

**GENİŞ BANTLI CDMA ORTAMINDA GERÇEK
ZAMANLI VIDEO İLETİM TEKNİKLERİ VE SERVİS
KALİTE SÜREKLİLİĞİ**

142788

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Bülent KÖKSAL
498Y059

TEZ YÜKSEK LİSANS KURULU
BAŞKANLIK MÜHÜRÜ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Haziran 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Mayıs 2003

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Mine KALKAN

Mine Kalkan

Diğer Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Ahmet Hamdi KAYRAN (İ.T.Ü.)

A. Kayran

Prof.Dr. Bülent ÖRENCİK (İ.T.Ü.)

B. Örencik

TEMMUZ 2003

ÖNSÖZ

Çalışmada üçüncü ve dördüncü nesil kablosuz mobil sistemlerde gerçek zamanlı video iletimindeki problemler incelenip, uygulanabilir teknikler ileri sürülmüş ve yeni nesil hücresel mobil sistemlerin tasarım ve boyutlandırılmasına ışık tutulması amaçlanmıştır.

Çalışmalarım boyunca bana sürekli destek olan; başta danışmanlığımı yürütmüş olan öğretim üyesi sayın Doç. Dr. Mine KALKAN olmak üzere, ailem ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Temmuz 2003

Bülent KÖKSAL

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vii
TABLO LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
2. VIDEO SIKIŞTIRMA TEKNİKLERİ	4
2.1. Video Sıkıştırma Giriş	5
2.2. H.261 Tanımlaması	7
2.3. H.263 Versiyon 1	8
2.3.1. Video Çerçeve Yapısı	8
2.3.2. Hareket Tahmini ve Telafisi	9
2.3.3. Ayrık Kosinüs Dönüşümü	12
2.3.4. Kuantalama	13
2.3.5. Entropi Kodlayıcı	14
2.4. H.263 Versiyon 2	14
2.4.1. Geçici Ölçekleme	15
2.4.2. SNR Ölçekleme	15
2.4.3. Düzlemsel Ölçekleme	16
2.4.4. Diğer Yenilikler	17
2.4.5. Hataya Duyarlı Ortamlarda Hata Esnekliği ve Dayanıklılığı	18
2.4.5.1. Hata Sezimi ve Yeniden Senkronizasyon	18
2.4.5.2. Hata Gizlenmesi	19
2.5. MPEG-1 ve MPEG-2 Tanımlamaları	20
2.5.1. MPEG-1	20
2.5.2. MPEG-2	20
2.5.2.1. Ölçeklenemez Yapı	21
2.5.2.2. Ölçeklenebilir Yapı	21
2.5.3. MPEG-1 ve MPEG-2 Karşılaştırması	22
2.6. MPEG-4 Tanımlaması	22
2.6.1. MPEG-4 Video Özellikleri	23
2.6.1.1. İçerik Tabanlı Etkileşim	23

2.6.1.2. Kodlama Verimliliği	24
2.6.1.3. Evrensel erişim	25
2.6.2. MPEG-4 Video Kodlama Algoritmasının Yapısı	25
2.6.2.1. Video Nesnesi, Video Nesne Katmanı ve Video Nesne Düzlemi	27
2.6.2.2. Her VOP için Şekil, Hareket ve Metin Bilgisinin Kodlanması	28
2.6.2.3. Kodlama Verimliliği	33
2.6.2.4. Video Nesnelerinin Ölçeklenebilir Kodlanması	33
2.6.2.5. Hataya Duyarlı Ortamlarda Hata Esnekliği ve Dayanıklılığı	35
3. H.263 ve MPEG-4 KODLU VIDEO İSTATİSTİK ÖZELLİKLERİ	38
3.1. Video Kaynak Modelleme	38
3.2. MPEG-4 ve H.263 Video Özelliklerinin İstatistiksel Analizi	40
3.2.1. Gerçek Videolardan Kodlama Yaklaşımı	41
3.3. MPEG-4 Video Dizileri	41
3.3.1. MPEG-4 Kodlama Yaklaşımı	41
3.3.2. MPEG-4 Video Dizilerinin İstatistiksel Analizi	42
3.4. H.263 Video Dizileri	50
3.4.1. H.263 Kodlama Yaklaşımı	50
3.4.2. H.263 Video Dizilerinin İstatistiksel Analizi	52
4. WCDMA ve RADYO KAYNAKLARININ YÖNETİMİ	63
4.1. Radyo Kaynak Yönetimiyle Gerçekleştirilen Fonksiyonlar	63
4.1.1. Hücre Seçimi / Yeniden Seçimi	63
4.1.2. Yumuşak Aktarma	64
4.2. Girişim Bazlı Radyo Kaynak Yönetimi	66
4.3. Güç Kontrolü	67
4.4. Hava Arabirim Yükünün Ölçümü	70
4.4.1. Yukarı Bağlantı Yüğü	70
4.4.1.1. Yukarı Bağlantı Yüğü Faktörü	70
4.4.1.2. Geniş Bantlı Alış Gücüne Dayanan Yüğü Kestirimi	73
4.4.1.3. Net Çıkış Verimine Dayanan Yüğü Kestirimi	74
4.4.1.4. Yukarı Bağlantı Yüğü Kestirim Yöntemlerinin Karşılaştırılması	75
4.4.2. Aşağı Bağlantı Yüğü	75
4.4.2.1. Aşağı Bağlantı Yüğü Faktörü	76
4.4.2.2. Güç Tabanlı Yüğü Kestirimi	78
4.4.2.3. Net Çıkış Verimine Dayanan Yüğü Kestirimi	78
4.5. Kabul Kontrolü	79
4.5.1. Güç Tabanlı Kabul Kontrol Stratejisi	80
4.5.2. Net Çıkış Verimine Dayanan Kabul Kontrol Stratejisi	83

5. EŞZAMANLI MEDYA ARABİRİM KONTROLLÜ PAKET İLETİMİ	85
5.1. Giriş	85
5.2. SMPT Tekniği	87
5.2.1. Ek Kanal Kullanımının Getirdiği Etki	90
5.2.2. Hata Düzeltme Tekniğinin Getirdiği Etki	90
5.2.3. Kanal Tahsislerinin Getirdiği Etki	92
5.3. Çoğul Ortam Uygulamaları İçin SMPT	93
5.4. SMPT İletim Teknikleri	96
5.4.1. SMPT'nin CDMA Ortamındaki Olumsuz Etkileri	99
6. SİMÜLASYONLAR	101
6.1. Simülasyon Ortamı ve Göz Önüne Alınmayan Bazı Özellikler	102
6.2. SMPT ile Gerçek Zamanlı Video İletimi	105
6.2.1. Hız Kontrollü Video İçin Yavaş-İyileşen ve Yavaş-Başlangıçlı SMPT	106
6.2.2. Hız Kontrolsüz Video İçin Yavaş-Başlangıçlı ve Hızlı-Başlangıçlı SMPT	107
6.3. Gerçekleştirilen Video İletiminde Servis Kalite Ölçütleri	108
6.4. WCDMA Ortamında Hız Kontrollü Video Trafiğinin Taşınması	110
6.4.1. Kullanıcı Sayısının Gecikme Farkına Etkisi	110
6.4.2. Gecikme Kriteri ve Çerçeve İletim Başarımı	111
6.4.3. Kullanıcı Sayısının Net Çıkış Verimine Etkisi	113
6.4.4. Video Çerçeve Bazlı Gecikme Farkı	114
6.5. WCDMA Ortamında Hız Kontrollü Olmayan Video Trafiğinin Taşınması	117
6.5.1. Kullanıcı Sayısının Gecikme Farkına Etkisi	118
6.5.2. Gecikme Kriteri ve Çerçeve İletim Başarımı	119
6.5.3. Kullanıcı Sayısının Net Çıkış Verimine Etkisi	121
6.5.4. Video Çerçeve Bazlı Gecikme Farkı	121
6.6. WCDMA Ortamında Video Trafiği İçin Uygulanan Kabul Kontrolü	124
6.7. WCDMA Ortamında Video Trafiği İçin Uygulanan Yük Kontrolü	126
6.8. WCDMA Ortamında Gerçek Zamanlı Video İletiminde Servis Kalite Sürekliliği	129
6.8.1. Hız Kontrollü Video Trafiği İçin Kabul Kontrolü ve Yük Kontrolü Uygulandığı Durum	130
6.8.2. Hız Kontrollü Video Trafiği İçin Yük Kontrolsüz Durum	133
6.8.3. Hız Kontrolsüz Video Trafiği İçin Kabul Kontrolü ve Yük Kontrolü Uygulandığı Durum	135
6.8.4. Hız Kontrolsüz Video Trafiği İçin Yük Kontrolsüz Durum	138
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	141
KAYNAKLAR	145

EKLER

147

ÖZGEÇMİŞ

148



KISALTMALAR

3GPP	: 3rd Generation Partnership Project
AAL2	: ATM Adaptation Layer 2
AGWN	: Additive Gaussian White Noise
AL-PDU	: Adaptation Layer Protocol Data Unit
ARQ	: Authomatic Repeat Request
ASU	: Active Set Update
ATM	: Asynchronous Transfer Mode
BER	: Bit Error Rate
BEP	: Bit Error Probablity
CDMA	: Code Division Multiple Access
C/I	: Carrier to Interference
CIF	: Common Intermediate Format
CRC	: Cyclic Redundancy Check
DCT	: Discrete Cosine Transform
DPCCH	: Dedicated Physical Control Channel
EI	: Enhancement I-picture
EP	: Enhancement P-picture
FDMA	: Frequency Devision Multiple Access
FEC	: Forward Error Correction
FPS	: Frames Per Seconds
GIF	: Graphics Interchange Format
GOB	: Group Of macro Blocks
GSM	: Global System for Mobile communications
HARQ	: Hybrid ARQ
HDTV	: High Definition TeleVision
IEC	: International Electrotechnical Commission
IETF	: Internet Engineering Task Force
IMT	: International Mobile Telecommunications
ISD	: Independent Segment Decoding
ISDN	: Integrated Services Digital Network
ISO	: International Standart Organization
ITU	: International Telecommunication Union
IP	: Internet Protocol
IS-95	: Interim Standard-95
JPEG	: Joint Photographic Experts Group
LAN	: Local Area Network
LLC	: Logical Link Control
MAC	: Medium Access Control
MB	: Macro Block
MPEG	: Motion Pictures Expert Group
MV	: Motion Vector
NTSC	: National Television Standards Committee

OSI	: Open System Interconnect
PAL	: Phase Alternation Line
QCIF	: Quarter CIF
QoS	: Quality of Service
RACH	: Random Access Channel
RFC	: Request For Comments
RGB	: Red Green Blue
RLC	: Radio Link Control
RRC	: Radio Resource Control
RRM	: Radio Resource Management
RTP	: Realtime Transfer Protocol
RVLC	: Reversible Variable Length Coding
SAD	: Sum of Absolute Differences
SIF	: Source Input Format
SIR	: Signal to Interference Ratio
SMPT	: Simultaneous MAC Packet Transmission
SNR	: Signal to Noise Ratio
TCP	: Transmission Control Protocol
TDMA	: Time Division Multiple Access
TDD	: Time Division Duplexing
UDP	: User Datagram Protocol
UMTS	: Universal Mobile Telecommunicatios System
VBR	: Variable Bit Rate
VHS	: Video Home System
VLBV	: Very Low Bit rate Video
WCDMA	: Wideband CDMA

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Farklı Sıkıştırma Oranları için Video Kalite Parametreleri	6
Tablo 2.2. H.261 video sıkıştırma kodlayıcı/kodçözücü özellikleri	7
Tablo 2.3. Satır başına piksel sayısı ve her bir resim formatı için satır sayısı ..	9
Tablo 2.4. Her iki standart için tipik kodlama parametreleri	22
Tablo 3.1. Örnek Markov Durum Geçiş Olasılık Matrisi	39
Tablo 3.2. MPEG-4 Video Dizilerinin Çerçeve Bazlı İstatistikleri	43
Tablo 3.3. MPEG-4 Video Dizilerinin GoP Bazlı İstatistikleri	44
Tablo 3.4. 256kb/sn Hedef Hızında Kodlu Silence of The Lambs Video Çerçeve Boyut Dizisi dosyasının ilk on satırı	52
Tablo 3.5. Çerçeve Boyut Dizisi İstatistikleri	55
Tablo 3.6. “Eklemeli” çerçeve boyut dizisi ve örneklenmiş hız dizisi istatistikleri	59
Tablo 4.1. Yukarı bağlantı yük faktörü hesabında kullanılan parametreler	73
Tablo 4.2. Aşağı bağlantı yük faktörü hesabında kullanılan parametreler	76

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : QCIF formatı için H.263 resim yapısı	9
Şekil 2.2 : H.263 Kodlayıcı	10
Şekil 2.3 : Resim Tahmini	11
Şekil 2.4 : Geçici Ölçekleme	15
Şekil 2.5 : SNR Ölçekleme	16
Şekil 2.6 : H.263+ bit akışında yeniden senkronizasyon işaretleri	19
Şekil 2.7 : Bit Akış Dizisinin İşlenmesi	24
Şekil 2.8 : MPEG-4 Video Kodlama Standartının Yapısı	26
Şekil 2.9 : Video Nesnesinin Yapısı	28
Şekil 2.10 : Video Nesne Düzlemi Tabanlı Kodlayıcı Yapısı	29
Şekil 2.11 : Makrobloklarına bölünmüş VOP	31
Şekil 2.12 : Hareket Tahmini ve Telafisi	32
Şekil 2.13 : Görüntü Çıkarma Tekniği.....	32
Şekil 2.14 : Düzlemsel Ölçekleme.....	34
Şekil 2.15 : Geçici Ölçekleme.....	34
Şekil 2.16 : Normal Video Çerçevesinde Birçok Veri Kayboluyor	35
Şekil 2.17 : Paketlere Bölünmüş Video Çerçevesi İçindeki Yeniden Senkronizasyon Sağlayan İşaretler	36
Şekil 2.18 : RVLC Kullanım Örneği	36
Şekil 2.19 : Veri Parçalama.....	37
Şekil 3.1 : Dört Durumlu Markov Modeli Örneği.....	38
Şekil 3.2 : 20 Durumlu Markov Modeline göre örnek Video Kaynak Hızı Değişimi	40
Şekil 3.3 : MPEG-4 Çerçeve Boyut Dizileri	45
Şekil 3.4 : MPEG-4 Çerçeve Boyut Dağılımları	47
Şekil 3.5 : MPEG-4 Çerçeve Boyut Dizileri Otokorelasyonu	48
Şekil 3.6 : MPEG-4 GoP Boyut Dizileri Otokorelasyonu	50
Şekil 3.7 : H.263 Video Dizilerinin Olasılık Ağırlık Fonksiyonları	54
Şekil 3.8 : H.263 Çerçeve Boyut Dağılımları	57
Şekil 3.9 : “Eklemeli” çerçeve boyut dizisi	60
Şekil 3.10 : 500 Referans Çerçeve Periyodu Boyunca Eklemeli ve Örneklenmiş Çerçeve Boyut Dizilerinin Otokorelasyon Katsayıları	62
Şekil 4.1 : Kapalı çevrim güç kontrol tekniğinin işleyiş prensibi	69
Şekil 4.2 : Yukarı bağlantı yük eğrisi ve yeni bir kullanıcı yük artışının kestirimi	81
Şekil 5.1 : İletim katmanları ve MAC seviyesinde iletim birimlerinin paketlere ayrılması ve birleştirilmesi	87
Şekil 5.2 : Sıralı İletim Metodu	88
Şekil 5.3 : SMPT İletim Metodu	88

Şekil 5.4	: Dikey FEC kullanımlı SMPT İletim Metodu.....	91
Şekil 5.5	: Yatay FEC kullanımlı SMPT İletim Metodu.....	91
Şekil 5.6	: FEC(Hibrit tür II) ile SMPT İletim Metodu	92
Şekil 5.7	: Sabit Segment Üretim Hızında SMPT ve Sıralı İletim	93
Şekil 5.8	: Çoğul ortam uygulamaları için incelenen SMPT yaklaşımı ve Sıralı İletim($\alpha=13$, $\beta=5$, $k=4$)	94
Şekil 5.9	: SMPT’de farklı iletim metodlarına örnekler	98
Şekil 5.10	: Hızlı-Başlangıçlı yaklaşımında tüm kod sayılarının koşullu kullanım olasılıkları	99
Şekil 5.11	: Yavaş-İyileşen yaklaşımında tüm kod sayılarının koşullu kullanım olasılıkları	100
Şekil 6.1	: Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Ortalama Gecikme Farkı Değişimi	110
Şekil 6.2	: Sıralı İletimde Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı	111
Şekil 6.3	: Yavaş-İyileşen SMPT’de Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı	112
Şekil 6.4	: Yavaş-Başlangıçlı SMPT’de Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı	113
Şekil 6.5	: Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Net Çıkış Verimindeki Ortalama Değişim	114
Şekil 6.6	: Sıralı İletim, 9 Aktif Mobil Kullanıcılı Hücrede, Video Çerçeve Boyutuna göre Gecikme Farkı Olasılık Dağılım Fonksiyonu	115
Şekil 6.7	: Yavaş-İyileşen SMPT, 9 Aktif Mobil Kullanıcılı Hücrede, Video Çerçeve Boyutuna göre Gecikme Farkı Olasılık Dağılım Fonksiyonu	116
Şekil 6.8	: Yavaş-Başlangıçlı SMPT, 9 Aktif Mobil Kullanıcılı Hücrede, Video Çerçeve Boyutuna göre Gecikme Farkı Olasılık Dağılım Fonksiyonu	116
Şekil 6.9	: Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Ortalama Gecikme Farkı Değişimi	118
Şekil 6.10	: Sıralı İletimde Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı	119
Şekil 6.11	: Yavaş-Başlangıçlı SMPT’de Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı	120
Şekil 6.12	: Hızlı-Başlangıçlı SMPT’de Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı	120
Şekil 6.13	: Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Net Çıkış Verimindeki Ortalama Değişim	121
Şekil 6.14	: Sıralı İletim, 9 Aktif Mobil Kullanıcılı Hücrede, Video Çerçeve Boyutuna göre Gecikme Farkı Olasılık Dağılım Fonksiyonu	122
Şekil 6.15	: Yavaş-Başlangıçlı SMPT, 9 Aktif Mobil Kullanıcılı Hücrede, Video Çerçeve Boyutuna göre Gecikme Farkı Olasılık Dağılım Fonksiyonu	123
Şekil 6.16	: Hızlı-Başlangıçlı SMPT, 9 Aktif Mobil Kullanıcılı Hücrede, Video Çerçeve Boyutuna göre Gecikme Farkı Olasılık Dağılım Fonksiyonu	123
Şekil 6.17	: Kabul Kontrolü Algoritması Akış Diyagramı	125
Şekil 6.18	: Kabul Kontrolü Algoritması Akış Diyagramı	128
Şekil 6.19	: Kabul ve Yük Kontrollü Durumda Hücredeki Kullanıcı Sayısına	

	Göre Net Çıkış Verimindeki Ortalama Değişim	130
Şekil 6.20	: Kabul ve Yük Kontrollü Durumda Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Ortalama Gecikme Farkı Değişimi	131
Şekil 6.21	: Yavaş-İyileşen SMPT’de Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı	131
Şekil 6.22	: Yavaş-Başlangıçlı SMPT’de Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı	132
Şekil 6.23	: Yük Kontrollü ve Yük Kontrolsüz Durumda Hücredeki Ortalama Net Çıkış Verimi Değişimi	133
Şekil 6.24	: Yük Kontrollü ve Yük Kontrolsüz Durumda Hücredeki Ortalama Gecikme Farkı Değişimi	134
Şekil 6.25	: Yavaş-İyileşen SMPT’de Yük Kontrollü ve Yük Kontrolsüz Durumda Hücredeki Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı	134
Şekil 6.26	: Yavaş-Başlangıçlı SMPT’de Yük Kontrollü ve Yük Kontrolsüz Durumda Hücredeki Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı	135
Şekil 6.27	: Kabul ve Yük Kontrollü Durumda Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Net Çıkış Verimindeki Ortalama Değişim	136
Şekil 6.28	: Kabul ve Yük Kontrollü Durumda Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Ortalama Gecikme Farkı Değişim	136
Şekil 6.29	: Yavaş-Başlangıçlı SMPT’de Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı	137
Şekil 6.30	: Hızlı-Başlangıçlı SMPT’de Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı	138
Şekil 6.31	: Yük Kontrollü ve Yük Kontrolsüz Durumda Hücredeki Ortalama Net Çıkış Verimi Değişimi	138
Şekil 6.32	: Yük Kontrollü ve Yük Kontrolsüz Durumda Hücredeki Gecikme Farkı Ortalama Değişimi	139
Şekil 6.33	: Yavaş-Başlangıçlı SMPT’de Yük Kontrollü ve Yük Kontrolsüz Durumda Hücredeki Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı	139
Şekil 6.34	: Hızlı-Başlangıçlı SMPT’de Yük Kontrollü ve Yük Kontrolsüz Durumda Hücredeki Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı	140

SEMBOL LİSTESİ

C	: Hücrede anlık kullanılan toplam kanal sayısı
C_{maks}	: Hücrede tahsis edilebilecek maksimum kanal sayısı
W	: Chip hızı
R	: Kaynağın bit hızı
N	: Hücre başına kullanıcı sayısı (bağlantı sayısı)
v	: Kullanıcı aktivite faktörü
P_j	: j kullanıcısından alınan işaretin gücü
P_{ij}	: Markov zincirinde i. durumdan j. duruma geçiş olasılığı
L_j	: j kullanıcısının yük faktörü
I_{toplam}	: Baz istasyonunda alınan geniş bantlı toplam güç
P_N	: Gürültü gücü
η	: Yük faktörü
η_{Ek}	: Erişimde sistemde oluşan yük
η_F	: Kabul kontrolü için hücrede yapılabilecek yük indirimi
η_{SINR}	: Hücresinin yüklenebilirlik faktörü
η_{Tahmin}	: Kabul kontrolünde baz alınan hücre yükü
λ_i	: i. Markov durumunda paket üretim hızı
$1/r_i$	: i. Markov durumunda harcanan süre
X_n	: n. video çerçevesinin boyutu
Y_m	: m. GoP boyutu
$\rho_{x(k)}$	: Ardışık k video çerçevesinin otokorelasyon katsayısı
T_n	: Toplam görüntü zamanı
t_n	: Video çerçeve periyodu

GENİŞ BANTLI CDMA ORTAMINDA GERÇEK ZAMANLI VIDEO İLETİM TEKNİKLERİ VE SERVİS KALİTE SÜREKLİLİĞİ

ÖZET

Genel olarak videonun kablosuz ortamlardan iletilmesi oldukça problemli ve gelişmelere açık bir araştırma sahası olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun nedeni kablosuz bağlantıların durağan yapıdan uzak ve hata başarımı için güvenilir olmamasının yanı sıra, video çerçevelerinin ancak bir zaman aşımı periyodu içerisinde alıcıya ulaştırılmasının gerekiyor olmasıdır. Gerçek zamanlı etkileşimler gerektiren video telefonu, video konferans, teletıp ve oyunlar gibi uygulamalar ise video çerçevelerinin zamanlaması konusunda çok az tolerans göstermektedirler.

