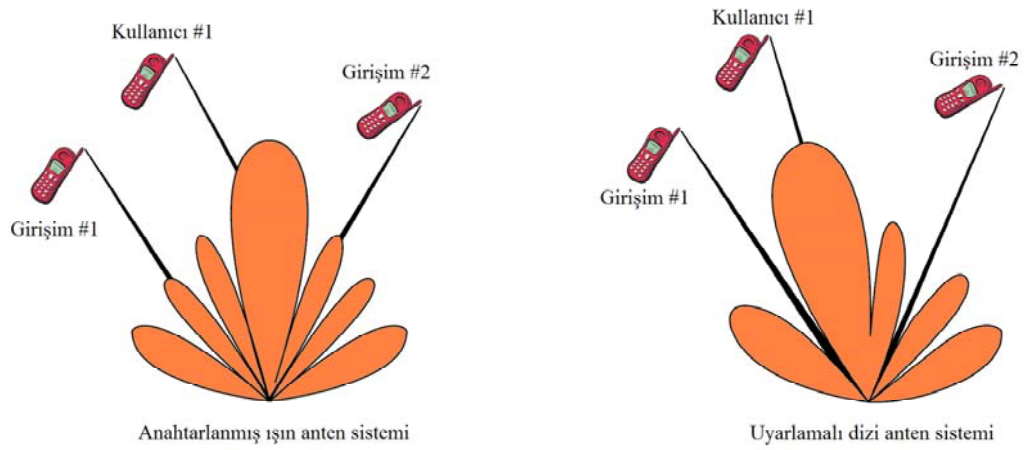
Anahtarlama ışın teknolojilerinde, sistem herhangi bir gezgin kullanıcı bir makro-sektör içerisinde iken bu kullanıcı için en yüksek sinyal gücünü içeren, sinyalin faz farkındaki değişim ile ortamda bulunan ve sinyalin konumuna en uygun olan, mikro-sektörü aktif hale getirilir. Bu işlem için, DSP donanımı ve uygun bir yazılım kullanılır. Kullanıcının takibi sırasında sistem, sinyal gücünü sürekli denetler ve gerektiğinde daha fazla güç tespit ettiği başka bir mikro-sektöre anahtarlama yapabilir. Klasik sektörlenmiş hücrelerle karşılaştırıldığında, anahtarlama ışın anten sistemleri çalışma koşullarına bağlı olarak baz istasyonunun erişim alanını %20 ile %200 arasında artırabilirler. Baz istasyonun erişim alanındaki bu artış belirli bir bölgede kullanılacak baz istasyonu sayısını azaltacak ve altyapı harcamalarını önemli ölçüde düşürecektir (Chryssomallis, 2000).

Anahtarlama ışın anten sistemlerinin bazı eksiklikleri vardır. Bu sistemlerde ışın örüntüleri önceden belirlendikleri için, gezgin kullanıcı mikro-sektör içerisinde hareket ettiğinde sinyalin gücü değişir. Kullanıcı ışın örüntüsünün kenarına doğru yaklaştıkça sinyalin gücünde büyük oranda düşme olur ve diğer mikro-sektöre anahtarlama yapılmadan aramanın sonlamasına neden olabilir. Bu sistemlerde ayrıca, istenilen sinyal ile girişim sinyallerini ayırt etmek güçtür (Chryssomallis, 2000). Eğer girişim sinyali aktif ışın örüntüsünün merkezinde ve istenilen sinyal de ışın örüntüsünün merkezinden uzak bir noktada ise girişim sinyali istenilen sinyal gibi algılanabilir (Cooper, 1996).

Uyarlamalı dizi anten sistemleri ise radyo frekans ortamındaki değişikliklere kendini ayarlayabildiğinden, sistemin başarımını artırmak için ışın örüntüsünü dinamik olarak değiştirebilir. Bu anten sistemleri, istenilen sinyalleri, çoklu yol sinyallerini ve girişimleri sürekli takip ederek bu sinyalleri ayırt eden, ayrıca bunların geliş doğrultularını (DoA) hesaplayan gelişmiş sinyal işleme algoritmaları kullanır. Bu yaklaşımda sistem, hem istenen sinyal hem de girişim sinyallerinin konumlarındaki değişikliklere göre ışın örüntüsünü sürekli yeniler. Bu şekilde ana ışın örüntüsünü sürekli istenilir kullanıcı yönünde hareket ettirip, girişim sinyalleri için örüntüsüz boş yüzeyler oluşturması bağlantı kalitesini en yüksek düzeye getirmektedir.

Uyarlamalı dizi anten sistemlerinin diğeri bir avantajı ise spektrum oluşturabilme kabiliyetidir. İstenilir sinyali hassas takip edebilme ve güçlü girişim bastırabilme özelliklerinden dolayı, aynı hücre içerisinde aynı kanal birden fazla kullanıcıya tahsis edilebilmektedir (Chryssomallis, 2000). Böylece hücre-içi (inter-cell) frekansın yeniden kullanılmasıyla sistem kapasitesi artırılabilir.

Şekil 3.10'da, her iki anten sistemi için ışın örüntüleri görülmektedir. Ortamda bir adet kullanıcı ve iki adet ortak kanal girişi bulunmaktadır. Kullanıcı yönünde olan çizgiler istenilir sinyalin doğrultusunu, girişim yönünde olan çizgiler ise girişim sinyallerin doğrultularını göstermektedir. Her iki sistemde en büyük kazanç sahip olan ışın örüntüsünü, istenilir sinyal doğrultusunda yönlendirmişlerse de uyarlamalı sistem istenilir sinyali ışın örüntüsünün merkezine gelecek şekilde daha hassas odaklamıştır. Böylece uyarlamalı sistem, anahtarlamalı ışın sistemine göre sinyal gücünden daha fazla kazanç sağlamaktadır. Benzer durum girişim sinyallerinin konumu için de geçerlidir. Uyarlamalı sistemler girişim sinyallerine ait doğrultularda en düşük kazanç elde edecek şekilde ışın örüntülerini yönlendirerek girişim sinyallerini maksimum oranda bastırırken, anahtarlamalı ışın sistemlerinde uyarlama işlemi söz konusu olmadığından böyle bir yetenekleri bulunmamaktadır (Chryssomallis, 2000, Balanis, 2005).



Şekil 3.10: Anahtarlamalı ışın anten sistemi ile uyarlamalı dizi anten sisteminin karşılaştırılması.

Anahtarlamalı ışın anten sistemleri ile uyarlamalı dizi anten sistemlerinin özellikleri Tablo 3.1’de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

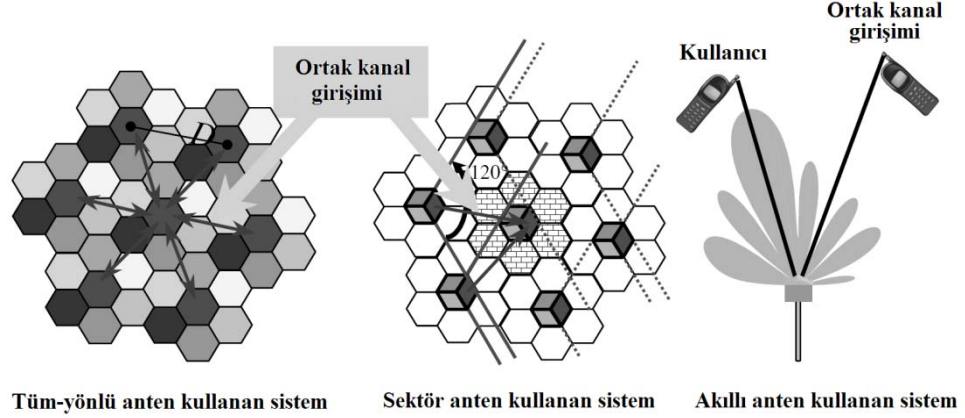
Tablo 3.1: Anahtarlamalı ışın anten sistemi ile uyarlamalı dizi anten sisteminin karşılaştırılması.

Özellik	Anahtarlamalı Işın Anten Sistemi	Uyarlamalı Dizi Anten Sistemi
Işın örüntüsü	Önceden tanımlanmış, sabit	İstenen kullanıcı yönünde hareketli
Algoritma	Oldukça basit	Karmaşık
Girişimleri bastırma oranı	Düşük	Yüksek
Güncellenebilirlik	Kolay ve ucuz	Pahalı, zor ve karmaşık
Hücre-içi el değişimi	Düşük	Yüksek
İstenilir sinyal seçiciliği	Düşük	Yüksek
Kullandığı işlemci	Sıradan sayısal işaret işlemci	Gelişmiş ve güçlü sayısal işaret işlemci
Maliyet	Düşük	Oldukça yüksek
Kurulumu	Kolay	Oldukça zor

3.7. Akıllı Anten Sistemlerinin Avantajları

Akıllı anten sistemlerinin bu tez çalışmalarında da kullanımına esas teşkil eden ve tüm-yönlü anten sistemlerine olan üstünlükleri şunlardır:

- **Kapsama alanını artırır**
Akıllı antenler, istenen kullanıcıya erişmek için dar ışın örüntüsü kullandıklarından, aynı gücü kullanan tüm-yönlü anten sistemlerine göre kazançları yüksektir. Bu yüksek kazanç, kullanılan baz istasyonunun hem erişim mesafesini hem de kapsama alanını artırır (Balanis, 2005, Liberti ve Rappaport, 1999). Bundan dolayı belirli bir bölgede kullanılacak baz istasyonu sayısı azaltılmış olur.
- **Ortak kanal girişimlerini (co-channel interference) azaltır**
Hücrel haberleşme sistemlerinde mevcut frekans kanalları farklı gruplara bölünerek her bir hücreye bir frekans kanalı tahsis edilir ve sistemdeki bazı hücreler aynı frekans kanalını (frequency reuse) kullanır (Haykin, 2001, Chryssomallis, 2000, Alexiou ve Haardt, 2004). Farklı hücrelerdeki aynı frekansı paylaşan kullanıcıların aynı anda kanalı kullandıklarında birbirlerine olan girişimleri ortak kanal girişimi olarak tanımlanır. Ortak kanal girişimi sistem kapasitesini sınırlar. Akıllı anten sistemleri, ışınan gücü dar ışın örüntüsü şeklinde hedef kullanıcı yönünde odaklama ve diğer kullanıcıların yönlerinde ise en aza indirme işlemi gerçekleştiren uzaysal filtreleme özellikleri sayesinde ortak kanal girişimlerini büyük ölçüde azaltır (Chryssomallis, 2000, Alexiou ve Haardt, 2004). Şekil 3.11’de farklı anten kullanan sistemlerin ortak kanal girişimleri görülmektedir.
- **Kapasite artışı sağlar**
Akıllı antenler ortak kanal girişimlerini azaltarak, frekansın yeniden kullanılma faktörünü artırırlar (Balanis, 2005). Böylece aynı anda aynı frekans spektrumunu birden çok kullanıcıya tahsis ederek, oldukça önemli kapasite artışları sağlarlar.



Şekil 3.11: Farklı anten kullanan sistemler de ortak kanal girişimi.

- Gönderilen gücü (transmitted power) azaltır
Tüm-yönlü antenler herhangi bir kullanıcıya erişmek için enerjiyi bütün yönlere eşit olarak dağıtırlar, ancak istenen kullanıcıya gücün küçük bir kısmı ile erişirler ve istenmeyen yönlerde (diğer yönlerde) gücün boşa harcanmasına sebep olurlar (Balanis, 2005, Korhonen, 2003). Akıllı antenler enerjiyi sadece istenen kullanıcı yönünde odakladığından, baz istasyonunda sinyalin iletimi için daha az güce ihtiyaç duyulur. Güçteki bu azalma aynı zamanda diğer kullanıcılara olan girişiminde azalmasını sağlar.
- Kablosuz spektrumun verimli (spectral efficiency) kullanımını sağlar
Akıllı anten kullanan sistemlerde sinyaller uzaysal olarak farklı düzlemlere ayrıştırılabildiğinden (SDMA tekniği ile) herhangi bir ortam erişim mekanizması ile (FDMA, TDMA, CDMA) kullanıldığında spektral verimliliği artırarak kablosuz ortamın daha etkin kullanılmasına olanak sağlar (Alexiou ve Haardt, 2004).
- Çok-yollu yayılım (multipath propagation) etkisini azaltır
Çok-yollu yayılım sinyalleri baz istasyonuna farklı yollardan geldiklerinden farklı faz açılara sahiptirler (Alexiou ve Haardt, 2004, Balanis, 2005). Akıllı anten sistemleri kendilerini sinyal ortamına ayarlayabildiklerinden, yansıyan sinyallerin, SOI (signal-of-interest) veya SNOI (signal-not-of-interest) sinyallerinin gecikmeli kopyalarının olma durumlarına göre ya bu sinyalleri reddeder ya da sinyal kalitesini artıracak şekilde kullanırlar. Çok-yollu sinyalleri bu şekilde kullanan akıllı antenler sistem başarımını yükseltirler.

- Yayılım gecikmesini (delay spread) azaltır
Yayılım gecikmesi, çok-yollu yayılım ortamında istenen sinyalin alıcıya farklı yönlerde gelmesi ve farklı mesafelerden dolayı bu sinyallerin gecikmeli olarak farklı sürelerde elde edilmesidir (Chryssomalis, 2000). Akıllı antenler ışın örüntüsünü belli noktalara odaklama ve diğer noktalara ışın örüntüsüz boş yüzeyler oluşturma özelliklerine bağlı olarak çok-yollu yayılımı ve dolayısıyla da yayılım gecikmesini önlemiş olur.
- Uyumluluğu yüksektir
Akıllı anten teknolojileri FDMA, TDMA, CDMA gibi birçok kablosuz ortam mekanizması ile birlikte kullanılabilir, ayrıca çoğu modülasyon tekniği, bantgenişiği ve frekansta kullanılabilirler.

3.8. Akıllı Anten Sistemlerinin Sınırlamaları

Akıllı anten sistemlerinin yukarıda açıklanan avantajlarının yanı sıra bazı önemli olumsuz yanları da bulunmaktadır:

- Akıllı anten alıcı-vericileri klasik baz istasyonu alıcı-vericisine göre çok karmaşık bir yapıya sahiptir.
- Her bir anten elemanı için ayrı bir alıcı-verici ünitesine ihtiyaç duyar ve bunların her birinin gerçek zamanlı olarak çok hassas ayarlanması gerekir (Tsoulos, 1999, Balanis, 2005).
- Işın şekillendirme işlemi çok yoğun matematiksel işlemler içerdiğinden, akıllı anten sistemleri çok güçlü sayısal işaret işlemcilerine ve kontrol sistemlerine ihtiyaç duyarlar. Buna bağlı olarak maliyetleri yüksektir.

3.9. Sonuç

Kablosuz gezgin haberleşme sistemlerinde, kapasite ve başarımlar genelde iki önemli etkene bağlı olarak sınırlandırılır. Bunlar çok-yollu yayılım etkisi ve ortak kanal girişimleridir (Alexiou ve Haardt, 2004, Balanis, 2005,). Akıllı anten sistemleri, çok-yollu yayılım etkisini ve ortak kanal girişimlerini etkin bir şekilde azaltarak kablosuz haberleşme sistemlerinin kapasitesini arttıran gelişmiş anten teknolojileridir (Balanis, 2005). Bu sistemler, ışın örüntüsünü sadece istenen kullanıcı yönüne

odaklayarak, değişen trafik ve sinyal durumlarına göre kendini ayarlar. Güçlü, düşük maliyetli ve karmaşık işlemleri çok kısa sürede yapan sayısal işaret işlemcilerin ortaya çıkması ve bununla birlikte yazılım tabanlı tekniklerin geliştirilmesi akıllı anten sistemlerinin hücresel haberleşme sistemlerinde yaygın hale gelmesini sağlamıştır. Böylece akıllı antenler kullanılarak hem sınırlı bir kaynak olan kablosuz ortamın en etkin şekilde kullanımı, hem de kişisel gezgin kablosuz haberleşme sistemlerinde artan kapasite ihtiyacının karşılanması sağlanmıştır (Okamoto, 2003).

Son yıllarda kablosuz sistem maliyetlerinin azalması ile kablosuz yerel alan ağlarına olan talep hızla artmış ve kablosuz ağlar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kablosuz ağlara olan talebin giderek artması beraberinde artan kapasite ihtiyacını doğurmuş ve kablosuz ortamın kullanıcılara en etkin şekilde paylaşılması zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Bu durum, sınırlı kablosuz ortam kaynaklarının verimli şekilde kullanması için çeşitli ortam erişim mekanizmalarının geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Akıllı antenler, mevcut ortam erişim mekanizmalarına yeni bir yaklaşımla uzaysal bölmeli çoklu erişim mekanizmasını eklemiştir. Bu sayede uzaysal olarak ayrılmış kullanıcılar, aynı anda aynı frekansı kullanarak haberleşebilmektedirler. Akıllı anten sistemleri dar hüzmeler oluşturabildiklerinden kullanıcılar arasındaki uzaysal ayırma yeterli olduğu miktarda, frekansı tekrar (frequency reuse) kullanılabilir. Böylece, hücre içerisinde bir frekans tekrar tekrar kullanılarak sistem kapasite kullanımında büyük oranda artış sağlanabilmektedir.

Bu bölümde akıllı anten sistemleri, akıllı anten sistemlerinin türleri, kablosuz haberleşme sistemlerindeki avantajları ve eksik yönleri ile tez çalışmasında kullanılan anten türü ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

4. AKILLI ANTEN KULLANAN GENİŞBANT KABLOSUZ AĞLAR İÇİN TASARLANAN YENİ OEK PROTOKOLÜ (AKGOEK)

4.1. Giriş

Kablosuz ortamda haberleşme için sınırlı bantgenişliğinin tüm kullanıcılara etkin bir biçimde paylaştırılması istenir. Ortam erişim kontrol (OEK) protokolleri, birden fazla kullanıcının eşzamanlı olarak aktif olduğu durumlarda sistem başarımını en az etkileyecek şekilde sınırlı bantgenişliğini paylaşmasını/kullanmasını sağlar (Rappaport, 2002, Prasad ve Ruggieri, 2003).

Son yıllarda kablosuz OEK protokolleri konusunda yoğun çalışmalar sürdürülmektedir. Başlangıçta OEK protokolleri, sadece veri iletimi gerçekleştiren uydu haberleşmesi için öngörülmüştür. Daha sonraları VLSI, kablosuz sistemler ve yazılım teknolojisindeki gelişmelerle birlikte çoklu ortam uygulamalarını ve gerçek zamanlı verilerin iletimini sağlayan OEK protokolleri de geliştirilmeye başlanmıştır. Günümüzde üzerinde çalışılan OEK protokolleri ise bir taraftan akıllı anten sistemlerinden yararlanarak kablosuz ortam kaynaklarını en etkin şekilde kullanmayı, diğer taraftan da çoklu ortam uygulamalarını ve gerçek zamanlı veri iletimini gerçekleştirmeyi hedeflemektedirler.

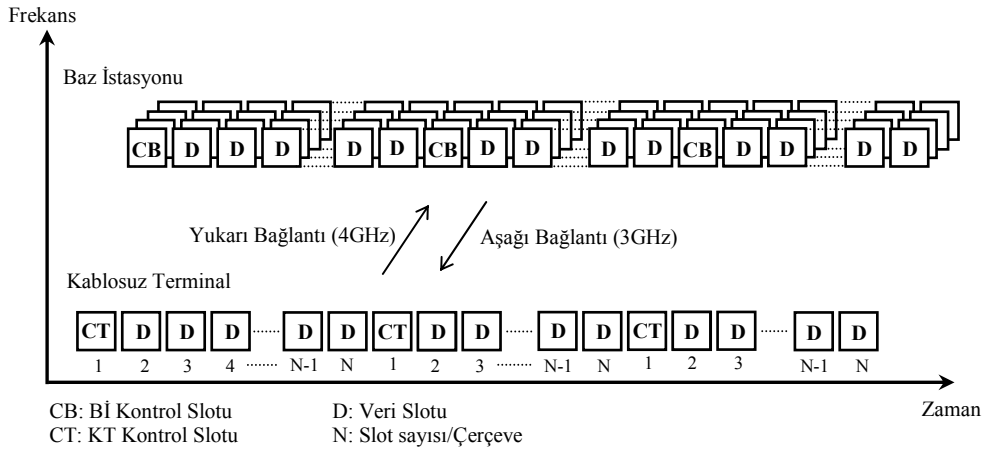
Bu bölümde, tez çalışmasında gerçekleştirilen, genişbant kablosuz ağlar için akıllı anten kullanan ve uygulamalara servis kalitesi desteği sağlayan TDMA/FDD tekniğine dayalı yeni bir OEK protokolünün tasarımı (Bölüm 4.2), benzetim modeli (Bölüm 4.3) ve analitik modeli (Bölüm 4.4) açıklanmaktadır. Geliştirilen bu protokol, kısaca AKGOEK (Akıllı Anten Kullanan Genişbant Kablosuz Ağlar için O E K) olarak adlandırılmıştır ve tezin ilerleyen bölümlerinde bu şekilde ifade edilmektedir.

4.2. Önerilen AKGOEK Protokolü

Bu alt bölümde, (Çeken, 2004)'de sunulan TDMA/FDD OEK yaklaşımından da esinlenilerek gerçekleştirilen yeni AKGOEK protokolünün tasarımı ana hatlarıyla açıklanmaktadır.

AKGOEK, sayısal haberleşme sistemlerinde sıklıkla kullanılan ve farklı veri trafiklerinin gereksinimlerini karşılayabilme özelliğinden dolayı TDMA çoklu erişim yöntemini esas almaktadır. İkileyici yöntemi olarak ise gönderme ve alma kanalları için farklı frekansların kullanıldığı FDD tekniğinin seçildiği bu protokolde, yukarı bağlantı için 4 GHz, aşağı bağlantı için ise 3 GHz frekans bantları kullanılmaktadır.

Şekil 4.1'de gerçekleştirilen AKGOEK protokolünün çerçeve yapısı görülmektedir. Burada kullanılan CB, D ve CT her biri farklı amaç için çerçeve içerisinde kullanılan zaman dilimlerini göstermektedir. CB, baz istasyonu kontrol zaman dilimini, D veri iletiminin gerçekleştiği zaman dilimini ve CT ise terminallere ait kontrol zaman dilimini göstermektedir. Kontrol zaman dilimleri iletişimin başlatılması veya sonlandırılması gibi denetim amaçlı iletişimin gerçekleştiği zaman dilimleridir. N ise çerçevede kullanılan toplam zaman dilimi sayısını göstermektedir.



Şekil 4.1: AKGOEK–OEK protokolünün çerçeve yapısı.

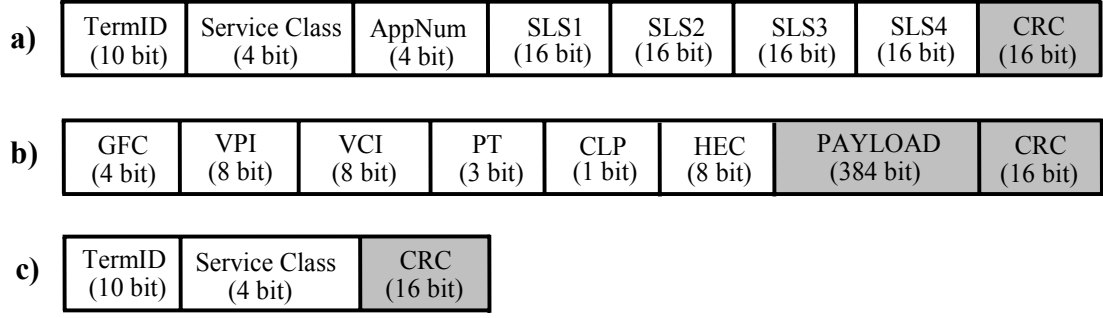
AKGOEK protokolü bir baz istasyonu ve çok sayıda kablosuz terminalin oluşturduğu genişbant kablosuz ağlar için tasarlanmıştır ve iki ana bölümden oluşmaktadır. Baz istasyonu ve kablosuz terminal olarak geliştirilen bu iki bölüm birbirleri ile eşzamanlı olarak çalışmaktadır. Kablosuz terminaller iletişimlerini yalnızca baz istasyonu üzerinden gerçekleştirebilmekte, diğer terminaller ile doğrudan haberleşmemektedir. Kablosuz terminal, haberleşme isteğinden önce, ileteceği verinin karakteristik özelliklerine uygun olarak baz istasyonundan kanal isteğinde bulunur. Baz istasyonu, bu terminalin iletmek istediği verinin servis kalitesi (SK) değişkenlerine bağlı olarak, yeterli sayıda zaman dilimini (bantgenişliğini) bu terminal için tahsis eder. Yeterli sayıda zaman dilimi yoksa bu terminalin bağlantı isteğini geri çevirir (call blocking). Terminal, gerekirse bir süre sonra tekrar bağlantı isteğinde bulunabilir.

4.3. AKGOEK Protokolünün Benzetim Modeli

Geliştirilen AKGOEK protokolünün benzetim modeli, baz istasyonu modeli ve terminal modeli olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlar aşağıdaki alt bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

4.3.1. Kablosuz terminal modeli

Kablosuz terminaller, ağ içerisinde baz istasyonu üzerinden birbirleriyle veri iletimini gerçekleştirir. Benzetim modelinde terminallerin üç ayrı görevi bulunmaktadır. Birincisi, veri iletiminden önce baz istasyonundan bağlantı isteğinde bulunmak, ikincisi eğer bağlantı kurulmuşsa, baz istasyonun tahsis ettiği zaman dilimlerinde veri iletimini gerçekleştirmek ve son olarak bağlantının sonlandırılması için baz istasyonuna istekte bulunmaktır. Terminal, baz istasyonundan bağlantı isteğinde bulunurken Şekil 4.2.a'daki paket yapısını kullanılır. Bu paket içerisinde terminal ID (kimlik) numarası ve veri trafiğine ait servis kalitesi değişkenleri yer almaktadır. Bağlantı kurulduktan sonra Şekil 4.2.b'de görülen veri paket yapısı kullanılarak veri iletimi gerçekleştirilmektedir. Bağlantının sonlandırılması için ise Şekil 4.2.c'deki paket türü kullanılmaktadır.



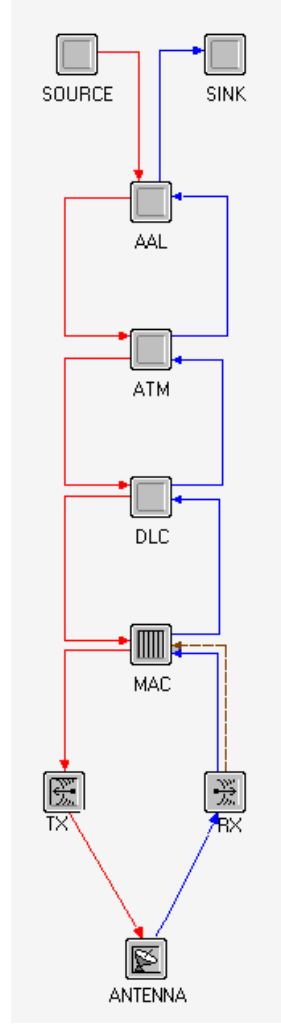
Şekil 4.2: AKGOEK protokolünde kullanılan paket yapıları: a) Bağlantı istek paketi, b) Veri paketi, c) Bağlantı sonlandırma paketi

4.3.1.1. Kablosuz terminal düğüm modeli

Gerçekleştirilen AKGOEK protokolünde terminallerin kullandığı düğüm modeli (node model) Şekil 4.3’te görülmektedir. Bu modelde kullanılan modüller ve görevleri aşağıda kısaca açıklanmaktadır:

- ‘SOURCE’ modülü, belirlenen bir dağılım ve sıklıkta paketler üretir.
- ‘SINK’ modülü, sistem başarımının belirlenmesinde gerekli istatistiksel verileri tutarak, alınan paketleri yok eder.
- ‘AAL’ modülü, uygulama programları ve servislerinin gereksinim duyduğu farklı türde trafiklerin ATM katmanı üzerinden aktarılmasını sağlar.
- ‘ATM’ modülü, bağlantının kurulması, akış kontrolü ve hücrelerin anahtarlanması işlemlerini gerçekleştirir.
- ‘DLC’ modülü, fiziksel katmandaki radyo kanallarından kaynaklanan akış ve hataları denetler.
- ‘MAC’ modülü, kablosuz ortam kaynaklarını tüm terminallere etkin bir şekilde paylaşır.
- ‘TX’, ‘RX’ ve ‘ANTENNA’ modülleri, MAC modülü ile kablosuz iletişim kanalı arasındaki iki yönlü veri akışını gerçekleştirirler.