Bu yüksek lisans tezinde, geniş bantlı CDMA erişimine dayalı hücreli bir mobil şebeke hücresi ortamında, video trafiğinin karakteristik özelliklerinin gerektirdiği farklı Eşzamanlı Medya Arabirim Kontrollü Paket İletimi (SMPT) teknikleri uygulanarak servis kalitesini artırıcı teknikler önerilmiş ve yapılan simülasyonlarla uygulanan tekniklerin sonuçları ortaya konmuştur.

Çalışmada gerçek zamanlı video trafiğinin iletimi, video bant genişliği bazlı olan hız kontrollü video ve video görüntü kalitesi bazlı hız kontrolsüz video trafik karakteristiği için gerçekleştirilmiştir. Bant genişliğinin temel alındığı video trafiğinde, iletilen videolar belirli hedef hızlarında kodlanmakta ve dolayısıyla videoların ihtiyaç duydukları bant genişliğindeki değişkenlik mümkün olduğunca düşük tutulabilmektedir. Görüntü kalitesinin temel alındığı video trafiğinde ise iletilen videoların bant genişliği ihtiyacı görüntü içeriğiyle birlikte oldukça değişken olabilmektedir. Bu ise hücrede ihtiyaç duyulan toplam bant genişliğinde de durağansızlıklara neden olmaktadır. Her iki tür video trafiğine göre uygun SMPT tekniklerinin uygulanmasıyla istenen servis kalitesinde video iletimi mümkün olmaktadır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre hız kontrollü video trafiği için Yavaş-İyileşen SMPT, yüksek gecikme farkları için üstün performans gösterirken, mobil terminal başına maksimum 3 kanal kullanılarak gerçekleştirilen Yavaş-Başlangıçlı SMPT’de video iletim performansında video konferans gibi gerçek zamanlı uygulamalar için gereken 150 msn mertebesindeki ihtiyaçlar kolaylıkla karşılanabilmekte ve arzu edilen servis kalitesini elde etmek mümkün olmaktadır. Hız kontrolsüz video trafiğinde ise Yavaş-Başlangıçlı ve Hızlı-Başlangıçlı SMPT yöntemleriyle video iletim kalitesi ve iletim başarımındaki performans oldukça yüksek tutulabilmektedir.

Gerçek zamanlı videonun iletiminde Sıralı İletim tekniğinin uygulanamayacak kadar düşük performans gösterdiği yapılan simülasyonlar sonucunda ortaya çıkmaktadır.

Bunun yanında önerilen eşzamanlı paket iletimine dayalı tekniklerin ise gerçek zamanlı video gibi sürekli zamanlı uygulamalar için oldukça iyi performans gösterdiği yapılan simülasyonlarla ortaya konmuştur.

İstenen servis kalitesinin sürekliliğinin sağlanması amacıyla hücreyi video trafiğiyle istenen seviyede yüklemek için kabul kontrolü ve video trafiğinde yaşanan durağansızlıklar nedeniyle yaşanabilecek servis kalite kayıplarını engellemek amacıyla yük kontrolü uygulanmış ve sonuçları simülasyonlarla gösterilmiştir. Sunulan etkili ve uygulanması kolay tekniklerle gelecek nesil kablosuz mobil şebekelerin tasarım ve boyutlandırmasına ışık tutulması amaçlanmıştır.



REAL TIME VIDEO TRANSMISSION TECHNIQUES AND QUALITY OF SERVICE CONTINUITY IN WIDEBAND CDMA ENVIRONMENTS

SUMMARY

Transmission of real time video over wireless environments has many research issues and constitutes a great research area. Although this is mostly due to the unreliable error characteristics of wireless channels, real time video further requires video frames to be transmitted to receiving applications within tight timing constraints. Interactive video applications like videoconferencing, videotelephony, telemedicine and games allow too few tolerance on timing constraints of video frames.

In this thesis, we applied different SMPT transmission techniques suitable for different video traffic characteristics to provide the real time video transmission with desired quality of service for a WCDMA accessed cell environment, and revealed results by running extensive simulations. Two types of real-time video traffic have been studied during our work; video with rate control which is based on keeping bandwidth requirement stationary and video without rate control which is based on keeping video quality stationary. For rate controlled video traffic, because transmitted videos are coded for a target bit rate, variance in needed bandwidth is low. On the other hand, video traffic without rate control has a variable characteristics on needed bandwidth both for short and long time periods. And this causes load fluctuations to be more variable compared to rate controlled video traffic. By applying suitable SMPT techniques for both video traffic, QoS requirements of real-time video applications can be met.

In the results of our work, we show that for rate controlled video, while Slow-Healing SMPT provides a good performance for high delay bounds. Slow-Start SMPT with maximum 3 channel usage makes a great performance and meets QoS requirements of applications like videoconferencing which has timing constraints on the order of 150 ms. By applying Slow-Start and Fast-Start SMPT techniques for video traffic without rate control, performance of transmitted video quality and probability of successful frame delivery kept on high level.

As a result of our simulations, sequential transmission of real-time video performs very poor QoS and is far from meeting QoS requirements of real-time video applications especially in wireless environments. On the other hand, implemented SMPT techniques gets better and enough performance for continuous media applications like real-time video.

In order to grant the continuity in QoS of video transmission, an admission control and load control techniques are implemented and results are obtained by simulations. In our work, efficient and simple to deploy techniques are introduced and aimed to make contributions for development and dimensioning of next generation wireless mobile networks.



1 GİRİŞ

Yakın gelecekte kablosuz mobil şebekelerdeki trafiğin önemli bir bölümünü video trafiğinin oluşturacağı öngörülmektedir. Genel olarak videonun kablosuz ortamlardan iletilmesi oldukça problemli ve gelişmelere açık bir araştırma sahası olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun nedeni kablosuz bağlantıların durağan yapıdan uzak ve hata başarımı için güvenilir olmamasının yanı sıra, video çerçevelerinin ancak bir zaman aşımı periyodu içerisinde alıcıya ulaştırılmasının gerekiyor olmasıdır. Alıcı uygulamanın video çerçevesini işleyebileceği gecikme periyodundan sonra ulaştırılan video çerçeveleri, uygulama açısından bir şey ifade etmeyecek ve iletilen video kalitesini düşürecektir. Bu faktörü etkileyen en önemli unsur videonun kendi karakteristik özellikleri, ve video çerçevelerinin boyutlarının değişkenlik göstermesidir. Özellikle video kodlayıcı çıkışındaki video kalitesinden ödün verilmeksizin kodlanan videolarda görüntü içeriğiyle birlikte kısa ve uzun süreli periyotlarda çok değişken boyutlu çerçeveler üreyebilmektedir[1].

Web tabanlı video gibi¹ servisler gerçek zamanlı etkileşimler gerektirmediklerinden alıcı tarafta alınan video çerçevelerinin saklanarak zamanlama kısıtlaması olmadan bağımsız görüntülenmesi nedeniyle yukarıdaki problemlerin etkileri en aza indirilebilmektedir. Bu tür servisler çok sayıda kullanıcının söz konusu olduğu mobil sistemlerde, iletim koşulları daha iyi olan kullanıcılara iletimin gerçekleştirilip, iletim koşulları düzeldikçe veri tariflemenin (scheduling) yapılmasıyla gerçekleştirilebilirler. İletim koşulları iyi olmayan mobil birimler bu süre içerisinde daha önce almış olduğu video çerçevelerini izlemeye devam edecektir veya videoda kaldığı yerden çerçeveleri almayı sürdürecektir[2].Gerçek zamanlı etkileşimler gerektiren video telefonu, video konferans, teletıp ve oyunlar gibi uygulamalar ise video çerçevelerinin zamanlaması konusunda çok az tolerans göstermektedirler. Alıcı tarafta yapılabilecek biriktirme işlemi ancak çok kısa süreler için yapılabilmektedir. Çok kullanıcıli sistemlerde uygulanabilecek teknikler ise paket iletiminde merkezi

tarifleme gerektirmektedir. Merkezi paket tarifleme ise kullanıcılarla kurulu olan bir sinyalleşme ve koordinasyon haberleşmesi gerektirmektedir. Bu ise yeni nesil kablosuz şebekelerde servis alınan hücre içerisinde sürekli mümkün olabilecek bir durum değildir. Bu nedenlerden dolayı paket iletiminin koordinesiz olduğu kablosuz mobil sistemlerde gerçek zamanlı video iletimi ve özellikle mobil ortamlar için istenen servis kalite sürekliliğinin sağlanabilmesi önemli bir araştırma alanı teşkil etmektedir[3].

Tez çalışmamızda WCDMA erişimine dayalı mobil şebeke hücreleri için, gerçek zamanlı video iletimi için servis kalitesini artırıcı teknikler ortaya konmuş ve yapılan simülasyonlarla uygulanan tekniklerin sonuçları sınanmıştır. Tezde, etkili ve uygulanması kolay teknikler sunulmuş olup bu teknikler gelecek nesil kablosuz mobil şebekelerin tasarım ve boyutlandırmasına ışık tutacak niteliktedir.

Çalışmada video iletiminde temel yaklaşım olarak Eşzamanlı Medya Arabirim Kontrollü Paket İletimi (SMPT) teknikleri uygulanmıştır. SMPT, dosya transferi gibi veri trafiğinin iletilmesi amaçlı geliştirilmiş bir veri katmanı seviyesi iletim protokolüdür. Çalışmada SMPT'nin uygulanmasının ana nedeni, iletim kanalında oluşan hatalar nedeniyle iletilemeyen video çerçeve bilgilerini taşıyan paketlerin paralel WCDMA kodlarının kullanımıyla video iletimine ilişkin net çıkış verimini artırmak ve istenen servis kalitesinde iletimi mümkün hale getirmektir. SMPT teknikleri yoğun olarak paketler için zaman kısıtlamasının sıkı olmadığı kablolu sistemlerde veri trafiğinin iletimi için uygulanmış olduğundan, zaman kısıtlamaları içeren gerçek zamanlı video gibi sürekli ortam uygulamaları için uygulanmış çok az çalışma bulunmaktadır[4].

Çalışmada hız kontrollü ve hız kontrollü olmayan videonun iletimi araştırılmıştır. Hız kontrollü videonun kısa zaman dilimlerinde sadece küçük değişimler göstermesine nazaran hız kontrolsüz kodlanan video kodlamayı yapan kablosuz terminallerde maliyet ve enerji tüketimini düşürse de hücredeki video trafiğini farklı zaman periyotlarında çok değişken hale getirebilmektedir. Çalışmamızda video trafiğinin karakteristik özelliklerinin gerektirdiği farklı SMPT teknikleri uygulanarak video iletiminde servis kalite artışı sağlanmıştır.

¹ Önceden kayıtlı video klipler gibi

Gerçek zamanlı video iletiminde, istenen servis kalitesinde iletimin gerçekleştirilmesinin garanti edilmesi, ancak WCDMA hücresinde yaşanan değişimlere karşı servis kalite düşüşlerini engellemekle mümkün olabilecektir. Bu nedenle trafiğin çoğu zaman durağanlıktan uzaklaştığı gerçek zamanlı video trafiği için sisteme erişimlerde istenen yük seviyesinin üzerinde sistemin yüklenmesine izin verilmemelidir. Bu işlem kablosuz erişim sistemlerinde kabul kontrolü olarak anılır[5]. Ancak kabul kontrolünde video trafiğinin göstereceği salınımlar önceden öngörülemeyebileceğinden, gerçek zamanlı video trafiği yük değişimlerine karşı servis kalite sürekliliğini sağlamaya yönelik bir yük kontrolünün uygulanmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada, hücreyi video trafiğiyle istenen seviyede yüklemek için kabul kontrolü ve video trafiğinde yaşanan durağansızlıklar nedeniyle yaşanabilecek servis kalite kayıplarını engellemek amacıyla yük kontrolü uygulanmaktadır.

Tezde ulaşılmak istenen sonuçlara temel olması bakımından II.Bölümde; video sıkıştırma tekniklerinden özellikle bant genişliğinin ve hata başarımının düşük ve değişken olduğu mobil ve kablosuz ortamlar için uygun olan H.263 ve MPEG-4 video kodlama standartları üzerinde durulmuştur. III.Bölümde iletilmek istenen video trafik özelliklerini açıklamak amaçlı H.263 ve MPEG-4 kodlu video karakteristik ve istatistiksel özellikleri incelenmiştir. IV.Bölümde WCDMA radyo kaynak yönetimi ele alınıp V.Bölümde ise radyo kaynaklarının kullanım tekniği olarak kullanılan SMPT teknikleri anlatılmaktadır. Yapılan simülasyonlarla elde edilen sonuçlar VI.Bölümde sunulmakta ve son olarak yedinci bölümde sonuçlar ortaya konup ileride yapılabilir çalışmalara da ışık tutulmaktadır.

2 VIDEO SIKIŞTIRMA TEKNİKLERİ

Video, ses ve veri içeriğinin genel olarak adlandırıldığı çoğul ortam iletişiminin mobil ortamlara taşınmasıyla, servislerin ihtiyaç duyduğu bant genişlikleri de oldukça yükselmektedir.

Çoğul ortam servisleri günümüzde internet platformlarında yaygın olarak kullanılmakta ve video servislerinin gereksinim duydukları bant genişliklerini düşürebilmek amacıyla çeşitli sıkıştırma teknikleri uygulanmaktadır. Dar bantlı internet video servisleri için yaygın olarak kullanılan video formatlarından QuickTime, RealVideo ve Windows Media'yı sayabiliriz. Bu video formatları tüm internet ortamlarında yaygın olarak kullanıldıklarından sundukları kalite ve hata esneklikleri bakımından oldukça sınırlıdır.

Değişik gruplar tarafından değişik sıkıştırma ihtiyaçlarına çözüm bulma üzere ortaya konmuş sıkıştırma teknikleri mevcuttur. Bunlardan ISO MPEG-1 video standardı VHS kalitesindeki videoyu Compact Disk'lere kaydetmek amacıyla ortaya konmuştur. Diğer MPEG standardı olan MPEG-2 standardı ise bant genişliği sınırlamasından ziyade daha yüksek video kalitesi elde etmeye yönelik geliştirilmiştir ve günümüzde DVD-video ve dijital televizyon yayınlarında kullanılmaktadır. MPEG-1 standardı hatasız bir kanaldan iletim yapılacağı düşünülerek dizayn edilmiştir. MPEG-2 ise basit hata düzeltme tekniklerine ihtiyaç duyacak şekilde dizayn edilmiştir. Bu iki tekniğin yanında ITU-T 'nin geliştirdiği standartlar vardır. Bunlardan ilki olan H.261 ISDN üzerinden video telefonu (görüntülü telefon) servisi için geliştirilmiştir.

Bu bölümde bu üç standart üzerinde genel bilgiler verilecektir. Söz konusu standartlar düşük hata oranlarına sahip iletim ortamları için tasarlanmış olup UMTS ve IMT-2000 gibi üçüncü nesil mobil şebekelerin ihtiyaçlarını karşılamaktan oldukça uzaktırlar. Bunların yanında mobil sistemler gibi bant genişliğinin çok değerli olduğu ve iletim hata oranlarının yüksek ve hızlı değiştiği ortamlar için geliştirilen H.263(+)

ve MPEG-4 standardı çalışmanın çerçevesi içerisinde değişik yönleriyle daha ayrıntılı ele alınacaklardır.

2.1 Video Sıkıştırılmaya Giriş

Kablosuz iletişim sistemlerinde video aktarımı için videonun sıkıştırılması oldukça önemli bir aşamayı oluşturmaktadır. Sıkıştırılmamış bir video dizisinin bant genişliği, örneğin UMTS sisteminin bir kullanıcı için tahsis edebileceği ortalama bant genişliğine oranla oldukça yüksektir. Videonun sıkıştırılmadan video çalarlarda yüksek kalitede sunulabilmesi için yaklaşık 216 Mbit/sn veya daha yüksek veri hızlarına ihtiyaç duyulacaktır. UMTS’de bir piko hücrede sunulabilecek en yüksek bant genişliği 2Mb/sn’ dir. Üstelik bu yaklaşım piko hücrelerde mobil terminalin 10km/saat ‘den daha düşük hızla hareket ettiği kabulüne dayanmaktadır. Mobil terminalin bu hızdan daha yüksek hızlarda dolaşabileceğinin göz önüne alındığı mikro, makro ve şemsiye hücrelerde elde edilebilir bant genişliği 144 kbit/sn ile 384 kbit/sn arasında olabilmektedir. Bu nedenle videonun sıkıştırılması zorunluluğu açıkça ortadadır.

Videonun sıkıştırılmasının hareketli görüntülerin kalitesinin düşmesine yol açabileceği bir gerçektir. Video dizisinin kalitesini üç faktörle ifade edebiliriz:

- Çerçeve hızı izleyiciye hareket hissini verebilmek için saniyede gösterilen resim sayısıdır. Çerçeve hızı ne kadar yükselirse o oranda akıcı bir video elde etmek mümkün olacaktır. Sinemalarda izlediğimiz yüksek hareketli videolar için çerçeve hızı saniyede 24 çerçevedir(24 ç/sn²).
- İkinci faktör, piksel başına düşen bit sayısı olup renk bilgisini ifade eden renk derinliğidir. Şayet Kırmızı, Yeşil ve Mavi (RGB³) ‘nin her birinin gösterimi için 8 bit kullanılacak olursa renk bilgisi için 24 bit kullanılacak demektir. Bu ise yaklaşık 16.7 milyon (2²⁴) renge denktir.

² Çerçeve/Saniye’nin kısaltması olup İngilizce karşılığı olarak Frame Per Second (fps) birimi kullanılır.

³ RGB İngilizce’de Kırmızı, Yeşil, Mavi kelimelerinin karşılığı olarak kullanılan bir terim haline gelmiştir.

- Hareketli video kalitesi üzerinde en büyük etkiye sahip olan sonuncu etken ise çerçevelerin çözünürlüğü olarak ifade edilmektedir. Çözünürlük yatay ve dikey olarak piksel elemanlarının sayısını ifade eder (ör. 680x480).

Tam hareketli videonun çerçeve hızının yarıya düşürülmesi (12ç/sn) aynı zamanda iletilecek video verisinin de yarıya inmesi demektir. Ancak çerçeve hızının yarıya inmesi aynı zamanda videonun akıcı görüntüsünü olumsuz etkileyecektir. 10ç/sn altındaki çerçeve hızları görüntüde ani titreşimlere sebep olacaktır. Bunun yanında insan gözü renkten daha çok parlaklığa karşı duyarlıdır. Her bir piksel bir parlaklık (Y-bileşeni) ve iki renk (U (Cb) ve V (Cr)) bileşenlerinden oluşmaktadır. Bu nedenle insan gözü fark etmeksizin renk bileşenlerine ilişkin bit sayısı düşürülebilir. Bu aynı zamanda video verisini de düşürecektir. Buna ek olarak çerçevelerin çözünürlüğü de düşürülecek olursa video çerçevelerinin sıkıştırılabilme oranı daha da artacaktır. Örneğin 640x480 çözünürlüklü bilgisayar ekranının 160x120'ye düşürülmesi video veri miktarını 1/8'ine düşürmektedir. Tablo 2.1'de farklı çerçeve hızları, çözünürlükleri, renk derinlikleri ve uygulanabilen sıkıştırma oranlarına ilişkin veri hızlarına örnek verilmiştir.

Tablo 2.1 Farklı Sıkıştırma Oranları için Video Kalite Parametreleri

Sıkıştırma Oranı	Çerçeve Hızı	Çözünürlük	Renk Derinliği	Veri Hızı
Yok	30 ç/sn	640x480 piksel	24 bit	216 Mbit/sn
1/12	15 ç/sn	320x240 piksel	16 bit	18 Mbit/sn
1/48	15 ç/sn	160x120 piksel	8 bit	4.5Mbit/sn

Uygulanan bu yaklaşımların dışında gerçekleştirilecek sıkıştırma teknikleri veri hızının aşağıya çekilmesine yönelik olacaktır. Videonun daha fazla sıkıştırılabilmesi video kodlayıcı/kod-çözücülerle⁴ gerçekleşir. Kodlayıcı/kod-çözücü yazılım bir bileşen olup videoyu sıkıştırılmış formata dönüştürmeyi sağlayan algoritmalarla gerçekleşir.

Video kodlayıcı/kod-çözücü, video çerçevelerinin birbirinden farklı olmayan bölümlerinin varlığından yararlanarak sıkıştırma işlemini gerçekleştirilir. Bir kez

⁴ Kodlayıcı/kod-çözücü anlamına gelen Codec teriminin karşılığı olarak kullanılmıştır.

iletilmiş olan video verisinin aynısını bir sonraki çerçevede iletmek yerine alıcıdaki kodlayıcı/kod-çözücünün anlayacağı biçimde önceki çerçevedeki veri bloğuna referans gösterilerek veri hızının düşürülmesi kodlayıcı/kod-çözücüler tarafından yapılan sıkıştırmanın temelini oluşturur. İletilecek çerçevelerin tamamını saklamak ve iletmek yerine sadece bir önceki çerçeveden farklı olan bölümler saklanır ve iletilir. Bu sıkıştırma metodu çerçeveler-arası (temporal) sıkıştırma olarak bilinir ve çerçeve içi (spatial) sıkıştırma ile birlikte gerçekleşir. Çerçeve içi sıkıştırma çerçevede renkleri ifade etmek için kullanılan bitlerin sayısının azaltılması mantığına dayanır.

Bundan sonraki başlıklarda mobil ortamlar için geliştirilen video kodlayıcı/kod-çözücüler daha ayrıntılı ele alınacaktır.