Modüller arasında bulunan çizgiler, kaynak–anten ve anten–hedef yönündeki veri akışını göstermektedir. Kesikli çizgiler ise kanalın kullanım durumunu göstermektedir.



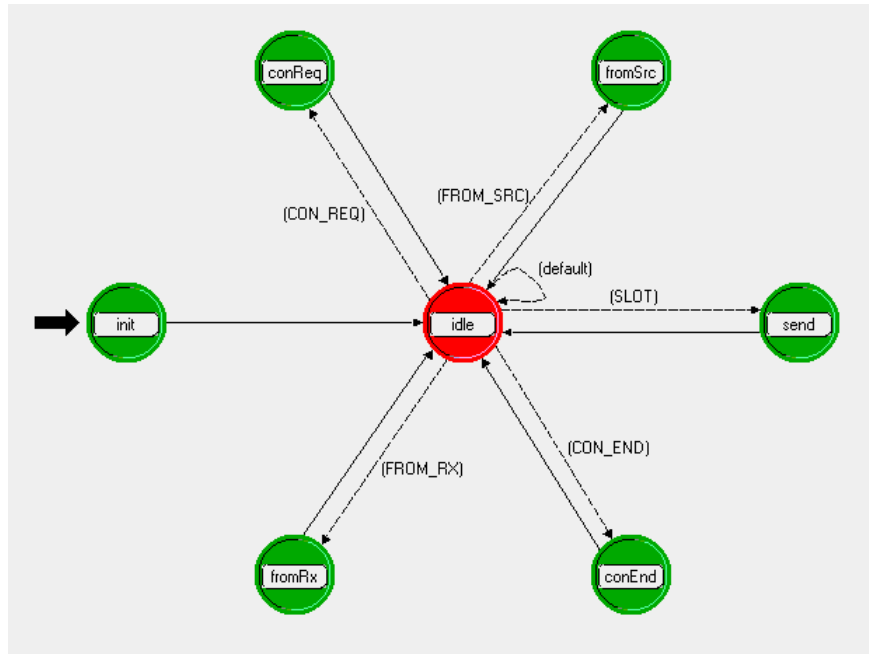
Şekil 4.3: AKGOEK protokolünün kablosuz terminal düğüm modeli.

4.3.1.2. Kablosuz terminal OEK süreç modeli ve algoritması

OPNET benzetim programında tanımlanan her bir modül, süreç (process) modelleri ile ifade edilmektedir. Şekil 4.3'te tanımlanan OEK modülünün süreç modeli Şekil 4.4'te görülmektedir. Bu modeldeki her bir durum makinesinin işlevi aşağıda açıklanmaktadır:

- 'init' durum makinesi, veri iletişimi için gerekli başlangıç işlemlerini gerçekleştirir.
- 'idle' durum makinesi, veri iletişimi başlangıç işlemlerinden sonra oluşacak kesmeleri bekler. İletişim sürecinde oluşan tüm değişiklikler bir kesme üretir.
- 'conReq' durum makinesi, kablosuz terminalin bağlantı isteğini baz istasyonuna bildirir.

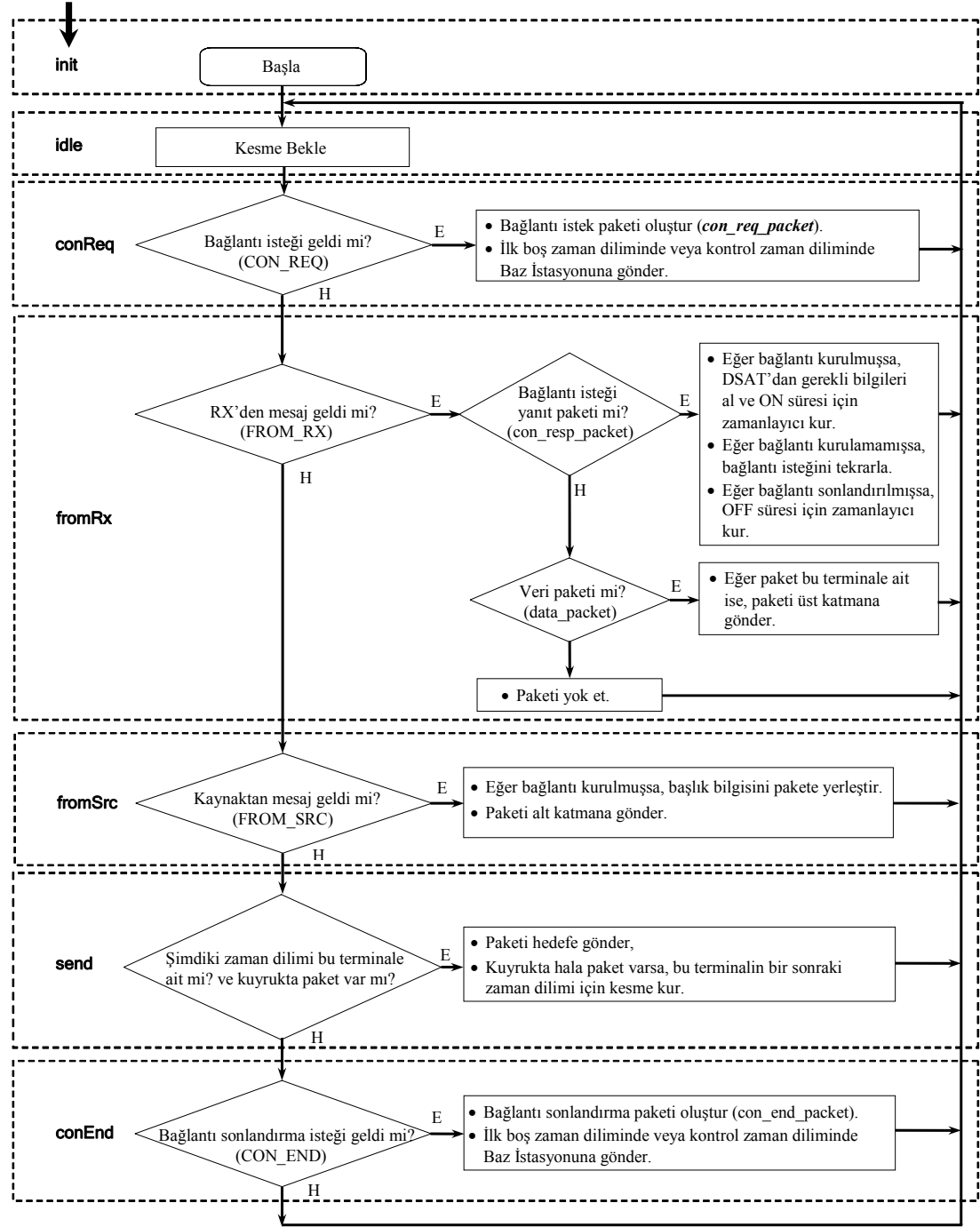
- ‘fromSrc’ durum makinesi, kaynaktan gelen ham verileri istenilen formata dönüştürdükten sonra kuyruğa atar.
- ‘send’ durum makinesi, kuyrukta bekletilen verileri, bu terminale tahsis edilen zaman dilimlerinde gönderir.
- ‘conEnd’ durum makinesi, veri iletimini tamamladıktan sonra, kablosuz terminalin bağlantı sonlandırma isteğini baz istasyonuna bildirir.
- ‘fromRx’ durum makinesi, antenden gelen işaretleri (bilgileri) alarak üst katmanlara yönlendirir.



Şekil 4.4: AKGOEK protokolünün kablosuz terminal OEK süreç modeli.

Şekil 4.5’te kablosuz terminal OEK süreç modelinin algoritması durum makineleri ile birlikte görülmektedir. Ayrıca süreç modeli program kodları Ek–A’da verilmiştir.

Durum Makinesi



Şekil 4.5: Kablosuz terminal OEK süreç modeli algoritması.

4.3.2. Baz istasyonu OEK modeli

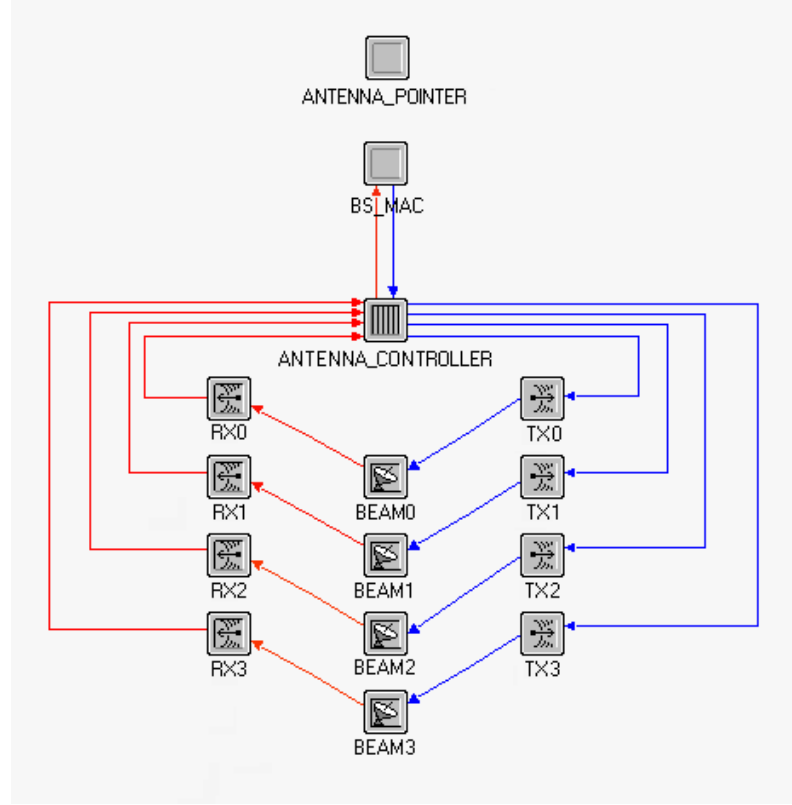
Gerçekleştirilen AKGOEK protokolünün baz istasyonu modeli, terminallere ait bağlantıların kurulmasını, verilerin iletimini ve bağlantıların sonlandırılmasını gerçekleştirir. Bağlantı kurulabilmesi için öncelikle baz istasyonu, talep edilen servis sınıfı desteğine bağlı olarak, DSAT algoritması yardımıyla, gerekli bantgenişliğini

tahsis edip edemeyeceğini denetleyerek ilgili terminali bilgilendirir. Eğer bağlantı kurulmuşsa, terminaller baz istasyonu üzerinden kendilerine ait zaman dilimlerinde verilerini iletirler. Veri iletimi gerçekleştirildikten sonra, terminal baz istasyonuna bağlantı sonlandırma paketi göndererek iletişimi bitirmek ister. Bağlantı sonlandırma paketini alan baz istasyonu bu terminal için tahsis edilen bantgenişliğini diğer terminallerin kullanımına açar.

4.3.2.1. Baz istasyonu düğüm modeli

Şekil 4.6’da 4 anteni bulunan bir AKGOEK baz istasyonu düğüm modeli görülmektedir. Bu modelde her bir anten (BEAM) için bir adet alıcı (RX) ve bir adet verici (TX) modülü bulunmaktadır. Bu antenlerin her biri $\pi/2$ radyanlık açı ile farklı taraflara yönlendirildiklerinden, bütün uzay kapsanmaktadır. Benzetim programında 6 ve 8 anteni bulunan baz istasyonu modelleri de gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yönsüz anten kullanan bir baz istasyonu modeli de başarımlerinin karşılaştırılması için tasarlanmıştır. Düğüm modelindeki diğer modüllerin görevleri ise aşağıda kısaca açıklanmaktadır:

- ‘ANTENNA_POINTER’, anten elemanlarının her birini uzayda belirlenen tarafa yönlendirerek yalnız bu yönlerden gönderme ve alma işlemlerini gerçekleştirir.
- ‘ANTENNA_CONTROLLER’ modülü, antenlerden gelen işaretleri alarak OEK katmanına aktarır. Ayrıca, OEK katmanından gelen verileri iletmek üzere ilgili verici (transmitter, TX) üzerinden antene gönderir.
- ‘BS_MAC’ modülü, ilgili anten elemanını aktif ederek, alt katmanlardan gelen verileri alıcı terminale iletir.



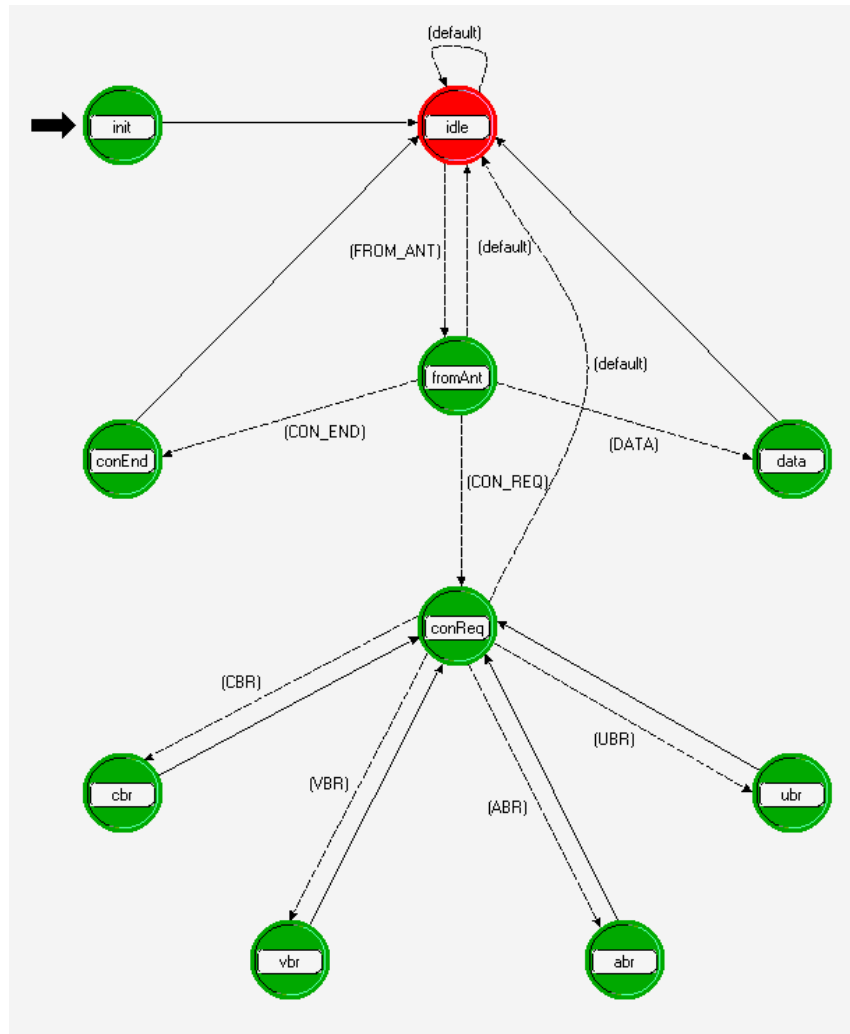
Şekil 4.6: 4 adet anten kullanan baz istasyonu düğüm modeli.

4.3.2.2. Baz istasyonu OEK süreç modeli ve algoritması

Gerçekleştirilen AKGOEK protokolünün en önemli kısmını oluşturan baz istasyonu OEK süreç modeli Şekil 4.7’de görülmektedir. Burada kullanılan durum makineleri ve görevleri aşağıda sırasıyla açıklanmaktadır:

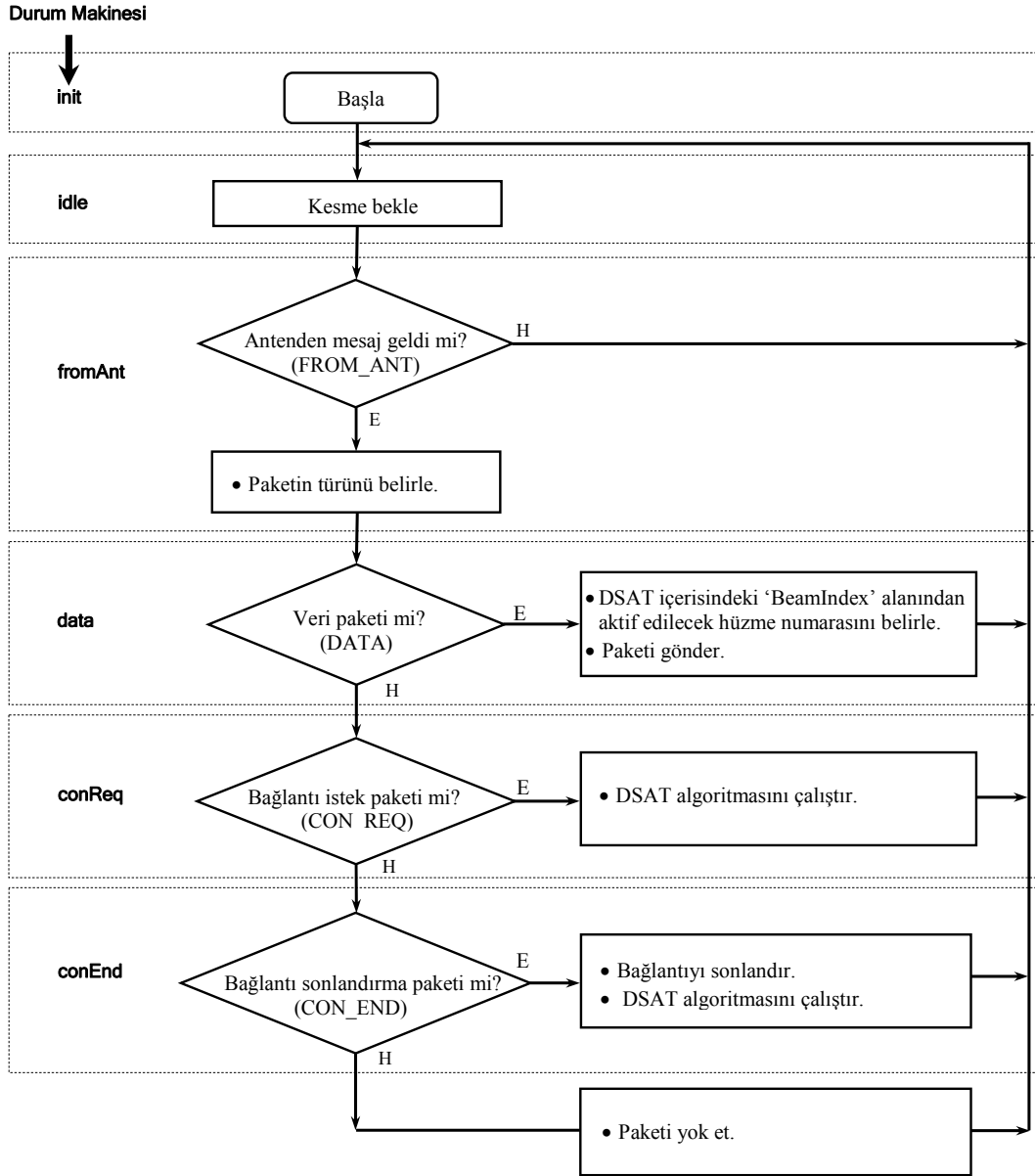
- ‘init’ durum makinesi, veri iletişimi için gerekli başlangıç işlemlerini gerçekleştirir.
- ‘idle’ durum makinesi, veri iletişimi başlangıç işlemlerinden sonra oluşacak kesmeleri bekler.
- ‘conEnd’ durum makinesi, bağlantı sonlandırma paketi geldiğinde ilgili terminalin bağlantısını sonlandırarak, tahsis edilmiş olan zaman dilimlerini diğer terminallerin kullanımına sunar.
- ‘fromAnt’ durum makinesi, antenden gelen paketin türüne göre (con_req_packet, data_packet, con_end_packet) akış yönünü belirler.
- ‘data’ durum makinesi, bağlantı kurulduktan sonra terminallerden gelen verileri bir alt katmana iletir.

- ‘conReq’ durum makinesi, bağlantı istek paketi geldiğinde, bağlantının servis kalitesi değişkenlerini dikkate alarak bu istek için bağlantı gereksinimlerini (bantgenişliği vb.) hesaplar. Eğer yeterli bantgenişliği varsa, bu terminalin bağlantı isteği kabul edilir, aksi halde reddedilir. Bağlantının kurulması durumunda, ayrıca terminale kullanacağı zaman dilimleri de bildirilir. Bağlantı kurulamadığında ise bu durum ilgili terminale iletilir.
- ‘cbr’, ‘vbr’, ‘abr’, ‘ubr’ durum makineleri, terminallerden gelen bağlantı isteğinin servis kalitesi türüne göre DSAT’tan gerekli ve belirli sayıdaki zaman dilimlerini ayırır. Bu işlem, yeni geliştirilen ve ilerleyen bölümlerde detaylandırılan DSAT yönetim algoritmaları ile geręekleřtirilir.



şekil 4.7: Baz istasyonu süreç modeli.

AKGOEK protokolü baz istasyonu süreç modelinin algoritması Şekil 4.8’de görülmektedir. Burada işlemlerin hangi durum makinelerinde gerçekleştirildiği de belirtilmektedir. Ayrıca süreç modeli program kodları Ek-B’de verilmiştir.



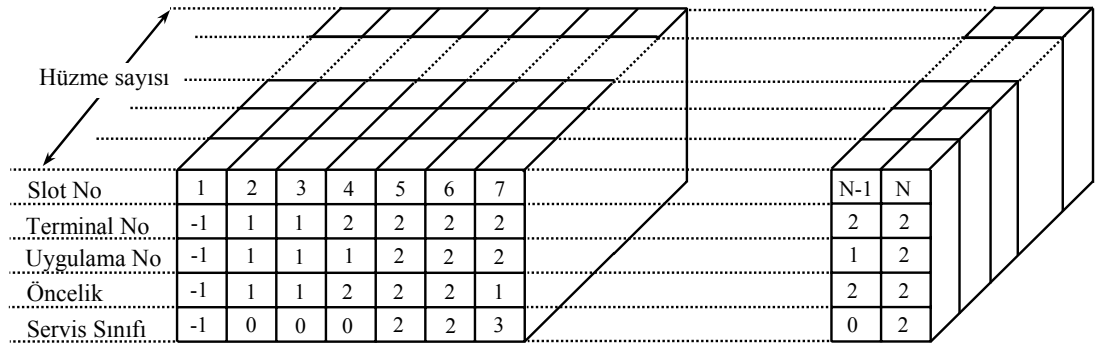
Şekil 4.8: Baz istasyonu süreç modeli algoritması.

4.3.2.3. Dinamik Slot Tahsis Tablosu (DSAT) ve yönetimi

Dinamik Slot Tahsis Tablosu (DSAT), kullanıcılara ortam kaynaklarını etkin şekilde paylaşmak için tasarlanılmıştır. DSAT, kablosuz terminallerin ihtiyacı olan servis kalitesi desteğini sağlamak için gerekli zaman dilimi/dilimlerini tahsis ederek, çoklu ortam trafiklerinin iletimini sağlar (Şekil 4.9). Bu tabloda zaman dilimini kullanan

terminal kimlik (ID) numarası, uygulama numarası, öncelik ve servis sınıfı gibi zaman dilimine ait bilgiler saklanmaktadır. Tabloda kullanılan alanlar aşağıda açıklanmıştır.

- “Slot No” alanı bir çerçevede kullanılacak zaman dilimlerinin numaralarını gösterir.
- “Terminal No” alanı, “Slot No” alanında gösterilen zaman dilimini hangi terminalin kullanacağını gösterir. Bu alanın başlangıç değeri (-1)’dir ve zaman diliminin boş olduğunu diğer bir ifadeyle yeni bir bağlantı için kullanılabileceğini göstermektedir.
- “Uygulama No” alanı, zaman dilimini kullanan uygulamanın numarasını göstermektedir. Bu alan kullanılan uygulamanın türüne göre 4 farklı (1, 2, 3, 4) değer almaktadır.
- “Öncelik” alanı, zaman diliminin önceliğini göstermektedir. İki farklı öncelik (1=Yüksek, 2=Düşük) bulunmaktadır.
- “Servis Sınıfı” alanı ise zaman dilimini kullanılan terminale ait servis sınıf numarasını göstermektedir. Bu alan, her biri bir servis sınıfını gösteren 4 farklı (0:CBR, 1:VBR, 2:ABR, 3:UBR) değer almaktadır.



Şekil 4.9: DSAT yapısı.

Bağlantı isteğinde bulunacak terminal öncelikle o bağlantı için gerekli trafik parametrelerini kullanarak yeterli zaman dilimi sayısını ve önceliklerini belirleyerek, bağlantı istek paketine bu bilgileri yerleştirir ve yeni bir bağlantı için baz istasyonundan istekte bulunur. Uygulamaların PCR, SCR ve MCR değerlerini karşılayacak sayıdaki zaman dilimi, önceliği “1” olarak tahsis edildikten sonra bu uygulamalar tarafından kullanılmayan boş zaman dilimleri CBR servis sınıfı dışındaki bağlantıların garanti edilmeyen ihtiyaçlarını karşılamak üzere öncelik

değerleri “2” olacak şekilde tahsis edilmektedir. Öncelik değeri “2” olan bir zaman dilimi, öncelik değeri “1” olan yeni bir bağlantı için tahsis edilebilirken, “2” öncelikli bir zaman dilimi, yeni bir bağlantının “2” öncelikli bağlantıları için tahsis edilemez. Diğer bir ifade ile “1” öncelikli zaman dilimlerinin “2” öncelikli zaman dilimlerine üstünlüğü bulunmaktadır.

Her çerçevenin ilk zaman dilimi ‘kontrol zaman dilimi’ (CB, CT) olarak ayrılır. Bu zaman diliminde, yeni bir bağlantı kurulması ve mevcut bağlantıların sonlandırılması gibi işlemler için baz istasyonuna ilgili paketlerin gönderilmesi sağlanır.

4.3.2.3.1. Garantili zaman dilimlerinin bağlantılara tahsis edilmesi

Garantili zaman dilimi, öncelik değeri “1” olan ve bağlantı kurulabilmesi için zorunlu zaman dilimleridir. Uygulamaların PCR, SCR ve MCR değerleri kullanılarak önceliği “1” olan garanti edilmiş zaman dilimi sayısı belirlenir. Her bir servis sınıfı için tahsis edilmesi gereken zaman dilimi sayısı aşağıdaki gibi belirlenir (Şekil 4.10);

- CBR servis sınıfı için ayrılan zaman dilimlerinin sayısı;

Gecikme ve gecikme değişimine duyarlı trafikler CBR servis sınıfını kullanır. Bu servis sınıfı için gerekli “1” öncelikli zaman dilimi sayısı, PCR ve CTD değeri ile hesaplanır. Zaman dilimleri arasında bırakılabilecek en büyük zaman değeri ise CDV parametresi ile belirlenir.

CBR servis sınıfı için ihtiyaç duyulan “1” öncelikli zaman dilimi sayısı (ZDS), çerçeve süresine (CS), kullanılan trafiğin PCR değerine, bir zaman diliminde iletilecek veri boyutuna (IVB) bağlıdır. Bu değişkenler kullanılarak gerekli zaman dilimi sayısı Denklem (4.1) ile hesaplanır;

$$ZDS = \frac{PCR \times CS}{IVB} \quad (4.1)$$

Örneğin, zaman dilimleri içerisinde 10 ATM hücresi bulunan ve PCR değeri 100 KBayt/sn olan bir CBR bağlantı için çerçevede ihtiyaç duyulan ZDS değeri;

$$ZDS = \frac{(100 \times 1024 \text{ Bayt/sn}) \times (200 \times 10^{-3} \text{ sn})}{10 \times 53 \text{ Bayt}} \cong 39$$

olarak bulunur.

CBR servis sınıfında, gerekli CTD değerinin garanti edilebilmesi için bu zaman dilimleri, çerçeve içerisinde eşit aralıklarla dağıtılmaktadır. Eğer dağıtım esnasında, ilgili zaman dilimi “1” öncelikli mevcut bir bağlantı için kullanılıyorsa, bundan önceki ilk boş zaman dilimi (CDV değerini de sağlayan) kurulmak istenen yeni bağlantıya tahsis edilir.