2.2 H.261 Tanımlaması

H.261 video kodlayıcı/kod-çözücü 1990'da ITU tarafından Küresel Video Telefonu ve Video Konferans için ISDN üzerinden görüntü iletimi maksatlı ITU-T H.320 standardı içinde tanımlanmıştır. H.261 px64 kbit/sn ($0 < p < 30$) hızlarındaki görsel ve işitsel servisler için tasarlanmıştır. H.261 video kodlayıcı/kod-çözücüsünün bazı özellikleri Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2 H.261 video sıkıştırma kodlayıcı/kod-çözücü özellikleri

Çözünürlük	Çerçeve Hızı	Bit Hızı
QCIF – 176x144	7.5, 10, 15, 30 ç/sn	40 kbit/sn – 2 Mbit/sn
CIF – 352x288		

H.261 çerçeveler arası ve çerçeve içi kodlama tekniğinin her ikisini de kullanır. H.261 CIF ve QCIF olmak üzere iki farklı resim formatı tanımlar. QCIF formatı genellikle 192kbit'den düşük ($p < 3$) bit hızları için kullanılır. Video çerçeveleri bir parlaklık ve iki renk farklılık bileşenleri olmak üzere üç bileşenden oluşmaktaydı. İki renk farklılık bileşeni parlaklık bileşenine kıyasla toplam verinin yarısını oluştururlar.

H.261'deki çerçeve içi kodlama şeması JPEG formatıyla hemen hemen aynı mantıkta işler. Çerçeveler arası kodlama kullanıldığında o anki çerçevenin sınırlarını oluşturan bölümler bir önceki çerçeveden tahmin edilir. Son aşama olarak ta kuantalama yoluyla gönderilecek bilgi en aza indirilmeye çalışılır. H.261, H.263 versiyon 1 ve versiyon 2'nin alt kümesi olarak görüldüğünden bunların ötesinde farklı teknikler ITU tarafından H.261 yerine H.263'de geliştirilmiştir.

2.3 H.263 Versiyon 1

H.263 ITU-T 'nin düşük bit hızlarında video haberleşmesi için geliştirdiği bir standarttır. ITU-T H.261 tanımlamasının bir uzantısı olup 64 kbit/sn altında veri hızlarına kodlama yaparak düşük hızlarda daha iyi görüntü kalitesi ve hata düzeltme performansı elde etmek amaçlanmıştır. H.263 versiyon 2 (H.263+) ise H.263'ün geliştirilmiş hali olup değişken bit hızlarına uyumlu ve paket bağlaşımlı şebekelerde daha iyi performans sunmaktadır.

2.3.1 Video Çerçeve Yapısı

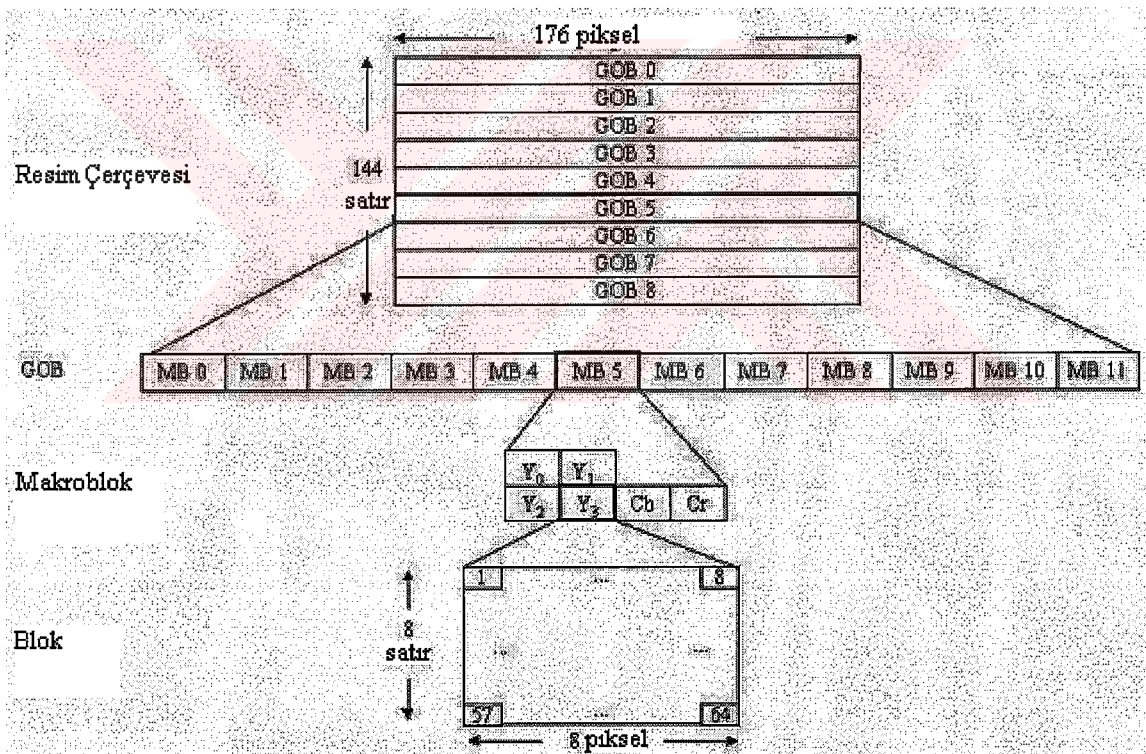
H.261, yalnızca standard iki resim formatını (CIF ve QCIF) desteklerken, H.263/H.263+ bu iki formata ek olarak üç farklı formatı daha desteklemektedir (alt-QCIF, 4CIF ve 16CIF). Ek olarak sonradan formatlarda yapılabilecek değişikliklere açık bir yapıda düşünülmüştür.

Her bir resim bir parlaklık ve iki renk farklılığını ifade eden bileşenlerden oluşmaktadır. Söz konusu farklı resim formatları için parlaklık örnekleri her satırda dx adet, her resim içinde dy adet olarak belirlenecek olursa; her bir renk farklılık bileşeni sayısı (C_b ve C_r) satır başına $dx/2$ adet piksel, resim başına da $dy/2$ adet olacak biçimde belirlenir. Tablo 2.3 'te H.263 resim formatları verilmiştir. Video veri dizisindeki her resim, bloklardan oluşan guruplara (GOB) bölünmüşlerdir. QCIF çözünürlüğündeki bir resim için GOB değeri 9 olup, 9 adet blok gruptan oluşuyor demektir. Her bir GOB makro bloklardan oluşmaktadır. Her bir makro blok ise 8 piksel x 8 satırlık dört parlaklık bloğundan oluşur. Aynı zamanda bu makro blok düzlemsel olarak 8 satırlık 8 piksele ilişkin renk bileşenleri olan C_b ve C_r bilgilerini de içerir.

Şekil 2.1 'de QCIF formatı çözünürlüğü için resim bilgisinin H.263 versiyon 1'de hangi yapıda gruplandığı gösterilmiştir.

Tablo 2.3 Satır başına piksel sayısı ve her bir resim formatı için satır sayısı

Resim Formatı	Parlaklık Bileşeni Başına Sayısı (dx)	Parlaklık Bileşeni Piksel Satır Sayısı (dy)	Renk Bileşeni Başına Sayısı (dx/2)	Renk Bileşeni Piksel Satır Sayısı (dy/2)
Alt-QCIF	128	96	64	48
QCIF	176	144	88	72
CIF	352	288	176	144
4CIF	704	576	352	288
16CIF	1408	1152	704	576

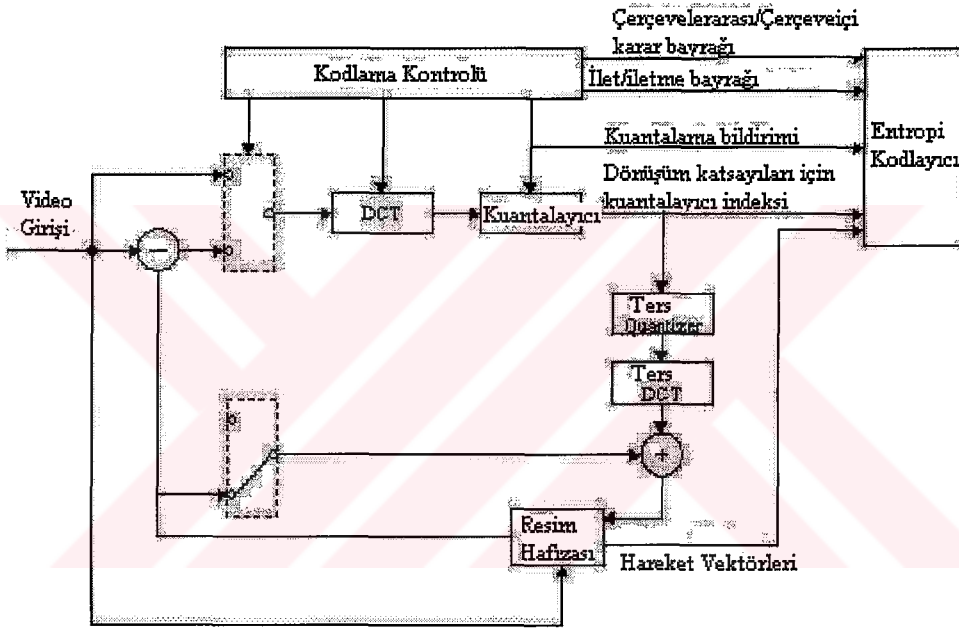


Şekil 2.1 QCIF formatı için H.263 resim yapısı

2.3.2 Hareket Tahmini ve Telafisi

H.263 çerçeveler-arası tahmini desteklemektedir. Bu yöntem görüntüdeki hareketlerin tahmin edilerek sonraki çerçevelerde tahmin edilen bilgilerin

kullanılmasına dayanır. Geçici tahminin uygulandığı kodlama modunda orjinal resimlerle hareketli bölümlerden tahmin edilen resimler (P-resimleri⁵) kodlanırlar. Geçici tahminin uygulanmadığı (diğer resimlere referanslar içermeyen) kodlama modunda ise çerçevelerin kendileri kodlanırlar(I-resimler⁶). Bir diğer PB modunda B-resimleri⁷ her zaman inter-modda kodlanırlar. B-resimleri çift yönlü olarak tahmin edilirler. Hem bir önce çözölen P-resimden hem de bir sonra çözölen P-resimden tahmin edilerek kod çözömleri gerçekleştirilir. Şekil 2.2 ‘de bu tür resimlerin nasıl kodlandığı gösterilmiştir.



Şekil 2.2 H.263 Kodlayıcı

Sekil 2.3 'te ise I, P ve B resimlerin birbirlerinden hangi yönde tahmin edilerek çözömlendiğı belirtilmiştir.

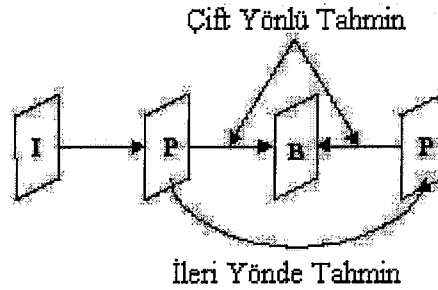
Kısacası çerçevelerde arka alan gibi değışmeyen bölümler kodlanmayıp resim verisinin büyüklüğü düşürölmek amaç edinilmiştir. Daha ileri aşama olarak resim verisinin büyüklüğünü düşürmek amacıyla resimlerde hareketli bölümlerin yalnızca

⁵ Hareket tahmini yöntemiyle kodlanan çerçeve türüne verilen isimdir. İngilizce Prediction'dan gelmektedir.

⁶ İngilizce Inter-mode'dan kısaltılmıştır.

⁷ Çift yönlü olarak tahmin yoluyla kodlanan çerçeve türüne verilen isimdir. (Bidirectionally Predicted)

hareketine ilişkin bilgilerle hareket eden bölümler telafi edilerek bu bölümlerin de kodlanmasına gerek kalmaz.



Şekil 2.3 Resim Tahmini

Hareket bilgisini iletmek için iki boyutlu hareket vektörleri (MV) kullanılır. Hareket tahmini yapan bir yazılım modülü (ME) her makro bloğun etrafındaki blokları bir önce kodlanan resimdeki makro bloğun etrafındakilerle karşılaştırarak aynı olan ve yer değiştirmiş blokları hareket telafisi yapan modüle bildirir. Bu modül ise hareket bilgileriyle, kodlanmakta olan makro bloğa önceki resmin hangi bloklarının ekleneceğini kodlar. Hareket tahminiyle oluşturulan bu makro bloğu “hareket-telafili blok” olarak adlandırabiliriz. Hareket tahmininde bir önceki resimle en çok uyuşan makro blokları belirlemede en yaygın kullanılan yöntem Mutlak Farkların Toplamı (SAD) olarak bilinmektedir. Bu yöntemle düşük işlem karmaşıklığı ve iyi performans amaçlanmıştır.

$$SAD = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |X_{m,n} - X_{m+i,n+j}| \quad (2.1)$$

N, M – blok boyutu

$X_{m,n}$ – m. satır ve n. kolondaki blok elemanının değeri.

$X_{m+i,n+j}$ – önceki resimdeki referansa göre m+i. satır ve n+j. kolondaki blok elemanının değeri.

2.3.3 Ayrık Kosinüs Dönüşümü (DCT)

Ayrık Kosinüs Dönüşümü (DCT) H.263 tabanlı kodlamada en yoğun işlemsel yükün olduğu kısımdır. DCT ile 8 x 8 'lik piksel bloklarının birbirinden ilişkisiz olarak kodlarla iletilip çerçeve boyutlarını düşürmek amaçlanmıştır. DCT yoğun işlemsel yükü getirmesine karşın basit ve verimli bir yöntemdir. 8x8 DCT ISO/IEC tarafından tanımlanmıştır[6].

$$F(u, v) = C(u)C(v) \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 f(x, y) \cdot \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{16}\right) \cdot \cos\left(\frac{(2y+1)v\pi}{16}\right) \quad (2.2a)$$

$$C(u) = C(v) = \sqrt{\frac{1}{8}} \quad , \quad u, v = 0 \quad (2.2b)$$

$$C(u) = C(v) = \sqrt{\frac{1}{4}} \quad , \quad u, v \neq 0 \quad (2.2c)$$

$u, v, x, y = 0, 1, 2 \dots 7$

x, y – işlenen 8x8 bloğun düzlemsel koordinatları

u, v – dönüşüm alanı koordinatları

ve $F(u, v)$ 8x8 DCT dönüşümlü bloğun katsayılarını, $f(x, y)$ ise 8x8'lik asıl bloğun x, y piksellerini göstermektedir.

DCT dönüşümünde $F(u, v)$ 'nin hesaplanmasından anlaşılacağı üzere 8x8'lik bloktaki her piksel için diğer piksellerden farklılığını ifade eden DCT katsayısı bulunmaktadır. Örneğin 8x8'lik bloktaki tüm pikseller birbiriyle aynı enerjiye sahip oldukları durumda DCT katsayıları eşit çıkacak ve bu en düşük frekanslı blok olarak adlandırılacaktır. Blok enerjisini ise frekansıyla birlikte içerisinde bulundurduğu piksellerin parlaklık bileşeni (Y-bileşeni) belirleyecektir. DCT dönüşümüyle 8x8'lik bloğun piksellerinin enerjisi ve piksellerin birbirinden farklılığının ölçüsü (resmin netliğinin ölçüsü) olan frekansa göre değişen katsayılar elde edilir. Kodlama açısından önemli olan aşama bu katsayıların uygun aralıklarla kuantalanarak istenen görüntü kalitesini elde edecek kuantalamanın ayarlanmasıdır. Bu nedenle

kuantalayıcıların öğrenmeye dayalı olarak kendini yenileyen (adaptif) yapıda tasarlanmalarının bir üstünlük oluşturacağı açıktır.

2.3.4 Kuantalama

İnsan gözü düşük düzlemsel frekanslı bloklardaki hatalar nedeniyle yapılan yeniden oluşturmalara karşı, yüksek düzlemsel frekanslı bloklardakine oranla çok daha hassastır. Bunu basit bir benzetimle ifade edecek olursak; boş beyaz bir kağıttaki leke insan gözü tarafından, rasgele karalanmış bir kağıttaki lekeye oranla çok daha fazla dikkate alınacaktır. 8x8'lik bloğun düşük frekanslı (piksellerinin parlaklıkları birbirine çok yakın) bir blok olmasını beyaz kağıt olarak düşünelim. 8x8'lik bloğun yüksek frekanslı (piksellerinin parlaklıklarının birbirinden çok farklı, çıtırır bir kumaş gibi) oluşunu ise karalanmış bir kağıt olarak düşünelim. Yüksek frekanslı blokta yapılacak piksel değişiklikleri insan gözü tarafından çok fazla olmadıkça çok az algılanabilecektir. Üstelik makro bloğun, görüntünün hareketli parçasında yer aldığı düşünülürse yüksek frekanslı bloktaki birçok piksele ilişkin bilginin kodlanması gereksiz yere veri büyüklüğünü artıracaktır. Düşük frekanslı blokta yapılacak piksel değişikliği ise boş kağıttaki leke gibi diğer piksellerin arasında leke oluşturacaktır. Bu nedenle kuantalamada amaç bloğun yüksek frekanslı katsayılarını elemek olacaktır.

İnsan gözü için kademeli ve lineer değişimler, hızlı ve ani değişimlere oranla çok daha fazla dikkate alınırlar. O nedende hızlı değişimler kuantalamayla göz ardı edilebilirler. Kuantalamada DCT katsayılarının oluşturduğu matris bir tamsayı ölçek (skala) faktörüne bölünüp yuvarlanarak yeni katsayılar elde edilir.

$$C_{m,n}^q = \frac{C_{m,n}}{Q_{m,n}} \quad (2.3)$$

$C_{m,n}$ – (m, n)'nci DCT katsayısı ve,

$Q_{m,n}$ – (m, n)'nci tamsayı ölçek faktörü

Sıradan bir görüntüdeki herhangi bir piksel bloğunda, DCT ile oluşturulan katsayıların birçoğu sıfıra yakındır. Bunun nedeni ise genellikle piksel bloğu içinde çok fazla ani parlaklık ve renk farklılıklarının fazla olmamasıdır. Kuantalama her bir katsayının doğruluk seviyesini azalttığı ve sıfıra yakın katsayıları ise yuvarlama sonucu sıfır yaptığı için geriye sıfırdan farklı yalnızca birkaç anlamlı kuantalanmış DCT katsayıları kalmaktadır.

H.263'te kuantalama adımının ölçüsü (skalası) aynı makro blok içerisinde değiştirilmemektedir. Kuantalama adımı DCT katsayılarının ne kadar küçük farklılıklarının ayırt edileceğini ifade ettiğinden; adım sayısı artacak olursa kodlanan görüntünün kalitesi de o derece artırılmış olur. Kuantalama adım sayısı düşürülürse katsayılar fazla yuvarlanacak, bu ise video çerçevesi için daha az bilgi ve düşük kalitede görüntü demek olacaktır.

2.3.5 Entropi Kodlayıcı

Entropi kodlayıcı çok sık oluşan bilgiyi kısa kodlarla az oluşan bilgiyi ise mecburen daha uzun kodlara dönüştüren bir kodlayıcıdır. Böylece, kuantalanmış katsayılar kod bit dizilerine dönüştürülerek son olarak sıkıştırılmış biçime dönüştürülürler. VLC dizisi olarak adlandırılan bu dizilere senkronizasyon ve kontrol bilgilerinin (ör. Hareket vektörleri) eklenmesiyle kodlanmış H.263 veri akışı oluşturulur.

2.4 H.263 Versiyon 2

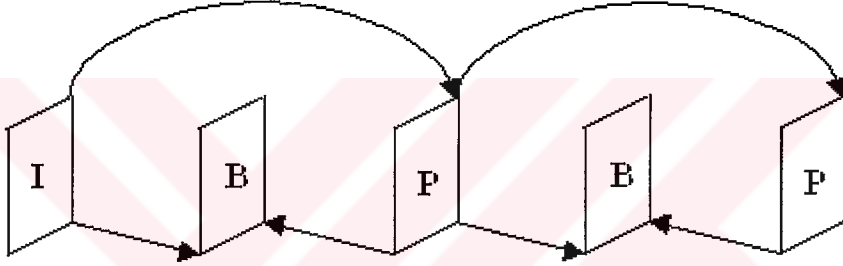
H.263 versiyon 1, kodlama yapısı H.261'e dayanıyor olmasına rağmen az bir işlemsel karmaşıklıkla iyi bir sıkıştırma verimliliği ve yükseltilmiş resim kalitesi sunmuştur. H.263 versiyon 2 (H.263+) bazı isteğe bağlı özellikler getirerek H.263'ü iletim ortamlarına karşı daha esnek hale getirmiştir.

Daha hataya duyarlı video kodlamayı mümkün kılmak amacıyla, H.263+ ile ölçeklenebilir video kodlama kavramını oluşturulmuştur. Ölçeklenebilir video kodlama video bit akışının çoklu mantıksal kanallara ayrılarak, bazı verilerin video görüntüsünü bozmayacak şekilde atılması ile gerçekleştirilir. Video bilgilerinin bazılarının atılmasının şebekelerde bant genişliğinin önemli derecede düştüğü durumda çok avantaj sağlayacağı bir gerçektir.

H.263+ ile uygulanan resim ölçekleme türlerini geçici, düzlemsel ve SNR ölçekleme olarak ifade edebiliriz.

2.4.1 Geçici Ölçekleme

Geçici ölçeklemeyle video resim hızını artırarak algılanan video kalitesini geliştirmeye yönelik araçlar düşünülmüştür. Geçici ölçekleme çift yönlü tahmin edilen resimler (B-resimler) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. B-resimleri şekil 2.4 'te görüldüğü gibi ilişkili bulunduğu I ve P resimleri arasına yerleştirilirler. Benzer şekilde eşit aralıklarla bu işlemin yapılması yalnızca ileri yönde tahmin mantığına dayalı P-resimlere oranla sıkıştırma verimliliğini artırmaktadır[7].



Şekil 2.4 Geçici Ölçekleme

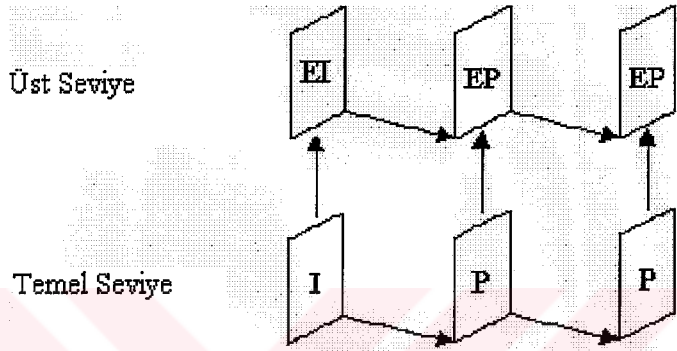
B-resimleri diğer resimlerin tahmin edilmesi amacıyla kullanılacak referans resimler değildir. Çerçevelerin bu yapıda kodlanmaları sonraki resimlerin görsel resim kalitesini etkilemeksizin gerektiğinde B-resimlerinin atılabilmesine olanak verir.