- VBR servis sınıfı için garantili zaman dilimlerinin sayısı;

Gecikme ve gecikme değişimine duyarlı patlamalı trafikler VBR servis sınıfını kullanır. Bu servis sınıfı için gerekli “1” öncelikli zaman dilimi sayısı, SCR, CTD değerleri ile belirlenmektedir. Ayrıca, zaman dilimleri arasında bırakılabilecek en büyük zaman CDV parametresi kullanılarak CBR servis sınıfında olduğu gibi hesaplanmaktadır.

- ABR servis sınıfı için garantili zaman dilimlerinin sayısı;

ABR servis sınıfı için gerekli “1” öncelikli zaman dilimi sayısı, MCR parametresi ile belirlenerek çerçeve içerisinde eşit aralıklarla dağıtılır.

- UBR servis sınıfı için garantili zaman dilimi tahsisi;

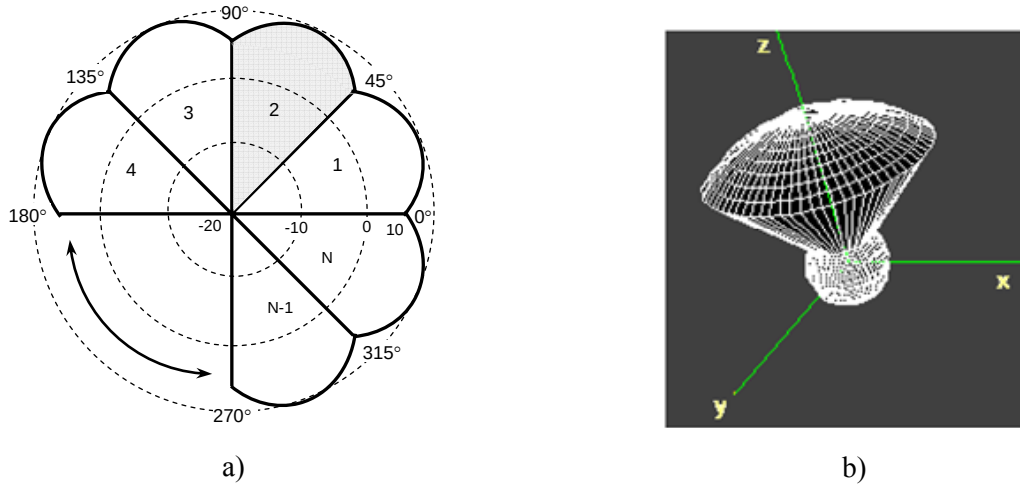
ATM standartlarına göre UBR servis sınıfının bantgenişliği garantisi zorunlu değildir. Ancak, geliştirilen DSAT yönetimi algoritmalarında da esas alındığı gibi, kablosuz ortamda bir bağlantının kurulabilmesi ve sürdürülebilmesi için en az 1 zaman diliminin “1” öncelikli olarak bu servis sınıfını kullanan kablosuz terminale tahsis edilmesi gerekmektedir.

4.3.2.3.2. Garantisiz zaman dilimlerinin bağlantılara tahsisi

DSAT’ta “1” öncelikli zaman dilimlerinin tahsisinden sonra diğer zaman dilimleri, VBR, ABR ve UBR servis sınıflarının trafik parametrelerine bağlı olarak (VBR için

tanımlanabilmektedir. Hüzme genişliği θ_m olan bir ana ışın örüntüsünün kazancı g_m ise, kazancı g_s olan yan ışın örüntülerinin hüzme genişliği $(2\pi-\theta_m)$ 'dir. Bu tez çalışmalarında farklı hüzme genişliklerine (örneğin, $2\pi/4$ radyan, $2\pi/6$ radyan, $2\pi/8$ radyan) sahip anten örüntüleri kullanabilen bir model yapısı esas alınmıştır.

Şekil 4.11.a'da baz istasyonu anten modelinde kullanılan çoklu ışın hüzmeli anten modeli görülmektedir. Şekil 4.11.b'de ise hüzme genişliği $2\pi/4$ radyan, ana ışın örüntüsü 10 dBi ve yan ışın örüntüsü -20 dBi olan 4 ışın hüzmeli anten modelinin OPNET “Antenna Pattern Editor”ündeki görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.11: Baz istasyonu anten modeli.

4.4. AKGOEK Protokolünün Analitik Modeli

Bu alt bölümde AKGOEK protokolünün analitik modeli detaylı olarak sunulmaktadır. Analitik (matematiksel) model, herhangi bir iletişim sisteminin başarımlarında de kullanılabilir en etkili yöntemlerden birisidir. Sayısal iletişim sistemlerinin gösteriminde kullanılan analitik modeller, sistemlerin davranışları ve karakteristik özellikleri hakkında kesin bilgiler verir. İletişim sistemleri, üzerlerinde yapılacak araştırmanın/çalışmanın türüne göre farklı şekillerde ifade edilebilen birçok analitik modele sahip olabilir. Bunların en önemlilerinden birisi olan kuyruk modeli, bir kuyruk sisteminin (örneğin bu tez çalışmasında da olduğu gibi bir kablosuz sayısal iletişim sistemi) bazı parametrelerle birlikte analitik olarak gösterimidir.

4.4.1. Kuyruk sistemleri

Kuyruk teorisi, bilgisayar sistemlerinin başarımlarını değerlendirmesinde sıkça başvurulan bir analitik modelleme yaklaşımıdır. Bilgisayar sistemlerinde birçok iş ve süreç MİB (Merkezi İşlem Birimi), hafıza vb. gibi sistem kaynaklarını kullanır. Herhangi bir “t” anında sadece bir eleman bu sistem kaynaklarını kullanabileceğinden, kaynağı kullanmak isteyen diğer elemanlar kuyrukta bekler. Kuyruk teorisi, sistem içerisindeki kuyruklarda geçen bekleme sürelerinin hesaplanması ve böylece herhangi bir iş/süreç için sistem içerisinde harcanacak toplam bekleme süresinin (response time) tahmin edilmesinde kullanılır (Jain, 1991). Bu teori, sadece bilgisayar sistemlerinde değil, haberleşme, veri işleme ve süreç denetim sistemlerinde de oldukça yaygın kullanılmaktadır.

4.4.1.1. Kuyruk sistemlerinin gösterimi

Bir kuyruk sisteminin tanımlanabilmesi için, sistemin giriş disiplini, çıkış disiplini ve servis disiplini gibi bazı karakteristik özelliklerin tanımlanması gerekir. Bu özellikler aşağıda açıklanmaktadır;

- Giriş Disiplini/Giriş Süreci (Arrival Process): Eğer sistemde paketler kuyruğa $t_1, t_2, \dots, t_j$ gibi rastgele sürelerde geliyorsa $\tau_j = t_j - t_{j-1}$ ifadesine gelişler arası süre (inter-arrival time) denir. τ_j 'nin genelde bağımsız ve benzer dağıtılmış (Independent and Identically Distributed, IID) rastgele değişken dizisi oluşturduğu kabul edilmektedir. En yaygın kullanılan giriş disiplini, gelişler arası sürenin üstel dağılım olduğu Poisson giriş (Poisson arrival) sürecidir.
- Servis Süresi Dağılımı (Service Time Distribution): Kuyruk sistemlerinin analizinde bilinmesi gereken önemli parametrelerden biri de servis süresidir. Diğer bir ifade ile her bir paketin iletimi için harcanan hizmet süresidir. Servis süresi de bağımsız ve benzer şekilde dağıtılmış (IID) rastgele sayılardan oluşur. En yaygın kullanılan servis süresi dağılımı üstel dağılımdır.
- Servis Sunucu Sayısı (The Number of Servers): Bir kuyruk sistemindeki servis verenlerin sayısıdır. Bir veya daha fazla kullanılabilir.

- Sistem Kapasitesi (System Capacity): Kuyruk sisteminde bekleyebilecek en fazla paket sayısı olarak tanımlanmaktadır. Sistem kapasitesi birçok sistemde sonsuz kabul edilir. Sistem kapasitesi servis alanlar ile servis almayı bekleyenleri içerir.
- Popülasyon Büyüklüğü (Population Size): Servis sağlanabilecek toplam potansiyel paket sayısını gösterir.
- Servis Disiplini (Service Discipline): Paketlere hangi sırayla servis sağlanacağı servis disiplini tarafından belirlenir. En yaygın kullanılan servis disiplini ilk gelen–ilk servis görür (First Come First Served–FCFS) disiplini. Ayrıca son gelen–ilk servis görür (Last Come First Served–LCFS) gibi değişik servis disiplinleri de bulunmaktadır.

Bir kuyruk sisteminin tanımlanabilmesi için yukarıda ifade edilen altı parametrenin bilinmesi gereklidir. Bu parametreler, Kendall gösterimi (Kendall notation) adı verilen bir formda ifade edilirler. Kendall gösterimi, ‘A/S/m/B/K/SD’ şeklindeki gibi aralarında ‘/’ bulunan altı parametrenin İngilizce baş harflerinin kısaltılmışıdır (Jain, 1991). Bu gösterimde:

- A: Gelişler arası sürenin dağılımını,
- S: Servis süresi dağılımını,
- m: Servis sunucu sayısını,
- B: Tampon sayısını (sistem kapasitesini),
- K: Popülasyon büyüklüğünü ve
- SD: Servis disiplinini ifade etmektedir.

Gelişler arası ve servis süreleri için genelde şu dört kısaltma kullanılır:

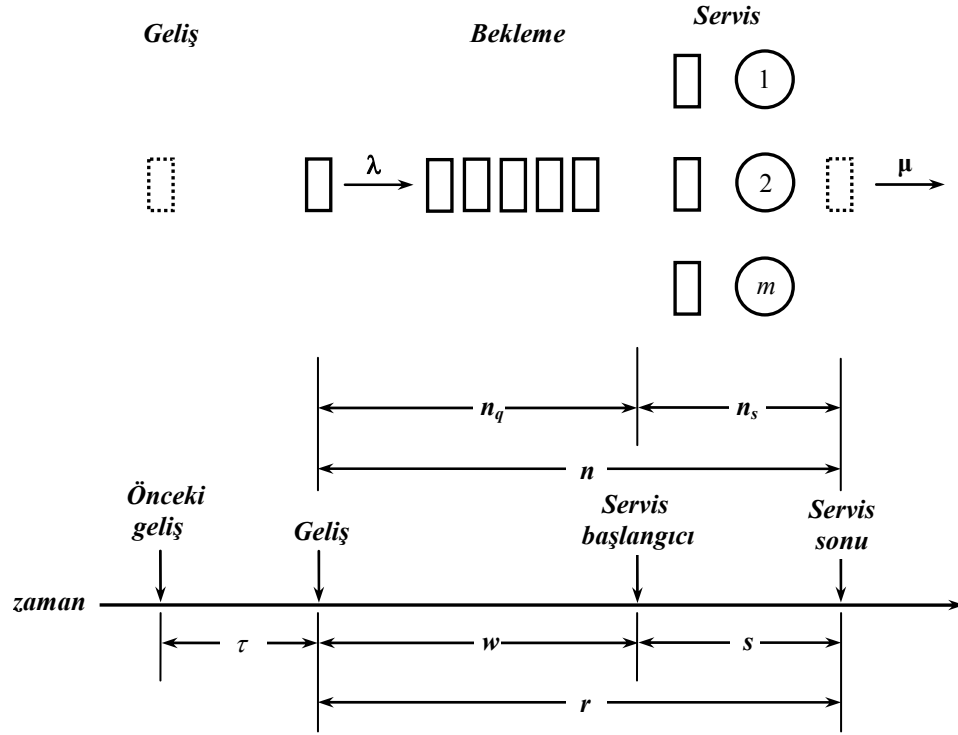
- M: Üstel dağılım
- D: Deterministik
- G: Genel dağılım
- E_k: k parametrelili Erlang dağılımı

Örneğin, “M/D/1/10/200/LCFS” ifadesi; gelişler arası sürenin “üstel dağılım”, servis süresinin “deterministik”, “1 adet” servis sunucunun olduğu, kuyruğun “en fazla 10 tampona” sahip olduğu, toplam “200 iş için hizmet” verilebileceği ve “Son Gelen–İlk Hizmet Görür (LCFS)” servis disiplinin kullanıldığı bir kuyruk sistemini tanımlamaktadır.

4.4.1.2. Kuyruk sistemlerinde kullanılan ifadeler

Kuyruk sistemlerinde kullanılan parametreler Şekil 4.12’de görülmektedir. Bu parametreler aşağıda kısaca açıklanmaktadır;

- τ : Gelişler arası süre (Interarrival time): Ard arda gelen iki müşteri arasındaki süre.
- λ : Ortalama Geliş Oranı (Mean Arrival Rate): $1/E[\tau]$.
- s : Her bir iş (paket) için servis süresi.
- μ : Her bir servis sunucu için ortalama servis oranı, $1/E[s]$. Tüm sistemin servis oranı, servis sunucu sayısı ile servis oranının çarpımına eşittir, yani “ $m\mu$ ” dur.
- n : Sistemdeki iş (paket) sayısını gösterir ve aynı zamanda kuyruk uzunluğu olarak da bilinir. Bu sayı hem servis alan, hem de kuyrukta bekleyen işlerin toplamını göstermektedir.
- n_q : Servis almak için kuyrukta bekleyen iş sayısını göstermektedir.
- n_s : Servis alan iş sayısını göstermektedir.
- r : Cevap süresi veya sistemde harcanan toplam süredir. Bu süre hem servis süresini hem de servis almak için kuyrukta geçen süreyi içerir.
- w : Kuyrukta bekleme süresi. Bu süre, geliş süresi ile servisin başlangıç süresi arasında farktır.



Şekil 4.12: Kuyruk sistemlerinin analizinde yaygın kullanılan parametreler.

Burada λ ve μ dışındaki bütün değişkenler rastgele değişkenlerdir ve bu değişkenler arasında bazı ilişkiler bulunur. Kuyruk sistemlerinin uyması gereken bazı kurallar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Kararlılık durumu (stability condition): Eğer sistemdeki işlerin sayısı sürekli artar ve sonsuz olursa bu sisteme kararsız sistem denir. Kararlılık durumu için ortalama geliş oranı, ortalama servis oranından küçük olmalıdır.

$$\lambda < m\mu \quad (4.2)$$

Burada m , servis sunucu sayısını göstermektedir.

- Sistemdeki ve kuyruktaki iş sayıları: Sistemdeki iş sayısı daima kuyruktaki iş sayısı ile servis alan iş sayısının toplamına eşittir.

$$n = n_q + n_s \quad (4.3)$$

Burada n , n_q , n_s rastgele sayılardır. Bu yüzden hesaplamalarda bu değerlerin ortalamaları kullanılır.

$$E[n] = E[n_q] + E[n_s] \quad (4.4)$$

- Kuyruktaki müşteri sayısı ve zaman ilişkisi: Eğer sisteme gelen işler, yetersiz tampondan dolayı kaybolmuyorlarsa, sistemdeki ortalama iş sayısı aşağıdaki gibi bulunabilir.

Sistemdeki ortalama iş sayısı = Geliş oranı x Ortalama servis süresi.

Kuyruktaki ortalama iş sayısı = Geliş oranı x Ortalama bekleme süresi.

- Sistemdeki ve kuyruktaki süreler: Bir iş için kuyrukta harcanan süre, kuyrukta bekleme süresi ile servis alma sürelerinin toplamına eşittir.

$$r = w + s \quad (4.5)$$

Burada r, w, s rastgele sayılardır. Bu nedenle hesaplamalarda ortalama değerleri kullanılır.

$$E[r] = E[w] + E[s] \quad (4.6)$$

4.4.1.3. M/G/1 kuyruk modeli

Bu tez çalışması ile gerçekleştirilen AKGOEK protokolü, TDMA OEK sistemini kullanılmaktadır. TDMA sisteminde kullanılan zaman aralıkları sabit ve belirli (Deterministik, Deterministic, D) olduğundan bu sistemler servis süresi sabit M/D/1 kuyruk modeli ile gösterilebilirler. Buradaki 'M', paketler arası geliş süresinin üstel dağılım olduğunu, 'D', servis süresinin (zaman dilimi) deterministik olduğunu ve '1' ise bir servis sunucu olduğunu göstermektedir. M/D/1 kuyruk modeli, M/G/1 kuyruk modelinin bir türüdür. Bu nedenle M/D/1 kuyruk modelinin başarımlar ölçütlerine ait ifadeler M/G/1 kuyruk modelinden elde edilebilir. Aşağıdaki alt bölümlerde M/G/1 kuyruk modelinin özellikleri ve analitik modeli açıklanmaktadır.

M/G/1 Kuyruk modeli aşağıdaki özelliklere sahiptir;

- Gelişler için Poisson dağılımı kullanılır, dolayısıyla gelişler arası süre üstel dağılımdır,

- Bağımsız ve benzer dağılım fonksiyonuna sahip servis süresi kullanılır,
- Bir tane servis sunucu vardır,
- Sonsuz sayıda tampon vardır,
- FCFS servis disiplini kullanılır. Dolayısıyla, müşteriler geliş sırasına göre işlem görürler.

M/G/1 Kuyruk modelinin analizinde birkaç farklı yaklaşım vardır. Bunlardan en önemlileri aşağıdaki gibidir;

- “Residual Life” Yöntemi: Bu yöntem basittir, fakat başarımlar ölçütlerinin sadece ortalama değerleri elde edilebilir. Bu yaklaşımda, “Residual servis süresi” göz önüne alınarak kuyruk analizi gerçekleştirilir. “Residual” servis süresi, servise henüz giren bir müşterinin servisi tamamlaması için gerekli ek süredir.
- “Embedded Markov Chain” Yöntemi: Gömülü Markov Zinciri (Embedded Markov Chain) olarak bilinen bu yöntemin çözümü zordur, fakat istenilen başarımlar ölçütlerinin (kuyruk gecikmesi, kuyruk uzunluğu) dağılımları elde edilebilir. Böylece bu dağılımlardan, hedeflenen başarımlar ölçütlerinin ortalaması, standart sapması veya istenilen momentleri elde edilebilir.
- “Supplementary Variables” Yöntemi: Gömülü Markov Zinciri Method’unda olduğu gibi istenilen başarımlar ölçütlerinin dağılımları elde edilebilir (Mieghem, 2006). Bu yöntemde M/G/1 kuyruk sisteminin analizi iki boyutlu bir tanımlayıcı kullanılarak gerçekleştirilir.

Yukarıda sözü edilen yöntemlerden “Residual Life” Yöntemi” ile başarımlar ölçütlerinin dağılımları yerine sadece ortalama değerleri elde edilebildiğinden ve “Supplementary Variables” Yöntemi çözümü en zor ve karmaşık olduğundan, bu tez çalışmasında M/G/1 kuyruk modelinin analizinde Gömülü Markov Zinciri yöntemi kullanılacaktır.

4.4.1.3.1. M/G/1 kuyruk modelinin “Gömülü Markov Zinciri” ile analizi

M/G/1 kuyruk modelinde, paketler Poisson dağılımı ile gelirler ve geliş sırasına göre bir adet servis sunucu tarafından sırasıyla işlem görürler. Servis süresi bağımsız ve benzer dağılım (IID) fonksiyonuna sahip herhangi bir genel dağılımla ifade edilir.

M/G/1 kuyruk modelinin tanımlanabilmesi için, sistemdeki paket sayılarını ifade eden denklemlerin uygun şekilde çıkartılabildiğini sağlayan zaman içerisinde özel gözlem noktalarının belirlenmesi gerekir. Bu iş için paketin sistemden çıkış anları uygun gözlem noktalarıdır. Diğer gözlem noktaları daha karmaşık matematiksel ifadelerin oluşmasına neden olmaktadır, çünkü servise henüz giren bir paket için geriye kalan servis süresi stokastik (rastgele) bir değerdir. Eğer M/G/1 kuyruk sistemine paket çıkış noktalarından bakılırsa, sistemden çıkan bir paketten sonra kalan paketlerin sayısını ifade eden denklemler, ayrık Markov Zincirini (Discrete Markov Chain), diğer bir ifade ile sürekli–zaman sürecinde M/G/1 kuyruk sisteminin Gömülü Markov Zincirini (Embedded Markov Chain) oluşturur.

M/G/1 kuyruk sisteminin Gömülü Markov Zinciri ile tanımlanabilmesi için iki büyüklüğün bilinmesi gereklidir. Bunlardan birincisi $Q(t)$ ile gösterilir ve herhangi bir t anında sistemde bulunan paket sayısını ifade eder. İkincisi ise, eğer t anında servis sunulan bir paket varsa, bu paket için harcanan servis süresidir ve $R(t)$ ile ifade edilir. Burada kullanılan iki boyutlu durum tanımlayıcılarından birincisi ($Q(t)$) ayrık, ikincisi ($R(t)$) ise süreklidir ve bu durum kuyruk analizini zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte yukarıda ifade edildiği gibi, eğer sisteme paket çıkışlarından hemen sonra bakılırsa durum tanımlaması sadece bir değişken ile yapılabilmektedir. Diğer bir ifade ile paketlerin kuyruktan çıkış anları uygun seçildiğinde sistem tanımlaması tek bir değişken ile yapılabilmekte ve bu şekilde Gömülü Markov Zinciri oluşturulabilmektedir. Bu durumu daha açık ifade edebilmek için; $t_0 = 0, t_1, t_2, \dots$ anları, paketlerin sistemden çıkış noktaları olsun ve şu şekilde tanımlansın $Q(t_n + 0) = Q_n$, bu ifadede Q_n , kuyruktan n .paketin çıkışından hemen sonraki $Q(t)$ değeri olarak tanımlanabilir. Burada çıkış noktaları için seçilen $\{t_n, n = 0, 1, 2, \dots\}$ anlarında $R(t)$ sıfıra eşittir. Bu durumda M/G/1 kuyruk modeli, sadece kuyruk büyüklüğü Q_n ile Gömülü Markov Zinciri kullanılarak ifade edilebilir.

Gömülü Markov Zincirinin $p_{i,j}$ geçiş olasılıklarının tanımlanabilmesi için, ilk olarak bir servis süresi boyunca n paket gelme olasılığı a_n olarak tanımlanır. $a_n = P[X_n = n]$ bir servis periyodu boyunca $B(t)$ dağılımı ile ifade edilen n geliş olasılığını gösterir. Eğer servis süresi t ile belirtilirse, bu durumda X , λt parametresine sahip Poisson dağılımı ile olur ve a_n aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$a_n = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^n}{n!} f_B(t) d(t), \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (4.7)$$

M/G/1 kuyruk sisteminde X_n rastgele değişkeni, bir servis süresi (S_n) boyunca kuyruğa giren paket sayısını gösterebilir, bu durumda Q_n ile Q_{n+1} arasındaki ilişki aşağıdaki gibi olur;

$$Q_{n+1} = \begin{cases} Q_n + X_{n+1} - 1, & Q_n > 0 \\ X_{n+1}, & Q_n = 0 \end{cases} \quad (4.8)$$

Yukarıdaki denklem (4.8)'in ilk ifadesinde; $(n + 1)$. paketin sistemden ayrılmasıyla geriye kalan paketlerin sayısı, n . paketin sistemden ayrılmasıyla geriye kalan paketlerin sayısı (Q_n) ile $(n + 1)$. paketin servis süresi boyunca sisteme gelen paket sayısı (X_{n+1}) toplamından 1 çıkarılarak bulunur. İkinci ifadede ise; t_n anında gelen paketin sistemden ayrılmasıyla, kuyrukta kalan paket sayısı $Q_{n+1} = 1 - 1 + X_{n+1}$ olur.

Yukarıdaki iki ifade göz önüne alındığında $\{Q_n, n = 0, 1, 2, \dots\}$ ifadesinin bir Markov zinciri oluşturduğu görülmektedir. Bu Markov zincirinin parametre uzayı çıkış noktalarını oluştururken, durum uzayı $S = \{0, 1, 2, \dots\}$ sistemdeki paket sayısını ifade etmektedir. Parametre uzayının gömülü yapısından dolayı, bu Markov zinciri 'Gömülü Markov Zinciri' olarak adlandırılır.

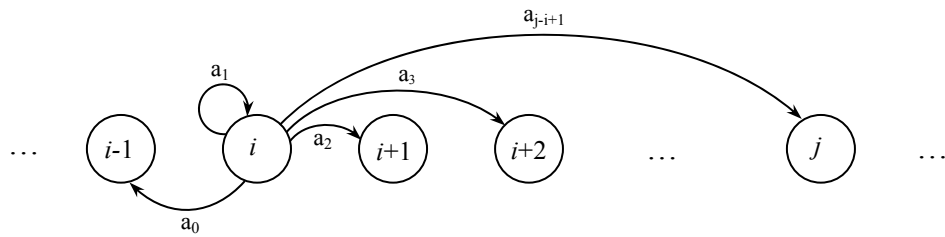
Gömülü Markov Zincirinin $p_{i,j}$ geçiş olasılıkları aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$\begin{aligned}
p_{i,j} &= P(Q_{n+1} = j \mid Q_n = i) \\
&= \begin{cases} P(X_{n+1} = j - i + 1), & i > 0 \\ P(X_{n+1} = j), & i = 0 \end{cases} \\
&= \begin{cases} a_{j-i+1}, & i > 0 \\ a_j, & i = 0 \end{cases}
\end{aligned} \tag{4.9}$$

Denklem (4.9)'da verilen geçiş olasılıkları kullanılarak aşağıdaki geçiş olasılık matrisi P elde edilir.

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 1 & 2 & 3 & \dots \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ \vdots \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 & a_3 & \dots \\ a_0 & a_1 & a_2 & a_3 & \dots \\ 0 & a_0 & a_1 & a_2 & \dots \\ 0 & 0 & a_0 & a_1 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & a_0 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix} \end{matrix} \tag{4.10}$$

Denklem (4.10)'da verilen geçiş olasılıkları kullanılarak Şekil 4.13'te gösterilen durum geçiş diyagramı edilir.



Şekil 4.13: M/G/1 Gömülü Markov Zincirinin durum geçiş diyagramı.

M/G/1 kuyruk sisteminin çözümünde elde edilen Gömülü Markov Zinciri periyodik değildir ve indirgenemez. Eğer sistemdeki servis sunucu, paket gelişlerine yetecek kadar hızlı olabilirse veya ortalama servis süresi, gelişler–arası süreden (inter–arrival time) küçük olursa, sürekli 0. durum tekrar eder.