Geçici ölçekleme resim kalitesini artırması yanında kodlamaya yapısal karmaşıklık, daha fazla hafıza gereksinimi ve ek gecikme gibi faktörleri eklemektedir.

2.4.2 SNR Ölçekleme

Bu metot düzlemsel/SNR ölçekleme olarak da adlandırılabilir. Düzlemsel ölçeklemenin artırılmış düzlemsel çözünürlük sağlaması dışında SNR ölçekleme ile düzlemsel ölçekleme birbiriyle çok ilintilidirler. Şekil 2.5 'te SNR ölçekleme bir örnekle tarif edilmiştir. SNR ölçekleme çoklu veri akışı şeklinde kodlama

yapılmasını sağlayarak asıl ve yeniden oluşturulan resimler arasında kodlama hatalarının veya farklılıklarının giderilmesini mümkün kılmaktadır. Resimler arasındaki farkların, toplamların kontrolü (checksum) mantığında olduğu gibi kodlanması, kodlamanın yapıldığı temel seviyenin bir üst seviyesinde yapılır. Bu ilave veri, video resimlerinin işaret-gürültü oranını artırmaya yaradığından SNR ölçekleme ifadesi kullanılmıştır[7].



Şekil 2.5 SNR Ölçekleme

Temel seviyeden dikey olarak görünen ok temel seviyedeki resmin yeniden oluşturulmuş yaklaşık tahmini olan üst seviye resmini işaret etmektedir. Burada olduğu gibi eğer tahmin işlemi sadece temel seviyedeki referans alınan resme göre yapılırsa bu tahmin edilen resme EI-resim⁸ denir. Birde temel seviyede tahmin edilen resim ile üst seviyede bir önceki tahmin edilen resim referans alınarak tahmin edilen resimler üretilebilir ki bunlara da EP-resimleri⁹ denmektedir[7].

Ayrı veri akışı biçiminde oluşturulan resimler paralel biçimde kod çözülerek, oluşabilecek hataların geri dönüşümü mümkün kılınmaya çalışılmıştır.

2.4.3 Düzlemsel Ölçekleme

Düzlemsel ölçeklemeyle birden fazla çözünürlükteki video bit akışlarının farklı türde kullanıcıların değişken ekran ihtiyaçlarını/kısıtlamalarını karşılayacak biçimde kodlanabilmesini sağlamak amaçlanmıştır. Örneğin video konferansta

⁸ EI, Enhanced-Intraframe teriminden gelmektedir.

⁹ EP, Enhanced-Predictedframe teriminden gelmektedir.

katılımcılardan biri QCIF çözünürlüğünde bir UMTS kullanıcısı, diğeri ise CIF çözünürlüğündeki bir bilgisayar ekranı olabilir. Bu durumda düzenleyici bir sunucunun her bir katılımcıya farklı çözünürlüğü destekleyen video verilerini göndermesi gerekmektedir.

Daha önce belirtildiği gibi Düzlemsel ve SNR ölçekleme temel olarak benzerdirler. Aralarındaki farklılık düzlemsel ölçeklemede, üst seviyede yeniden oluşturulan resimle farklı çözünürlüğe sahip resim karşılaştırılarak oluşabilecek iletim hatalarının telafi edilmesi amaçlanmıştır. Örneğin temel seviye QCIF çözünürlüğünde olup üst seviye ise CIF çözünürlüğünde olabilir. Temel seviye üst seviyenin kendisinden doğru biçimde tahmin oluşturabileceği biçimde ölçeklenmelidir. H.263+'de çözünürlük yatay ve dikey yönlerde ayrı ayrı ve birlikte artırılabilir.

İfade edilme bakımından düzlemsel ve SNR ölçekleme arasında çok küçük bir fark olması nedeniyle her iki amaç için kodlanan resimlere EI ve EP resimleri denmektedir[7].

2.4.4 Diğer Yenilikler

Ölçeklenebilir video kodlama H.263+'ün getirdiği en önemli üstünlük olsa da bunun dışında bazı yenilikler de H.263+ ile sunulmuştur. Kodlayıcının hatalara karşı esnek hale gelmesini sağlayan yenilikler aşağıda sunulmuştur.

- Dilimli Yapı: Bu modun amacı, veri akışını alt seviyedeki paket aktarım protokolüyle uyumlu hale getirerek geliştirilmiş hata esnekliği sağlayarak video gecikmelerini minimize etmektir.
- Referans Resim Seçimi (RPS): Hataya duyarlı kanallarda en son kullanılan referans resme göre tahminden ziyade kanalın durumuna göre referans resim seçiminin yapılmasına dayanır. Kanalın durumuna göre kodlayıcıyı optimize ederek hataya duyarlı kanallarda gerçek zamanlı videonun performansını artırır.
- Bağımsız Segment Kod-çözümü (ISD): Video resminin GOB 'lar arası veriye bağımlı olmaksızın kod-çözülebilmesi amaçlanmıştır. Bu yöntem oluşabilecek hataların video resminin farklı segmentlerine doğru yayılmasını engellemek

için geliştirilmiştir. Böylece hatalara karşı dayanıklılık artırılmaya çalışılmıştır.

2.4.5 Hataya Duyarlı Ortamlarda Hata Esnekliği ve Dayanıklılığı

Bant genişliğinin sınırlı olduğu ve bit hatalarının fazla yaşandığı ortamlarda son işleme (post-processing) mekanizmalarına olan ihtiyaç artmaktadır. Son-işleme mekanizmaları FEC olarak ta bilinmektedir. Çünkü kod-çözücüde kullanılmak üzere kodlayıcıda hata düzeltimi için bilgiler eklenmektedir. Bir sonraki başlıkta H.263+'dan yararlanılarak uygulanabilecek son-işleme mekanizmaları hakkında bilgi verilecektir.

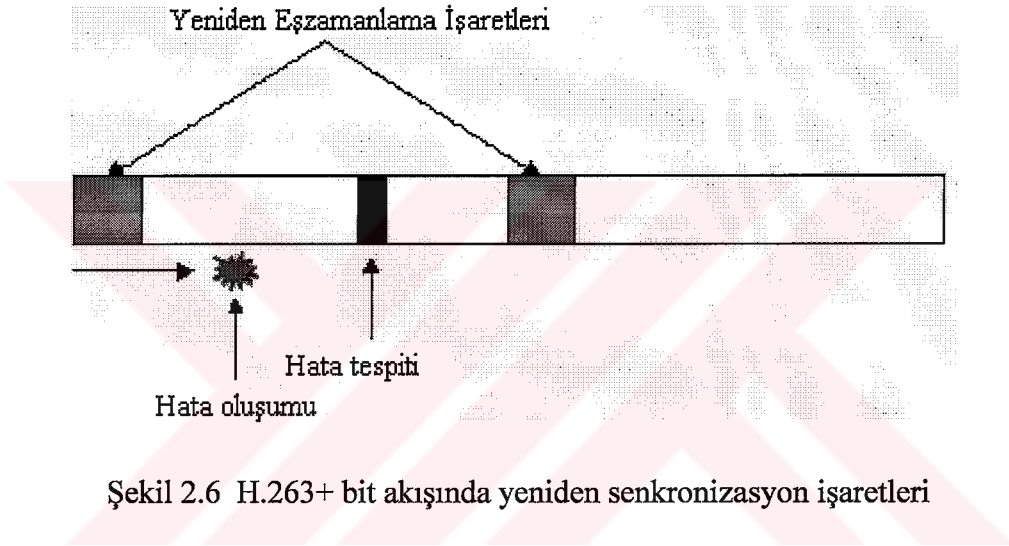
2.4.5.1 Hata Sezimi ve Yeniden Senkronizasyon

Hataları kod-çözücüde giderebilmek için öncelikle doğru biçimde sezelebilmeleri gerekmektedir. Örneğin ITU-T H.223 değişik veri akışları için hataların oluşumunu kontrol edebilmektedir. H.223'te Adaptasyon Seviyesi Protokol Veri Birimi (AL-PDU) olarak adlandırılan medya paketi isteğe bağlı kullanılabilen bir kontrol alanı, medya yükü (örneğin için video verisi) ve CRC' den oluşmaktadır. H.223 video bit akışındaki blokları numaralayıp ve CRC bilgisini kullanarak hataları ve paket kayıplarını sezip bu bilgileri kod-çözücüye iletir. Böylece kod-çözücü paketi tamamen çöpe atmaya yada hataları giderilebilecekse gidermeye karar verebilecektir. Eğer hatalar kodlayıcıdan sonraki seviyesinde sezilirlerse yine kod-çözücüye gönderilirler ve kod-çözücü yazımsal ve anlamsal uyumsuzluklardan uygun değerleri tespit ederek hata düzeltme işlemini yine gerçekleştirebilir. Söz konusu hatalara aşağıdaki örnekleri verebiliriz.

- Hareket vektörünün izin verilen aralığın dışında çıkması.
- Geçersiz VLC tablo giriş değeri.
- DCT katsayısı maksimum olabileceği değerin üstünde olması.
- Bloktaki DCT katsayısı sayısının maksimumu aşması

H.263+ 'da hataların ardından yeniden eşzamanlı (senkron) olmaya ilişkin teknikler de belirtilmiştir. Bu şekilde hata oluşumunun ardından geçerli video bilgisinin kod-

çözümünün doğru biçimde devam edebilmesi sağlanmaktadır. Hata oluşumunda kaybolan sembollerin sayısı bilinemediği için resim içinde kod-çözümü yapılan yer tam olarak bilinmemektedir. Bu sorundan kurtulabilmek için şekil 2.6 'daki gibi belirli eş zamanlama sözcükleri düzenli aralıklarla video verisine dahil edilir. Resim içinde gerekli noktaları belirleyebilmek için H.263+'te GOB'ların başlık kısmında bu kod sözcükleri dahil edilirler¹⁰. Bu ise GOB'un büyüklüğünün değişebileceği gerçeğinden dolayı yeniden eşzamanlı olmayı sağlayan kod sözcüklerinin aralıklarının değişken olmasına neden olmuştur.



2.4.5.2 Hata Gizlenmesi

Hata sezildikten sonra giderilmesi işlemi gerçekleştirilir. Hata gizleme giderilemeyen hatalar nedeniyle görsel bozulma olmasını engellemek için uygulanır. Hata gizleme için iki temel metot kullanılmaktadır.

- Düzlemsel hata gizleme
- Hareket bedelli geçici hata gizleme

Koşullara göre bu iki yaklaşımın biri ya da ikisi kullanılabilir. Düzlemsel hata gizleme kullanıldığında kaybolan pikseller komşu GOB'ların düzlemsel

¹⁰ MPEG-4'de bu problem her N bitte yeniden eş zamanlamayı sağlayan işaretleri ekleyerek giderilmiştir (bkz. Bölüm 1.6). Yapılan deneyler iletim hatalarının düzeltilmesi için bu yöntemin

yayılımından yararlanılarak yeniden oluşturulurlar. Geçici hata gizlemede ise kaybolan veri bir önceki resmin aynı GOB'undan yararlanılarak yeniden oluşturulur.

2.5 MPEG-1 ve MPEG-2 Tanımlamaları

2.5.1 MPEG-1

MPEG komitesi 1988 yılında Leonardo Chairigloione ve Hiroshi Yasuda tarafından video ve sesin Compact Disk 'lere kaydedilebilmesi için kurulmuştur.

1992'de ISO ve IEC ile yapılan bir toplantı sonucu ses ve video için ilk MPEG standardı (MPEG-1) çıkarılmış oldu. Bu standart video ve sesin Compact Disk 'lerde saklanması ve okunması üzerinde yoğunlaşmıştır. MPEG-1 özel bir uygulamadan bağımsız, genel bir standarttır. Ancak yine de uygulamaların ihtiyaçlarını göz ardı edememiştir. MPEG-1 aşama halinde önce videonun işlenmesiyle başlayıp performansı 352 x 288'lık SIF çözünürlüklü resimlerin 30 ç/sn'de, ve 1.2 Mbit/sn - 1.5 Mbit/sn arası bit hızlarında optimize edilmiştir.

MPEG-1 algoritması JPEG ve H.261 çalışmalarından yararlanılarak geliştirilmiştir. H.261'e benzerlik göstermektedir. Bu nedenle her iki standardı destekleyen uygulamaların gerçekleştirilmesi daha kolaydır. Ancak temelde MPEG-1 video ve sesin Compact Disk 'lere kaydedilebilmesi ve gerektiğinde okunabilmesi maksatlı geliştirilmiştir.

2.5.2 MPEG-2

MPEG-2 daha geniş çapta uygulamalara destek vermek hedefiyle 1994'te standart haline gelmiş ve MPEG-1'in bir üst kümesi olup MPEG-1'e uyumludur. MPEG-2 ile yeni kodlama özellikleri eklenmiş ve daha yüksek hızlarda (40 Mbit'lere kadar) fonksiyonelliği ve kalitesi artırılmıştır. Verimli kodlama sağlamak amacıyla tahmin yöntemleri geliştirilmiştir. Ek olarak ölçeklenebilir MPEG-2 kodlama ile sürekli bit akış dizileri iki veya daha fazla kodlanmış bit akışlarına ayrılarak farklı çözünürlük, resim kalitesi ve resim hızlarına ulaşmak mümkün hale getirilmiştir. Kodlanmış

daha etkili olduğunu göstermiştir.

video verisi kademeli bit akış dizileri şeklinde oluşturulur. Eğer yalnızca bir seviye bulunuyorsa elde edilen video akış dizisi “ölçeklenemez video bit dizisi” olarak adlandırılır. İki veya daha fazla seviye şeklinde kodlanmışsa “ölçeklenebilir video bit dizisi” olarak adlandırılır[7].

2.5.2.1 Ölçeklenemez Yapı

MPEG-2’deki ölçeklenemez yapının ilintili video sinyallerinin daha fazla sıkıştırılması için fazladan araçlar içermesinden dolayı MPEG-1’e göre daha farklıdır. Algoritma MPEG-1’dekine benzer yapıdadır. Öncelikle algoritmalar çerçeveler arasındaki benzerlikleri belirlemek için blok tabanlı hareket telafisi yöntemini kullanmaktadır. Hareket tahmini hem o anki resmin bir önceki resimden tahminini hem de önceki ve sonraki resimlerden yararlanarak tahmin yapmaya dayandırılmıştır. Tahminden doğabilecek hataları önlemek için düzlemsel ilişkilere kuantalama aşamasından önce DCT yöntemiyle sıkıştırma uygulanır. Son olarak entropi kodlayıcı hareket vektörleriyle kuantalanmış DCT bilgisini birleştirerek değişik uzunluklu kodlar şeklinde kodlama işlemini minimum bant genişliği kullanılacak biçimde gerçekleştirir.

2.5.2.2 Ölçeklenebilir Yapı

Bu yapıda kodlamanın amacı çeşitli servisler arasında çalışabilirliği sağlamak ve farklı ekran özelliklerine sahip alıcılarla destek verebilmektir. Video haberleşmesi alanında ATM üzerinden video aktarımı gibi uygulamalarda, video standartlarının karşılıklı çalışabilmesi, video servis hiyerarşilerinin düzlemsel ve kalite çözünürlüğü gibi konular üzerinde önemli uygulama alanlarını oluşturmaktadır.

Bazı alıcılar tüm çözünürlükte görüntüyü yeniden oluşturabilecek kapasitede olamayabilirler. Ölçeklenebilir video kodlamayla bu tür alıcılardaki kod-çözücüler bit akış dizisindeki farklı ölçeklerde kodlanmış dizilerden çözebileceği ölçektekini kod-çözümleyerek, daha düşük çözünürlük ve kalitede videoyu görüntüleyebilirler¹¹.

¹¹ Geçici, SNR ve düzlemsel ölçeklemeyle ilgili daha ayrıntılı bilgi bölüm 1.4 ‘te (H.263+) verilmiştir.

2.5.3 MPEG-1 ve MPEG-2 Karşılaştırması

Aşağıda MPEG-1 ve MPEG-2 arasındaki en önemli farklar belirtilmiştir. Tablo 2.4'te ise tipik kodlama parametreleri verilmiştir.

Tablo 2.4 Her iki standart için tipik kodlama parametreleri.

	MPEG-1	MPEG-2
Standart Tarihi	1992	1994
Ana Uygulama	CD-ROM üzerinde dijital Video	Dijital TV (ve HDTV)
Düzlemsel Çözünürlük	CIF Formatı (1/4 TV)	TV (4 x TV), 720 x 576 piksel (1440 x 1152 piksel)
Geçici Çözünürlük	25 - 30 çerçeve/sn	50-60 çerçeve/sn(100-120 çerçeve/sn)
Bit Hızı	1.5 Mbit/sn	4 Mbit/s (20 Mbit/s)
Kalite	VHS 'ye yakın	NTSC/PAL2e yakın
Sıkıştırma Oranı	20 - 30	30-40

MPEG-1 ve MPEG-2 arasındaki farklar:

- MPEG-2 – daha yüksek bit hızlarına izin verir.
- MPEG-2 – yan (surround) seslere ve farklı dil kanallarına olanak verir
- MPEG-2 – ekstra düzlemsel ölçeklemeyi sağladığından farklı kod-çözücüler farklı kalite çıkışları elde edebilirler.
- MPEG-2 ölçeklemeye imkan tanıdığından alınan bir video farklı çerçeve hızlarında görüntülenebilir.

2.6 MPEG-4 Tanımlaması

MPEG-4 (H.263'le birlikte) 3ncü nesil kablosuz şebekeler için 3GPP tarafından çoğul ortam standardı olarak seçilmiştir. MPEG-4 1998 yılında MPEG tarafından geliştirilen bir ISO/IEC standardıdır. Bu standart çoğul ortam dünyasında düşük bit

hızları için geliştirilmiştir. MPEG-1 ve MPEG-2'den farklı olarak daha fazla sıkıştırma verimliliği üzerine yoğunlaşmış ve yeni özellikler düşünülmüştür.

Bu standart kullanıcılara bir görüntüdeki video ve ses içeriği ile birçok etkileşim sağlamaktadır. MPEG-4 kablosuz iletişim teknolojileri gibi hızlı gelişen teknolojilere destek verebilmek amacıyla yüksek derecede esnek ve geliştirilmeye açık yapıda tasarlanmıştır. Hepsinden önemlisi MPEG-4 video, çok farklı bit hızlarını desteklemekte ve mobil uygulamalar için 5-64 kbit/sn, TV uygulamaları içinse 4Mbit/sn hızları kriter alınmıştır.

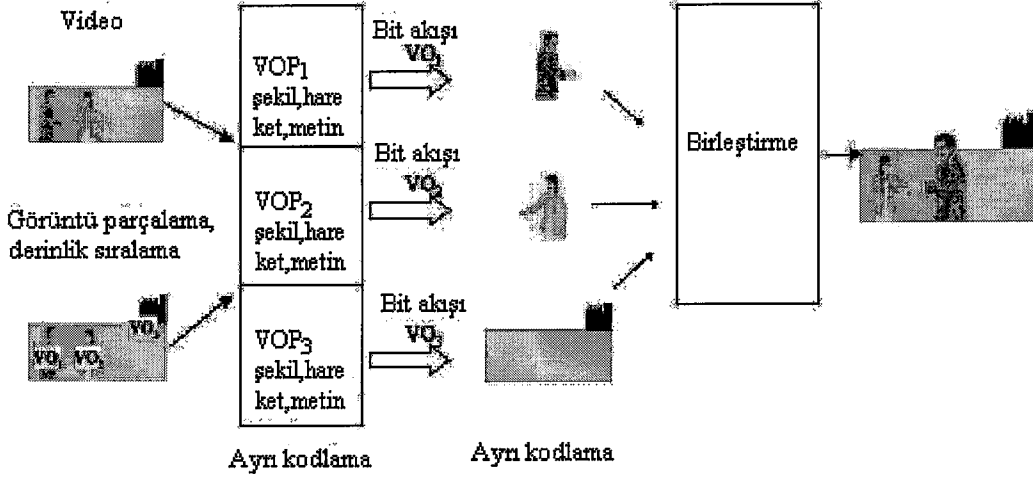
2.6.1 MPEG-4 Video Özellikleri

Standart MPEG-4 Paket Tanımı'nda [8] tanımlanan yeni video özellikleri üç grupta toplanabilirler. Bunlar içerik tabanlı etkileşim, kodlama verimliliği ve evrensel erişim olarak adlandırılır ve aşağıda açıklanmışlardır.

2.6.1.1 İçerik-Tabanlı Etkileşim

Önceki iki MPEG standardında (MPEG-1 ve MPEG-2) video dizisinin işlenmesi videonun oluşturulduğu asıl formatında yapılmaktaydı. Bunun anlamı video dizisinin istenen sıkıştırılmış bit dizisine çevrilmeden önce asıl formatına dönüştürülüp sonra tekrar kodlanması demektir. MPEG-4 sıkıştırılmış boyuttaki görsel video nesnelere erişip işleyebilecek yapıda geliştirilmiştir. Buda işlemsel karmaşıklığın azalmasını, gereken bant genişliğinin düşmesini, gecikmenin azalmasını, kalite kayıplarının önlenmesini beraberinde getirmiştir.

MPEG-4 farklı kökenli video nesnelerinin birlikte işlenmesini ve video dizisindeki farklı video nesneleri için nesnelere ilişkin kod-çözümü ve yeniden elde edilme işlemleri ile bit akış dizilerini işleyebilir. Bit akış dizisinin “nesne katmanları” şeklinde olması nedeniyle her bir nesnenin şekil ve netliği her bir nesne katmanı için tanımlanmıştır. Böylece belirli bit akış dizisine uyum sağlayabilen alıcı, bit akış dizisinin tamamen ya da kendisinin objeleri işleyebileceği kadarıyla yeniden elde edilmesini tercih edebilir. Şekil 2.7 'de MPEG-4 bit akış dizisinin nasıl işleneceği gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Bit Akış Dizisinin İşlenmesi

Şekilde gösterildiği gibi video nesnesi VO_1 (Video Object) işlenerek asıl halinden daha büyük hale getirilmektedir. Ek olarak VO_1 ve VO_2 'nin yerleri değiştirilmiştir. Sıralanan bit akış dizilerinin nesne seviyesinde yapıldığı gerçeğinden hareketle; nesnelerin işlenmesi, bit akış dizisi seviyesinde her bir nesnenin sıkıştırılmasıyla gerçekleştirilir.

Son olarak, MPEG-4 içerik tabanlı etkileşim anlamında sınırlı zamanda ve iyi bir çözünürlük içindeki video dizileri içinden çerçevelere veya video nesnelere hızlı biçimde rasgele erişim yapılabilmektedir[9].

2.6.1.2 Kodlama Verimliliği

Kablosuz şebekeler gibi bant genişliğinin sınırlı olduğu şebekelerde kodlama verimliliği daha fazla önem kazanmaktadır. MPEG-4 video kalitesini olumsuz etkilemeksizin kodlama verimliliğini artırmaya yönelik araçlar ve algoritmalar önermiştir. Böylece mobil şebekelerde video konferans ve video veri akışı¹² sağlamak gibi uygulamalar mümkün hale gelebilmiştir.

¹² “Video veri akışı” çoğul ortam video iletişimde yaygın olarak kullanılan “video streaming” i ifade etmektedir.

2.6.1.3 Evrensel Erişim

Birçok sıkıştırma algoritmalarındaki handikap, sıkıştırma oranının artırılmasıyla iletilen videoda hata olmuşumun neden olacağı bozulma riskinin de artmasıdır. Mobil şebekelerdeki iletim kanallarının tipik yapısında iletim kanallarında gürültü, zayıflama, gölgelenme ve girişim gibi kodlanmış videonun güvenli iletimini zorlaştıran faktörler bulunmaktadır[9]. MPEG-4 görüntünün hafızada biriktirilerek görüntülendiği ve gerçek-zamanlı görüntülendiği (talebe bağlı video¹³, video konferans gibi) değişik türdeki servisler için farklı hata duyarlılığına sahip iletim ortamlarına uyumlu hata dayanıklılığı sağlayabilmektedir.

MPEG-4'ün anahtar özelliği içerik tabanlı ölçekleme yapıyor olması nedeniyle içerikte derinliği, kaliteyi ve ayrıntıyı sağlamak mümkün olabilmektedir. Elde edilebilir bant genişliğinin ani olarak değişebildiği video iletim senaryolarında, ölçeklenmiş kodlamayla video çerçevelerinin kalitesini ve sonuç olarak ihtiyaç duyulan bant genişliğini azaltarak uygulamanın ihtiyacı iletim ortamı sınırları içerisinde karşılanmış olur (bkz. Bölüm 2.6.2.4).

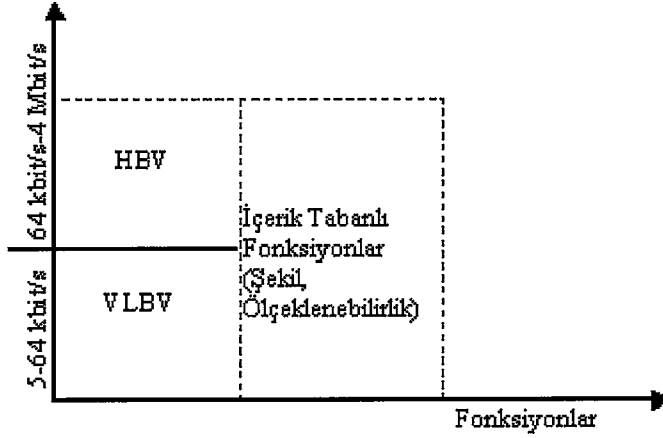
2.6.2 MPEG-4 Video Kodlama Algoritmasının Yapısı

Video kodlama algoritması MPEG-1 ve MPEG-2 'deki tüm fonksiyonları desteklemektedir. Bu fonksiyonlar değişik format, çerçeve hızı, bit hızındaki standart dikdörtgen şekilli görüntü dizilerinin verimli biçimde sıkıştırılmasını içermektedir.

Şekil 2.8 'de MPEG-4 'ün doğal görüntü ve video için sağladığı bit hızı sınıflandırması gösterilmiştir.

Çok düşük bit hızlı video VLBV, 5-64 kbit/sn arasında bit hızlarına ihtiyaç duyan uygulamalar için algoritmalar sağlamaktadır. CIF gibi düzlemsel çözünürlüğü (176x144) ve çerçeve hızlarının (< 15 ç/sn) nispeten daha düşük olduğu görüntü dizileri için düşünülmüştür. VLBV yüksek kodlama verimiyle dikdörtgen şekilli görüntülerin kodlanması, yüksek hata dayanıklılığı, karmaşıklık ve gerçek zamanlı uygulamalar için düşük gecikme gibi birçok uygulamaya özel farklı özellikleri bulundurmaktadır.

¹³ İngilizce "Video-on demand" olarak bilinmektedir.



Şekil 2.8 MPEG-4 Video Kodlama Standardının Yapısı

HBV, VLBV'nin sağladığı temel özellikleri sağlamaktadır. Farkı ise 64 kbit/sn ile 4 Mbit/sn arasındaki bit hızlarına ihtiyaç duyan uygulamalar için geliştirilmiştir.

Yeni türeyen video kodlama tekniklerinin uyarlanmasını sağlamak amacıyla MPEG-4 Uyarlama Modeli tanımlanmıştır. Model kodlanmamış bilginin giriş çıkış formatlarını ve kodlanmış bilgiyi içeren bit akış dizisinin formatını belirler. Hepsinden önemlisi gelişmekte olan standart için tanımlanmış bir temel video kodlama algoritması platformu tanımlar.

MPEG-4 Video Uyarlama Modeli aşağıda açıklanan ana özellikleri desteklemektedir:

- 4:2:0 formatında düzenli örneklenmiş standart Y:U:V parlaklık ve renk yoğunluğu bileşenleri. Her bir Y, U, V pikselin yoğunluğu 8 bite kuantalanır. Görüntünün şekli ve ölçüsü uygulamaya göre değişmektedir.
- Çoklu "Video Nesne Düzlemleri" nin şeklin herhangi bir parçasıymış gibi kodlanarak içerik tabanlı fonksiyonların desteklenmesi.
- Her bir VOP'in şekil ve netlik bilgisinin kodlanması.
- Çerçeveler-arası (I), geçici tahmine dayalı (P), ve çift yönlü (B) tahmine dayalı kodlanan VOP'lerin desteklenmesi.Özel durumlarda standart MPEG ve H.263 I, P, B çerçeveleri desteklenmektedir.

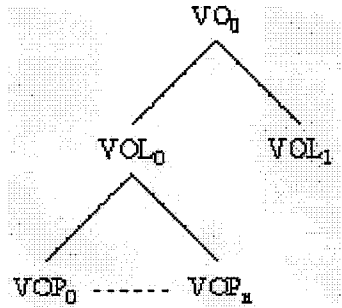
- Rasgele veya dikdörtgen şekilli sabit ve değişken hızlardaki giriş VOP dizilerinin desteklenmesi.
- VOP'ler için 8x8 piksellik blok tabanlı ve 16x16 piksellik makro blok tabanlı hareket tahmini ve telafisinin sağlanması.
- I, P ve B VOP'lerde 8x8'lik DCT veya benzer rastgele şekillerin bölgelerine uyumlu bir DCT yöntemiyle VOP'lerdeki metin bilgilerinin kodlanması. Bunda DCT dışında MPEG-1, MPEG-2, H.261 veya H.263'deki gibi kuantalama ve değişken uzunluklu kodlarla kodlama yöntemleri de kullanılmaktadır.
- Herhangi bir şekildeki VOP'lerin geçici ve düzlemsel ölçeklenebilmesi.
- Hataya duyarlı ortamlarda yeniden senkronizasyon oluşumunda geliştirilmiş bit ekleme ve hareket maskeleyicilerle adaptif makro blok yapısının sağlanması.
- Eğer giriş görüntü dizileri tek seviyeli dikdörtgen VOP yapıda kodlanmışlarsa H.261, H.263 ve MPEG-1 gibi kodlama algoritmalarıyla geriye uyumlu yapıda olduğunu söyleyebiliriz.

2.6.2.1 Video Nesnesi, Video Nesne Katmanı ve Video Nesne Düzlemi

MPEG-1, MPEG-2, H.261 ve H.263 gibi çerçeve bazlı kodlama algoritmalarının aksine MPEG-4 nesne tabanlı bir algoritmadır. MPEG-4 içerik bazlı fonksiyonları destekleyebilmek için rasgele şekilli¹⁴ görsel nesnelerin etkili biçimde görselleştirilmesini mümkün hale getirmiştir. İçerik-tabanlı fonksiyonlar bir görüntüdeki nesnelerin kodlanıp kod-çözülmesi işlemlerini birbirinden ayırmayı mümkün hale getirmiştir. MPEG-4 'te istenilen içeriğin seçilip istenilen ölçülerde kod-çözümünün yapılarak istenilen yeniden oluşturma yapılılabilmesi "içerik-tabanlı ölçekleme" olarak adlandırılır.

¹⁴ Ek olarak MPEG-4, MPEG-1 ve MPEG-2 kodlamadaki bilinen dikdörtgen videoyu da desteklemektedir.

Video Nesne Düzlemleri(VOP) görüntü içerisinde fiziksel veya artalan bölgeleri içine alabilecek belirli sayıda rasgele şekilli bölgelerden oluşan görüntü alanlarıdır. Her bir bölge belirli video içeriğini içerisinde bulundurmaktadır. Bu nedenle video giriş içeriği MPEG-1 ve MPEG-2’de olduğu gibi dikdörtgen bir bölge olarak düşünülmemiştir. Video giriş ölçütleri ve pozisyonu zamanla değişebilen rasgele şekilli görüntü bölgelerinden oluşan alanlar VOP’ler olarak ele alınırlar.



Şekil 2.9 Video Nesnesinin Yapısı

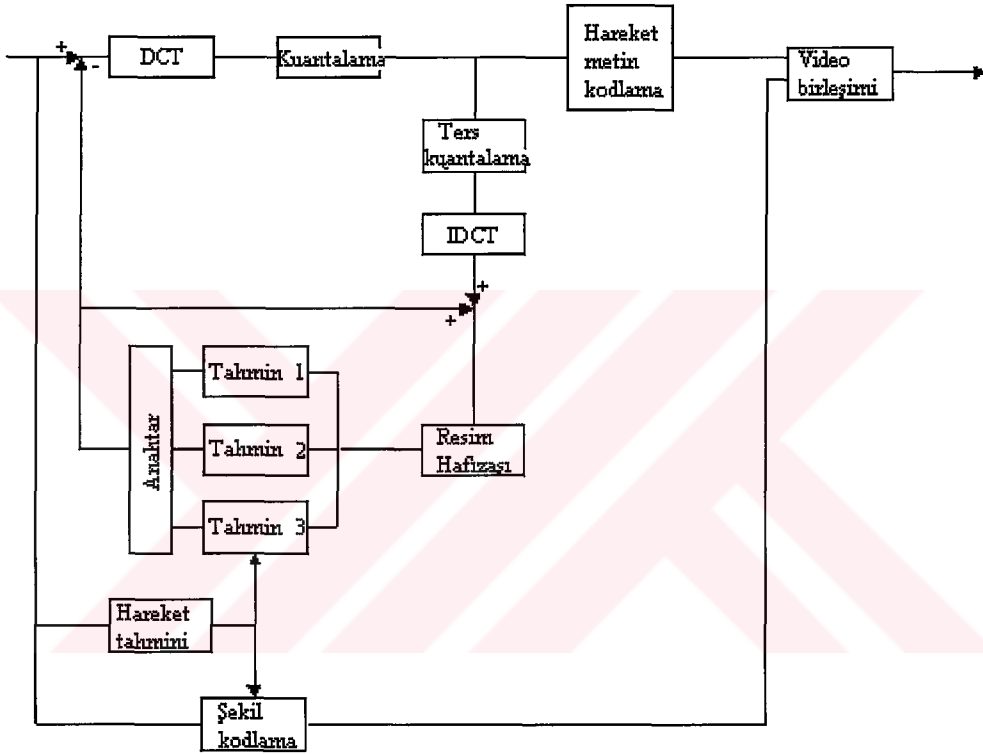
Bir sahnedeki aynı fiziksel nesneyi tanımlayan ya da o sahneye ait olan parçaya “video nesnesi(VO)” denmektedir. Bir video nesnesi iki veya daha fazla ölçeklenebilirlik katmanına sahip olabilir. Bu katmanlarda en düşük seviyedeki katman temel seviye, diğer katmanlar Video Nesne Katmanları(VOL) olarak bilinen üst katmanlardır. VOL’lar aynı VO’e ait VOP’lerin şekil, hareket ve metin bilgilerini içerirler. Ayrıca VOL’ler her bir VOP’i tanımaya yarayan ve VOP’lerin alıcıda tüm asıl görüntüyü oluşturmak için nasıl organize olacağına ilişkin bilgiler içermektedir. Bu yapıda kodlamayla VOP’lerin birbirinden ayrı kod-çözümleri mümkün olduğundan içerik tabanlı işlemlerin gerçekleşmesi için VOP ’deki video bilgisi yeterli olmaktadır. Bir anlamda videodaki diğer VOP’de kalan diğer VO’lerdeki video bilgilerine ihtiyaç duyulmaksızın çok daha hızlı kod-çözümü yapıp o içeriğe özel işlemler uygulamak mümkün olmaktadır. Bu ise diğer görüntü kodlama standartlarına göre MPEG-4’ün en farklı yönünü ortaya koymaktadır.

2.6.2.2 Her VOP için Şekil, Hareket ve Metin Bilgisinin Kodlanması

VO’lerin birbirinden ayrı kod-çözümünü sağlamak amacıyla, aynı VO’e ait VOP’lere ilişkin şekil, hareket ve metin bilgisi Şekil 2.7’de görüldüğü gibi farklı VOL seviyelerinde kodlanırlar. MPEG-4 kodlama planı dikdörtgen şekilli

görüntüler için MPEG-1 ve MPEG-2'ye benzer yapıdadır. Dikdörtgen şekilli görüntülerde VOP'in şekil bilgisi kod-çözücüye gönderilmez.

Şekil 2.10 'da MPEG-4 'de giriş video dizisinin kodlamasına ilişkin temel yaklaşım gösterilmiştir[10]. MPEG-4'deki kodlama algoritması dikdörtgen şekilli görüntüler dışında rasgele şekilli VOP görüntü dizilerini de kodlayabilmekte olup temel kodlama algoritması diğer MPEG standartlarına dayanmaktadır.



Şekil 2.10 Video Nesne Düzlemi Tabanlı Kodlayıcı Yapısı

Şekil 2.3 'de gösterildiği gibi MPEG-4 kodlama algoritması ilk VOP 'i çerçeve içi VOP kodlama modunda kodlar. Sonraki çerçeve VOP çerçeveler arası tahmin kullanılarak kodlanır. Çünkü bu durumda sadece en yakın çerçeve olan bir önceki çerçeveye ulaşlabilmektedir. Daha yüksek görüntü kalitesi elde edebilmek üzere MPEG-4 çift-yönlü kodlanan VOP 'leri de desteklemektedir¹⁵.

MPEG-4 algoritması VOP görüntü dizilerini işlerken diğer MPEG standartlarında olduğu gibi blok tabanlı yaklaşım kullanır. VOP'lere ait görüntü renk bilgisi

birbirleriyle örtüşmeyen makro bloklara ayrılmışlardır. Her bir makro blok 8x8 veya 16x16 piksellik bloklardan oluşup her piksel 4 parlaklık, 2 renk bloğundan oluşmaktadır. Bir VOP resmi gönderildiğinde bu VOP N-1 nci VOP olarak hem kodlayıcı hem de kod çözücüde saklanacaktır. Bu VOP hareket telafisi için kullanılacaktır. Hareket telafisi blok veya makro blok seviyesinde gerçekleştirilecek olup her bir blok veya makro blok için N nci ve N-1 nci VOP 'ler arasında yalnızca bir hareket vektörü oluşturulur. Hareket telafisinde yapılan tahminden doğan hata, N nci VOP 'deki blok veya makro bloklardaki herbir piksel ve etrafındaki piksellerin N-1 nci VOP 'de aynı makro bloktaki piksellerden farkının alınmasıyla hesaplanır. Ardından 8x8 veya 16x16 'lık piksel bloklarına ilişkin gerekli ek DCT katsayıları kuantalı olaak eklenirler. Kuantalama seviyeleri istenen hedef bit hızına göre her bir makro blok için ayarlanabilirler. Son olarak entropi kodlamayla veri sıkıştırılma işlemine katkı sağlanır.

VOP seviyesinde giriş görüntüsü rasgele şekilli ve pozisyonu referans çerçeveye göre zamanla değişmektedir. Kodlanacak her VOL referans çerçeveye göre tanımlanacaktır. Şekil 2.11'de bir referans çerçeve içerisinde şekil uyumlu makro bloklara ayrılmış bir VOP resmi gösterilmiştir.

Her bir makro blok VOP'in şekil, hareket tahmini ve telafisi, blok ve DCT tabanlı metin kodlama gibi bilgilerini içermektedir. Örnekte VOP çerçevesi 16 piksellik makro bloklardan oluşmaktadır.

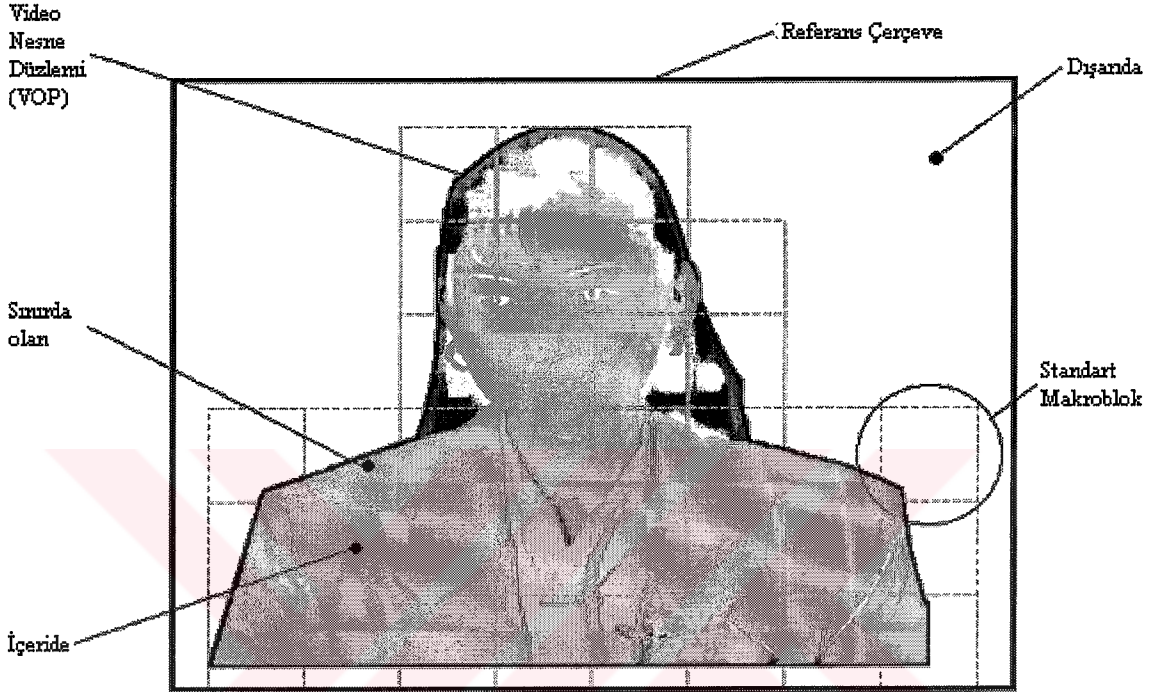
Şekil Kodlama :

MPEG-4'de VO'ler şekillerine ilişkin bilgileri de içermektedirler. Söz konusu şekil bilgisi iki formatta olabilmektedir:

- İkili (binary) Format : Piksel haritasından oluşup her bir piksel VO'in içinde olup olmadığına ilişkin bir değer tutmaktadır.
- Gri Skala Formatı : İkili formata benzerdir. Ancak piksel değeri 0-255 arasında değişebilmektedir. 0 değeri saydamlığı ifade ederken 255 pikselin netliğini ifade eder. 0 ile 255 arasındaki değerler ise ara saydamlığı ifade ederler.

¹⁵ Bkz. H.263 'ün anlatıldığı bölüm

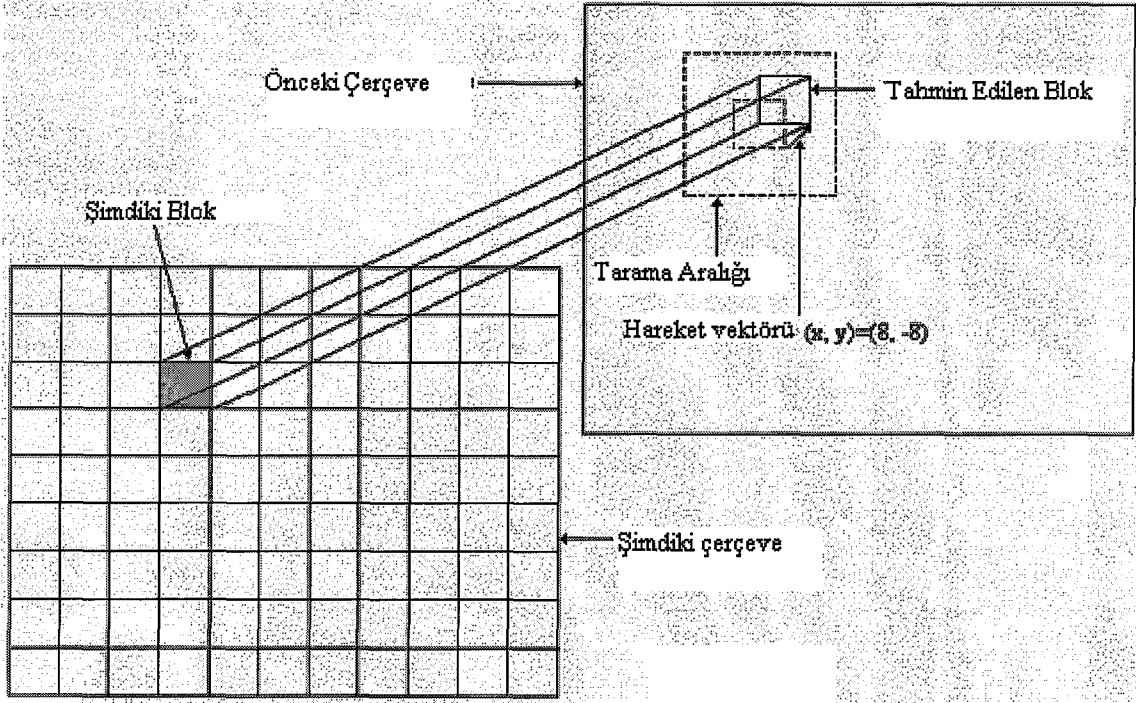
Şekil bilgisinin kodlanması VOP'in dikdörtgen bir kutu (referans çerçeve) içerisine alınıp, VOP' i çevreleyen bu dikdörtgenin ise şekil bloklarına bölünmesi adımlarıyla gerçekleştirilir. Her şekil bloğu nesnenin içerisinde, nesne sınırında veya nesnenin dışında (referans çerçevenin içinde) olabilecek biçimde sınıflandırılır.