4.4.1.3.1.1. Kararlı durumda sistemdeki paket sayısı

Gömülü Markov Zincirinin kararlı durum dağılımı (Steady-state distribution, limiting distribution) ve kararlı durum eşitlikleri Denklem (4.10)'da verilen geçiş olasılık matrisi kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir;

$$p_i = p_{i+1}a_0 + p_i a_1 + \dots + p_1 a_i + p_0 a_i \quad (4.11)$$

$$p_i = \sum_{n=0}^i p_{i+1-n} a_n + p_0 a_i, \quad i = 0, 1, \dots \quad (4.12)$$

Sistemin kararlı durum denklemlerini çözmek için fonksiyon üretme (generating function) tekniği kullanılarak hem bir servis süresi boyunca gelen paket sayısının PGF (Probability Generating Function)'si hem de sistemdeki paket sayısının PGF'si aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$A(z) = \sum_{i=0}^{\infty} a_i z^i, \quad P(z) = \sum_{i=0}^{\infty} p_i z^i \quad (4.13)$$

Önce bir servis süresi boyunca gelen paket sayısının PGF 'sini bulalım;

$$\begin{aligned} A(z) &= \sum_{n=0}^{\infty} P[A_k = n] z^n \\ A(z) &= \sum_{n=0}^{\infty} \int_{t=0}^{\infty} \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} f_B(t) dt z^n \\ &= \int_{t=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\lambda t z)^n e^{-\lambda t}}{n!} f_B(t) dt \\ &= \int_{t=0}^{\infty} e^{-\lambda t} e^{\lambda t z} f_B(t) dt \\ &= \int_{t=0}^{\infty} f_B(t) e^{-(\lambda - \lambda z)t} dt \end{aligned} \quad (4.14)$$

Laplace dönüşümünün tanımı aşağıda ifade edilen Denklem (4.15)'deki gibi olduğundan;

$$F(s) = \int_{t=0}^{\infty} f(t)e^{-st} dt \quad (4.15)$$

$$A(z) = \tilde{B}(\lambda - \lambda z) \text{ elde edilir.} \quad (4.16)$$

Denklem (4.16)'daki $\tilde{B}$, B 'nin Laplace dönüşümünü göstermektedir. Sistemin kararlı durumdaki paket sayısının PGF'si aşağıdaki gibi olur;

$$\begin{aligned} P(z) &= \sum_{i=0}^{\infty} \left(\sum_{n=0}^i p_{i+1-n} a_n + p_0 a_n \right) z^i \\ &= z^{-1} \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{n=0}^i p_{i+1-n} z^{i+1-n} a_n z^n + \sum_{i=0}^{\infty} p_0 a_i z^i \\ &= z^{-1} \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{n=0}^i p_{i+1-n} z^{i+1-n} a_n z^n + \sum_{i=0}^{\infty} p_0 a_i z^i \\ &= z^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{i=n}^{\infty} p_{i+1-n} z^{i+1-n} a_n z^n + p_0 A(z) \\ &= z^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} a_n z^n \sum_{i=n}^{\infty} p_{i+1-n} z^{i+1-n} + p_0 A(z) \\ &= z^{-1} A(z) (P(z) - p_0) + p_0 A(z) \\ &= \frac{p_0 A(z) (1 - z^{-1})}{1 - z^{-1} A(z)} \end{aligned} \quad (4.17)$$

Böylece Denklem 4.17 elde edilmiş olur.

$$P(z) = \frac{p_0 A(z) (z - 1)}{z - A(z)} \quad (4.18)$$

Denklem (4.17)'de p_0 sistemin boş olduğu zaman parçasıdır. Buradan $p_0 = 1 - \rho$ olur. Bu eşitlik Denklem (4.18)'de yerine konulursa Denklem (4.19)'daki ifade elde edilir;

$$P(z) = \frac{(1 - \rho)(1 - z)A(z)}{A(z) - z} \quad (4.19)$$

Denklem (4.16)'da elde edilen $A(z) = \tilde{B}(\lambda - \lambda z)$ ifadesi Denklem (4.19)'da yerine konulursa;

$$P(z) = \frac{(1 - \rho)\tilde{B}(\lambda - \lambda z)(1 - z)}{\tilde{B}(\lambda - \lambda z) - z} \quad (4.20)$$

elde edilir. Denklem (4.16) kullanılarak bir servis süresince boyunca gelen paket sayılarının birinci ve ikinci momentleri bulunabilir.

$$A(z) = \tilde{B}(\lambda - \lambda z) \quad (4.21)$$

$$A'(z) = -\lambda \tilde{B}'(\lambda - \lambda z) \quad (4.22)$$

$$A''(z) = \lambda^2 \tilde{B}''(\lambda - \lambda z) \quad (4.23)$$

$$A(1) = \tilde{B}(0) = 1 \quad (4.24)$$

$$A'(1) = \lambda \tilde{B}'(0) = \lambda E[X] = \rho \quad (4.25)$$

$$A''(1) = \lambda^2 \tilde{B}''(0) = \lambda^2 E[X^2] \quad (4.26)$$

Denklem (4.25)'te $E[X]$ ortalama servis süresini göstermektedir. Denklem (4.19), Pollaczek–Khinchin denklemlerinin bir formudur. Bu denklemin türevi alınarak kuyruğun uzunluğu bulunabilir.

$$P(z) = \frac{(1 - \rho)(1 - z)A(z)}{A(z) - z} \quad (4.27)$$

$$P(z)(A(z) - z) = (1 - \rho)(1 - z)A(z) \quad (4.28)$$

Denklem (4.28)'in 1. türevi alınırsa;

$$P'(z)(A(z) - z) + P(z)(A'(z) - 1) = (1 - \rho)(A'(z)(1 - z) - A(z)) \quad (4.29)$$

Denklem (4.28)'in 2. türevi alınırsa;

$$\begin{aligned} P'(z)(A'(z) - 1) + P''(z)(A(z) - z) + P(z)A''(z) + P'(z)(A'(z) - 1) \\ = (1 - \rho)[-A'(z) + A''(z)(1 - z) - A'(z)] \end{aligned} \quad (4.30)$$

$$\begin{aligned} P''(z)(A(z) - z) + 2P'(z)(A'(z) - 1) + P(z)A''(z) \\ = (1 - \rho)[-2A'(z) + A''(z)(1 - z)] \end{aligned} \quad (4.31)$$

$z = 1$ değeri için aşağıdaki ifadeler yerlerine konulursa;

$$P(1) = 1 \quad (4.32)$$

$$A(1) = \tilde{B}(0) = 1 \quad (4.33)$$

$$A'(1) = \lambda \tilde{B}'(0) = \lambda E[X] = \rho \quad (4.34)$$

$$A''(1) = \lambda^2 \tilde{B}''(0) = \lambda^2 E[X^2] \quad (4.35)$$

$$\begin{aligned} P''(1)(A(1) - 1) + 2P'(1)(A'(1) - 1) + P(1)A''(1) \\ = (1 - \rho)[-2A'(1) + A''(1)(1 - 1)] \end{aligned} \quad (4.36)$$

$$2P'(1)(\rho - 1) + \lambda^2 E[X^2] = (1 - \rho)[-2\rho] \quad (4.37)$$

$$P'(1) = \frac{(1 - \rho)(-2\rho) - \lambda^2 E[X^2]}{2(\rho - 1)} \quad (4.38)$$

$$P'(1) = E[N] = \rho + \frac{\lambda^2 E[X^2]}{2(1 - \rho)} \quad (4.39)$$

Sistemdeki ortalama paket sayısı ($E[N]$):

$$E[N] = \rho + \frac{\lambda^2 E[X^2]}{2(1 - \rho)} \quad (4.40)$$

olarak elde edilir.

4.4.1.3.1.2. Sistemde harcanan ortalama süre

“Little kuralı” kullanılarak sistemde harcanan ortalama süre ($E[W]$) aşağıdaki gibi bulunabilir;

$$E[N] = \lambda \times E[W] \quad (4.41)$$

$$\rho + \frac{\lambda^2 E[X^2]}{2(1 - \rho)} = \lambda \times E[W] \quad (4.42)$$

$$E[W] = \frac{\rho}{\lambda} + \frac{\lambda^2 E[X^2]}{2(1 - \rho)\lambda} \quad (4.43)$$

$$E[W] = E[X] + \frac{\lambda E[X^2]}{2(1 - \rho)} \quad (4.44)$$

4.4.1.3.1.3. Kuyrukta harcanan ortalama süre

“Little kuralı” kullanılarak kuyrukta harcanan ortalama süre ($E[W_Q]$) aşağıdaki gibi bulunabilir;

$$E[W_Q] = E[W] - E[X] \quad (4.45)$$

$$E[W_Q] = \frac{\lambda E[X^2]}{2(1 - \rho)} \quad (4.46)$$

4.4.1.3.1.4. Kuyrukta bekleyen ortalama paket sayısı

“Little kuralı” kullanılarak kuyrukta bekleyen paket sayısı ($E[N_Q]$) aşağıdaki gibi bulunabilir;

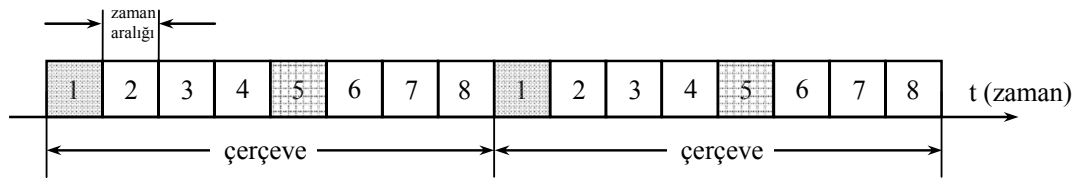
$$E[W_Q] = \frac{\lambda E[X^2]}{2(1 - \rho)} \quad (4.47)$$

$$E[N_Q] = \lambda \times E[W_Q] \quad (4.48)$$

$$E[N_Q] = \frac{E[X^2]}{2(1 - \rho)} \quad (4.49)$$

4.4.2. TDMA sistemlerinin kuyruk teoremi ile modellenmesi

TDMA sisteminde, zaman eksenini “time slot” adı verilen zaman dilimlerine bölünür ve her bir zaman diliminde sadece bir kullanıcının veri iletimine izin verilir. Böylece periyodik olarak tekrarlanan bir zaman dilimi, sistem içerisindeki bir kullanıcıya tahsis edilmiş olur (Şekil 4.14). Tekrar eden zaman dilimlerinin bir araya gelmesi çerçeve (frame) adı verilen yapıyı oluşturur (Rappaport 2002).



Şekil 4.14: TDMA çerçeve yapısı.

Temel TDMA sistemini analiz etmek için, sistemin M kullanıcıdan oluştuğunu ve her kullanıcının P bitlik eşit uzunlukta paket ilettiğini düşünelim. Eğer toplam veri iletim hızı R bit/sn ise, paket gönderme süresi $T=P/R$ olur. Burada paket iletim süresi zaman aralığına eşittir. Sistemde M adet kullanıcı olduğundan çerçeve süresi $T_c = MT$ olur. Burada her bir kullanıcı için paket geliş oranı birbirinden bağımsız olduğundan, her bir kullanıcının kuyruk davranışı da birbirinden bağımsızdır. Dolayısıyla tek bir kullanıcının kuyruk yapısının incelenmesi, kuyruk gecikmesi ve kuyruk büyüklüğü gibi büyüklüklerin elde edilmesinde yeterli olacaktır.

Kullanıcı tarafından bir paketin üretildiği düşünülecek olursa, paket hedefe iletilinceye kadar oluşacak gecikme üç ana bileşenden oluşur;

- Paketin üretildiği zaman ile o anki çerçevenin sonuna kadar geçen zaman,
- Gönderilmek için daha önce kuyruğa alınmış bütün paketlerin kuyruk süreleri ve
- Paketin kendisinin gönderilme süresi.

Bu bileşenlerden ilki ve üçüncüsü kolayca bulunabilir. Bütün çerçeveler aynı uzunlukta olduğundan, paket üretilme zamanı ve o anki çerçevenin sonu arasındaki ortalama süre $0,5T_c$ 'ye eşittir. Paket iletim süresi ise T 'ye eşittir (Rapeal, 1989).

Kuyruk süresini hesaplamak için, T_c servis süresine sahip, kuyruk modeli kullanılır. Paketlerin λ paket/s parametresine sahip Poisson dağılımı ile geldiği ve sonsuz uzunluğa sahip kuyrukta depolandığı düşünülürse, kuyruk süresi M/D/1 kuyruk sisteminde olduğu gibi hesaplanır.

TDMA sistemi M/D/1 kuyruk modeli ile ifade edildiğinden gelişler üstel dağılımla (Poisson Process), servis süresi ise (D–deterministic) belirli bir değerle ifade edilir. M/D/1 Kuyruk modeli, $\sigma^2 = 0$ olduğu M/G/1 kuyruk modeline eşittir. Buradan M/D/1 kuyruk modeline ait değişkenler aşağıdaki formüllerden elde edilebilir;

$$\sigma^2 = E[X^2] - E[X]^2 = 0 \quad (4.50)$$

olduğundan;

$$E[X^2] = E[X]^2 = \frac{1}{\mu^2} \quad (4.51)$$

olur.

4.4.2.1. TDMA sisteminde sistemdeki ortalama paket sayısı

TDMA sisteminde, sistemdeki ortalama paket sayısı ($E[N]$) Denklem (4.52) ile hesaplanır.

$$E[N] = \rho + \frac{\lambda^2 E[X^2]}{2(1 - \rho)} \quad (4.52)$$

$$E[N] = \rho + \frac{\rho^2}{2(1 - \rho)} \quad (4.53)$$

4.4.2.2. TDMA sisteminde sistemde harcanan ortalama süre

TDMA sisteminde sistemde harcanan ortalama süre ($E[W]$) “Little kuralı” kullanılarak Denklem (4.54) ile hesaplanır;

$$E[W] = E[X] + \frac{\lambda E[X^2]}{2(1 - \rho)} \quad (4.54)$$

$$E[W] = E[X] + \frac{\rho E[X]}{2(1 - \rho)} \quad (4.55)$$

4.4.2.3. TDMA sisteminde kuyrukta harcanan ($E[W_Q]$) ortalama süre

TDMA sisteminde kuyrukta harcanan ortalama süre ($E[W_Q]$) “Little kuralı” kullanılarak Denklem (4.56) kullanılarak hesaplanır;

$$E[W_Q] = \frac{\lambda E[X^2]}{2(1 - \rho)} \quad (4.56)$$

$$E[W_Q] = \frac{\rho E[X]}{2(1 - \rho)} \quad (4.57)$$

4.4.2.4. TDMA sisteminde kuyrukta bekleyen ortalama paket sayısı ($E[N_Q]$)

TDMA sisteminde kuyrukta bekleyen ortalama paket sayısı ($E[N_Q]$) “Little kuralı” kullanılarak Denklem (4.58) ile hesaplanır;

$$E[N_Q] = \lambda \times E[W_Q] \quad (4.58)$$

$$E[N_Q] = \frac{\lambda^2 E[X^2]}{2(1 - \rho)} \quad (4.59)$$

$$E[N_Q] = \frac{\rho^2}{2(1 - \rho)} \quad (4.60)$$

4.4.3. AKGOEK protokolünün kuyruk teoremi ile modellenmesi

Basit bir TDMA sisteminde çerçeve içerisinde her bir kullanıcıya tek bir zaman dilimi tahsis edilir. Fakat genelleştirilmiş TDMA (generalized TDMA) sisteminde bir çerçeve içerisinde bir kullanıcıya birden çok zaman dilimi tahsis edilebilmektedir (Rapeal, 1989).

Bir TDMA sistemi içerisindeki kullanıcılara zaman dilimleri aşağıda belirtildiği gibi üç farklı şekilde tahsis edilebilir;

- Her bir kullanıcıya bir zaman dilimi,
- Bir kullanıcıya bir birini takip birden çok zaman dilimi,
- Bir kullanıcıya farklı aralıklarla dağıtılmış birden çok zaman dilimi.

İletilecek trafik türüne göre kullanıcıya tahsis edilecek zaman dilimleri sayısı ve aralıkları farklılık göstermektedir.

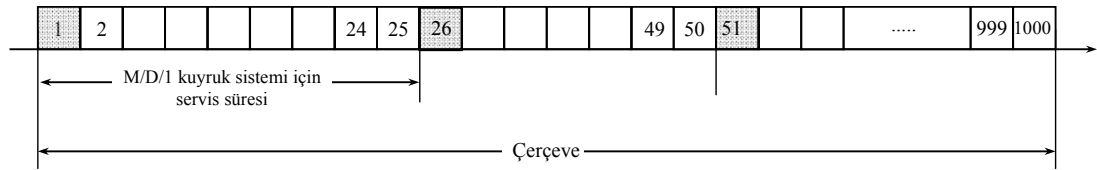
4.4.3.1. CBR servis sınıfı kuyruk modeli

CBR (Constant Bit Rate) servis sınıfı, bağlantı süresince sabit bantgenişliği gerektiren; hücre kaybı, gecikme ve gecikme değişimine duyarlı trafikler için tanımlanmıştır (Çeken, 2004). CBR servislerin trafik gereksinimlerinin karşılanması için PCR (Peak Cell Rate) ve CTD (Cell Transfer Delay) değerleri kullanılarak ihtiyaç duyulan zaman dilimi sayısı bulunur. CDV (Cell Delay Variation) değeri kullanılarak ise hücre gecikme değişiminin garanti edilebilmesi için zaman aralıkları arasında bırakılabilecek en büyük aralık sınırı hesaplanır.

CBR servis sınıfı için ihtiyaç duyulan ve garanti edilmesi istenilen zaman dilimi sayısı (ss); PCR değeri, veri hücresi boyutu (v_{hb} = 53 Bayt), bir zaman aralığında iletilecek KATM hücre sayısı (shs = 10) ve çerçeve süresine (çs = 200 ms) bağlı olarak bir önceki bölümde hesaplanmıştır.

Örneğin PCR değeri 100 KBayt/s olan bir CBR bağlantı için bir çerçevede ihtiyaç duyulan zaman dilimi sayısı yaklaşık olarak 38 hesaplanmıştır.

Gerekli gecikme değerinin (CTD) garanti edilebilmesi için bu zaman dilimleri çerçeve boyunca eşit aralıklarla dağıtılmalıdır. Analitik modelin elde edilebilmesi için zaman dilimlerinin çerçeve boyunca eşit aralıklarla dağıtıldığı düşünülerek, Şekil 4.15'te görülen çerçeve yapısı elde edilir. TDMA kuyruk analizi için, servis süresinin bilinmesi yeterlidir. Burada zaman dilimleri eşit aralıklarla dağıtıldığından servis süresi sabit M/D/1 kuyruk modeli elde edilmiş olur. Servis süresi çerçeve süresinin toplam zaman dilimi sayısına bölünmesiyle elde edilecektir.



Şekil 4.15: CBR servis sınıfı için zaman dilimlerinin dağılımı.

CBR Servisi sınıfı için yukarıda bahsedilen kuyruk modeli uygulandığında ve yük değeri 10000 KBayt/sn'den 110000 KBayt/sn'ye kadar çıkartılarak Denklem (4.63) kullanılarak uçtan–uca gecikme değerleri elde edilir.

$$W_q = \frac{\rho T_c}{2(1 - \rho)} \quad (4.61)$$

$$D_T = \frac{1}{2}T_c + W_q + T \quad (4.62)$$

$$D_T = \frac{1}{2}T_c + \frac{\rho T_c}{2(1 - \rho)} + T \quad (4.63)$$

Denklem (4.62)'de W_q kuyruk gecikmesini, T paketin gönderilme süresini, T_c servis süresini göstermektedir. Denklem (4.63)'de ρ trafik yoğunluğunu göstermektedir ve denklem (4.64) ile ifade edilmektedir.

$$\rho = \lambda T_c \quad (4.64)$$

4.4.3.2. VBR servis sınıfı kuyruk modeli

VBR, gecikme ve gecikme değişimine karşı çok hassas, zaman duyarlı uygulamaların ihtiyaç duyduğu servis sınıfıdır. Bu servis sınıfı genellikle bit iletim hızı zamanla değişen, patlamalı (bursty) trafikler için kullanılır.

Tez çalışmasında VBR servis sınıfı PCR ve SCR (Sustainable Cell Rate) trafik tanımlayıcıları ile ifade edilmiştir. VBR veri trafikleri iletiminin garanti edilebilmesi için en az SCR değerinin ihtiyaç duyduğu zaman dilim sayısı, haberleşme isteyen bağlantıya birinci öncelikli olarak tahsis edilir. Eğer birinci öncelikli zaman dilimlerinden arta kalan boş zaman dilimleri varsa, uçtan–uca gecikmelerin azaltılması için en fazla “PCR–SCR” değerinin ihtiyaç duyduğu kadar zaman dilimi bu bağlantıya ikinci öncelikli olarak tahsis edilmektedir.

VBR servis sınıfı için analitik modelin elde edilmesinde iki farklı durum göz önüne alınmıştır;

- Uçtan–uca gecikmenin en fazla, diğer bir ifade ile tahsis edilen zaman aralıklarının en az sayıda olmasıdır. Bu durumda bağlantıya sadece SCR değerinin elde edilebileceği birinci öncelikli zaman dilimlerinin eşit aralıklarla tahsis edildiği kabul edilmiştir. SCR değerinin 75 KBayt/sn değeri için 29 adet zaman dilimi eşit aralıklarla dağıtılarak gecikme değerleri hesaplanır.
- Uçtan–uca gecikmenin en az, diğer bir ifade ile tahsis edilen zaman aralıklarının en fazla sayıda olmasıdır. Bu durumda ise bağlantıya SCR değerinin elde edilebilmesi için gerekli zaman dilimleri birinci öncelikli olarak, “PCR–SCR” değerinin ihtiyaç duyduğu kadar zaman dilimlerinin de ikinci öncelikli olarak

eşit aralıklarla dağıtıldığı kabul edilmiştir. PCR değerinin 100 KBayt/sn ve SCR değerinin 75 KBayt/sn durumu için 29 adet birinci öncelikli, 9 adet ikinci öncelikli olmak üzere toplam 38 adet zaman dilimi eşit aralıklarla dağıtılarak gecikme değerleri elde edilir.

Yukarıda söz edilen iki farklı durum göz önünde bulundurularak iki ayrı M/D/1 kuyruk modeli oluşmaktadır ve Denklem (4.61), (4.62) ve (4.63) kullanılarak en yüksek ve en küçük gecikme değerleri hesaplanır.

4.4.3.3. ABR servis sınıfı kuyruk modeli

ABR servis sınıfı bantgenişliği ihtiyacı zamana bağlı olarak değişen, elektronik posta, dosya transferi ve kütüphane tarama gibi işlemler için tanımlanmıştır (Çeken, 2004). Bu servis sınıfı PCR ve MCR (Minimum Cell Rate, En Düşük Hücre İletim Hızı) trafik tanımlayıcıları ile karakterize edilir.

Sunulan tez çalışmasında ABR servis sınıfı PCR ve MCR trafik tanımlayıcıları ile ifade edilmiştir. ABR veri trafiği iletiminin garanti edilebilmesi için en az MCR değerinin ihtiyaç duyduğu zaman dilim sayısı haberleşme isteyen bağlantıya birinci öncelikli olarak tahsis edilir. Eğer birinci öncelikli zaman dilimlerinden artı kalan boş zaman dilimleri varsa, uçtan–uca gecikmelerin azaltılması için en fazla “PCR–MCR” değerinin ihtiyaç duyduğu kadar zaman dilimi bu bağlantıya ikinci öncelikli olarak tahsis edilmektedir.

ABR servis sınıfı için analitik modelin elde edilmesinde iki farklı durum göz önüne alınmıştır;

- Uçtan–uca gecikmenin en fazla, diğer bir ifade ile tahsis edilen zaman aralıklarının en az sayıda olmasıdır. Bu durumda bağlantıya sadece MCR değerinin elde edilebileceği birinci öncelikli zaman dilimlerinin eşit aralıklarla tahsis edildiği kabul edilmiştir. MCR değerinin 50 KBayt/sn değeri için 19 adet zaman dilimi eşit aralıklarla dağıtılarak gecikme değerleri hesaplanır.

- Uçtan–uca gecikmenin en az, diğer bir ifade ile tahsis edilen zaman aralıklarının en fazla sayıda olmasıdır. Bu durumda ise bağlantıya MCR değerinin elde edilebilmesi için gerekli zaman dilimleri birinci öncelikli olarak, “PCR–MCR” değerinin ihtiyaç duyduğu kadar zaman dilimlerinin de ikinci öncelikli olarak eşit aralıklarla dağıtıldığı kabul edilmiştir. PCR değerinin 100 KBayt/sn ve MCR değerinin 50 KBayt/sn durumu için 19 adet birinci öncelikli, 19 adet ikinci öncelikli olmak üzere toplam 38 adet zaman dilimi eşit aralıklarla dağıtılarak gecikme değerleri elde edilir.

Yukarıda söz edilen iki farklı durum göz önünde bulundurularak iki ayrı M/D/1 kuyruk modeli oluşmaktadır ve Denklem (4.61), (4.62) ve (4.63) kullanılarak en yüksek ve en küçük gecikme değerleri elde edilir.

4.4.3.4. UBR servis sınıfı kuyruk modeli

UBR, gecikme veya gecikme değişimine duyarlı olmayan, küçük hücre kayıplarını göz ardı edebilen servis sınıfıdır. Bu servis sınıfı PCR trafik tanımlayıcısı ile dosya transferi ve elektronik posta gibi uygulamalar için kullanılır.

UBR servis sınıfı için analitik modelin elde edilmesinde iki farklı durum göz önüne alınmıştır;

- Uçtan–uca bağlantının sürdürülebilmesi için en az bir adet birinci öncelikli zaman diliminin bu bağlantıya tahsis edilmesidir.
- Eğer birinci öncelikli zaman dilimlerinden geriye kalan boş zaman dilimi varsa, en fazla PCR değerinin ihtiyaç duyduğu kadar zaman diliminin ikinci öncelikli olarak, eşit aralıklarla dağıtılmasıdır. PCR değerinin 50 KBayt/sn olduğu bir bağlantı için en az bir adet birinci öncelikli ve 18 adet ikinci öncelikli olmak üzere toplam 19 adet zaman dilimi eşit aralıklarla dağıtılarak gecikme değerleri elde edilir.

4.5. Sonuç

Bu bölümde, tez çalışması ile gerçekleştirilen genişbant kablosuz ağlar için akıllı anten kullanan ve uygulamalara servis kalitesi desteği sağlayan TDMA/FDD tekniğine dayalı yeni bir OEK (AKGOEK) protokolünün tasarımı, benzetimi ve analitik modeli açıklanmaktadır.

Geliştirilen AKGOEK protokolünün benzetim modeli baz istasyonu ve kablosuz terminal olmak üzere 2 bölümden oluşur. Baz istasyonu ortamdaki tüm haberleşme sistemini koordine ederken, terminaller de baz istasyonu üzerinden birbirleriyle haberleşebilmektedir. Baz istasyonu içerisindeki akıllı anten denetleyicisi ise ışın örüntüsünü istenen yönlere odaklayarak belirli bir yönde iletişim sağlar.

Tasarlanan AKGOEK modeli TDMA/FDD OEK sistemine dayalı olduğundan analitik modeli elde edilirken TDMA sistemi temel alınmıştır. İlk olarak klasik TDMA sistemi analitik olarak incelenerek başarımlı ölçütleri elde edilmiş, buradan elde edilen bilgilerle servis kalitesi desteği sağlayan TDMA sistemin analitik modeli çıkartılmıştır.

Bir sonraki bölümde yukarıda sözü edilen modeller kullanılarak ilk olarak OPNET benzetim programında bir benzetim modeli oluşturulmuş ve değişik senaryolar altında sistemin başarımlı ölçütleri elde edilmiştir. Daha sonra analitik modelden de istenen başarımlı ölçütleri elde edilerek, benzetim modelden elde edilen sonuçlarla analitik modelden elde edilen sonuçların karşılaştırılarak sistemin başarımlı değerlendirmesi yapılmıştır.

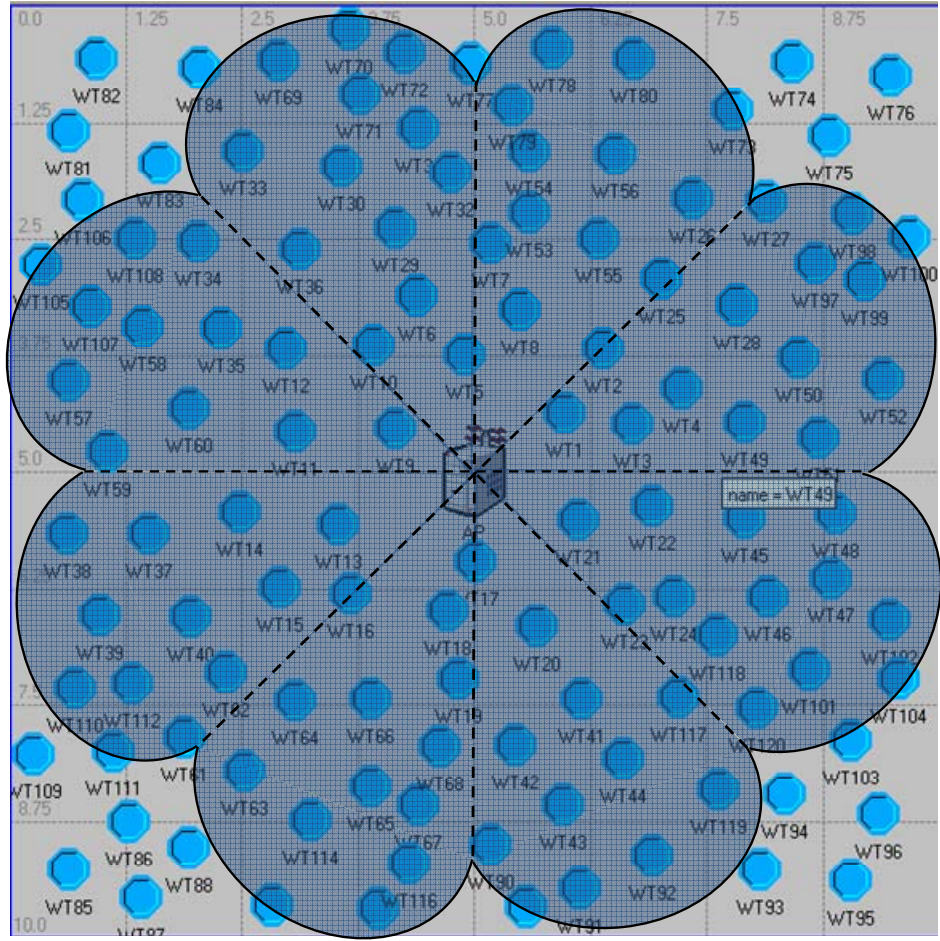
5. ÖNERİLEN AKGOEK PROTOKOLÜNÜN KULLANILDIĞI ÇOKLU ORTAM AĞ UYGULAMASI

5.1. Giriş

Bu bölümde, gerçekleştirilen AKGOEK protokolünün kullanıldığı örnek bir çoklu ortam ağ uygulamasının OPNET yazılımı kullanılarak benzetimi ve benzetim sonuçlarının analitik modelden elde edilen sonuçlar ile doğrulanması yapılmaktadır. Ayrıca, baz istasyonunda 4, 6 ve 8 anten kullanan çok ışın-hüzmeli anahtarlamalı anten sistemi içeren AKGOEK protokolleri ile baz istasyonunda yönsüz anten kullanan AKGOEK protokolü benzetim sonuçları karşılaştırılarak başarımlar değerlendirilmesi sunulmaktadır.