Şekil 2.11 Makro bloklarına bölünmüş VOP resmi

Hareket Tahmini ve Telifisi:

MPEG-1, MPEG-2, H.261 ve H.263' te olduğu gibi, MPEG-4 farklı VOP 'lerde video bilgisine ilişkin benzerlikleri belirleyerek blok tabanlı hareket tahmini ve telifisi yönteminden yararlanmaktadır. Hareket tahmini ve telifisine ilişkin prensip Şekil 2.12'de gösterilmiştir. Burada hedef bir önceki VOP'de en çok benzerlik oluşturan bloğu bulmaktır. Her bir blok için bir hareket vektörü tahmin edilir ve bu vektör bir önceki bloğun VOP'de yer değişimini göstermektedir. Hareket telifili tahminde hata, anlık bloğun piksel değerlerinden tahmin edilen bloğun piksel değerlerinin çıkarılmasıyla elde edilir.



Şekil 2.12 Hareket Tahmini ve Telafisi

MPEG-4'te hareket tahmini ve telafisi VOP alanına dahil olmayan piksellerin çıkarılması yöntemini de beraberinde getirmiştir. Bu çıkarma yöntemi VOP dışındaki piksellerin VOP içerisindekilere dayalı tahminle gerçekleştirilir. Bu tekniğin sonucu Şekil 2.13'te görülebilmektedir.



Şekil 2.13 Görüntü Çıkarma Tekniği

Metin Kodlama :

Hatırlanacağı üzere hareket telafili tahminde hata, anlık bloğun piksel değerlerinden tahmin edilen bloğun piksel değerlerinin çıkarılmasıyla elde ediliyordu. Bu işlemin

ardından, tahmin edilen blok üzerinde metin kodlaması gerçekleştirilir. Kodlanmış hareket vektörü ve metin bilgisi ardından kod-çözücüye gönderilirler. Kod-çözücü o anki bloğu yeniden oluşturabilmek amacıyla, hareket vektörü yardımıyla kuantalı hata tahmin bloğunu tahmin edilen bloğa ekler.

2.6.2.3 Kodlama Verimliliği

MPEG-4 kodlama algoritması çok farklı bit hızları için yüksek bir kodlama verimliliği sunmaktadır. MPEG-4 'te yalnızca bir VOP'de bir nesne seviyesinde kodlama mümkün olabildiğinden, VOP giriş görüntü formatı ve MPEG-4 video kodlama algoritması H.263'e ve MPEG-1'e yakın bit hızlarını da desteklemekte ve kalite bakımından denk biçimde de kullanılabilir.

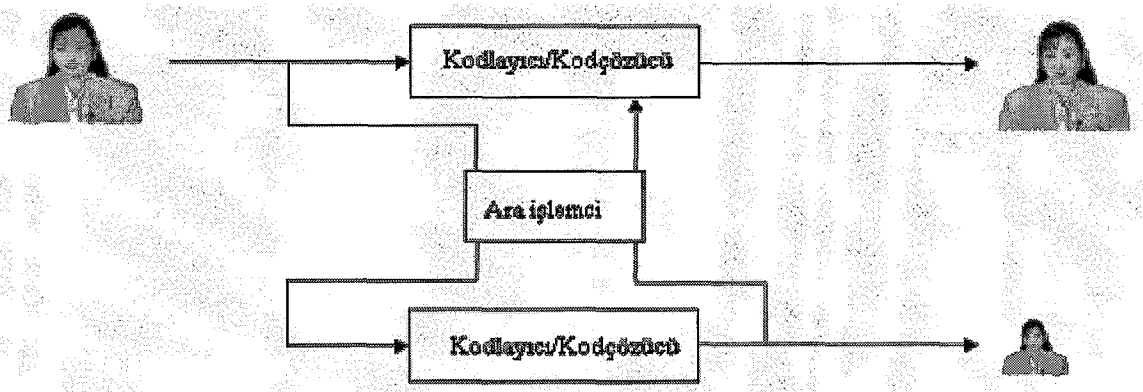
2.6.2.4 Video Nesnelerinin Ölçeklenebilir Kodlanması

MPEG-4 video fonksiyonlarının anlatıldığı alt başlıktan hatırlanacağı üzere; MPEG-4'teki anahtar fonksiyonların biri de video kodlama algoritmasının içerik tabanlı ölçekleme sağlamasıydı. Bu ise uç kullanıcıya farklı bant genişliği ve ekran seçeneklerine göre alternatifler sunmaktaydı. Böylece şebekenin imkan verdiği bant genişliği ve istek yapan kullanıcının ekran gereksinimlerine uygun olan kodlamayla video içeriklerinin istenen kaliteye ve mümkün olabilen bant genişliğine uygun video transferi mümkün olabilmektedir. MPEG-4'ün destek verdiği bir diğer nokta ise nesne tabanlı fonksiyonlara ilişkindir. Nene tabanlı fonksiyonlar rasgele şekilli VO'lerin kodlanmasına imkan vermektedir. Bu özellik rasgele şekilli VOP 'in kod-çözülmemesi ya da tam ekran olarak kod-çözülmesine ihtiyaç duyulmadığı durumda, daha düşük çözünürlük ya da kalitedeki VOP seviyesinin kod-çözülmesine imkan vermektedir. Ölçeklenebilir yapı düzlemsel ve geçice ölçekleme olarak ikiye ayrılmaktadır.

Düzlemsel Ölçekleme :

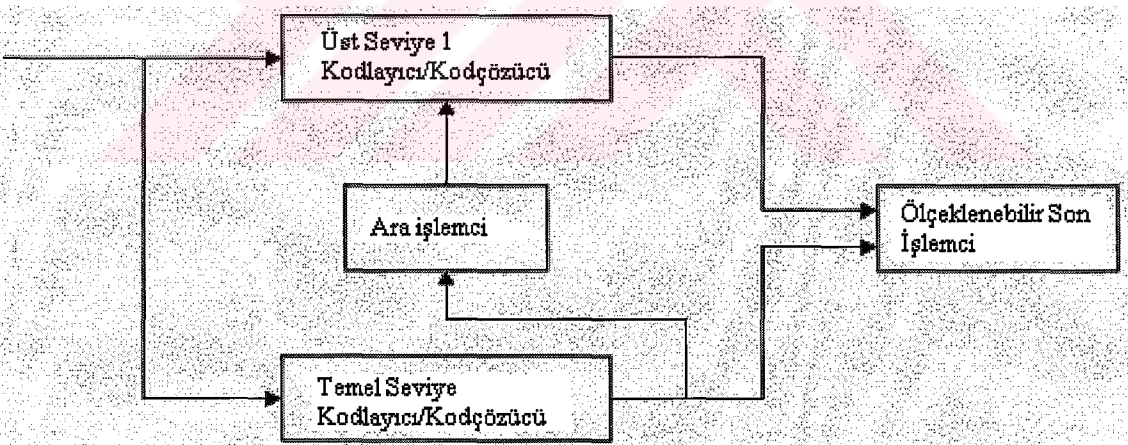
Şekil 2.14'te düzlemsel ölçekleme kavramı blok gösterim olarak ifade edilmiştir. Bu gösterimde girişlerinin "ara işlemci" tarafından aşağı ve yukarı yönlü örneklendiği iki seviye bulunmaktadır. Her bir seviye farklı düzlemsel çözünürlük ölçeğine sahip bir VOP üretmektedir. VOP'in düşük ölçeklenmiş versiyonu bit akış dizisinin temel

seviyesinde ve ölçeklenemez kodlama tekniğiyle kodlanır. Üst seviyedeki VOP ise ya P-VOP¹⁶ olarak ya da B-VOP¹⁷ olarak kodlanır.



Şekil 2.14 Düzlemsel Ölçekleme

Böylece uç kullanıcı tam çözünürlüklü üst seviye VOP ya da temel seviyeli VOP’i tercih ederek kod-çözümünü gerçekleştirebilir.



Şekil 2.15 Geçici Ölçekleme

¹⁶ Inter predicted-VOP.

¹⁷ Bi-directionally predicted VOP.

Geçici Ölçekleme :

Şekil 2.15’de geçici ölçekleme kavramı blok gösterim olarak ifade edilmiştir. Geçici ölçeklemede anlık çözünürlük değişimleriyle ölçekleme hedeflenmiştir. Üst seviye için seviye oluşumu alt seviyelere dayalı olarak geçici tahmine dayanmaktadır. MPEG-4 geçici ölçekleme aynı video dizisi içinde farklı VOL’lerde farklı görüntüleme hızlarını desteklemeye imkan vermektedir.

2.6.2.5 Hataya Duyarlı Ortamlarda Hata Esnekliği ve Dayanıklılığı

Daha önce bahsedildiği gibi MPEG-4 video bilgisine kablosuz şebekelerden erişebilmeyi verimli hale getirebilmek için hata esnekliği ve dayanıklılığı için yöntemler içermektedir. Hata esnekliği sağlayan araçlar MPEG-4’te üç farklı alana ayrılmışlardır: yeniden senkronizasyon, veri kurtarma ve hata gizleme. Bu kategorilerde kullanılan araçlar MPEG-4’e özgü olmasa da genel olarak video iletimi için geliştirilmişlerdir[10].

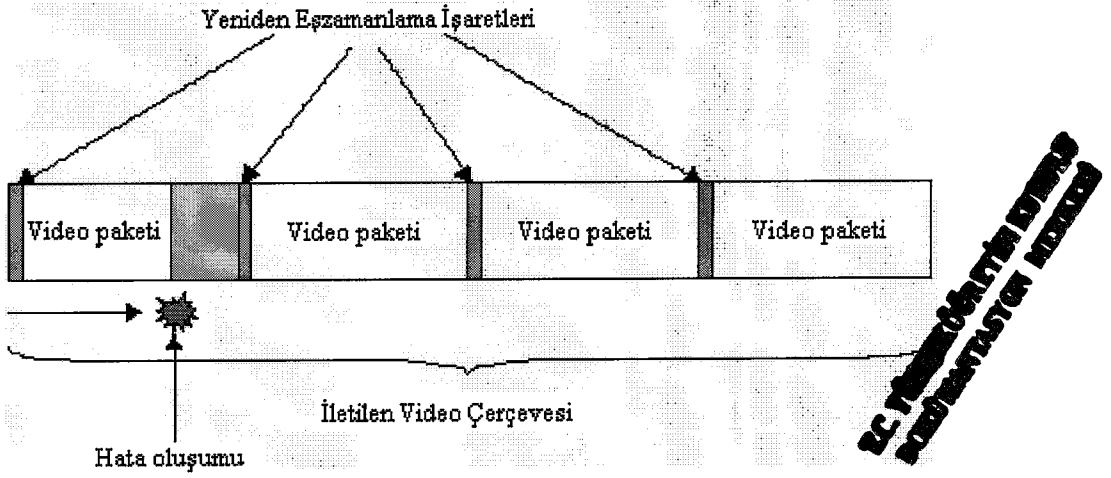
Yeniden Senkronizasyon :

Yeniden senkronizasyon araçları hataların tespit edilmesinin ardından yeniden video iletiminde eşzamanlılığı sağlamak amaçlı geliştirilirler. MPEG-4 ‘te uygulanan yeniden senkronizasyon, paket yaklaşımına dayalıdır ve her N (N rasgele bir tamsayı değeridir) bit aralıkta senkronizasyon sağlayıcı işaretlerin bit akış dizisine eklenmesiyle gerçekleştirilir. Yeniden senkronizasyonun uygulanmasıyla kod-çözücü düzeltemediği bir hata ile karşılaştığında bir sonraki senkronizasyon işaretine kadar ilerleyerek senkronizasyonu sağlayabilmektedir. Böylece senkronizasyon sağlanırken minimum miktarda veri kaybı olur. Şekil 2.16 bir video çerçevesindeki veri kaybını göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi hata oluşumundan sonraki verinin kaybolmasıyla neredeyse tüm çerçeve kaybedilmektedir.



Şekil 2.16 Normal Video Çerçevesinde Birçok Veri Kayboluyor

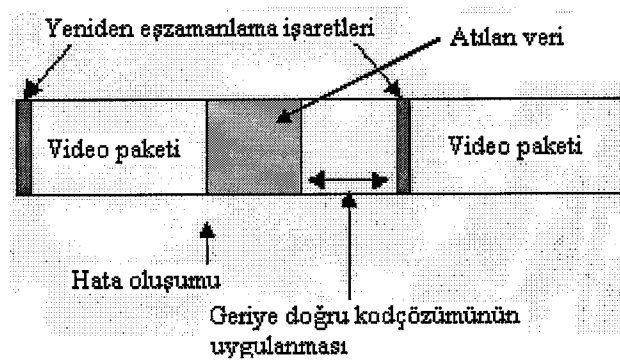
Senkronizasyon işaretleriyle çerçeve video paketlerine bölündüğünde video paketleri birbirinden bağımsız kodlandığından daha az miktarda veri kaybı oluşacaktır. Bu durum Şekil 2.17’de görülmektedir.



Şekil 2.17 Paketlere Bölünmüş Video Çerçevesi İçindeki Yeniden Senkronizasyon Sağlayan İşaretler

Veri Kurtarma :

Senkronizasyon yeniden sağlandıktan sonra veri kurtarma aracı devreye girer ve genellikle kaybolan veriyi kurtarmaya çalışır. Bu araçlar hata düzeltmeden ziyade kodlama aşamasında kodlamayı hataya daha esnek hale getirmeye dayanır. MPEG-4’ün sunduğu RVLC tekniğiyle değişken uzunluklu kod sözcükleri dizayn edilerek hata durumuna göre kod sözcükleri ayarlanabilmektedir.

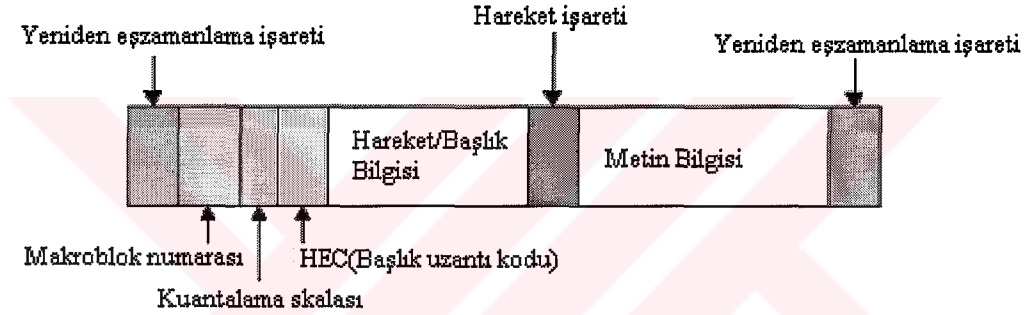


Şekil 2.18 RVLC Kullanım Örneği

RLVC kullanılmadığı durumda iletim sırasında bir hatanın video paketini bozması durumunda iki senkronizasyon işareti arasındaki tüm data kaybolacaktı. Şekil 2.18’de görüldüğü gibi RVLC ‘nin kullanılmasıyla verinin bir kısmı kurtarılabilecektir. Böylece hata esnekliği artırılacak ve sıkıştırma verimliliği düşürülmemiş olacaktır.

Hata gizleme :

Hata dayanıklılığı iyi olan bir kodlayıcının en önemli özelliklerinden biri de hata gizlemedir. Hata gizleme yeniden senkronizasyonun performansına bağlı olarak gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 2.19 Veri Parçalama

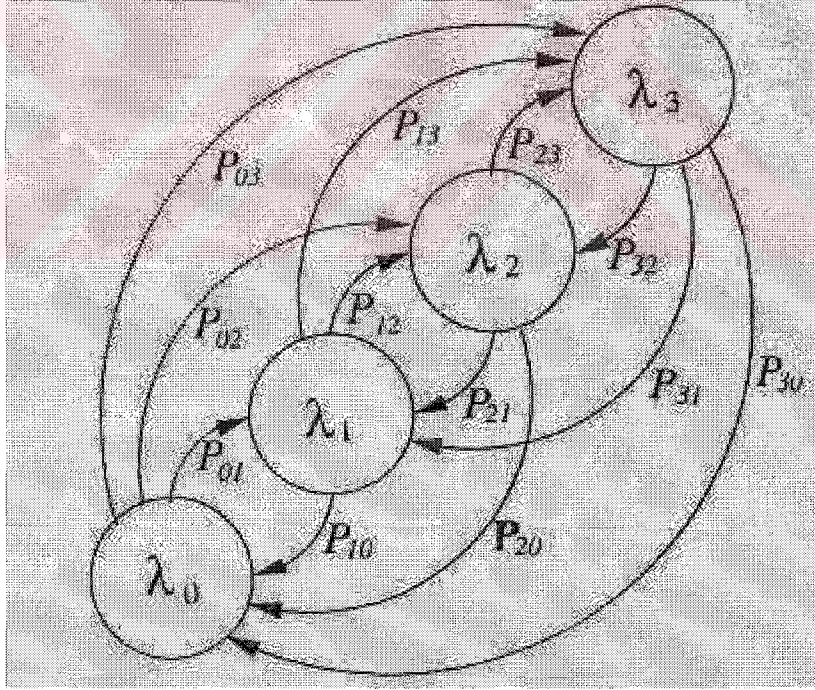
Hata gizleme yeteneğini iyileştirmek ve kod-çözücünün hataları ayırt edebilmesini sağlamak amacıyla “veri parçalama” yaklaşımı uygulanmaktadır¹⁸. Veri parçalama ile her bir video paketi içerisinde hareket ve başlık verisi metin verisinden araya ikinci bir eş zamanlama işareti eklenerek ayrılır. Bu işlemin yapıldığı, VOL seviyesinde kod-çözücüye bildirilir. Eğer bir hata oluşur ve metin bilgisi kaybedilecek olursa veri parçalama sayesinde metin bilgisi hareket bilgisi kullanılarak önceki VOP’dan tahmin edilerek elde edilir[11].

¹⁸ Veri akışının bu yöntemle kanallara ayrılmasıyla, veri akışının önemli bölümleri yüksek hata performanslı kanallardan, daha düşük önceliğe sahip veri ise düşük hata performanslı kanallardan iletilebilecektir.

3 H.263 ve MPEG-4 KODLU VIDEO İSTATİSTİK ÖZELLİKLERİ

3.1 Video Kaynak Modelleme

Video trafiğinin modellenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntem Markov modeli olarak bilinmektedir. Markov modeli ile bit hızı değişim ve salınımlarının birinci ve ikinci momentlerini yeterince modellemek mümkündür. Video dizilerinin belirgin özelliklerini modele dahil edebilmek modelin Markov zincirindeki durumlarını artırmakla mümkün olabilmektedir. Değişken bit hızlı kaynakları ve kaynakların bit hızı düzensizliklerini modellemede daha fazla durumlu Markov zinciri modelleri gerekmektedir.



Şekil 3.1 Dört Durumlu Markov Modeli Örneği

Markov Modüleli Poission Süreç'te anlık iletilen paket hızı, diğer bir deyişle paketlerin üretilme hızı, sürekli zamanlı ayrık durumlu Markov modelinin o anki bulunduğu duruma bağlıdır. Şekil 3.1'de her bir Markov durumu için paket üretim

hızı λ_i ve her bir durumda harcanan süre $1/r_i$ olarak gösterilmiştir. Paket üretim hızı λ_i i. durumundaki ortalama bit hızına orantılıdır. Durumlar arası geçiş olasılıkları ise P_{ij} olarak gösterilmiştir. Pratik bir video modelinde çerçeveler birbirini sabit bir çerçeve tekrarlama süresiyle izlemelidir. Bu ise her bir durumda harcanan $1/r_i$ sürenin sabit alınmasıyla sağlanır. Buda her bir video çerçevesinin sonunda Morkov durum geçişi gerçekleşeceği anlamına gelir. Durum geçişleri ilgili geçiş olasılıklarıyla karakterize edilmişlerdir. Her durum arası geçiş örnek olarak verilen Tablo 3.1 'deki gibi bir geçiş olasılıkları matrisine göre mümkün olmaktadır. Tablo 3.1'deki matris örnek niteliği taşımaktadır, gerçeğe yakın bir video modeli için genellikle modeller daha yüksek sayıda durumlar içeren yaklaşımlarla gerçekleştirilmelidirler.

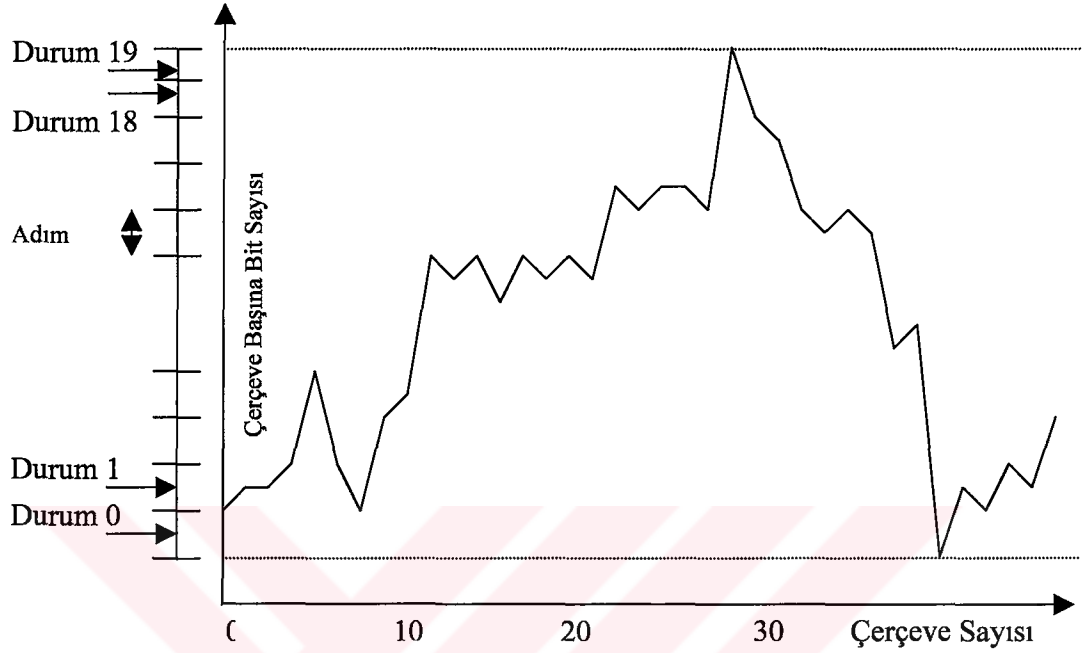
Tablo 3.1 Örnek Markov Durum Geçiş Olasılık Matrisi

0.000000	0.500000	0.250000	0.250000
0.333333	0.333333	0.333334	0.000000
0.000000	0.000000	0.666667	0.333333
0.100000	0.725000	0.075000	0.100000

Video kaynak modellemede ilk problem kaynağın bit hızı akışındaki değişimleri gerçeğe en yakın yakalayabilecek sayıda durumların seçilebilmesidir. Bunu analog işaretlerin örneklendiğinde tekrar oluşturulurken elde edilecek işaretin kalitesinin örnekleme hızına bağlı olmasına benzetebiliriz. Ancak Morkov durum sayısının çok fazla olması beraberinde geçiş olasılıkları matrisinin doğru biçimde oluşması için uzun öğrenme periyodu gerektirmektedir. Bu ise öğrenme periyodu tamamlanana kadar modele gerçekte olmadığı kadar bit hızı değişimlerini dahil edebilmektedir. Bu nedenle kısa süreli video dizilerinin modellemesinde yüksek sayıda durum seçilmesi hiç pratik olmayacaktır. Çünkü çok az sayıda durum arası geçişler oluşacaktır. Yapılan modellemeler sonucu ITU H.263 kodlayıcı/kod-çözücü için 20 durumlu Markov modeli oldukça uygun düşmektedir.