5.2. AKGOEK Protokolünün Kullanıldığı Çoklu Ortam Ağı Benzetimi

Şekil 5.1’de OPNET benzetim programı ile gerçekleştirilen AKGOEK protokolünün (8-Hüzme) baz istasyonu ile kablosuz terminallerin yer aldığı örnek bir benzetim modeli görülmektedir. Benzetim ortamı bir kenar uzunluğu 10 km. olan kare bir hücredir. Her bir hücre içerisinde bir baz istasyonu bulunmaktadır. Kablosuz kanal modeli olarak ise “free space” yayılım modeli kullanılmaktadır. “Free space” yayılım modelinde, alıcı ile verici arasında bir çizgisel görüş alanı olmalıdır. Benzetim modelinin gerçekleştirildiği kablosuz ortam bit hata oranının (BER) çok düşük olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 5.1: AKGOEK protokolünü kullanan örnek bir çoklu ortam ağ uygulaması.

5.2.1. Benzetim parametreleri

AKGOEK protokolü, 25 Mbit/s'lik veri iletim hızını desteklemektedir. Zaman dilimlerinin genişliği ise 200 μ s olarak kabul edilerek, bir TDMA çerçevesindeki zaman dilimi sayısı 1000 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, her zaman dilimi içerisinde toplam 10 KATM hücresi iletilmektedir. Tablo 5.1'de benzetim ortamında kullanılan diğer parametreler görülmektedir.

Benzetim ortamında düzgün biçimde (uniform) dağıtılan kablosuz terminallerin, ATM servis sınıflarını da eşit şekilde paylaştığı kabul edilmektedir. Kablosuz terminaller, Tablo 5.1'de belirtilen trafik belirleyicilerini kullanırlar. Tüm terminallerin trafik kaynakları için aynı olasılık dağılım fonksiyonu ve parametreler kullanılır. Böylece trafik kaynakları arttırılarak kullanılan servis sınıflarına ait başarımların da karşılaştırılabilmesi sağlanmış olur.

Tablo 5.1: AKGOEK protokolü için benzetim modelinde kullanılan parametreler.

<i>Veri İletim Hızı (Yukarı ve Aşağı bağlantı)</i>	25 Mbit/s
<i>Frekans</i>	Yukarı Bağlantı = 3 GHz, Aşağı bağlantı = 4 GHz
<i>Verici Gücü</i>	$P_{BS} = 0,1 \text{ W}$ ve $P_{KT} = 0,1 \text{ W}$
<i>Modülasyon tipi</i>	QPSK
<i>Yönlendirilmiş anten kazançları</i>	Ana hüzmeye için 10 dBi ve yan hüzmeler için -20 dBi
<i>Kanal Modeli</i>	LoS (Line of Sight, Free Space Propagation Model)
<i>Reception power threshold</i>	$1,2 \times 10^{-12} \text{ W}$
<i>Benzetim Süresi</i>	1 saat
<i>Terminal ON süresi</i>	$360 * s$
<i>Terminal OFF süresi</i>	$300 * s$
<i>Tekrar bağlantı isteği (REPEAT REQUEST) süresi</i>	$60 * s$
<i>Terminallerin dağılımı</i>	Düzensiz dağılım (uniform)
<i>CBR parametreleri</i>	PCR = 100000 Bayt/s, CTD = 150 ms, CDV = 1 ms
<i>VBR parametreleri</i>	SCR = 75000 Bayt/s, PCR = 100000 Bayt/s, CTD = 100 ms, CDV = 1 ms
<i>ABR parametreleri</i>	MCR = 50000 Bayt/s, PCR = 100000 Bayt/s
<i>UBR parametreleri</i>	PCR = 50000 Bayt/s
<i>Trafik Kaynakları</i>	30000 – 120000* Bayt/s
<i>*Üstel dağılım kullanılarak üretilmiştir (ortalama).</i>	

5.2.2. Baz istasyonu benzetim modeli

Kablosuz haberleşme sistemlerinde baz istasyonu, bağlantı kurulması, sonlandırılması ve sürdürülmesi gibi bütün kablosuz haberleşme sistemi işlevlerini yönetir. AKGOEK protokolü ile modellenen baz istasyonu da bu fonksiyonları gerçekleştirirken DSAT algoritmalarını kullanır. Bu algoritmalar ile terminallerin ihtiyaç duyduğu gerekli zaman dilimlerinin etkin bir şekilde tahsis edilmesini sağlar.

AKGOEK protokolünde bir hücre içerisinde bir baz istasyonu bulunmaktadır ve farklı benzetim modelleri için değişik sayıda hüzmelere sahip baz istasyonu modelleri gerçekleştirilmiştir. Baz istasyonu için 4 farklı model geliştirilmiştir. İlk model karşılaştırmalı başarımlar değerlendirme için yönsüz anten, diğer modeller ise sırasıyla 4, 6 ve 8 hüzmeli akıllı anten sistemleri kullanmaktadır. Her bir modelde baz istasyonu sabit olup, hareketlilik fonksiyonlarını desteklememektedir.

5.2.3. Kablosuz terminal benzetim modeli

Benzetim modelinde kullanılan kablosuz terminaller, baz istasyonu üzerinden birbirleriyle haberleşmektedirler. Kablosuz terminaller yönsüz anten kullanmaktadır ve konumları sabittir. Her bir terminal, standart ATM servis sınıflarının da destekleyebilecek özelliklerde, veri trafiği üretir ve hedef terminale gönderir.

Benzetim modellerinde bir kablosuz terminal veri iletimine başlamadan önce baz istasyonuna bağlantı istek paketini göndererek kanal isteğinde bulunur. Baz istasyonu eğer bantgenişliği ihtiyacını karşılayabiliyorsa, gerekli sayıda ve aralıklarla dağıtılmış zaman dilimlerini bu terminale ayırarak, DSAT'ın güncellenmiş zaman dilim tablosunu (zaman dilimlerin hangi terminale ait olduğunu belirten) tüm terminallere iletir. Eğer bağlantı için gerekli bantgenişliği karşılanamıyorsa, bağlantı isteği reddedilir. Bağlantı isteği kabul edilen kaynak terminal, bir "ON" (üstel dağılımla belirlenir) süresince veri trafiği üretir ve bu süre sonunda baz istasyonuna bağlantı sonlandırma paketi gönderir. Bağlantı sonlandırma paketini alan baz istasyonu, bu terminale tahsis edilen zaman aralıklarını diğer terminallerin kullanımına açarak, DSAT'ın güncellenmiş zaman dilim tablosunu tekrar tüm terminallere iletir. Baz istasyonundan bağlantı sonlandırma cevap paketini alan ilgili terminal, bir "OFF" (üstel dağılımla belirlenir) süresince veri trafiği üretimini durdurur. Bu terminal, "OFF" süresi sonunda tekrar bağlantı isteğinde bulunarak veri iletimini başlatmak ister. Bağlantı isteğine baz istasyonundan olumsuz cevap alan bir terminal, tekrar istek yapmak için "REPEAT_REQUEST" (üstel dağılımla belirlenir) süresi kadar bekler, bu sürenin sonunda tekrar bağlantı istek talebinde bulunur.

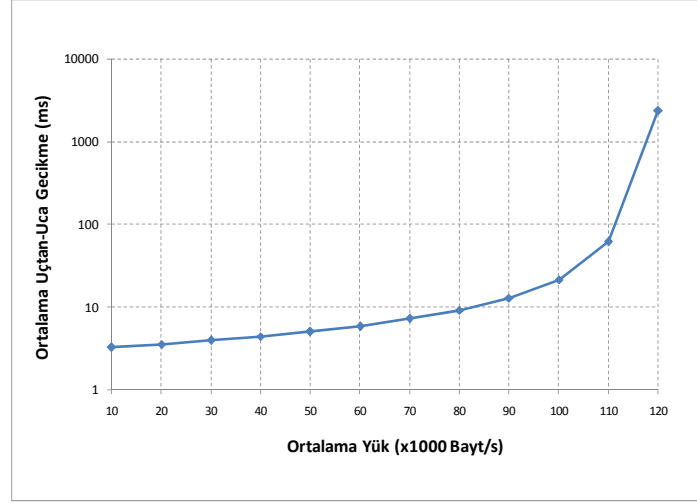
Sonuçların anlamlı olarak değerlendirilebilmesi ve başarımların analizi yapılabilmesi için benzetim modelinde, ATM CBR, VBR, ABR ve UBR servis sınıfları tarafından desteklenen veri trafikleri üreten eşit sayıda kablosuz terminal bulunmaktadır. Örneğin, 16 kablosuz terminal bulunduğu ortamda, her servis sınıfını 4 terminal kullanmaktadır.

5.2.4. Benzetim sonuçları

Benzetim modellerinde başarımlı değerlendirilmesi için “uçtan–uca gecikme” (UUG, end to end delay), çağrı tıkama oranı olarak da bilinen “çağrı reddedilme oranı” (ÇRO - call blocking ratio) ve “iş çıkarma oranı” (İÇO - throughput) ölçütleri esas alınmıştır.

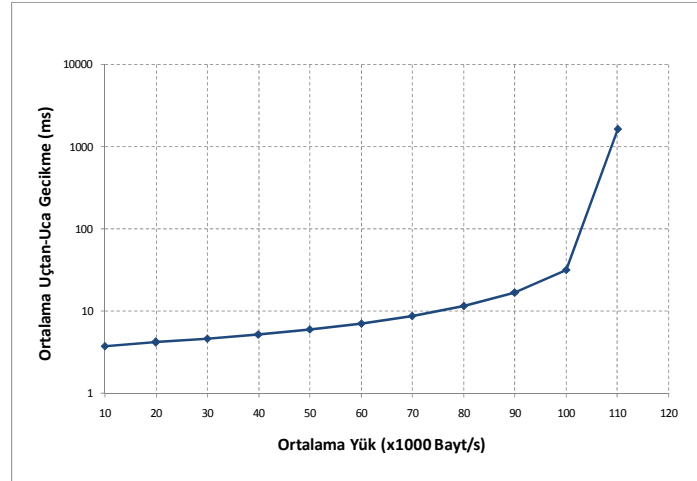
UUG, kaynağın bir paketin ilk bitini iletiminden, hedefte paketin son bitinin alınmasına kadar geçen süreyi ifade etmektedir. ÇRO, baz istasyonu tarafından karşılanamayan bağlantı isteklerinin, toplam bağlantı isteklerine oranı olarak tanımlanmaktadır. İÇO ise bir iletişim kanalından veya terminalden iletilen ortalama veri miktarıdır. Sistem iş çıkarma oranı (system throughput) veya toplam iş çıkarma oranı (aggregate throughput) ise bir ağdaki tüm terminaller tarafından iletilen verilerin toplamını ifade etmektedir.

Şekil 5.2’de, benzetim ortamında ses iletimi için CBR servis sınıfını kullanan terminallerden birine ait ortalama UUG grafiği görülmektedir. Yük değeri 10000 Bayt/s’den başlayarak 10000 Bayt/s’lik artışlarla değiştirildiğinde gecikme değerlerinde artış olduğu görülmektedir. 110000 Bayt/s yük değerinde 62,24 ms olarak elde edilen ortalama gecikme Tablo 5.1’de belirlenen 150 ms değerinden düşüktür. Ancak yük 120000 Bayt/s’ye arttırıldığında, sistem kaynakları yetersiz kaldığından dolayı ortalama gecikme değeri hızla yükselmektedir. Zira bağlantı PCR değeri 100000 Bayt/s olduğundan, bu değerin üzerindeki yükler için gecikme değerlerindeki ani artış beklenen bir sonuçtur.



Şekil 5.2: Benzetim ortamında CBR servis sınıfı için ortalama uçtan-uca gecikme.

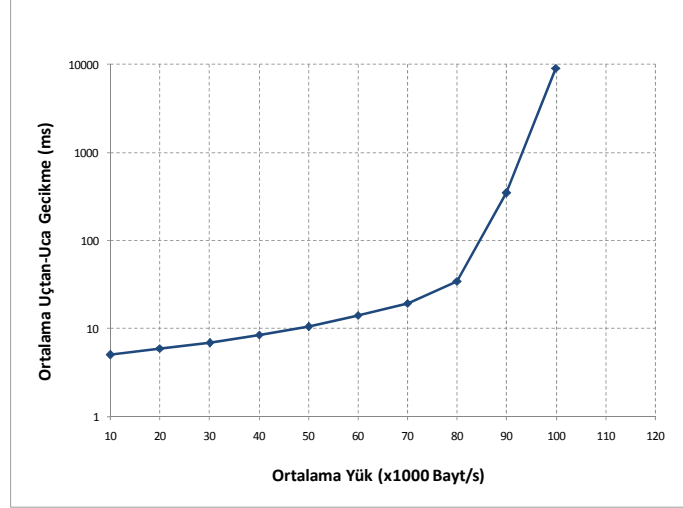
Şekil 5.3'te, benzetim ortamında görüntü iletimi için VBR servis sınıfını kullanan terminallerin birinden elde edilen ortalama UUG sonuçları görülmektedir. Genel olarak yük artışına paralel yükselen gecikme değerleri, 100000 Bayt/s yük değerine kadar, Tablo 5.1'de belirlenen üst sınırın (100 ms) altındadır. Bu yük değerinde ortalama gecikme 31,67 ms elde edilmiştir. Aynı miktardaki yükün CBR bir bağlantı ile iletilmesi durumunda ortalama gecikme sonucu 21,49 ms olmaktadır ki bu, zaman dilimi tahsisinde VBR bağlantılar için SCR değerinin de esas alınmasının gecikme üzerindeki etkisini yansıtmaktadır.



Şekil 5.3: Benzetim ortamında VBR servis sınıfı için ortalama uçtan-uca gecikme.

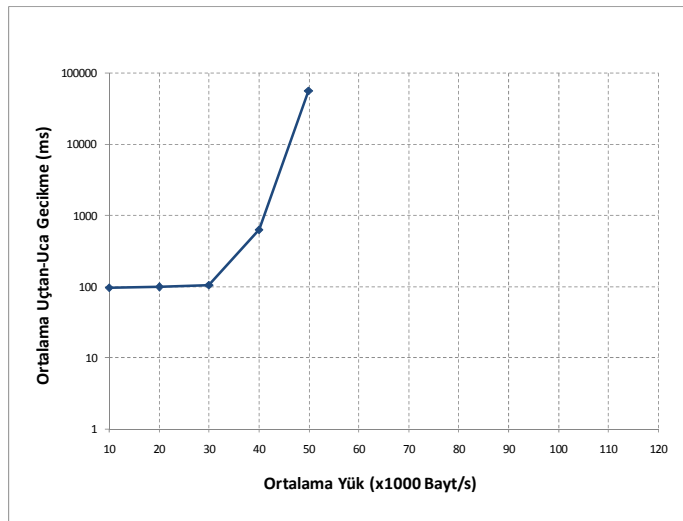
Şekil 5.4'te, benzetim ortamında kritik dosya iletimi için ABR servis sınıfını kullanan terminallerin birine ait ortalama UUG grafiği görülmektedir. Yük değeri 10000–120000 Bayt/s aralığında değişirken gecikme sonuçları 5 ms'den 9013,38

ms'ye yükselmektedir. Uygulamanın gecikmeye duyarlı olmaması bu sonuçları kabul edilebilir kılmakla birlikte, özellikle 80000 Bayt/s ve üzerindeki yük değerlerinde ortalama UUG, azalan sistem kaynaklarıyla ters orantılı olarak hızla artmaktadır.



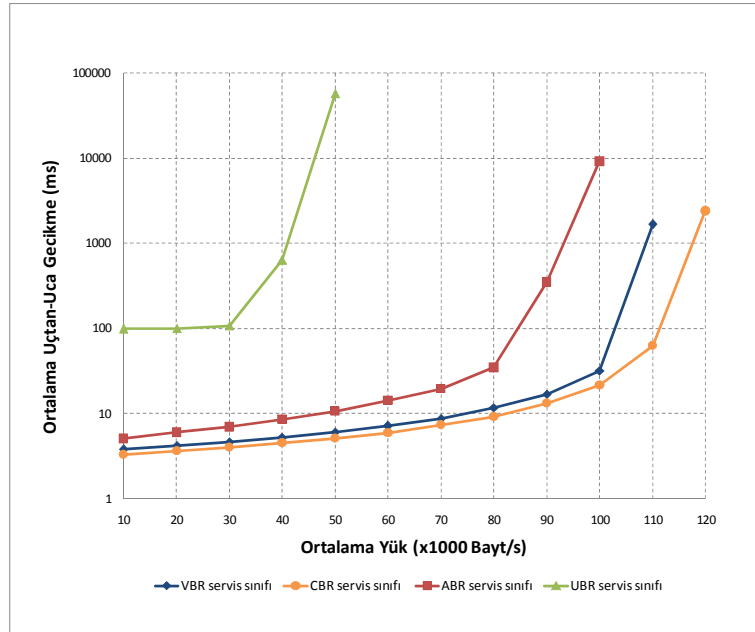
Şekil 5.4: Benzetim ortamında ABR servis sınıfı için ortalama uçtan-uca gecikme.

Şekil 5.5'te, benzetim ortamında veri iletimi için UBR servis sınıfını kullanan terminallerden birinden elde edilen ortalama UUG sonuçları görülmektedir. Yük 30000 Bayt/s değerine kadar yükseltildiğinde yaklaşık 100 ms'lik UUG gecikme değeri elde edilmiştir. Yük 40000 Bayt/s değerine çıkartıldığında 630,9 ms gecikme elde edilirken, bu yük değerinden sonra oldukça yüksek UUG değerleri ortaya çıkmaktadır. Bu beklenen sonuç, UBR'nin sistem kaynaklarının tahsisinde en düşük etkinliğe sahip olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.5: Benzetim ortamında UBR servis sınıfı için ortalama uçtan-uca gecikme.

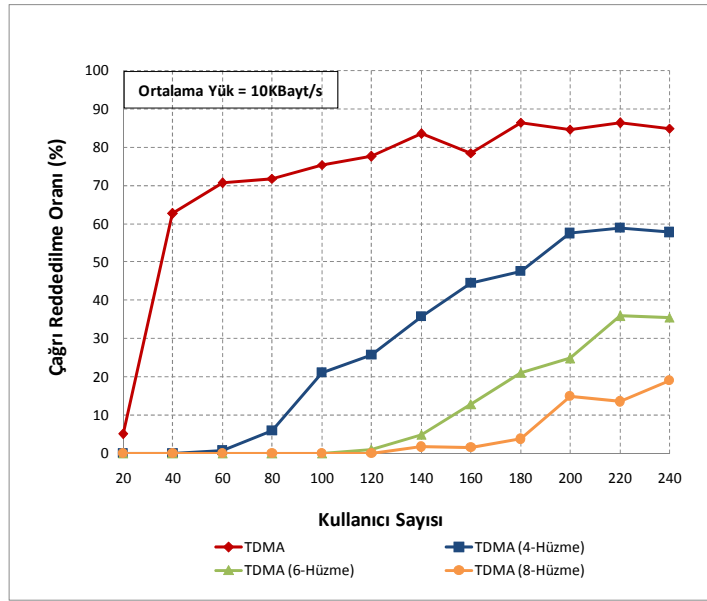
Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te detaylı olarak sunulan tüm servis sınıflarına ait ortalama UUG grafikleri toplu olarak Şekil 5.6'da görülmektedir. Artan yük miktarları esas alındığında, sabit bantgenişliği tahsis edilen CBR trafikleri diğerlerine kıyasla en iyi ortalama UUG değerlerine sahiptir. VBR ve ABR servis sınıflarının garanti edilen bantgenişlikleri SCR ve MCR parametreleri ile belirlendiğinden, daha yüksek değerli olan SCR'ye bağlı olarak VBR servisi sınıfının UUG değerleri daha düşüktür. UBR gecikmeye duyarlı olmayan ve garantisiz trafiklere servis sunduğundan, yük değeri arttırıldıkça artan gecikme değerleri ile veri iletimini gerçekleştirmektedirler. Grafiklerden de anlaşılacağı üzere UBR trafikleri, diğer servis sınıflarına tahsis edilmeyen bantgenişliğini kullandığından, sistem kaynaklarının azalmaya başladığı 50000 Bayt/s ve üzerindeki yük miktarlarında oldukça yüksek fakat uygulama açısından kabul edilebilir ortalama UUG değerleri ile karşılaşmaktadır.



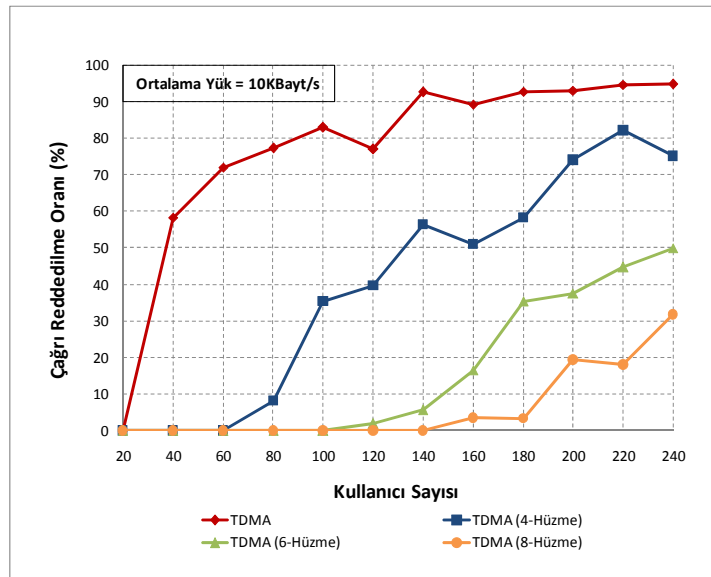
Şekil 5.6: Benzetim ortamında tüm servis sınıfları için ortalama uçtan-uca gecikme.

Şekil 5.7'de, tüm servis sınıflarını kullanan terminaller için toplam çağrı reddilme oranı (ÇRO) grafikleri görülmektedir. Kullanıcı sayısı 20'den 240'a kadar arttırıldığında, klasik TDMA, TDMA (4-Hüzme), TDMA (6-Hüzme) ve TDMA (8-Hüzme) benzetim modelleri için sırasıyla en yüksek (olumsuz) ÇRO değerleri %86, %58, %35 ve %18 olarak elde edilmiştir. Her bir modelden elde edilen bu ÇRO değerleri iki önemli sonucu yansıtmaktadır. Birincisi, klasik TDMA sisteminde ÇRO oldukça yüksektir ve özellikle gerçek zamanlı uygulamalar açısından kabul edilemez

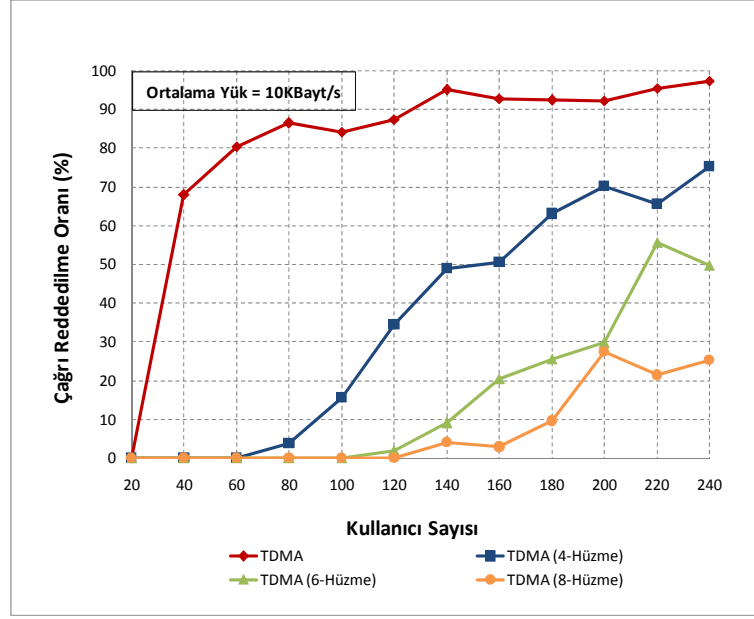
sınırlardadır. Bu durum, gerçek zamanlı veri trafıklarının iletimi için kabul edilemeyecek gecikmelere yol açar. İkincisi, yönlendirilmiş anten kullanan modellerde ise hüzme sayısı ile orantılı olarak ÇRO önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Böylece geliştirilen AKGOEK protokolü ile sistem kapasite kullanımı artırılarak daha fazla kullanıcının kablosuz ortam kaynaklarından faydalanması sağlanmıştır. Şekil 5.7’de toplu olarak sunulan ÇRO sonuçları, Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de, sırasıyla CBR, VBR, ABR ve UBR servis sınıflarını kullanan terminaller için ayrı ayrı ve detaylı olarak sunulmaktadır.



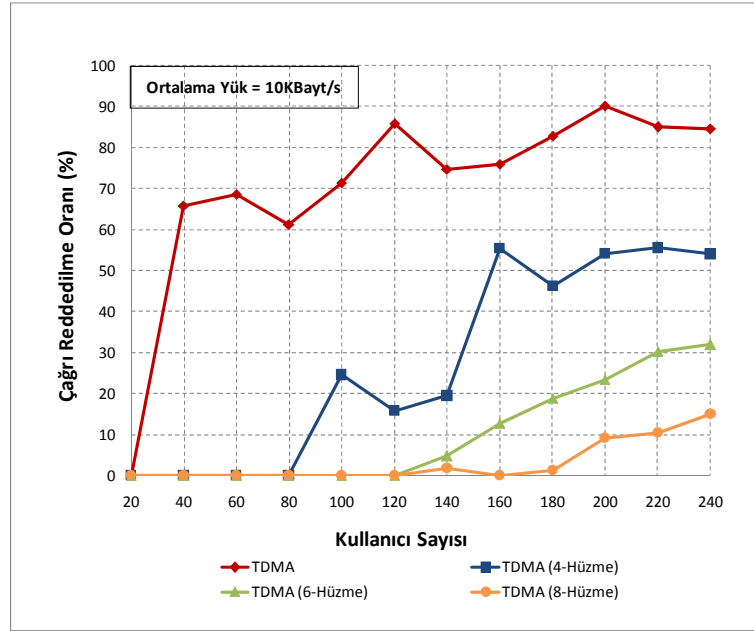
Şekil 5.7: Benzetim ortamında tüm servis sınıflarını kullanan terminallerden elde edilen toplam çağrı reddedilme oranı.



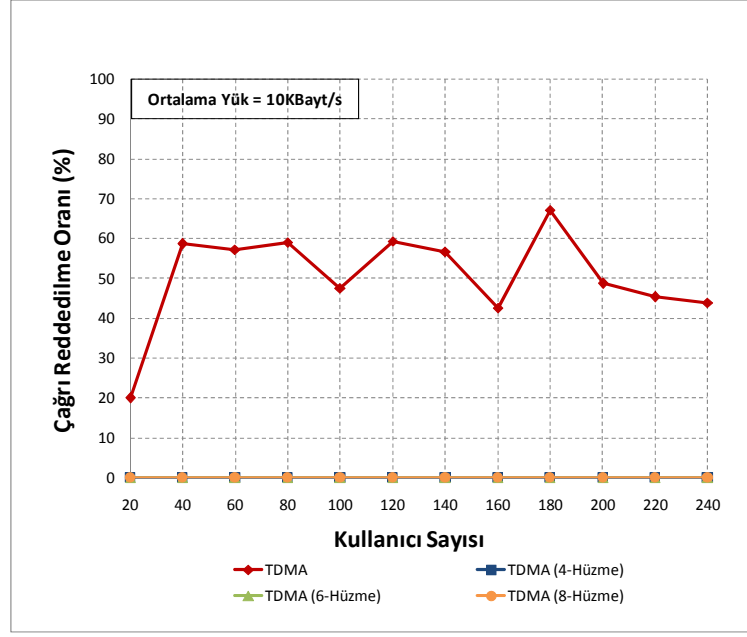
Şekil 5.8: CBR servis sınıfı için çağrı reddedilme oranı.



Şekil 5.9: VBR servis sınıfı için çağrı reddedilme oranı.

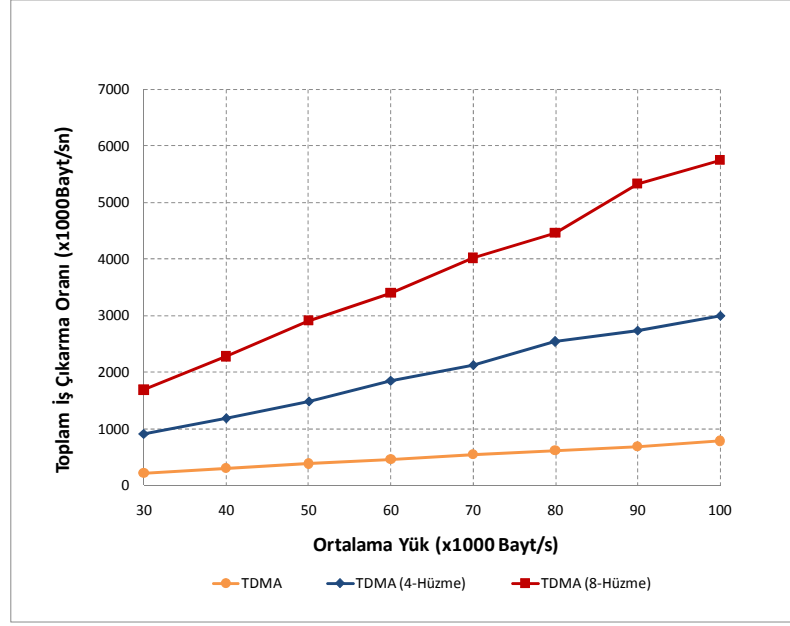


Şekil 5.10: ABR servis sınıfı için çağrı reddedilme oranı.



Şekil 5.11: UBR servis sınıfı için çağrı reddedilme oranı.

Şekil 5.12’de, klasik TDMA, TDMA (4–Hüzme) ve TDMA (8–Hüzme) benzetim modelleri kullanılan ağların toplam iş çıkarma oranı (İÇÖ) grafikleri görülmektedir. Ortalama yük miktarı 30000 Bayt/s’den 100000 Bayt/s değerine artarken, akıllı anten kullanan AKGOEK modellerinin toplam İÇÖ (sistem iş çıkarma oranı), yönsüz anten kullanan klasik eşleniğine göre oldukça yüksektir. En yüksek yük değeri olan 100000 Bayt/s için, 4–Hüzme ve 8–Hüzme anten kullanan AKGOEK protokolleri klasik eşleniğe kıyasla, sırasıyla 3,8 ve 7,3 kat daha fazla toplam İÇÖ değerine sahiptir. Bu açıdan genel olarak incelendiğinde, Şekil 5.12, akıllı anten kullanan AKGOEK protokolünün sağladığı aktif kullanıcı sayısı artışına paralel olarak, sistem kapasite kullanımında oldukça önemli ve anlamlı bir artışı açıkça ifade etmektedir.



Şekil 5.12: Benzetim modelinde kullanılan ağın toplam iş çıkarma oranı.

5.3. AKGOEK Protokolünün Kullanıldığı Çoklu Ortam Ağın Analitik Modeli

Bölüm 5.2’de benzetim modeli, parametreleri ve sonuçları detaylı bir şekilde incelenen çoklu ortam ağ uygulama örneğine ait analitik model çalışması bu alt bölümde sunulmaktadır. Benzetim sonuçlarının ve buna bağlı olarak AKGOEK protokolünün doğrulamasını da hedefleyen bu çalışma için Bölüm 4.4.3’te elde edilen ve detaylandırılan analitik modeller esas alınmaktadır.

5.3.1. Analitik model parametreleri

AKGOEK protokolü analitik modelinde, benzetim modellerinde olduğu gibi zaman dilimleri 200 μ s ve bir TDMA çerçevesindeki zaman dilimi sayısı 1000 olarak kabul edilmiştir (çerçeve uzunluğu = 200 μ s x 1000 = 200 ms). Ayrıca, her bir zaman dilimi içerisinde, 10 KATM hücresi (53 Bayt x 8 x 10 = 4240 bit) ve geri kalanları da hata kontrol ve senkronizasyon bitleri olmak üzere toplam 5000 bit (= 200 μ s x 25 Mbit/s) veri iletimi esas alınmıştır.

Tablo 5.2’de AKGOEK protokolü için analitik modelde kullanılan parametreler görülmektedir. Burada öngörülen CBR, VBR, ABR ve UBR servis sınıflarına ait trafik tanımlayıcıları kullanılarak, bir çerçeve içerisindeki birinci öncelikli (garantili)

ve ikinci öncelikli (garantisiz) zaman dilimlerinin sayısı hesaplanmaktadır. Analitik modelde elde edilen tüm zaman dilimlerinin çerçeve içerisinde eşit aralıklarla dağıtıldığı kabul edilmektedir. Burada trafik kaynaklarının paketler arası geliş süreleri (λ) değiştirilerek, kablosuz terminallerin artan yük değerleri için sistem davranışı incelenmektedir.

Tablo 5.2: AKGOEK protokolü için analitik modelde kullanılan parametreler.

<i>Çerçeve uzunluğu</i>	200 ms
<i>Zaman dilimi uzunluğu</i>	200 μ s
<i>Zaman dilimi sayısı</i>	1000
<i>CBR parametreleri</i>	PCR = 100 Kb/s, CTD = 150 ms, CDV = 1 ms
<i>VBR parametreleri</i>	SCR = 75 Kb/s, PCR = 100 Kb/s, CTD = 100 ms, CDV = 1 ms
<i>ABR parametreleri</i>	MCR = 50 Kb/s, PCR = 100 Kb/s
<i>UBR parametreleri</i>	PCR = 50 Kb/s
<i>Trafik Kaynakları</i>	30000 – 120000* Bayt/s
<i>*Üstel dağılım kullanılarak üretilmiştir (Ortalama).</i>	

5.3.2. Analitik sonuçlar

AKGOEK protokolünü içeren uygulama örneğine ait ortalama uçtan-uca gecikme (UUG) sonuçları analitik olarak elde edilmiştir. Akıllı anten kullanan modellerde OEK, KT'nin konumuna göre anahtarlama yaptığından, paketlerin iletiminde oluşan uçtan-uca gecikme değerleri çok hüzmeli modellerde, yönsüz anten kullanan modele kıyasla yapısal olarak anlamlı değişim göstermemektedir. Buna bağlı olarak, tüm modeller için Bölüm 4.4.3'te M/D/1 kuyruk modeli kullanılarak elde edilen analitik model UUG değerleri Denklem (4.63) yardımıyla hesaplanmaktadır. Denklem (4.63)'te T paketin kablosuz ortamdan gönderilme süresini (LoS modeli için bu değer yaklaşık olarak sıfırdır), T_c servis süresini, ρ ise trafik yoğunluğunu göstermektedir. ρ 'nin elde edilebilmesi için gerekli ifade ayrıca Denklem (4.64)'te verilmiştir. Denklem (4.64)'te gösterilen λ paketler arası geliş süresini ifade etmektedir. Sonuç olarak, CBR, VBR, ABR ve UBR servis sınıflarının ortalama UUG değerleri λ 'nın fonksiyonu olarak elde edilmektedir (Denklem (5.1)).

$$UUG(\lambda) = \frac{1}{2}T_c + \frac{\lambda T_c^2}{2(1 - \lambda T_c)} + T \quad (5.1)$$

Analitik modeli gerçekleştirilen AKGOEK protokolünde, CBR, VBR, ABR ve UBR servis sınıflarının ortalama UUG sonuçları λ değişken değeri (dolayısıyla kablosuz terminal yük değeri) arttırılarak Denklem (5.1) yardımıyla hesaplanmaktadır. Ancak her bir servis sınıfının trafik belirleyicilerine bağlı olarak T_c sabitesi de farklıdır. Kullanılan servis sınıfının türüne göre T_c değerleri Denklem (5.2) kullanılarak hesaplanır.

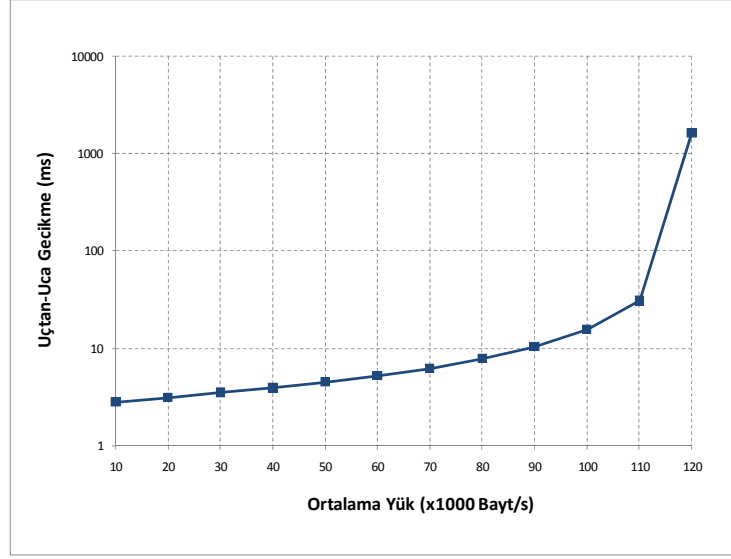
$$T_c = \frac{\text{Çerçevedeki toplam zaman dilimi sayısı}}{\text{Tahsis edilen zaman dilimi sayısı}} \times \text{Zaman dilimi süresi} \quad (5.2)$$

Örneğin, CBR servis sınıfı uygulaması için bir çerçeve içerisinde tahsis edilmesi gereken toplam zaman dilimi sayısı Denklem (4.1) kullanılarak 38 olarak hesaplanır. Buradan sonuç olarak T_c değeri Denklem (5.3) yardımıyla;

$$T_c = \frac{1000}{38} \times 200 \mu s = 5,2 \text{ ms} \quad (5.3)$$

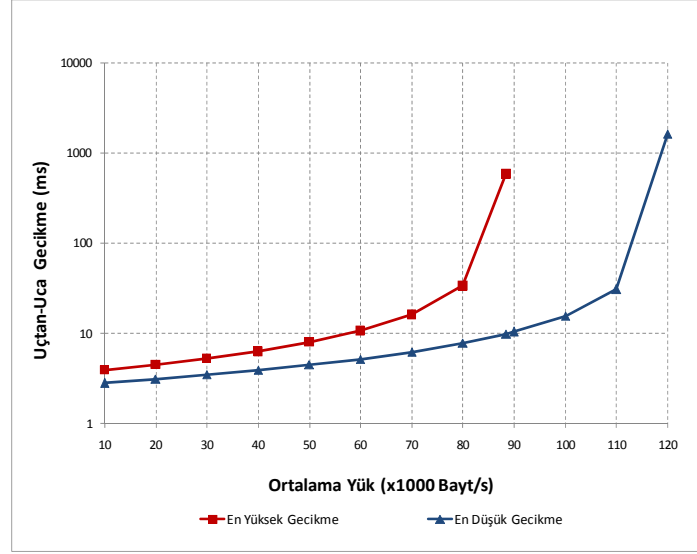
elde edilir. Diğer servis sınıflarına ait T_c servis süreleri de benzer bir yaklaşımla bulunur.

Şekil 5.13’de, CBR servis sınıfı için analitik modelden elde edilen ortalama UUG grafiği görülmektedir. Yük değeri 10000 Bayt/s değerinden 120000 Bayt/s değerine (diğer bir ifadeyle λ değeri) arttırılarak ortalama gecikme sonuçları elde edilmiştir. Yük’ün 110000 Bayt/s değerine kadar elde edilen gecikmeler CTD (100 ms) parametresiyle belirlenen sınır değerin altındadır. Ancak yük 120000 Bayt/s’ye çıkartıldığında çok yüksek UUG değeri (1625 ms) elde edilmektedir ki bu sistem kapasite kullanımının doyuma gittiği çalışma durumunu göstermektedir.



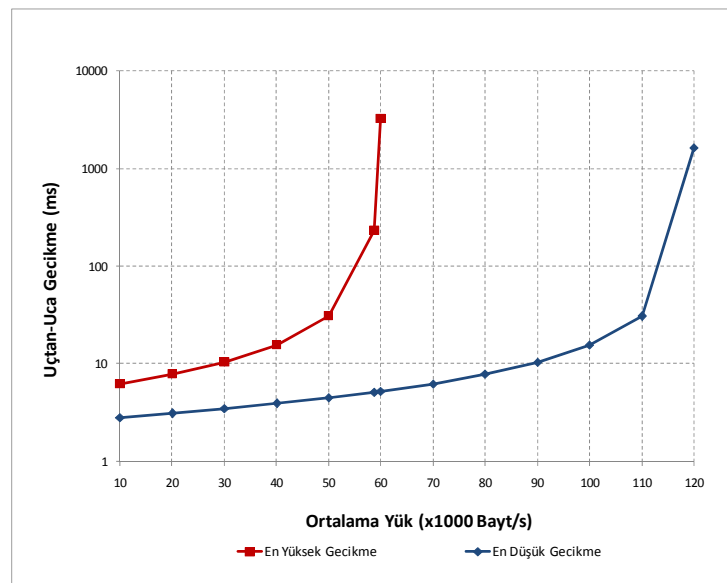
Şekil 5.13: CBR servis sınıfı analitik ortalama uçtan–uca gecikme sonuçları.

Şekil 5.14’de, VBR servis sınıfı analitik modelden elde edilen en yüksek ve en düşük UUG grafikleri görülmektedir. Bu servis sınıfının analitik modelinde SCR ve PCR değerleri için iki farklı, diğer bir ifadeyle en düşük ve en yüksek, T_c değerine göre gecikme değerleri elde edilmektedir. Şekil 5.14’de bu iki farklı durum için, yük değeri 10000 Bayt/s’den 120000 Bayt/s’ye arttırıldığında oluşan ortalama UUG grafikleri ayrı ayrı görülmektedir. T_c en yüksek olduğu durumda; 80000 Bayt/s yük değerine kadar, elde edilen en yüksek ortalama gecikme sonucu CTD (100ms) parametresiyle belirlenen sınır değeri aşmazken, yük 88500 Bayt/s’ye çıkartıldığında en yüksek gecikme değeri 583,3 ms olarak elde edilir ki bu sistem kaynaklarının doyuma gittiği anlamına gelmektedir. T_c en düşük olduğu durumda ise; 120000 Bayt/s ve daha yüksek yük değerleri için sistem kaynakları tükenerek, ortalama UUG sonuçları kabul edilebilir sınırların dışına çıkmaktadır ($UUG \geq 1625$ ms).



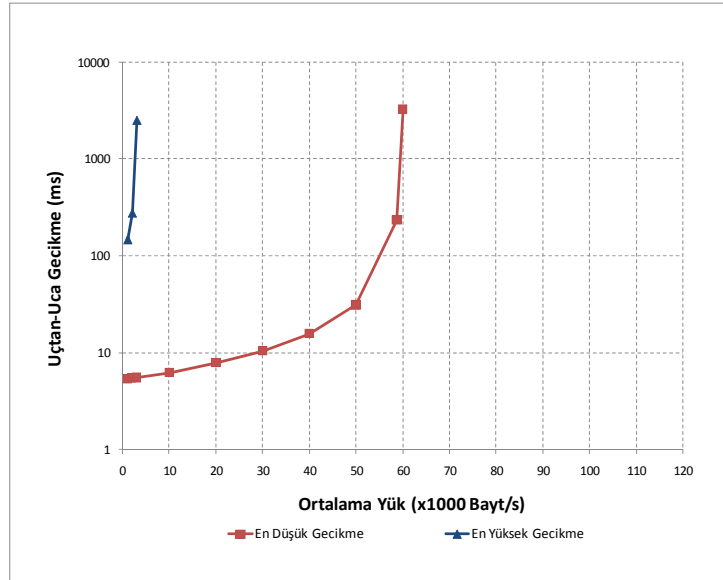
Şekil 5.14: VBR servis sınıfı analitik ortalama uçtan–uca gecikme sonuçları (T_c en yüksek ve en düşük olduğunda).

Şekil 5.15’de, ABR servis sınıfı analitik modelden elde edilen en yüksek ve en düşük UUG grafikleri görülmektedir. Bu servis sınıfının analitik modelinde MCR ve PCR değerleri için iki farklı, diğer bir ifadeyle en düşük ve en yüksek, T_c değerine göre gecikme değerleri elde edilmektedir. İlk durumda 58750 Bayt/s yük değeri için 232,1 ms ortalama UUG sonucu elde edilirken, ikinci durumda 110000 Bayt/s yük değeri için 30,7 ms ortalama UUG sonucu oluşmaktadır. Bu yük değerlerinden sonra sistem kaynak kullanımı doyuma ulaştığından, oldukça hızlı artan yüksek gecikme sonuçları ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.15: ABR servis sınıfı analitik ortalama uçtan–uca gecikme sonuçları (T_c en yüksek ve en düşük olduğunda).

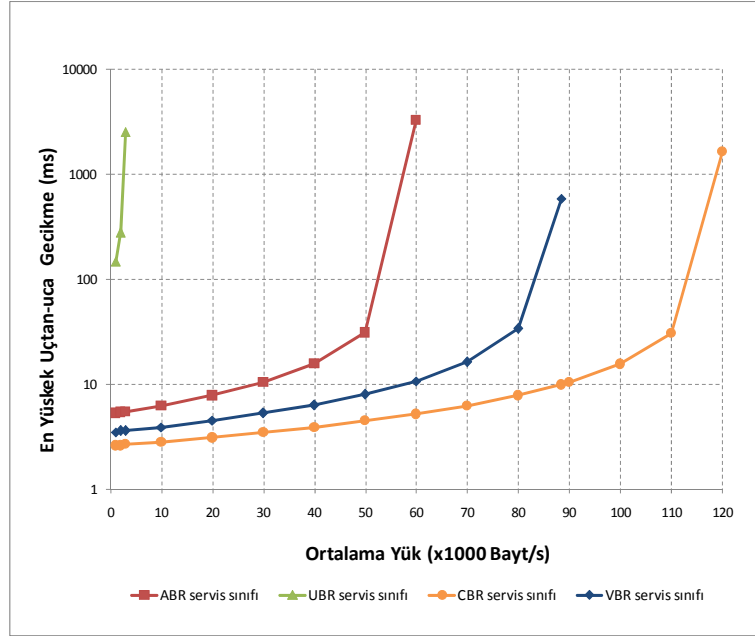
Şekil 5.16’te, UBR servis sınıfı analitik modelden elde edilen en yüksek ve en düşük UUG grafikleri görülmektedir. Bu servis sınıfının analitik modelinde en yüksek T_c değerine (1 zaman dilimi tahsis edildiği durum) ve en düşük T_c değerine (PCR’nin esas alındığı durum) bağlı olarak gecikme değerleri elde edilmektedir. UBR servis sınıfının analitik modelinde en yüksek gecikmenin elde edildiği durumda KT’ye bağlantının sürdürülebilmesi için sadece bir adet garantili zaman dilimi tahsis edilmektedir. Bu durumda yükün 3000 Bayt/s değerine kadar gecikmeler elde edilmiş, bu değer ve üzerinde 2500 ms gibi oldukça yüksek ve sonsuza giden gecikmeler oluşmaktadır. Diğer durumda (PCR’ın esas alındığı T_c değerine göre) ise UBR uygulamaların 60000 Bayt/s yük değerlerine kadar desteklenebildiği görülmektedir.



Şekil 5.16: UBR servis sınıfı analitik ortalama uçtan-uca gecikme sonuçları (T_c en yüksek ve en düşük olduğunda).

Şekil 5.17’te, tüm servis sınıfları için analitik modellerden elde edilen ortalama UUG (T_c en yüksek olduğunda) grafikleri görülmektedir. Burada sunulan sonuçlar iki önemli noktaya işaret etmektedir. Bunlardan birincisi, T_c ’nin en yüksek olduğu durumlarda dahi CBR, VBR, ABR ve UBR servis sınıflarını kullanan tüm kablosuz terminaller, önceden trafik sözleşmesi ile belirlenen ve garanti edilen veri iletim hızı ve gecikme sınırları içerisinde haberleşmektedir. İkincisi ise, farklı KT iletişim uygulamalarından özellikle CBR ve VBR servis sınıfları ile desteklenenler, esas olarak tasarlanan AKGOEK protokolü Dinamik Slot Tahsis Tablosu (DSAT) ve yönetimi algoritmaları yardımıyla sınırlı sistem kaynaklarını en iyi düzeyde

kullanmak suretiyle gerçekleştirilmektedir. Sonuç olarak, benzer şartlarda özellikle gecikme ve gecikme değişimine duyarlı uygulamaların bu şekilde ayrıştırılması analitik olarak da elde edilerek, tasarlanan sistem ve algoritmalar doğrulanmaktadır.

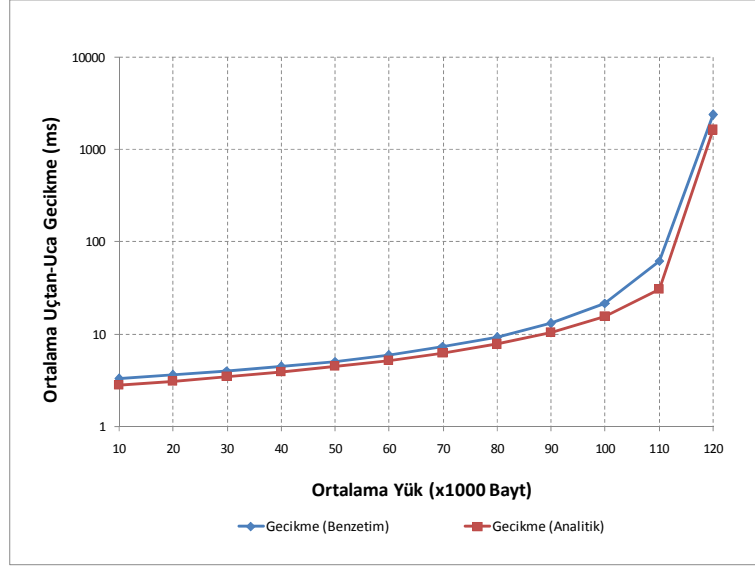


Şekil 5.17: Tüm servis sınıfları için analitik ortalama uçtan-ucaya gecikme sonuçları (T_c en yüksek olduğunda).

5.4. Benzetim Sonuçlarının ve Analitik Sonuçların Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

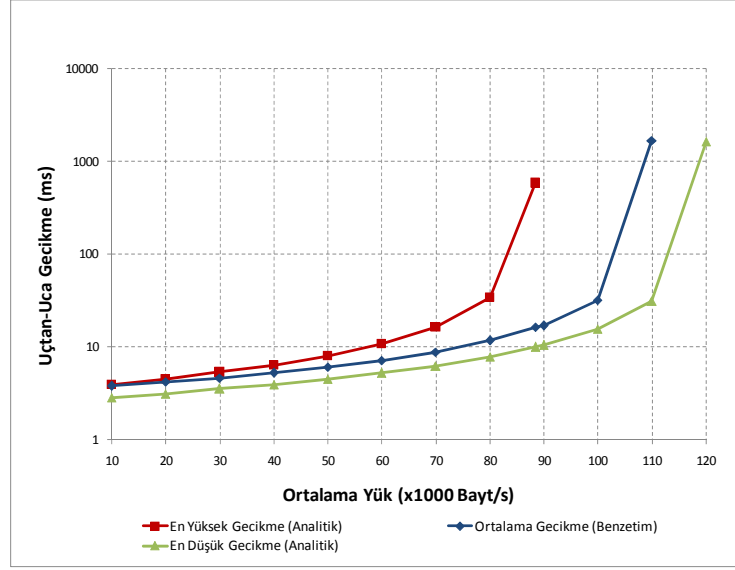
Bu bölümde, tez çalışmalarıyla gerçekleştirilen AKGOEK protokolünün benzetim ve analitik modellerinden elde edilen sonuçlar kıyaslanarak önerilen yeni OEK sistemi ve algoritmaları doğrulanmaktadır.

Şekil 5.18’te, CBR servis sınıfı için benzetim ve analitik modellerden elde edilen UUG grafikleri birlikte görülmektedir. Yük değeri 10000 Bayt/s ile 120000 Bayt/s arasında değişirken, ortalama UUG benzetim sonuçları ile analitik sonuçlar yaklaşık olarak örtüşmektedir. Buradan, tez çalışmaları ile geliştirilen AKGOEK protokolünün ilgili CBR yönetim algoritmalarının doğrulandığı açıkça görülmektedir.



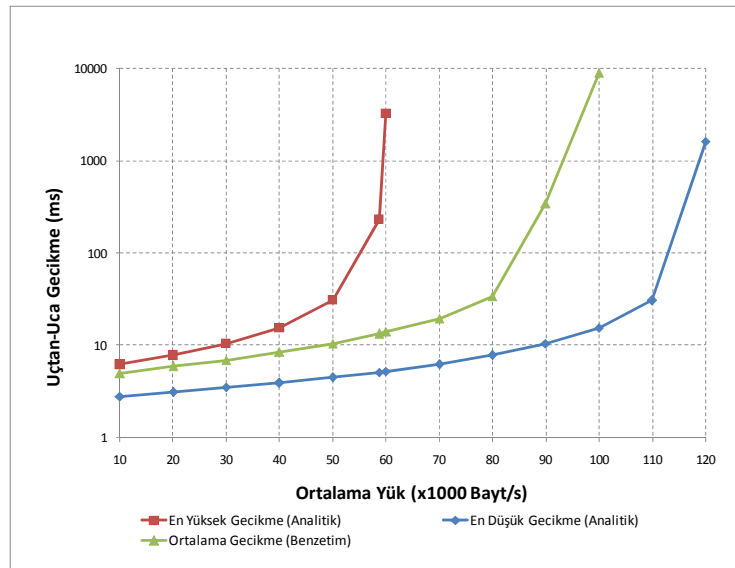
Şekil 5.18: CBR servis sınıfı için analitik ve benzetim ortalama UUG sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 5.19’da, VBR servis sınıfı için benzetim ve analitik modellerden elde edilen UUG grafikleri görülmektedir. AKGOEK protokolünün ilgili VBR yönetim algoritmalarının da doğrulandığı bu sonuçlar ışığında, benzetim modelinden elde edilen ortalama UUG değerleri, analitik modellerde T_c ’nin en yüksek ve en düşük olduğu durumlarda ayrı ayrı elde edilen gecikme değerleri arasındadır. Benzetim sonuçlarını gösteren UUG grafiğinin analitik modeller için elde edilen gecikme grafiklerinin ortasında yer alması, VBR bağlantılar için tahsis edilen ikinci öncelikli zaman dilimi sayısına bağlıdır. Benzetim modelinde oluşan ortalama UUG değeri, ikinci öncelikli zaman dilimi sayısı arttıkça analitik modeldeki en düşük ortalama UUG değerine doğru, ikinci öncelikli zaman dilimi sayısı azaldıkça ise en yüksek ortalama UUG değerine doğru yaklaşmaktadır.



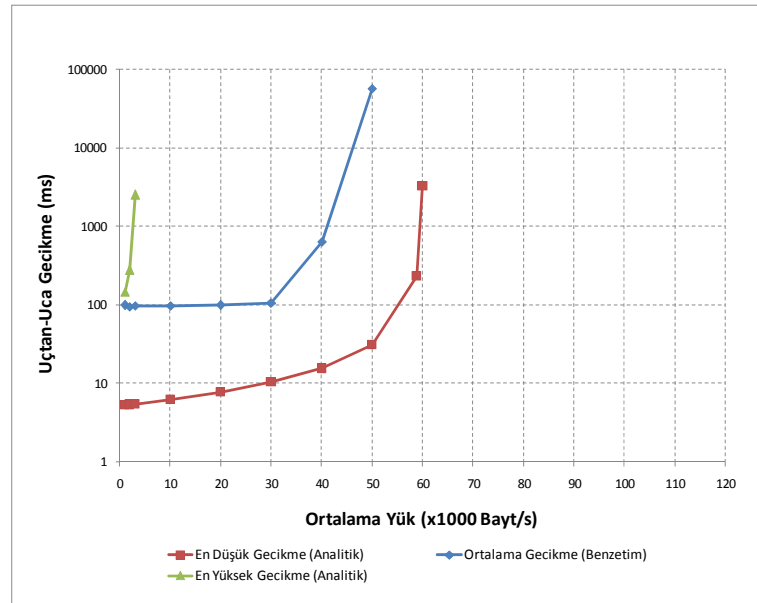
Şekil 5.19: VBR servis sınıfı için analitik ve benzetim ortalama UUG sonuçlarının karşılaştırılması (T_c en yüksek ve en düşük olduğunda).