Şekil 3.2'de örnek olarak bir video dizisi için çerçeve bit hızı ölçeği 20 eşit parçaya bölünmüştür. Her bir çerçevenin bit olarak miktarı rasgele biçimde Poission dağılımına göre üretilerek deneyler yapıp belirlenen ölçekteki aralığa düşen çerçeve miktarlarına göre bir durum geçiş matrisi elde etmek mümkündür. Ancak bunun için

üretilecek video çerçeveleri için minimum ve maksimum çerçeve büyüklüğü (bit) belirlenmelidir. Pratikte modellenmek istenen video dizilerine ait kodlanmış video dizileri kullanılarak üretilecek olan Markov durum geçiş matrisi ile, kullanılan video dizilerinin özelliklerini taşıyan Markov modelleri elde etmiş oluruz.



Şekil 3.2 20 Durumlu Markov Modeline göre örnek Video Kaynak Hızı Değişimi

Çalışmada video dizilerinin benzer yöntemlerle modellenmesi yerine gerçek video dizilerinin kullanılması esas alınmıştır. Bundan sonraki bölümde ele alınacağı gibi video dizileri birinci ve ikinci momentleri açısından ve uzun süreli durağanlık bakımından bir birinden çok farklılıklar göstermektedirler. Bu nedenlerden dolayı, birinci bölümde değinilen farklı kodlama teknikleriyle hazırlanmış gerçek video dizileri ve istatistik özellikleri bu bölümde ayrıntılı biçimde ele alınacaktır.

3.2 MPEG-4 ve H.263 Video Özelliklerinin İstatistiksel Analizi

MPEG-4 ve H.263 ile kodlanan videoların gelecekteki kablolu ve kablosuz şebekelerdeki trafiğin büyük bir kısmını oluşturacağı öngörülmektedir. Literatürde MPEG-4 ve H.263 kodlu videoların istatistiksel analizi üzerinde yapılmış çok az çalışma mevcuttur. Yine aynı şekilde MPEG-4 ve H.263 trafiği kullanılarak gerçekleştirilmiş olan şebeke protokol ve kaynak yönetimi üzerine bir kaç çalışma

dışında gerçekleştirilmiş çalışma bulunmamaktadır. Bunun nedeni kısmen, elde MPEG-4 ve H.263 kodlu yeterli uzunlukta çerçeve büyüklük dizilerinin bulunmayışdır. Şu an birçok araştırma MPEG-1 kodlu video dizilerini [12],[13] kullanmaktadır.

3.2.1 Gerçek Videolardan Kodlama Yaklaşımı

Çalışmada kullanılan her bir video için YUV bilgisi video kaset çalar yardımıyla VHS'den yazılımla diske aktararak sıkıştırılmamış ham video bilgisi olan YUV bilgisi 25 çerçeve/sn'de QCIF formatında işlenmiştir[1]. Bu ise 176x144 resim elementli parlaklık çözünürlüğü ve 8 bitlik renk derinliğinde 4:1:1 renk örnekleme demektir(bkz Bölüm 2). QCIF formatının seçilmesinin nedeni kablosuz sistemlerde kullanılmak üzere video dizileri elde edilmeye çalışılıyor olması ve gelecek nesil el terminallerinin ekranlarının QCIF formatına uygun olacağının düşünülmesidir. VHS deki YUV bilgisinden istenen çözünürlükte ve formattaki video bilgisi elde etme işlemi yazılımda yapılan değişiklikle gerçekleştirilmektedir[14](ör. bttvgrab versiyon 0.15.10). Artık elde edilen yeni YUV video bilgisi MPEG-4 ve H.263 kodlayıcıya giriş olarak kullanılabilir.

3.3 MPEG-4 Video Dizileri

3.3.1 MPEG-4 Kodlama Yaklaşımı

Çalışmada kullanılan her bir video için YUV bilgisi MPEG-4'e MOMUSYS MPEG-4 [15] yazılımı ile MPEG-4 bit akış dizisine çevrilmiştir. Bu yazılım MPEG grup tarafından MPEG-4 standardının içine dahil edilmiştir. Üretilen MPEG-4 video dizileri için video nesne sayısı bir seçilmiştir. Bu ise tüm ekranın tek nesne olarak alınacağı anlamına gelir(bkz. Bölüm 2.6.1.1). Ekranın genişliği 176 , yüksekliği ise 144 piksel olacak şekilde seçilmiştir. Piksel derinliği ise 8 bit olarak seçilmiştir. Kodlamada hız kontrolü uygulanmamıştır. Tek video nesne seviyesinde kodlama yapılmış olup video nesne seviyesi hızı 25 ç/sn olarak belirlenmiştir. GoP¹⁹ blokları ise IBBPBBPBBPBB biçiminde uygulanmıştır. Her bir video üç farklı kalitede

¹⁹ Ardışık gelen resim grubu anlamında kullanılmıştır. (Group of Pictures)

üretmişlerdir: düşük, orta ve yüksek. Düşük kaliteli kodlamada kuantalama parametreleri I tipi (VOP) çerçeveler için 10, P için 14 ve B için 18 seçilmiştir. Orta kaliteli kodlamada kuantalama parametreleri tüm çerçeve tipi için 10'da sabitlenmiştir. Yüksek kaliteli kodlamada kuantalama parametreleri için tüm çerçeve tipi için ise 4'te sabitlenmiştir.

MOMUSYS MPEG-4 kodlayıcı en fazla 1000 video çerçeve uzunluklu segmentleri kodlayabilmektedir. Bu nedenle YUV çerçeve dizileri 960 çerçevelik (=80 GoP) bölümler halinde kodlanmışlardır. 80 GoP'luk segment kodlanırken 80 nci GoP'un B çerçevesi 80 nci GoP'un üçüncü P çerçevesinden ve 81nci GoP'un I çerçevesinden çift-yönlü olarak tahmin edilir(B çerçevesi olarak). Henüz 81 nci GoP bir sonraki 960 çerçeve grubunda olduğundan kodlanmadığı için 80 nci GoP'un son iki B çerçevesi kodlanamaz. Sonuç olarak üretilen 960 kodlu çerçevede iki B türü çerçeve eksik üreyecektir (video çalma zamanının 38.4 sn kadarı). Buna çare olarak gerçek olarak kodlanan her 958 çerçeve ardından iki B tipi çerçeve eklenmiştir. Eklenen B çerçevelerinin büyüklüğü 958 çerçeve içindeki B çerçevelerinin ortalama büyüklüğüne eşitlenir. Böylece MOMUSYS MPEG-4 yazılımından kaynaklanan bu kısıtlama ihmal edilebilir seviyeye getirilmiş olur.

Üretilen video çerçeve boyut dizisinde, dosya içerisinde her satır bir çerçeveyi göstermekte olup her satırda sırasıyla ASCII formatta Çerçeve numarası, Çerçeve tipi (I,B,P), Görüntüleme zamanı (msn) ve Çerçeve boyutu (bayt) bilgileri bulunmaktadır.

3.3.2 MPEG-4 Video Dizilerinin İstatistiksel Analizi

Bu bölümde üretilen MPEG-4 dizilerinin istatistiksel analizi üzerinde durulacaktır. Analizler için kullanılacak parametrelerden; N verilen video dizisi içindeki video çerçevesi sayısı, t çerçevenin görüntülenme zamanıdır. Üretilen tüm MPEG-4 video dizileri için yaklaşık olarak $N = 90,000$ ve $t = 40$ msn olup bu ise yaklaşık 60 dakikalık video çalma zamanı demektir. X_n , $n = 1, \dots, N$, çerçeve n 'deki bit sayısı olup çerçevenin çerçeve boyutunu ifade eder. G, GoP başına çerçeve sayısı olsun. Y_m , $m = 1, \dots, N/G$ GoP, m 'deki bit sayısını gösterebilir. Bu durumda $Y_m = \sum_{n=(m-1)G+1}^{mG} X_n$ olarak ifade edilebilir. Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'de üretilen MPEG-4 video dizilerinin istatistiksel özellikleri verilmiştir. Ortalama ve değişim

katsayılarının açıklamaları ve formülleri Ek A’da belirtilmişlerdir. Sıkıştırma Oranı tüm sıkıştırılmamış YUV bilgisinin (bit olarak) büyüklüğünün MPEG-4’te sıkıştırılmış video bilgisine (bit olarak) oranına eşittir.

Tablo 3.2 MPEG-4 Video Dizilerinin Çerçeve Bazlı İstatistikleri

Kalite	Video dizisi	sıkış.oranı YUV/MPEG	Çerçeve büyüklüğü			Bit hızı	
			ort. $\bar{X}$ [pixel]	Ort. $\bar{S}_{xy}$ [bit]	en yük.ort. $X_{max}/\bar{X}$	ort. $\bar{X}/N$ [Mbps]	en yük. X_{max}/N [Mbps]
Yüksek	Jurassic Park I	1002	3.8	0.53	4.57	0.77	3.3
	Silence of the Lambs	1003	3.9	0.60	7.70	0.58	4.4
	Star Wars IV	97.62	1.4	0.52	4.81	0.58	1.9
	Mr. Bean	13006	3.9	0.62	3.34	0.53	3.1
	First Contact	23.11	1.5	0.73	7.09	0.59	2.5
	From Dark To Light	11.16	3.4	0.53	4.22	0.68	2.1
	The piano	24.53	1.5	0.75	6.09	0.51	2.1
	Formula 1	54.10	4.2	0.43	3.43	0.54	2.8
	Soccer	687	3.5	0.41	3.34	1.10	3.6
	ARM News	10.52	3.6	0.70	4.72	0.72	2.4
Orta	ARM Trak	13.85	3.7	0.63	3.72	0.54	3.1
	NP Tide	11.76	2.3	0.69	4.17	0.53	3.4
	Çaylak-Çam	16.16	3.6	1.09	4.20	0.40	2.0
	Jurassic Park I	23.4	1.3	0.84	6.36	0.27	1.7
	Silence of the Lambs	34.43	0.85	1.31	13.6	0.18	2.4
Düşük	Star Wars IV	97.62	0.99	1.17	12.1	0.09	0.04
	Mr. Bean	41.34	0.62	0.97	3.33	0.13	1.5
	First Contact	71.56	0.51	1.02	11.03	0.11	1.3
	Formula 1	23.11	1.50	0.61	4.89	0.23	1.4
	Çaylak-Çam	63.13	0.55	0.37	4.39	0.11	1.0
	Jurassic Park I	49.46	0.77	1.39	10.61	0.15	1.6
	Silence of the Lambs	72.01	0.53	1.55	21.39	0.11	2.3
	Star Wars IV	142.72	0.57	1.08	17.57	0.023	0.14
	Mr. Bean	64.60	0.57	1.55	13.33	0.11	1.5
	First Contact	110.94	0.34	1.50	17.03	0.023	1.3
	Formula 1	41.51	0.97	1.12	3.95	0.17	1.4
	Çaylak-Çam	34.29	0.15	0.37	11.43	0.09	1.0

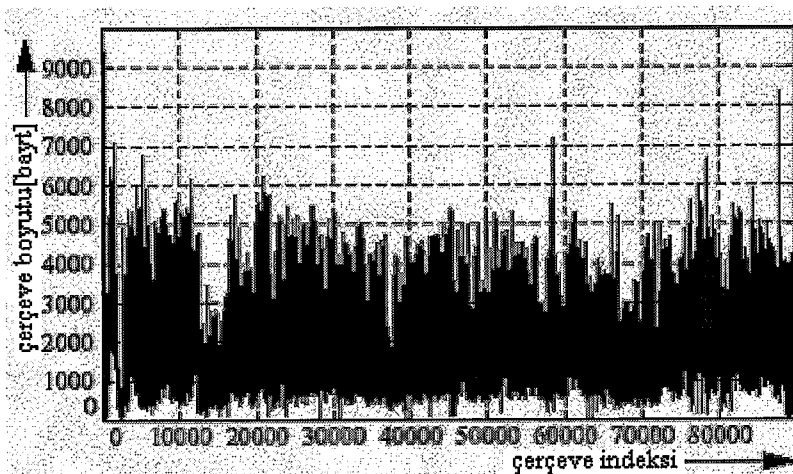
Farklı kalite seviyesindeki kodlamaları karşılaştırdınca beklendiği gibi düşük kaliteli kodlamalar yüksek sıkıştırma oranına sahiptirler. İlginç olan nokta ise bu yüksek sıkıştırma oranlarının bedeli karşımıza kodlanmış video dizisindeki yüksek değişkenlik olarak çıkmaktadır. Burada değişkenlikle çerçeve boyutlarındaki (bit) değişim ifade edilmektedir. Tablolardan *Star Wars IV* ve *First Contact* film videoları için diğerlerine oranla yüksek kalitede dahi yüksek sıkıştırma oranı elde edilebilmiştir. Bunun sebebi filmlerde uzun süreli olarak arka görüntünün koyu siyah ve değişmeyen (“low contrast”) olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan *Formula 1* ve *Soccer* videoları göreceli olarak düşük sıkıştırma oranlarıyla kodlanabilmişlerdir. Bu videolar hızlı hareket eden küçük nesneler içerdiklerinden kodlanan çerçeve boyutlarının ortalama boyutları yüksek olmakta ve “En Yüksek/Ortalama” (Peak/Mean) çerçeve boyut oranları göreceli olarak düşük olmaktadır.

Tablo 3.3 MPEG-4 Video Dizilerinin GoP Bazlı İstatistikleri

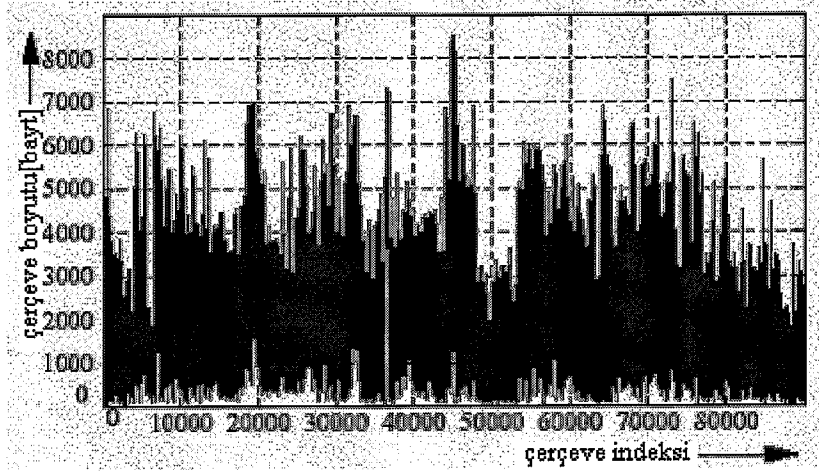
Kalite	Video dizisi	GoP değerleri			Bit hızı		
		ort. F_{GoP} [kbit/s]	en düşük S_{GoP} [kbit/s]	en yüksek Y_{GoP} [kbit/s]	ort. $F_{GoP}/MBps$	en düşük $S_{GoP}/MBps$	en yüksek $Y_{GoP}/MBps$
Yüksek	Jurassic Park I	48	0.27	3.15	0.77	0.27	3.15
	Silence of the Lambs	35	0.71	3.39	0.58	0.71	3.39
	Star Wars IV	17	0.58	4.29	0.58	0.58	4.29
	Mr. Bean	35	0.58	3.73	0.58	0.58	3.73
	First Client	30	0.58	3.42	0.58	0.58	3.42
	From Earth To Moon	41	0.58	3.40	0.58	0.58	3.40
	The Firm	19	0.58	4.60	0.58	0.58	4.60
	Formula 1	50	0.58	3.40	0.58	0.58	3.40
	Shower	25	0.58	3.72	1.10	0.58	3.72
	ANN News	48	0.58	3.00	0.72	0.58	3.00
	ANN Talk	30	0.58	3.40	0.58	0.58	3.40
	NY Talk	33	0.58	3.18	0.58	0.58	3.18
Orta	Office-Clara	31	0.58	1.74	0.40	0.40	1.74
	Jurassic Park I	10	0.27	3.03	0.27	0.27	3.03
	Silence of the Lambs	11.0	0.58	10.07	0.18	0.18	10.07
	Star Wars IV	4.7	0.58	3.39	0.08	0.08	3.39
	Mr. Bean	11.0	0.58	3.14	0.18	0.18	3.14
	First Client	6.5	0.58	3.71	0.11	0.11	3.71
Düşük	Formula 1	17.0	0.58	3.36	0.29	0.29	3.36
	Office-Clara	6.7	0.14	3.11	0.11	0.11	3.11
	Jurassic Park I	9.20	0.58	4.01	0.15	0.15	4.01
	Silence of the Lambs	2.30	0.22	10.48	0.11	0.11	10.48
	Star Wars IV	9.20	0.58	3.31	0.08	0.08	3.31
	Mr. Bean	2.9	0.58	3.08	0.11	0.11	3.08

Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'deki çerçeve ve GoP istatistiklerinin karşılaştırılmasından, videoların GoP boyunca (video zamanının 0.48 sn kadarı) değişimlerinin (çerçeve boyutundaki) azaltılması video dizisindeki değişkenlik ve maksimum hızları azaltmada etkili olmaktadır.

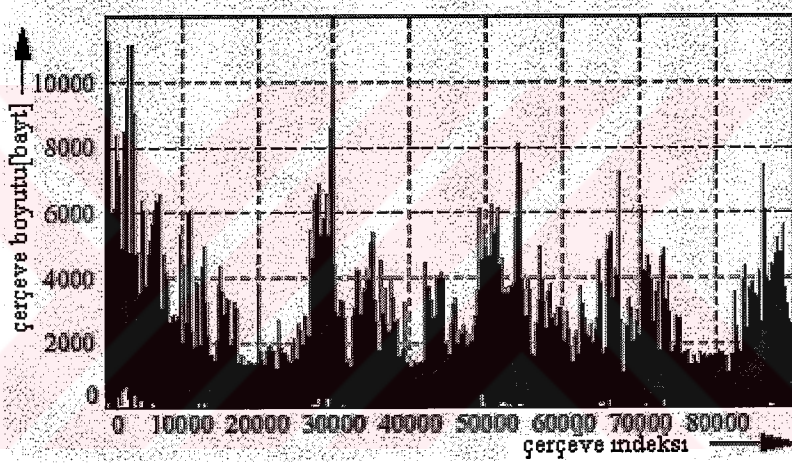
Aşağıda üç MPEG-4 video dizileri için istatistiksel analizler incelenecektir: (a) Yüksek kalitede kodlanmış *Star Wars IV* ,(b) Orta kalitede kodlanmış *Jurassic Park I* ,ve (c) Düşük kalitede kodlanmış olan *Silence of the Lambs*. Şekil 3.3 çerçeve boyut dizisi X_n (byte)'i çerçeve sayısı n 'e göre ifade etmektedir.



(a) Yüksek Kalitede Kodlu Star Wars IV



(b) Orta Kalitede Kodlu Jurassic Park I



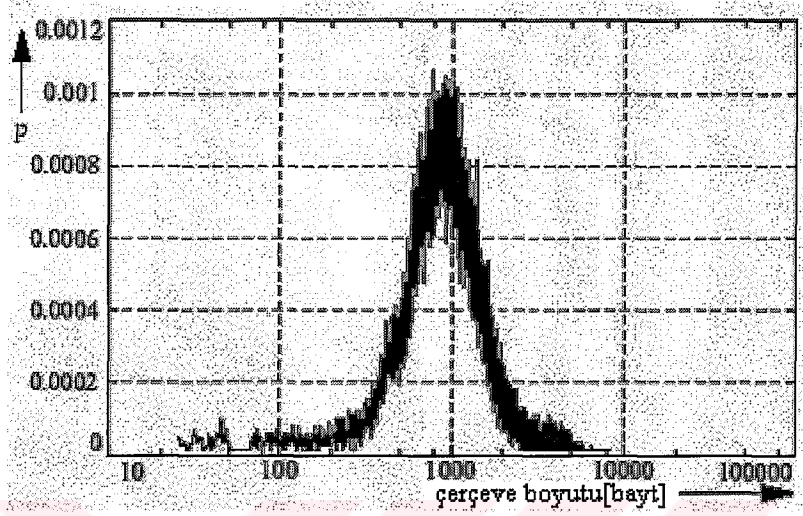
(c) Düşük Kalitede Kodlu Silence of the Lambs

Şekil 3.3 MPEG-4 Çerçeve Boyut Dizileri

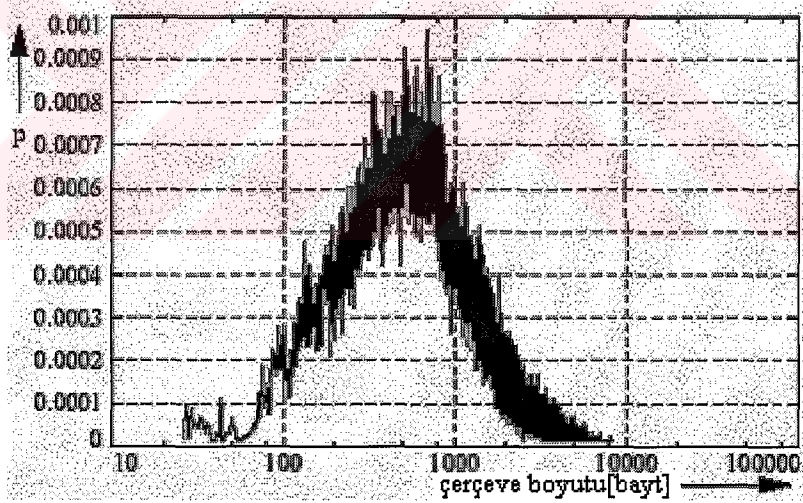
Grafiklerden Star Wars IV'ün göreceli olarak daha az değişken olduğu görülmekte. Diğer taraftan düşük kalitede kodlanan Silence of the Lambs, çerçeve boyutunda oldukça fazla değişim göstermektedir.