Şekil 5.20’de, ABR servis sınıfı için benzetim ve analitik modellerden elde edilen ortalama UUG grafikleri görülmektedir. VBR servis sınıfında olduğu gibi, bu servis sınıfında da benzetim modelinden elde edilen ortalama UUG sonuçları, analitik modellerde T_c ’nin en yüksek ve en düşük olduğu durumlarda elde edilen ortalama UUG değerleri arasında değişmektedir. Analitik model en iyi ve en kötü ortalama UUG sonuçlarının ortalaması ile benzetim modeli ortalama UUG sonucunun yaklaşık olarak örtüşmesi, geliştirilen AKGOEK protokolünün ilgili ABR yönetim algoritmalarını doğrulamaktadır.



Şekil 5.20: ABR servis sınıfı için analitik ve benzetim ortalama UUG sonuçlarının karşılaştırılması (T_c en yüksek ve en düşük olduğunda).

Şekil 5.21’de, UBR servis sınıfı için benzetim ve analitik modellerden elde edilen ortalama UUG grafikleri görülmektedir. ABR ve VBR servis sınıflarına benzer şekilde, bu servis sınıfında da benzetim modeli ortalama UUG grafiği, analitik modellerde T_c ’nin en yüksek ve en düşük olduğu durumlardaki ortalama UUG grafikleri arasındadır. UBR servis sınıfı destekli bir bağlantının sürdürülebilmesi amacıyla kaynakların (zaman dilimi kullanımı) en yoğun kullanıldığı durumlarda sadece bir zaman dilimi tahsis edildiğinden, T_c ’nin en yüksek olduğu analitik modelde uygulanan yük miktarının 3000 Bayt/s ve altındaki çalışma şartlarında oldukça yüksek ve/fakat kabul edilebilir ortalama UUG sonuçları oluşmaktadır. Bunun üzerindeki yük değerlerinde ise sistem kaynakları tükendiğinden ortalama UUG değerleri analitik olarak belirlenmemektedir. Her ne kadar 3000 Bayt/s üzerindeki yük değerlerinde ortalama UUG sonuçları hesaplanamasa da, bu yük değerine kadar elde edilen ortalama UUG grafiği ve T_c ’nin en düşük olduğu analitik model ortalama UUG grafiği ortalaması, benzetim modeli ortalama UUG sonuçlarını doğrulamaktadır.



Şekil 5.21: UBR servis sınıfı için analitik ve benzetim ortalama UUG sonuçlarının karşılaştırılması (T_c en yüksek ve en düşük olduğunda).

5.5. Sonuç

Bu bölümünde, akıllı antenler kullanan ve kablosuz çoklu ortam trafiklerine hizmet veren, TDMA/FDD tekniğine dayalı tasarlanan AKGOEK protokolünü kullanan örnek bir ağ senaryosunun geleneksel (yönsüz anten kullanan) TDMA/FDD OEK protokolü ile karşılaştırmalı benzetim sonuçları sunulmuştur. AKGOEK protokolünün analitik modeli yardımıyla doğrulanan ortalama uçtan–uca gecikme, çağrı reddedilme oranı, toplam iş çıkarma oranı sonuçları incelenerek, farklı sayılarda hüzmeye sahip akıllı anten kullanan AKGOEK modellerinden elde edilen sonuçların kıyaslamalı değerlendirmesi yapılmıştır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde kablosuz haberleşme teknolojilerine ve ağlarına olan talebin giderek artması ve farklı servis sınıfları kullanımının yaygın hale gelmesi, artan ve yüksek bantgenişliği ihtiyacının ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bu durum, kablosuz ortam erişim ve kontrol protokolleri üzerine yapılan çalışmalarda önemli ölçüde artışa yol açmıştır. Artan bantgenişliği ve kapasite taleplerinin karşılanabilmesi için, ortam erişim ve kontrol protokollerinde akıllı anten sistemleri yeni bir çözüm olarak düşünülmektedir. Akıllı antenler, sinyal kalitesini arttırırken, girişimleri ve gürültüyü bastırır, güç tasarrufu sağlar ve kablosuz ortam kaynaklarından etkin şekilde faydalanma imkanı sağlayarak sistem kapasitesini ve başarımını yükseltir. Sunulan tez çalışmalarında da esas alındığı gibi, akıllı antenler kablosuz ortam kullanımını daha verimli hale getirirken, tasarlanan yeni ortam erişim kontrol mekanizmaları da güncel ve artan kablosuz/hareketli kullanıcıların oldukça değişken servis kalitesi destekli bantgenişliği taleplerini karşılamayı hedeflemektedir.

Ortam erişim ve kontrol protokolleri, sınırlı ortam kaynaklarının kullanıcılara etkin bir şekilde paylaşılmasını ve özellikle servis kalitesi garantisi isteyen çoklu ortam uygulamaların ihtiyaç duyduğu bantgenişliği gereksinimlerinin karşılamasını sağlar. Kablosuz OEK protokolleri, (kablolu eşleniklerine benzer şekilde) kablosuz ortam kaynaklarını kullanıcılara en etkin şekilde paylaştırmayı amaçlar. Son yıllarda özellikle farklı karakteristiklere sahip ve farklı bantgenişliği ihtiyacı olan trafiklerin servis kalitesi gereksinimlerini karşılamak için değişik OEK protokolleri geliştirilmektedir.

Sunulan tez çalışmalarında, istek güdümlü paylaşırma tekniğine dayalı yeni bir OEK protokolü (AKGOEK), artan kapasite ve bantgenişliği ihtiyacını karşılamak için akıllı antenler kullanılarak geliştirilmiştir. AKGOEK, sayısal haberleşme sistemlerinde oldukça sık kullanılan ve farklı veri trafiklerinin gereksinimlerini karşılayabilme özelliğinden dolayı TDMA çoklu erişim yöntemini esas almaktadır. İkileyici yöntemi olarak ise gönderme ve alma kanalları için farklı frekansların

kullanıldığı FDD tekniğinin seçildiği bu protokolda, yukarı bağlantı için 4 GHz, aşağı bağlantı için ise 3 GHz frekans bantları kullanılmaktadır. Bu protokol kablosuz ortamda, tüm ATM servis sınıflarına (CBR, VBR, ABR, UBR) hizmet vermeyi garanti etmektedir.

AKGOEK protokolünde veri ve kontrol paketlerinin iletiminin yapıldığı veri ve kontrol zaman dilimleri de bulunmaktadır. Veri zaman dilimleri, veri iletiminin gerçekleştirildiği zaman dilimleri iken, kontrol zaman dilimleri iletişimin başlatılması veya sonlandırılması gibi süreç denetim amaçlı haberleşmenin gerçekleştiği zaman dilimleridir.

Önerilen bu yeni AKGOEK protokolü ile iki önemli ana katkı sağlanmıştır;

- Akıllı anten sistemleri kullanılarak sınırlı kablosuz spektrumun daha etkin kullanılması sağlanmış ve sistem kapasite kullanımında önemli bir artış gerçekleştirilmiştir.
- Bu protokol, sistem kaynaklarını en etkin şekilde kullanarak, tüm ATM servis sınıflarına (CBR, VBR, ABR, UBR) hizmet vermeyi garanti etmektedir.

Tez çalışmasının yukarıda ifade edilen ana katkılarının yanı sıra bazı ek katkıları da bulunmaktadır. Bunlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Akıllı anten sistemleri kullanılarak ileride gerçekleştirilecek araştırma çalışmalarında referans olarak kullanılabilen farklı ışın örüntülerine sahip akıllı anten modelleri gerçekleştirilmiştir.
- Önerilen yaklaşımın benzetim ve analitik modelleri gerçekleştirilerek araştırmacıların kullanımına sunulmuştur.
- Akıllı anten sistemleri kullanılarak daha güvenli bir haberleşme gerçekleştirilmiştir. Böyle bir sistemde herhangi bir kullanıcıya ait bilgilerin elde edilebilmesi veya dinlenebilmesi için bu kullanıcının hedef kullanıcı ile yaklaşık olarak aynı konuma sahip olması gerekir.

Tez çalışmaları ile tasarlanan AKGOEK protokolünün OPNET Modeler yazılımı ile modellenmesi ve benzetimi gerçekleştirilmiştir. Genişbant kablosuz ağlar için tasarlanan AKGOEK protokolü benzetim modelinde bir merkezi baz istasyonu ve çok sayıda kablosuz terminal bulunmaktadır. AKGOEK protokolü baz istasyonu ve kablosuz terminallerde eşzamanlı olarak çalışmaktadır. Baz istasyonu, çok hüzmeli anahtarlamalı ışın anten sistemi kullanırken, kablosuz terminaller yönsüz anten kullanmaktadır. Terminaller iletişimlerini yalnızca baz istasyonu üzerinden gerçekleştirirler ve haberleşme isteğinden önce, ileteceği verinin karakteristik özelliklerine uygun olarak baz istasyonundan kanal isteğinde bulunurlar. Baz istasyonu, bu terminalin iletmek istediği verinin servis kalitesi (SK) değişkenlerine bağlı olarak, yeterli sayıda zaman dilimini (bantgenişliğini) bu terminal için tahsis eder. Yeterli sayıda zaman dilimi yoksa bu terminalin bağlantı isteğini geri çevirir (call blocking). Terminal, gerekirse bir süre sonra tekrar bağlantı isteğinde bulunabilir.

AKGOEK protokolünün baz istasyonunda çalışan bölümü için yeni bir Dinamik Slot Tablosu (DSAT) yönetim ve kontrol algoritmaları geliştirilmiştir. Geliştirilen bu algoritmalar ile baz istasyonu, ATM'in bütün servis sınıflarına hizmet verebilmektedir.

Benzetim ortamında ses iletimi için CBR servis sınıfını kullanan terminallerde yük değeri 10000 Bayt/s'den başlayarak 110000 Bayt/s değerine arttırıldığında ortalama uçtan uca gecikme değeri 3,29 ms'den 62,24 ms değerine çıkmıştır. Burada elde edilen gecikme değeri, uygulama için belirlenen 150 ms değerinden düşüktür.

VBR servis sınıfını kullanan terminallerde yük değeri 10000 Bayt/s'den başlayarak 100000 Bayt/s değerine arttırıldığında gecikme değeri 3,75 ms'den 31,37 ms değerine çıkmıştır. Burada elde edilen gecikme değerleri uygulama için kabul edilen üst sınırın (100 ms) altındadır.

Benzetim ortamında kritik dosya iletimi için ABR servis sınıfını kullanan terminallerin yük değeri 10000–120000 Bayt/s aralığında değişirken ortalama gecikme sonuçları 5 ms'den 9013,38 ms'ye yükselmektedir. Uygulamanın

gecikmeye duyarlı olmaması bu sonuçları kabul edilebilir kılmakla birlikte, özellikle 80000 Bayt/s ve üzerindeki yük değerlerinde ortalama UUG, azalan sistem kaynaklarıyla ters orantılı olarak hızla artmaktadır.

Benzetim ortamında son olarak veri iletimi için UBR servis sınıfını kullanan terminallerde yük 30000 Bayt/s değerine kadar yükseltildiğinde yaklaşık 100 ms'lik ortalama UUG değeri elde edilmiştir. Yük 40000 Bayt/s değerine çıkartıldığında 630,9 ms ortalama gecikme elde edilirken, bu yük değerinden sonra oldukça yüksek gecikme sonuçları ortaya çıkmaktadır. Bu beklenen sonuç, UBR algoritmasının sistem kaynaklarının tahsisinde en düşük etkinliğe sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

AKGOEK protokolünün örnek benzetim ortamında kullanıcı sayısı 20'den 240'a kadar arttırıldığında, klasik TDMA, TDMA (4-Hüzme), TDMA (6-Hüzme) ve TDMA (8-Hüzme) benzetim modelleri için sırasıyla en yüksek (olumsuz) çağrı reddedilme oranı (ÇRO) değerleri %86, %58, %35 ve %18 olarak elde edilmiştir. Her bir modelden elde edilen bu ÇRO değerleri iki önemli sonucu yansıtmaktadır. Birincisi, klasik TDMA sisteminde ÇRO oldukça yüksektir ve özellikle gerçek zamanlı uygulamalar açısından kabul edilemez sınırlardadır. Bu durum, gerçek zamanlı veri trafiklerinin iletimi için kabul edilemeyecek gecikmelere yol açar. İkincisi, yönlendirilmiş anten kullanan modellerde ise hüzme sayısı ile orantılı olarak ÇRO önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Böylece geliştirilen AKGOEK protokolü ile sistem kapasite kullanımı arttırılarak daha fazla kullanıcının kablosuz ortam kaynaklarından faydalanması sağlanmıştır.

Tez çalışmalarıyla benzetimi gerçekleştirilen AKGOEK protokolünün, analitik modeli de geliştirilerek benzetim modelinden elde edilen sonuçlar doğrulanmıştır.

Yük değeri 10000 Bayt/s ile 120000 Bayt/s arasında değişirken CBR servis sınıfı için analitik modellerden elde edilen ortalama UUG sonuçları, benzetim sonuçları ile yaklaşık olarak örtüşmektedir. VBR servis sınıfı için analitik modellerden elde edilen ortalama UUG, servis süresinin en yüksek ve en düşük olduğu durumlar için hesaplanmıştır. Benzetim modelinden elde edilen ortalama gecikme grafiği, analitik

modelden elde edilen ortalama gecikme grafikleri arasındadır. Bu sonuç, VBR bağlantı için tahsis edilen ikinci öncelikli zaman dilimi sayısına bağlıdır. Ortalama gecikme grafiği, ikinci öncelikli zaman dilimi sayısı arttıkça en düşük gecikmeye doğru, ikinci öncelikli zaman dilimi sayısı azaldıkça en yüksek gecikmeye doğru yaklaşmaktadır. VBR servis sınıfında olduğu gibi ABR servis sınıfında da benzetim modelinden elde edilen ortalama gecikme grafiği, analitik modellerde servis süresinin en yüksek ve en düşük olduğunda durumlarda elde edilen gecikme grafikleri arasındadır. Yine benzer bir şekilde UBR servis sınıfı için analitik modellerden elde edilen gecikme sonuçları, benzetim modelden elde edilen gecikme sonuçlarını doğrulamaktadır.

6.1. Tartışma ve Öneriler

Bu tez çalışmasında, tasarlanan yeni AKGOEK protokolü ve kullanıldığı çoklu ortam ağ sisteminin OPNET Modeller benzetim programı ile benzetim modeli geliştirilmiş ve üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca bu yeni protokolün analitik modeli de geliştirilerek, her iki modelden elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Tez çalışmasının fiziksel olarak FPGA ile geliştirilmesi bir sonraki araştırma–geliştirme çalışması olarak düşünülebilir.

Tez çalışmasında kullanılan KT’lerin hareketlilik fonksiyonları bulunmamaktadır. Hareketlilik yeteneği de bulunan KT’ler için, AKGOEK protokolü el–değiştirme algoritmaları da içerecek şekilde uyarlanabilir.

Tez çalışmalarında gerçekleştirilen AKGEK protokolünde kullanılan çoklu ışın hüzmeli anahtarlamalı anten sistemleri yerine uyarlamalı dizi anten sistemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar başarımlı değerlendirilmesi için karşılaştırılabilir.

Tez çalışmaları ile geliştirilen akıllı anten modelleri, kablosuz eşe–eş ağ uygulamalarında kullanılarak ağın toplam iş çıkarma oranları yükseltilebilir.

Ayrıca giderek yaygınlaşan kablosuz algılayıcı ağlarda ağın başarımlı arttırmak için akıllı anten sistemleri kullanılarak yeni OEK protokolleri geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

Alexiou, A., Haardt, M., “Smart Antenna Technologies for Future Wireless Systems:Trends and Challenges”, *IEEE Communications Magazine*, 90–97, (2004).

Al-Jazzar, S., Radhakrishnan, R., “Smart Antennas in Wireless Communications”, Rapor, *University of Cincinnati ECECS Department: Systems Engineering Research*, USA, (2000).

Andrew, M., “Wireless Technician’s Handbook”, *Artech House Publishers*, London, (2003).

ArrayComm, “Smart Antenna System”, *The International Engineering Consortium*, teknik rapor.

Awater, G. A., ve Kruys, J., “Wireless ATM–an Overview”, *Mobile Networks and Applications*, 235–243, (1996).

Ayanoğlu, E., “Wireless Broadband and ATM Systems”, *Computer Networks*, Cilt 31, 395–409, (1999).

Balanis, C., “Antenna Theory Analysis and Design”, *Wiley-Interscience*, 3. Baskı, (2005).

Bhobe, A., Perini, P., “An Overview of Smart Antenna Technology for Wireless Communication”, *IEEE Aerospace Conference*, 875–883, (2001).

Bing, B., “High–Speed Wireless ATM and LANs”, *Artech House Publishers*, London, (2000).

Chryssomallis, M., “Smart Antennas”, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Cilt 42, No.3, 129–136, (2000).

Cooper, M., Goldburg, M., “Intelligent Antennas: Spatial Division Multiple Access”, *Wireless Annual Review of Communications*, (1996).

Çeken, C., “Kablosuz ATM Kullanarak Servis kalitesi desteği sağlanmış gerçek zamanlı veri transferi”, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, (2004).

Çölkesen, R., Örencik, B., “Bilgisayar Haberleşmesi ve Ağ Teknolojileri”, *Papatya Yayıncılık*, 4.Baskı, (2003).

Ertürk, İ., ve Özcerit, A.T., “ATM Bilgisayar Ağlarına Giriş”, **Beta Yayınevi**, İstanbul, (2002).

Garcia, L.A., Widjaja, I., “Communication Networks Fundamental Concepts and Key Architectures”, **McGraw–Hill Higher Education**, (2001).

Garg., V., “Wireless Communications Principles and Networking”, **Elsevier**, (2007).

Gross, F., “Smart Antennas for Wireless Communications with MATLAB”, **McGraw–Hill Companies**, (2005).

Gummala., A., C., V., Limb O. J., “Wireless Medium Access Control Protocols”, **IEEE Communications Surveys**, (2000).

Haykin, S., “Communication Systems”, **John Wiley & Sons, Inc.**, 4.Baskı, (2001).

Hwang, Y.H., Song, N., Sung, D.K., Moayeri, N., “Performance Evaluation of a Multi–Sector Antenna Based Access Point Network Architecture”, **The 14th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication Proceedings**, 2571–2575, (2003).

IBM, International Technical Support Organization, “Asynchronous Transfer Mode (ATM) Technical Overview”, 2.Baskı, (1995).

Jain, R., “The Art of Computer Systems Performance Analysis, Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation, and Modeling”, **John Wiley & Sons**, New York, (1991).

Jakobsen, A., “Smart Antennas for Dummies”, Teknik Rapor, **Telenor R&D**, USA, (2001).

Jia, Y., Hara, Y., Hara, S., “Performance of TDD–SDMA/TDMA System with Multi–Slot Assignment in Asymmetric Traffic Wireless Network”, **IEEE PIMRC**, (2002).

Karol, M., J., Liu, Z., and Eng, K., Y., An Efficient Demand Assignment Multiple Access Protocol for Wireless Packet (ATM) Networks, **Wireless Networks**, Cilt 1, 267–279, (1995).

Khan, M.K, Peyrayi, H., “Delay and Jitter Analysis of Generalized Demand–Assignment Multiple Access (DAMA) Protocols with General Traffic”, **IEEE Preceeding of the 38th Hawaii International Conference on System Sciences**, (2005).

Korhonen, J., “Introduction to 3G Mobile Communications”, **Artech House**, 2.Baskı, (2003).

- Küçük, K., Karakoç, M., Kavak, A., “Real Time Implementation of LMS Beamformer for cdma2000 3G System using TI TMS320C6701 DSP”, *Proceedings of ELECO’03*, Turkey, (2003).
- Lehne, P.H. , Petterson, M., “An Overview of Smart Antenna Technology for Mobile Communication Systems” , *IEEE Communications Surveys*, Cilt 2, 2–13, (1999).
- Liberti, J.C.Jr., Rappaport, T.S., “Smart Antennas for Wireless Communications: IS-95 and Third Generation Applications”, *Prentice Hall*, (1999).
- Loadman, C., Chen, Z., Jorgensen, D., “An Overview of Adaptive Antenna Technologies for Wireless Communications”, *Communication Networks and Services Research Conference*, Canada, (2003).
- Mikkonen, J., Awater, G., A., Lunn, A., and Hutchison, D., The Magic WAND–Functional Overview, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Cilt 16, No. 6, 953–972, (1998).
- Muller., J.N., “Wireless A to Z”, *McGraw–Hill Higher Education*, (2003).
- Nicopolitidis, P., Obaidat, M. S., Papadimitriou, G. I., Pomportsis, A. S., “Wireless Networks”, *John Wiley & Sons*, (2003).
- Okamoto, G., “Developments and Advances in Smart Antennas for Wireless Communications”, 66–69, *Wireless Technology*, (2003).
- Pildish, G.D., Cisco ATM Solutions, *Cisco Pres*, (2001).
- Ponnekonti, S., “An Overview of Smart Antenna Technology for Heterogeneous Networks”, *IEEE Communication Surveys*, Cilt 2 (4), 14–23, (1999).
- Prasad., R., Ruggieri., M., “Technology Trends in Wireless Communications”, *Artech House*, London, (2003).
- Rappaport, T.S., “Wireless Communications Principles and Practice”, *Prentice Hall*, 2.Baskı, (2002).
- Raychaudhuri, D., “Wireless ATM Networks: Architecture System Design and Prototyping ”, *IEEE Personal Communicaitons*, 42–49, (1996).
- Raychaudhuri, D., “Wireless ATM Networks Technology Status and Future Directions”, *Proceedings of IEEE Proc.*, Cilt 87, No.10, 1790–1805, (1999).
- Rom, R., Sidi, M., “Message Delay Distribution in Generalized Time Division Multiple Access (TDMA)”, *Probability in the Engineering and Informational Sciences*, Cilt 4, 187–202, (1990).

Shad, F., Todd, T.D, Kezys, V., Litva, V., “Dynamic Slot Allocation (DSA) in Indoor SDMA/TDMA Using a Smart Antenna Basestation”, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Cilt 9, No 1, 69–81, (2001).

Sreetharan, M., and Subramaniam, S., “ATM Interworking in Broadband Wireless Applications”, *Artech House*, (2002).

Stallings, W., “Data and Computer Communications”, *Pearson Education International*, 7.Baskı, (2004).

Stallings, W., “Wireless Communications & Networks”, *Pearson Prentice Hall*, 2.Baskı, (2005).

Tsoulos, G.V., “Smart antennas for mobile communication systems: benefits and challenges”, *Electronics and Communication Engineering Journal*, 84–94, (1999).

Ulukan, E., “Wireless LANS with Smart Antennas”, Yüksek Lisans Tezi, *Sabancı Üniversitesi*, (2005).

Ward, J., Compton, R. T., “High Throughput Slotted–ALOHA Packet Radio Networks with Adaptive Arrays”, *IEEE Transaction on Communications*, Cilt 41, 460–470, (1993).

Xu, G., Li, S.Q. “Throughput multiplication of wireless LANs for multimedia services: SDMA protocol design”, *IEEE Global Telecommunications Conference*, Cilt 3, 1326 –1332, (1994).

Yang, J., Li, J., Zhou, X., “A Novel QoS–Supported MAC Protocol for Wireless Network with Smart Antennas”, *The 14th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication Proceedings*, 573–577, (2003).

EKLER-A: KT-OEK MODÜLÜ PROSES MODELİNE AİT PROGRAM KODLARI

Bu ekte, AKGOEK protokolünün KT proses modelinin C programlama dilinde yazılan kodları verilmektedir.

Init Durum Makinesi:

```
/* ----- */
/* Debug işlemleri için programın basında deneme local statistiği tanımlandı. */
/* Farklı değişken ve değerlerin testi için kullanılacaktır. */
/* ----- */
debug_stathandle = op_stat_reg ( "deneme", OPC_STAT_INDEX_NONE,
OPC_STAT_LOCAL );
current_slot_stathandle = op_stat_reg ( "Current Slot", OPC_STAT_INDEX_NONE,
OPC_STAT_LOCAL );
total_slot_stathandle = op_stat_reg ( "Total Slot", OPC_STAT_INDEX_NONE,
OPC_STAT_LOCAL );
timeslot_table_stathandle = op_stat_reg ( "Time Slot Table", OPC_STAT_INDEX_NONE,
OPC_STAT_LOCAL );
present_time_stathandle = op_stat_reg ( "Present Time", OPC_STAT_INDEX_NONE,
OPC_STAT_LOCAL );
con_req_counter_stathandle = op_stat_reg ( "Connection Request Counter",
OPC_STAT_INDEX_NONE, OPC_STAT_LOCAL );
con_end_counter_stathandle = op_stat_reg ( "Connection Termination Counter",
OPC_STAT_INDEX_NONE, OPC_STAT_LOCAL );
call_block_counter_stathandle = op_stat_reg ( "Call Block Counter", OPC_STAT_INDEX_NONE,
OPC_STAT_LOCAL );

con_req_counter = 0 ;
call_block_counter = 0 ;
con_end_counter = 0 ;

my_id = op_id_self();
my_node_id = op_topo_parent ( my_id );
op_ima_obj_attr_get ( my_node_id , "Terminal ID" , &terminal_id );
op_ima_obj_attr_get ( my_node_id , "Destination ID" , &destination_id );
op_ima_obj_attr_get ( my_node_id , "SOURCE.Start Time", &start_time );
op_ima_obj_attr_get ( my_node_id , "SOURCE.Stop Time", &stop_time );

SLS1 = 0 ;
SLS2 = 0 ;
SLS3 = 0 ;
SLS4 = 0 ;

service_class_selected = OPC_FALSE ;

/* ----- */
/* Get Traffic Contract Parameters */
/* for VBR Service Class */
/* ----- */
op_ima_obj_attr_get ( my_node_id , "Traffic Contract", &traffic_contract ) ;
```

```

comp_id = op_topo_child ( traffic_contract, OPC_OBJTYPE_GENERIC, 0 );
op_ima_obj_attr_get ( comp_id, "CBR", &service_class_id );
lower_service_class_id = op_topo_child ( service_class_id, OPC_OBJTYPE_GENERIC, 0 );

if ( op_ima_obj_attr_get ( lower_service_class_id, "PCR", &CBR_PCR ) ==
OPC_COMPCODE_FAILURE )
    error_message ( "Traffic Contract CBR Parametrelerini alamiyor...", OPC_NIL, OPC_NIL );
else if ( CBR_PCR != -1.0 )
{
    service_class = 0 ; // CBR service class
    op_ima_obj_attr_get ( lower_service_class_id, "CTD", &CBR_CTD );
    op_ima_obj_attr_get ( lower_service_class_id, "CDV", &CBR_CDV );

    /*-----*/
    /*                                     */
    /*      PCR Number of Slot =          */
    /*                                     */
    /*      Number of Bytes Sent in a frame */
    /*-----*/
    /*                                     */
    /*      20x1024Byte/s x 200x0.001      */
    /*      PCR Number of Slot =          */
    /*                                     */
    /*      53Byte x 10                    */
    /*-----*/

    SLS1 = ( ( CBR_PCR * 1024 ) * 200 * 0.001 ) / ( 53 * 10 );
    SLS2 = NUMBER_OF_SLOT / SLS1 ; // Space Between Slots ;
    SLS3 = CBR_CTD ;
    SLS4 = CBR_CDV / 0.1 ;
    if ( service_class_selected == OPC_TRUE )
        error_message ( "Birden fazla servis sinifi secildi.", OPC_NIL, OPC_NIL );
    else service_class_selected = OPC_TRUE ;
}

/*-----*/
/*      Get Traffic Contract Parameters */
/*      for VBR Service Class          */
/*-----*/
op_ima_obj_attr_get ( comp_id, "VBR", &service_class_id );
lower_service_class_id = op_topo_child ( service_class_id, OPC_OBJTYPE_GENERIC, 0 );

if ( op_ima_obj_attr_get ( lower_service_class_id, "SCR", &VBR_SCR ) ==
OPC_COMPCODE_FAILURE )
    error_message ( "Traffic Contract VBR Parametrelerini alamiyor ", OPC_NIL, OPC_NIL );

else if ( VBR_SCR != -1.0 )
{
    service_class = 1 ;
    op_ima_obj_attr_get ( lower_service_class_id, "PCR", &VBR_PCR );
    op_ima_obj_attr_get ( lower_service_class_id, "CTD", &VBR_CTD );
    op_ima_obj_attr_get ( lower_service_class_id, "CDV", &VBR_CDV );

    SLS1 = ( ( VBR_SCR * 1024 ) * 200 * 0.001 ) / ( 53 * 10 );
    SLS2 = ( ( VBR_PCR * 1024 ) * 200 * 0.001 ) / ( 53 * 10 );
    SLS3 = ( NUMBER_OF_SLOT ) / SLS1 ; // Space Between slots
    SLS4 = ( VBR_CDV / 0.1 ) ;

    if ( service_class_selected == OPC_TRUE )
        error_message ( "Birden fazla service sinifi secildi", OPC_NIL, OPC_NIL );
    else
        service_class_selected = OPC_TRUE ;
}

```

```

/***** ----- */
/*           Get Traffic Contract Parameters           */
/*           for VBR Service Class                     */
/***** ----- */

op_ima_obj_attr_get ( comp_id, "ABR", &service_class_id );
lower_service_class_id = op_topo_child ( service_class_id, OPC_OBJTYPE_GENERIC, 0 );

if ( op_ima_obj_attr_get ( lower_service_class_id, "MCR", &ABR_MCR ) ==
OPC_COMPCODE_FAILURE )
    error_message ( "Traffic Contract ABR Parametrelerini alamiyor...", OPC_NIL, OPC_NIL );

else if ( ABR_MCR != -1.0 )
{
    op_ima_obj_attr_get ( lower_service_class_id, "PCR", &ABR_PCR );
    service_class = 2;
    SLS1 = ( ( ABR_MCR * 1024 ) * 200 * 0.001 ) / ( 53 * 10 );
    SLS2 = ( ( ABR_PCR * 1024 ) * 200 * 0.001 ) / ( 53 * 10 );
    SLS3 = NUMBER_OF_SLOT / SLS1;
    if ( service_class_selected == OPC_TRUE )
        error_message ( "Birden fazla servis sinifi secildi", OPC_NIL, OPC_NIL );
    else service_class_selected = OPC_TRUE;
}

/***** ----- */
/*           Get Traffic Contract Parameters           */
/*           for VBR Service Class                     */
/***** ----- */

op_ima_obj_attr_get ( comp_id, "UBR", &service_class_id );
lower_service_class_id = op_topo_child ( service_class_id, OPC_OBJTYPE_GENERIC, 0 );

if ( op_ima_obj_attr_get ( lower_service_class_id, "PCR", &UBR_PCR ) ==
OPC_COMPCODE_FAILURE )
    error_message ( "Traffic Contract UBR Parametrlerini alamiyor...", OPC_NIL, OPC_NIL );

else if ( UBR_PCR != -1.0 )
{
    service_class = 3;
    SLS1 = ( ( UBR_PCR * 1024 ) * 200 * 0.001 ) / ( 53 * 10 );
    SLS2 = NUMBER_OF_SLOT / SLS1;
    if ( service_class_selected == OPC_TRUE )
        error_message ( "Birden fazla servis sinifi secildi", OPC_NIL, OPC_NIL );
    else
        service_class_selected = OPC_TRUE;
}

/***** ----- */

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

op_stat_write ( con_req_counter_stathandle, con_req_counter );
op_stat_write ( con_end_counter_stathandle, con_end_counter );
op_stat_write ( call_block_counter_stathandle, call_block_counter );

for ( i = 0; i < NUMBER_OF_SLOT; i++ )
{
    timeslot_table [ i ] = -1;
}

```

```

slot_length = ( 1.0 / SLOT_DIVIDER );
op_stat_write ( debug_stathandle, slot_length );
total_slot = 0 ;
connection_established = OPC_FALSE ;

total_slot = ( terminal_id * NUMBER_OF_SLOT );

op_intrpt_schedule_self ( ( ( terminal_id * NUMBER_OF_SLOT ) * slot_length + EPSILON ),
INTRPT_CODE_INIT );
//op_intrpt_schedule_self ( ( ( terminal_id * NUMBER_OF_SLOT ) * slot_length ),
INTRPT_CODE_INIT );

```

“ConReq” Durum Makinesi:

```

/*****baglantı istek paketi olustur----- *****/
pkptr = op_pk_create_fmt ("TDMA_MD1_connection_request");

op_pk_nfd_set (pkptr, "TerminalID", terminal_id );
op_pk_nfd_set (pkptr, "ServiceClass", service_class );
op_pk_nfd_set (pkptr, "SLS1", SLS1 );
op_pk_nfd_set (pkptr, "SLS2", SLS2 );
op_pk_nfd_set (pkptr, "SLS3", SLS3 );
op_pk_nfd_set (pkptr, "SLS4", SLS4 );

present_time = op_sim_time ();
total_slot = ( int ) floor ( present_time / slot_length );
present_slot = total_slot % NUMBER_OF_SLOT ;
op_stat_write ( present_time_stathandle, present_slot );

if ( present_slot == ( NUMBER_OF_SLOT - 1 ) )
{
    con_req_counter ++ ;
    op_stat_write ( con_req_counter_stathandle, con_req_counter );
    op_pk_send (pkptr, TX_OUT_STRM);
    op_intrpt_schedule_self ( ( total_slot + 1 ) * slot_length + EPSILON , INTRPT_CODE_SLOT );
    op_stat_write ( current_slot_stathandle, present_slot );
}
else
{
    op_intrpt_schedule_self ( ( total_slot + 1 ) * slot_length + EPSILON, INTRPT_CODE_INIT );
    //op_intrpt_schedule_self ( ( total_slot + 1 ) * slot_length , INTRPT_CODE_INIT );
    op_stat_write ( total_slot_stathandle, total_slot );
}

```

“send” Durum Makinesi:

```

present_time = op_sim_time ();
//op_stat_write ( debug_stathandle, present_time );
//total_slot = ( int ) ceil ( present_time / slot_length );
total_slot = ( int ) floor ( present_time / slot_length );
//total_slot = ( int ) ( present_time / slot_length );
//op_stat_write ( total_slot_stathandle, total_slot );

present_slot = total_slot % NUMBER_OF_SLOT
if ( ( DATA_ENQ ) && ( timeslot_table [ present_slot ] == terminal_id ) && (
connection_established == OPC_TRUE ) && ( present_slot != ( NUMBER_OF_SLOT - 1 ) ) )
{

```

```

    pkptr = op_subq_pk_remove ( 0, OPC_QPOS_HEAD )
    op_pk_send ( pkptr, TX_OUT_STRM );
}

op_intrpt_schedule_self ( ( total_slot + 1 ) * slot_length + EPSILON , INTRPT_CODE_SLOT );
//op_intrpt_schedule_self ( ( total_slot + 1 ) * slot_length , INTRPT_CODE_SLOT );
//op_intrpt_schedule_self ( ( ( total_slot + 1 ) * slot_length ) , INTRPT_CODE_SLOT );

```

“fromRx” Durum Makinesi:

```

present_time = op_sim_time ();
total_slot = ( int ) floor ( present_time / slot_length );
//total_slot = ( int ) ceil ( present_time / slot_length );

present_slot = total_slot % NUMBER_OF_SLOT ;
pkptr = op_pk_get ( RX_IN_STRM );

if ( pkptr != OPC_NIL )
{
    op_pk_format ( pkptr, pk_format );
    if ( strcmp ( pk_format, "TDMA_MD1_connection_response" ) == 0 )
    {
        op_pk_nfd_get ( pkptr, "TerminalID", &pk_terminal_id );
        op_pk_nfd_get ( pkptr, "ConnectionStatus", &connection_status );
        if ( ( pk_terminal_id == terminal_id ) && ( connection_status == OPC_TRUE ) )
        {
            connection_established = OPC_TRUE ;
            op_stat_write ( present_time_stathandle, present_time );
            op_prg_mem_free ( &pdata );
            pdata = ( Packet_data *) op_prg_mem_alloc ( sizeof ( Packet_data ) );
            op_pk_nfd_get ( pkptr, "TimeSlots", &pdata );
            for ( i = 0 ; i < NUMBER_OF_SLOT ; i++ )
            {
                timeslot_table [ i ] = pdata -> time_slot [ i ];
                op_stat_write ( timeslot_table_stathandle, timeslot_table [ i ] );
            }

            on_state_period = ( int ) op_dist_uniform ( ON_STATE_PERIOD );
            op_intrpt_schedule_self ( ( total_slot + 1 ) * slot_length + on_state_period + EPSILON ,
            INTRPT_CODE_END );

        }

        /*****

        if ( ( pk_terminal_id == terminal_id ) && ( connection_status != OPC_TRUE ) )
        {
            connection_established = OPC_FALSE ;
            call_block_counter ++ ;
            op_stat_write ( call_block_counter_stathandle, call_block_counter );
            repeat_request_period = ( int ) op_dist_uniform ( REPEAT_REQUEST_PERIOD );
            op_intrpt_schedule_self ( ( total_slot + 1 ) * slot_length + repeat_request_period +
            EPSILON , INTRPT_CODE_INIT );
        }

        *****/

        if ( ( pk_terminal_id != terminal_id ) && ( connection_status == OPC_TRUE ) && (
        connection_established == OPC_TRUE ) )
        {
            op_prg_mem_free ( &pdata );

```

```

        pdata = ( Packet_data *) op_prg_mem_alloc ( sizeof ( Packet_data ) );
        op_pk_nfd_get ( pkptr, "TimeSlots", &pdata );
        for ( i = 0 ; i < NUMBER_OF_SLOT ; i++ )
        {
            timeslot_table [ i ] = pdata -> time_slot [ i ] ;
            op_stat_write ( timeslot_table_stathandle, timeslot_table [ i ] );
        }

        op_stat_write ( present_time_stathandle, present_time );
        op_stat_write ( present_time_stathandle, total_slot );
        op_intrpt_schedule_self ( ( total_slot + 1 ) * slot_length + EPSILON ,
        INTRPT_CODE_SLOT );
    }

else if ( strcmp ( pk_format, "TDMA_MD1_termination_response" ) == 0 )
{
    op_pk_nfd_get ( pkptr, "TerminalID", &pk_terminal_id );
    op_pk_nfd_get ( pkptr, "TerminationStatus", &termination_status );

    if ( ( pk_terminal_id == terminal_id ) && ( termination_status == OPC_TRUE ) )
    {
        op_stat_write ( debug_stathandle, 555 );
        for ( i = 0 ; i < NUMBER_OF_SLOT ; i++ )
        {
            timeslot_table [ i ] = 0 ;
            op_stat_write ( timeslot_table_stathandle, timeslot_table [ i ] );
        }

        connection_established = OPC_FALSE ;
        off_state_period = ( int ) op_dist_uniform ( OFF_STATE_PERIOD ) ;
        op_intrpt_schedule_self ( ( total_slot + 1 ) * slot_length + off_state_period +
        EPSILON , INTRPT_CODE_INIT );*/

    }

}

/*****/
else if ( strcmp ( pk_format, "TDMA_MD1_Packet" ) == 0 )
{
    op_pk_nfd_get ( pkptr, "DestinationID", &pk_destination );
    if ( pk_destination == terminal_id )
        op_pk_send ( pkptr, SINK_OUT_STRM );
    else
        op_pk_destroy ( pkptr );
}

}

```

“conEnd” Durum Makinesi:

```

pkptr = op_pk_create_fmt ("TDMA_MD1_termination_request");
op_pk_nfd_set (pkptr, "TerminalID", terminal_id );

present_time = op_sim_time ();
total_slot = ( int ) floor ( present_time / slot_length );
present_slot = total_slot % NUMBER_OF_SLOT ;
op_stat_write ( present_time_stathandle, present_slot );

```

```

if ( present_slot == ( NUMBER_OF_SLOT - 1 ) )
{
    con_end_counter ++ ;
    op_stat_write ( con_end_counter_stathandle, con_end_counter );
    op_pk_send (pkptr,TX_OUT_STRM);
    //op_intrpt_schedule_self ( ( total_slot + 1 ) * slot_length + EPSILON , INTRPT_CODE_SLOT );
}
else
{
    //op_intrpt_schedule_self ( ( total_slot + 1 ) * slot_length + EPSILON , INTRPT_CODE_END );
    op_intrpt_schedule_self ( ( total_slot + 1 ) * slot_length , INTRPT_CODE_INIT );
}

```

EKLER-B: Bİ-OEK MODÜLÜ PROSES MODELİNE AİT PROGRAM KODLARI

Bu ekte, AKGOEK protokolünün Bİ proses modelinin C programlama dilinde yazılan kodları verilmektedir.

“Init” Durum Makinesi:

```
test_stathandle = op_stat_reg ( "Test", OPC_STAT_INDEX_NONE, OPC_STAT_LOCAL );
sat_stathandle  = op_stat_reg ( "Slot Allocation Table", OPC_STAT_INDEX_NONE,
OPC_STAT_LOCAL );
CBR_request_stathandle = op_stat_reg ( "CBR Request Number", OPC_STAT_INDEX_NONE,
OPC_STAT_LOCAL );
CBR_drop_stathandle   = op_stat_reg ( "CBR Drop Number",   OPC_STAT_INDEX_NONE,
OPC_STAT_LOCAL );
VBR_request_stathandle = op_stat_reg ( "VBR Request Number", OPC_STAT_INDEX_NONE,
OPC_STAT_LOCAL );
VBR_drop_stathandle   = op_stat_reg ( "VBR Drop Number",   OPC_STAT_INDEX_NONE,
OPC_STAT_LOCAL );
ABR_request_stathandle = op_stat_reg ( "ABR Request Number", OPC_STAT_INDEX_NONE,
OPC_STAT_LOCAL );
ABR_drop_stathandle   = op_stat_reg ( "ABR Drop Number",   OPC_STAT_INDEX_NONE,
OPC_STAT_LOCAL );
UBR_request_stathandle = op_stat_reg ( "UBR Request Number", OPC_STAT_INDEX_NONE,
OPC_STAT_LOCAL );
UBR_drop_stathandle   = op_stat_reg ( "UBR Drop Number",   OPC_STAT_INDEX_NONE,
OPC_STAT_LOCAL );

total_CBR_terminal_stathandle = op_stat_reg ( "Total CBR Terminal",
OPC_STAT_INDEX_NONE, OPC_STAT_LOCAL );
total_VBR_terminal_stathandle = op_stat_reg ( "Total VBR Terminal", OPC_STAT_INDEX_NONE,
OPC_STAT_LOCAL );
total_ABR_terminal_stathandle = op_stat_reg ( "Total ABR Terminal",
OPC_STAT_INDEX_NONE, OPC_STAT_LOCAL );
total_UBR_terminal_stathandle = op_stat_reg ( "Total UBR Terminal", OPC_STAT_INDEX_NONE,
OPC_STAT_LOCAL );

connection_request = OPC_FALSE ;
termination_request = OPC_FALSE ;
connection_established = OPC_FALSE ;
connection_terminated = OPC_FALSE ;
data_cell = OPC_FALSE ;

number_of_CBR_request = 0 ;
number_of_CBR_drop   = 0 ;
number_of_VBR_request = 0 ;
number_of_VBR_drop   = 0 ;
number_of_ABR_request = 0 ;
number_of_ABR_drop   = 0 ;
number_of_UBR_request = 0 ;
number_of_UBR_drop   = 0 ;
```

```

number_of_CBR_terminal = 0 ;
number_of_VBR_terminal = 0 ;
number_of_ABR_terminal = 0 ;
number_of_UBR_terminal = 0 ;

op_prg_mem_free (&SAT );
SAT = (slot_allocation_table*) op_prg_mem_alloc ( sizeof ( slot_allocation_table ) );
op_prg_mem_free ( &pdata );
pdata = (Packet_data*) op_prg_mem_alloc ( sizeof (Packet_data) );

for ( i = 0 ; i < NUMBER_OF_SLOT ; i++ )
{
    SAT->slot_terminal [ i ] = -1 ;
    SAT->slot_priority [ i ] = -1 ;
    SAT->slot_service_class [ i ] = -1 ;
}

for ( i = 0 ; i < NUMBER_OF_TERMINAL ; i++ )
{
    SAT->terminal_service_class [ i ] = -1 ;
}

```

“receive” Durum Makinesi:

```

pkptr = op_pk_get ( RX_IN_STRM ) ;
if ( pkptr != OPC_NIL )
{
    op_pk_format ( pkptr, pk_format );
    if ( strcmp ( pk_format, "TDMA_MD1_connection_request" ) == 0 )
    {
        op_pk_nfd_get ( pkptr, "TerminalID", &request_term_id );
        op_pk_nfd_get ( pkptr, "SectorNo", &getSectorNo );
        op_pk_nfd_get ( pkptr, "ServiceClass", &request_service_class );
        op_pk_nfd_get ( pkptr, "AppNo", );
        op_pk_nfd_get ( pkptr, "ObjID", );
        op_pk_nfd_get ( pkptr, "SLS1", &SLS1 );
        op_pk_nfd_get ( pkptr, "SLS2", &SLS2 );
        op_pk_nfd_get ( pkptr, "SLS3", &SLS3 );
        op_pk_nfd_get ( pkptr, "SLS4", &SLS4 );
        request_evaluated = OPC_FALSE;
        connection_request = OPC_TRUE ;
        connection_established = OPC_FALSE ;
    }

    else if ( strcmp ( pk_format, "TDMA_MD1_termination_request" ) == 0 )
    {
        termination_request = OPC_TRUE ;
        op_pk_nfd_get ( pkptr, "TerminalID", &request_term_id );
    }

    else if ( strcmp ( pk_format, "TDMA_MD1_Packet" ) == 0 )
    {
        data_cell = OPC_TRUE ;
    }
}

```

“conReq” Durum Makinesi:

```
connection_request = OPC_FALSE ;
cbr = OPC_FALSE ;
vbr = OPC_FALSE ;
abr = OPC_FALSE ;
ubr = OPC_FALSE ;
op_stat_write ( test_stathandle, request_term_id );
op_stat_write ( test_stathandle, request_service_class );
op_stat_write ( test_stathandle, SLS1 );
op_stat_write ( test_stathandle, 1111 );
op_stat_write ( test_stathandle, SLS2 );
op_stat_write ( test_stathandle, SLS3 );
op_stat_write ( test_stathandle, SLS4 );

if ( request_evaluated == OPC_FALSE )
{
    switch ( request_service_class )
    {
        case 0 : cbr = OPC_TRUE ; break ;
        case 1 : vbr = OPC_TRUE ; break ;
        case 2 : abr = OPC_TRUE ; break ;
        case 3 : ubr = OPC_TRUE ; break ;
        default : break ;
    }
}
```

Bİ Anten Yönlendirme Modülü “pointer” Durum Makinesi:

```
altitude = ANTENNA_ALTITUDE;
ownNodeID = op_topo_parent ( op_id_self () );
rx_ant_id = op_id_from_name (OwnNodeID, OPC_OBJTYPE_ANT, "rx_sector0");

/* The remaining lines use op_ima_obj_attr_set() to modify the antenna */
/* module's target altitude, target latitude, and target longitude */
/* attributes with values retrieved from the transmitter node. */
/* If the comp_code indicates failure then the simulation is ended */
/* immediately. */

comp_code = op_ima_obj_attr_set (rx_ant_id, "target altitude", altitude );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target altitude failed", "", "", "");
comp_code = op_ima_obj_attr_set (rx_ant_id, "target latitude", beams[0][0] );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target latitude failed", "", "", "");
comp_code = op_ima_obj_attr_set (rx_ant_id, "target longitude", beams[0][1] );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target longitude failed", "", "", "");

/*****

rx_ant_id = op_id_from_name (OwnNodeID, OPC_OBJTYPE_ANT, "rx_sector1");

/* The remaining lines use op_ima_obj_attr_set() to modify the antenna */
/* module's target altitude, target latitude, and target longitude */
/* attributes with values retrieved from the transmitter node. */
/* If the comp_code indicates failure then the simulation is ended */
/* immediately. */
```

```

comp_code = op_ima_obj_attr_set (rx_ant_id, "target altitude", altitude );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target altitude failed", "", "", "");
comp_code = op_ima_obj_attr_set (rx_ant_id, "target latitude", beams[1][0] );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target latitude failed", "", "", "");
comp_code = op_ima_obj_attr_set (rx_ant_id, "target longitude", beams[1][1] );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target longitude failed", "", "", "");

/*****

rx_ant_id = op_id_from_name (OwnNodeID, OPC_OBJTYPE_ANT, "rx_sector2");

/* The remaining lines use op_ima_obj_attr_set() to modify the antenna */
/* module's target altitude, target latitude, and target longitude */
/* attributes with values retrieved from the transmitter node. */
/* If the comp_code indicates failure then the simulation is ended */
/* immediately. */

comp_code = op_ima_obj_attr_set (rx_ant_id, "target altitude", altitude );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target altitude failed", "", "", "");
comp_code = op_ima_obj_attr_set (rx_ant_id, "target latitude", beams[2][0] );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target latitude failed", "", "", "");
comp_code = op_ima_obj_attr_set (rx_ant_id, "target longitude", beams[2][1] );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target longitude failed", "", "", "");

/*****

rx_ant_id = op_id_from_name (OwnNodeID, OPC_OBJTYPE_ANT, "rx_sector3");
/* The remaining lines use op_ima_obj_attr_set() to modify the antenna */
/* module's target altitude, target latitude, and target longitude */
/* attributes with values retrieved from the transmitter node. */
/* If the comp_code indicates failure then the simulation is ended */
/* immediately. */

comp_code = op_ima_obj_attr_set (rx_ant_id, "target altitude", altitude );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target altitude failed", "", "", "");
comp_code = op_ima_obj_attr_set (rx_ant_id, "target latitude", beams[3][0] );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target latitude failed", "", "", "");
comp_code = op_ima_obj_attr_set (rx_ant_id, "target longitude", beams[3][1] );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target longitude failed", "", "", "");

/*****

tx_ant_id = op_id_from_name (OwnNodeID, OPC_OBJTYPE_ANT, "tx_sector0");
/* The remaining lines use op_ima_obj_attr_set() to modify the antenna */
/* module's target altitude, target latitude, and target longitude */
/* attributes with values retrieved from the transmitter node. */
/* If the comp_code indicates failure then the simulation is ended */
/* immediately. */

comp_code = op_ima_obj_attr_set (tx_ant_id, "target altitude", altitude );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)

```

```

    op_sim_end ("set target altitude failed", "", "", "");
comp_code = op_ima_obj_attr_set (tx_ant_id, "target latitude", beams[0][0] );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target latitude failed", "", "", "");
comp_code = op_ima_obj_attr_set (tx_ant_id, "target longitude", beams[0][1] );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target longitude failed", "", "", "");

/*****
tx_ant_id = op_id_from_name (OwnNodeID, OPC_OBJTYPE_ANT, "tx_sector1");
/* The remaining lines use op_ima_obj_attr_set() to modify the antenna */
/* module's target altitude, target latitude, and target longitude */
/* attributes with values retrieved from the transmitter node. */
/* If the comp_code indicates failure then the simulation is ended */
/* immediately. */
comp_code = op_ima_obj_attr_set (tx_ant_id, "target altitude", altitude );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target altitude failed", "", "", "");
comp_code = op_ima_obj_attr_set (tx_ant_id, "target latitude", beams[1][0] );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target latitude failed", "", "", "");
comp_code = op_ima_obj_attr_set (tx_ant_id, "target longitude", beams[1][1] );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target longitude failed", "", "", "");

/*****
tx_ant_id = op_id_from_name (OwnNodeID, OPC_OBJTYPE_ANT, "tx_sector2");
/* The remaining lines use op_ima_obj_attr_set() to modify the antenna */
/* module's target altitude, target latitude, and target longitude */
/* attributes with values retrieved from the transmitter node. */
/* If the comp_code indicates failure then the simulation is ended */
/* immediately. */
comp_code = op_ima_obj_attr_set (tx_ant_id, "target altitude", altitude );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target altitude failed", "", "", "");
comp_code = op_ima_obj_attr_set (tx_ant_id, "target latitude", beams[2][0] );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target latitude failed", "", "", "");
comp_code = op_ima_obj_attr_set (tx_ant_id, "target longitude", beams[2][1] );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target longitude failed", "", "", "");

/*****
tx_ant_id = op_id_from_name (OwnNodeID, OPC_OBJTYPE_ANT, "tx_sector3");
/* The remaining lines use op_ima_obj_attr_set() to modify the antenna */
/* module's target altitude, target latitude, and target longitude */
/* attributes with values retrieved from the transmitter node. */
/* If the comp_code indicates failure then the simulation is ended */
/* immediately. */
comp_code = op_ima_obj_attr_set (tx_ant_id, "target altitude", altitude );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target altitude failed", "", "", "");
comp_code = op_ima_obj_attr_set (tx_ant_id, "target latitude", beams[3][0] );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target latitude failed", "", "", "");
comp_code = op_ima_obj_attr_set (tx_ant_id, "target longitude", beams[3][1] );
if (comp_code == OPC_COMPCODE_FAILURE)
    op_sim_end ("set target longitude failed", "", "", "");
*****/

```

KİŞİSEL YAYINLAR VE PROJELER

A. Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makale (SCI tarafından taranan)

1. Sedat Atmaca, Celal Ceken, Ismail Erturk, “*A new QoS-aware TDMA/FDD MAC protocol with multi-beam directional antennas*”, Computer Standards & Interfaces, 2009 (Accepted for publication, 11 October 2008)

B. Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında Basılan Bildiriler

1. Sedat Atmaca, Celal Ceken, Ismail Erturk, “*Improving Wireless TDMA/FDD MAC Performance using Multi-beam Directional Antennas*”, International Conference on Communications Systems and Technologies (ICCST'07), San Francisco, USA, 24–26 October, 2007
2. Sedat Atmaca, Celal Ceken, Ismail Erturk, “*Capacity Enhancement in Wireless Networks using Directional Antennas*”, The International Conference on Computer Science, ICCS 2006, pp. 174-179 (Enformatika, Transactions on Engineering, Computing and Technology, Vol. 13, May 2006, ISSN 1305-5313), Budapest, Hungary, 2006.

C. Görev aldığı projeler

1. Yardımcı Araştırmacı, *Kablosuz Algılayıcı Ağlar İle Bir Acil Tespit ve Kurtarma Sistemi Tasarımı ve Uygulaması*, Sanayi Bakanlığı, San-Tez, 00246.STZ.2008-1, 2008.
2. Yardımcı Araştırmacı, *Akıllı Anten Kullanan Genişbant Kablosuz Sistemler için Servis Kalitesi Destekli Ortam Erişim Protokolü Tasarımı ve Benzetimi*, KOÜ, Bilimsel Araştırmalar Birimi, 2008/022, 2008.
3. Yardımcı Araştırmacı, *Kablosuz Algılayıcı Ağlar İçin Servis Kalitesi Sağlayan Enerji Duyarlı Yeni Bir MAC Protokolü Tasarımı*, KOÜ, Bilimsel Araştırmalar Birimi, A3 /2007-30, 2007.

D. Yazılan uluslararası kitaplarda bölümler

1. Sedat Atmaca, Celal Ceken, Ismail Erturk, “*Exploitation of Multi-beam Directional Antennas for a Wireless TDMA/FDD MAC*”, Current Themes in Engineering Technologies, Published by America Institute of Physics, http://www1.iaeng.com/publication/order_Edit_WCECS2007_CTET.php, ISBN : 978-0-7354-0526-4, 2007

ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Ankara'nın Yenimahalle ilçesinde doğdu. Lise öğrenimini Yenimahalle Teknik Lisesi Elektronik Bölümü'nde tamamladı. 1992 yılında girdiği Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü Elektronik Öğretmenliği Programı'ndan 1996 yılında mezun oldu. 2000–2002 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 2005 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı'ndaki doktora eğitimine halen devam etmektedir. 2003 yılından itibaren Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümünde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.