Şekil 3.4'te çerçeve boyutları X_n 'in her hangi değerde bulunma dağılımları görülmektedir. Daha farklı bir ifadeyle Şekil 3.3'teki videolar için çerçeve boyutlarının hangi aralıklarda yığıldığının bir göstergesidir. Şekil 3.4'ten çıkarılan sonuç yine düşük kalitede kodlama (yüksek sıkıştırma oranı) kodlanmış videoda daha fazla değişkenliğe neden olmaktadır. Örneğin düşük kalitede kodlu Silence of the Lambs videosunda 60 bayt'lık çerçeve boyutları civarında bir aralık oluşumu

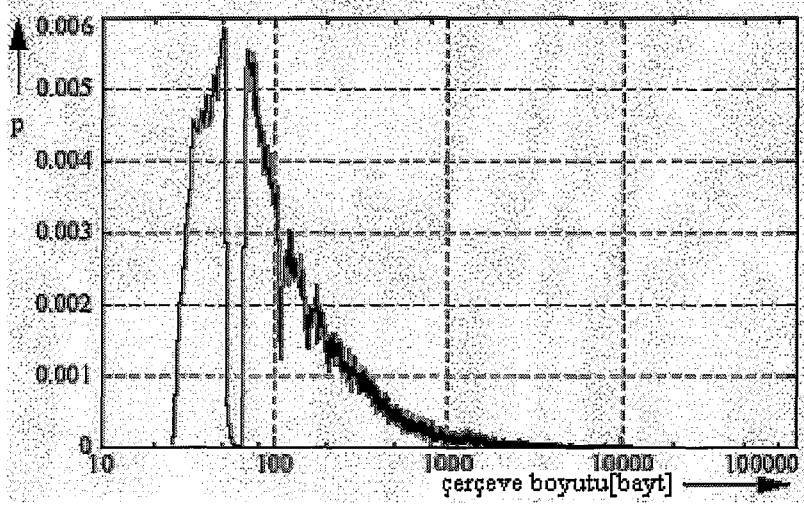
gözlennmektedir. Bu bakımdan sıkıştırma oranlarının yüksek olabileceği MPEG-4 kodlu video dizilerinin, çerçeve boyut dağılımının modellenmesinin zorluğu ortaya çıkmaktadır.(bkz. Bölüm 3.1)



(a) Yüksek Kalitede Kodlu Star Wars IV



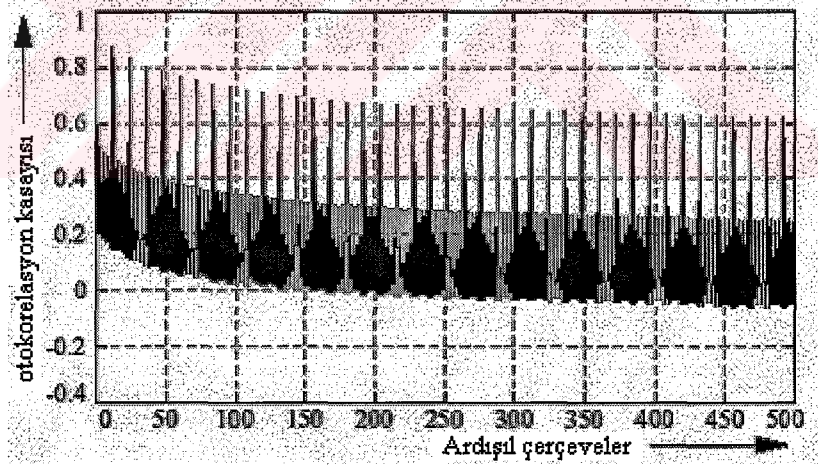
(b) Orta Kalitede Kodlu Jurassic Park I



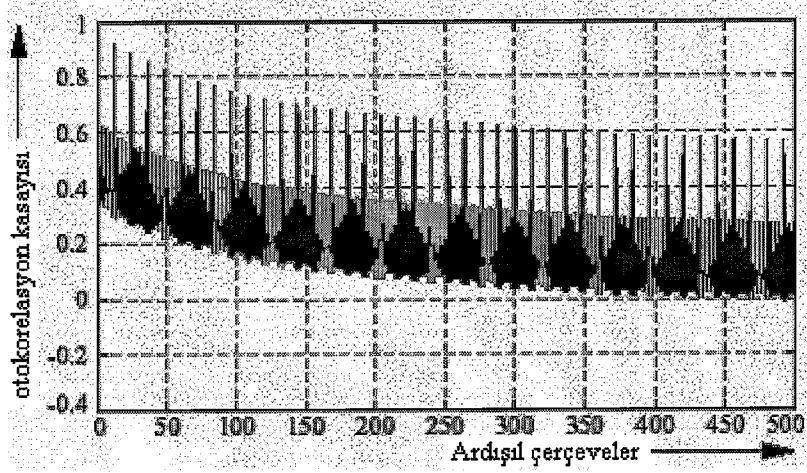
(c) Düşük Kalitede Kodlu Silence of the Lambs

Şekil 3.4 MPEG-4 Çerçeve Boyut Dağılımları

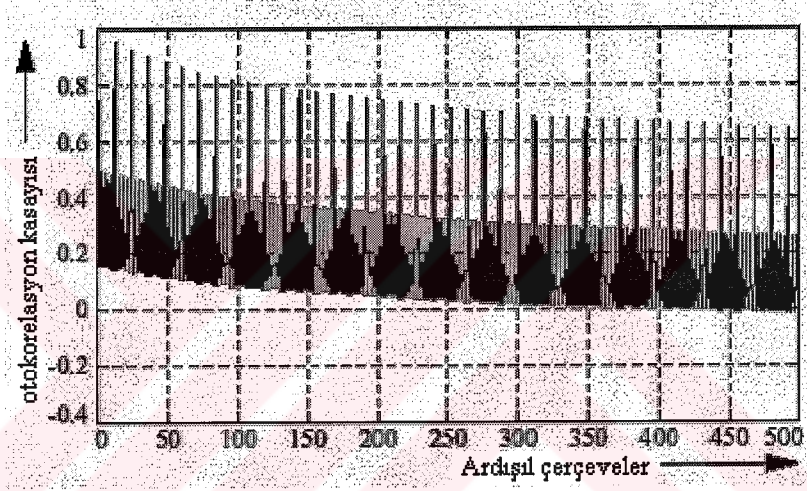
Şekil 3.5'te X_n , $n = 1, \dots, N$ çerçeve boyut dizisi için otokorelasyon katsayısı $\rho_x(k)$ 'nın bir biri ardına gelen çerçevelere göre (lag k) değişimi gösterilmiştir.



(a) Yüksek Kalitede Kodlu Star Wars IV



(b) Orta Kalitede Kodlu Jurassic Park I



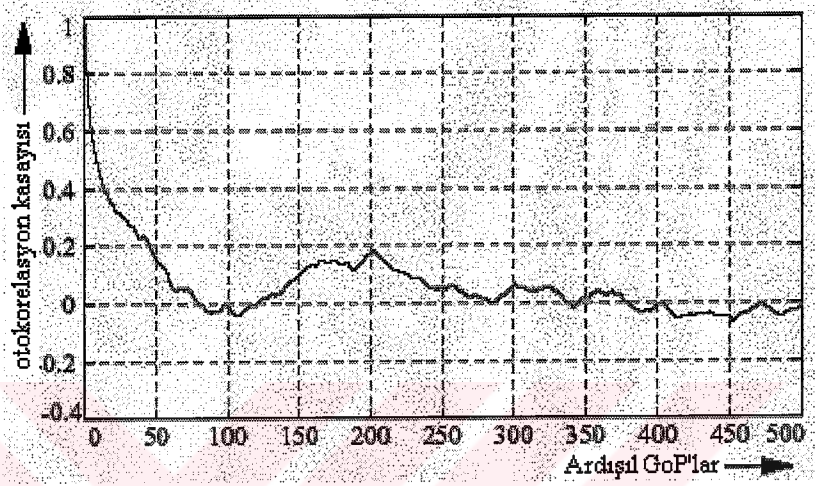
(c) Düşük Kalitede Kodlu Silence of the Lambs

Şekil 3.5 MPEG-4 Çerçeve Boyut Dizileri Otokorelasyonu

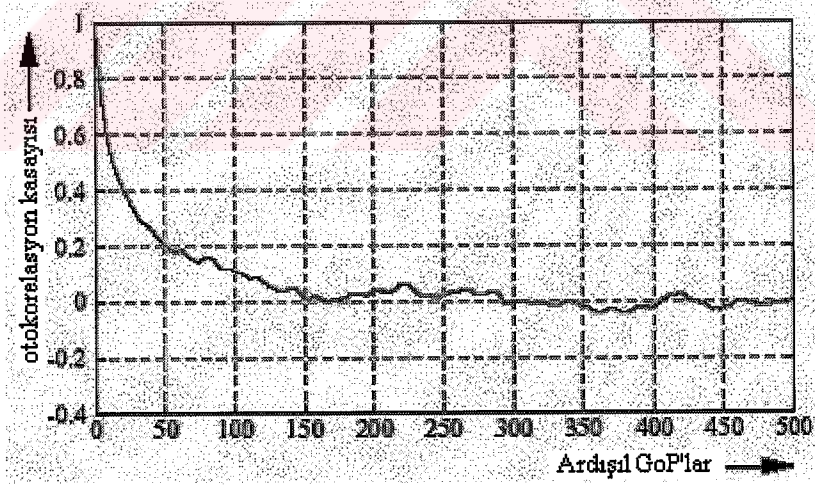
Çerçeve boyut korelasyonu azalan korelasyon eğimine uyan periyodik sıçramalar göstermektedir. Bu sıçramalar tekrarlayan GoP'ları göstermektedir. Yüksek değerdeki pozitif değer GoP'daki I tipi çerçeveleri (genel olarak yüksek boyutlu) gösterirken I çerçeveyi takip eden iki küçük negatif değer B tipi çerçeveleri (genel olarak küçük boyutlu) göstermektedir. Sonraki P tipi çerçeve (genel olarak orta boyutlu) nedeniyle küçük pozitif sıçramalar görülmektedir. Azalan eğim ise kodlanan videodaki uzun süreli korelasyonun karakteristiğini ortaya koymaktadır.

Uzun süreli korelasyonları daha açıkça görebilmek için Şekil 3.6'da Y_m , $m = 1, \dots, N/G$ GoP boyut dizilerinin bir biri ardına gelen GoP'lara göre (lag k) otokorelasyon $\rho_x(k)$ değişimi gösterilmiştir. Şekilden orta kalitede kodlu Jurassic Park I

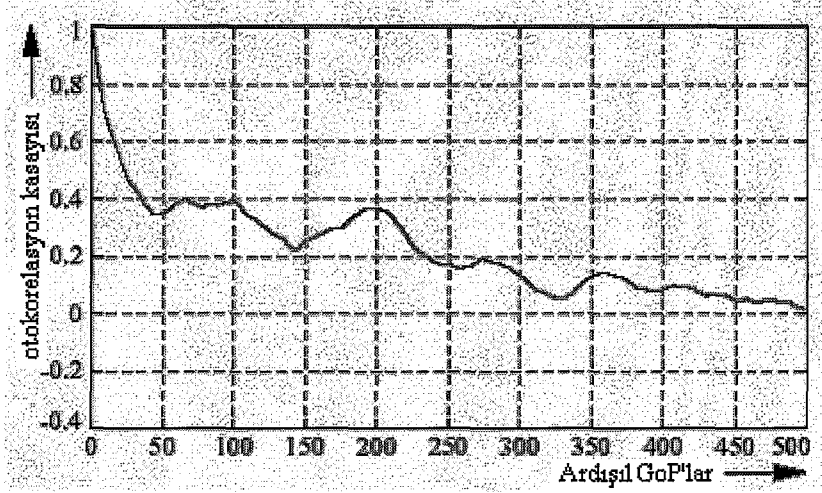
otokorelasyon fonksiyonunun üstel olarak sertçe azaldığı görülmektedir. Buda GoP'larda boyut sürecinin hafızasız gerçekleştiğinin göstergesidir. Diğer iki eğri üstel bir fonksiyondan daha az bir azalma göstermektedir. GoP otokorelasyonundaki yavaş azalma düşük kalitede kodlu Silence of the Lambs için 230 GoP'a kadar (yaklaşık 110 sn) kabaca 0,2 otokorelasyon katsayısı vermektedir.



(a) Yüksek Kalitede Kodlu Star Wars IV



(b) Orta Kalitede Kodlu Jurassic Park I



(c) Düşük Kalitede Kodlu Silence of the Lambs

Şekil 3.6 MPEG-4 GoP Boyut Dizileri Otokorelasyonu

3.4 H.263 Video Dizileri

3.4.1 H.263 Kodlama Yaklaşımı

H.263 video kaynak kodlama algoritmasının [7,17,18] temel yapısı birinci bölümde değinildiği gibi ITU-T H.261 [16] standardından uyarlanmıştır. Algoritmada ana süreçleri sıralayacak olursak;

- Resimler arası benzerlikleri çıkarmak amaçlı tahmin çerçevelerinin (I çerçeveleri) kodlanması.
- Düzlemsel benzerliklerden yararlanarak gerçekleştirilen Ayrık Kosinüs Dönüşümü (DCT) uygulayarak görüntü içinde çerçeveler arası tahmin edilemeyen kalan bilginin kodlanması.
- Ayrık Kosinüs Dönüşümü ile elde edilen dönüşüm katsayılarının değerlerinin istenen görüntü kalitesi oranında kuantalanması.
- Elde edilen sembollerin değişken uzunluklu kod sözcükleriyle iletilmesi.

Yine birinci bölümde ayrıntılı olarak değinildiği gibi çerçeveler arası tahmin işleminin gerçekleştirilebilmesi amacıyla her video çerçevesi makro bloklara ayrılmakta ve her makro bloğa ilişkin hareket vektörleri de kodlanarak

iletilmekteydi. Sıkıştırılmış video akış dizisinin bit hızı kodlayıcının kuantalama aralıkları ve çerçeve hızı gibi parametrelerinin ayarlanmasıyla sağlanmaktadır.

H.263 dört farklı gelişmiş kodlama seçenekleri sunmaktadır . Bunlar:

- Sınırsız hareket vektörü uygulaması
- Geliştirilmiş tahmin
- Çerçeveler arası tahmini geliştirme amaçlı PB çerçevelerinin kullanımı
- DCT katsayılarının kodlanması işleminin değişken uzunluklu kodlar yerine daha verimli olan aritmetik kodlamayla gerçekleştirilmesi.

olarak dört seçenekten oluşur [7,17,18]. Bu dört özellik video kodlayıcı karmaşıklığını artırması bedeline karşın video kalitesini yükseltmektedir.

Sınırsız Hareket Vektörü uygulanması seçeneği hareket vektörlerinin video çerçevesinin dışını referans göstermesine imkan verir. Böyle makro bloklarda tahmin için kullanılan çerçeve dışındaki pikseller kullanılmayıp sınır pikseller işlenirler. Böylece, özellikle görüntüde görüntü sınırlarına yakın hareketler oluşuyor ve çerçeve formatı küçük ise daha verimli sıkıştırma gerçekleştirilmektedir.

Geliştirilmiş tahmin seçeneğinin uygulanmasında, hareket tahmini ile oluşturulan makro bloklarda çakışmalar oluştuğunda çakışan bölümdaki pikseller çakışan bloklardaki piksellerin ortalamasından elde edilirler. Böylece kod-çözülen çerçevelerdeki yapaylık ortadan kaldırılarak algılanan görüntüde iyileşme sağlanmış olmaktadır.

PB çerçevelerinin kullanımı bit hızını yükseltmeksizin çerçeve hızının yükseltilmesini sağlamaktadır. PB çerçeveler tek bir bütün olarak kodlanmış ardışık iki çerçeveden oluşmaktadır. Bir PB çerçevede bir önceki çerçeveden tahmin edilen P çerçeve ile birlikte bir önceki ve PB çerçevenin parçası olan P çerçeveden çift yönlü tahmin edilen B çerçevesi yer almaktadır. PB çerçevenin kod-çözümlemede yeniden elde edilmesi tamamlandığında ilk olarak B çerçevesi görüntülendikten sonra P çerçevesi görüntülenir.

3.4.2 H.263 Video Dizilerinin İstatistiksel Analizi

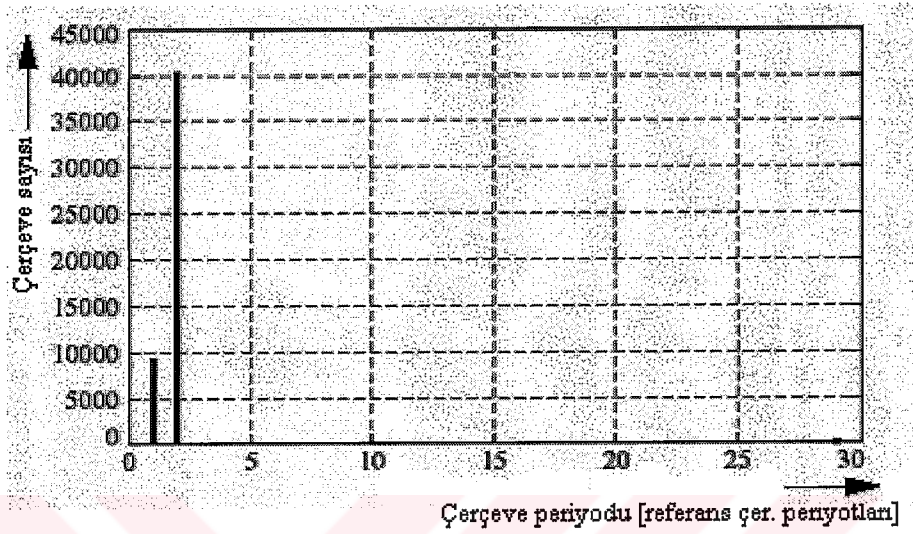
Bu bölümde çalışmada kullanılan H.263 video dizilerinin istatistiksel analizi üzerinde durulacaktır. N video dizisindeki çerçeve sayısı, X_n , $n=1,..., N$ n. çerçevedeki bit sayısı (çerçeve büyüklüğü) olmak üzere t_n , $n=1,..., N$ n. çerçevenin çerçeve periyodunu (milisaniye olarak görüntülenme zamanını) göstermektedir. T_n , $n=1,..., N$ ise $(T_n = \sum_{k=1}^n t_k, T_0 = 0)$ n. çerçeve dahil olmak üzere toplam görüntü süresini göstermektedir. Çalışmada kullanılacak video dizilerine ilişkin dosyalar çerçeve sayısı (n), toplam görüntü zamanı (T_n), çerçeve türü (I,P veya PB) ve çerçeve boyutunu (X_n) içermektedirler. Tablo 3.4'te *Silence of The Lambs* videosunun H.263 video dizisi dosyasının 256kb/sn hedef hızında kodlanmış ilk on satırlık (ilk on çerçeve) bölümü gösterilmiştir.

Tablo 3.4 256kb/sn Hedef Hızında Kodlu Silence of The Lambs Video Çerçeve Boyut Dizisi dosyasının ilk on satırı

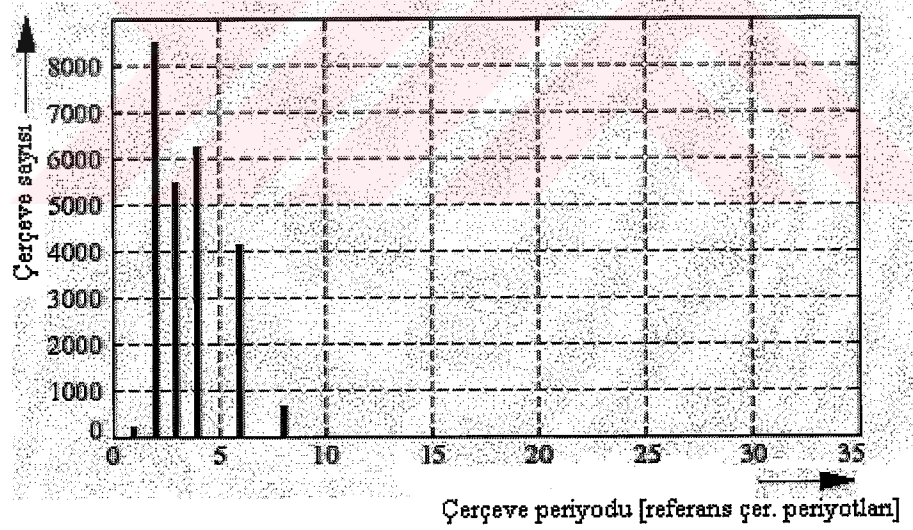
0	I	12539
360	P	3981
600	PB	6203
760	PB	5884
1000	PB	6749
1160	PB	6425
1400	PB	7849
1640	PB	5840
1800	PB	6183
2040	PB	7052

Video dizisinin çerçeve zamanlarını ve boyutlarını gösteren dosyadan anlaşıldığı üzere T_n H.263 kodlayıcının temel çerçeve periyodu olan $\Delta = 40ms$ 'nin katları biçiminde artmaktadır. Ancak dikkat edilecek olursa bazı çerçeveler istenen hedef bit hızını gerçeklemek üzere atlanmışlardır [18]. Bu ise değişken çerçeve periyotlarına sebep olmaktadır. Şekil 3.7'de üç H.263 video dizisi için çerçeve periyotlarının olasılık ağırlık dağılımları $P(t_n = l\Delta), l=1,2,...$, verilmiştir. Şekilde ilişkin video dizisinde hangi çerçeve periyodunda kaç tane çerçeve bulunduğu gösterilmektedir. Grafiklerden görüldüğü gibi düşük bit hızlarında daha uzun çerçeve periyotları

gerekmektedir. Diğer bir deyişle daha fazla çerçeve atlanmaktadır. Diğer taraftan Değişken Bit Hızlı (VBR²⁰) kodlamada herhangi bir hedef hız konmadığından H.263 kodlayıcı normal olarak çerçeveleri atlamadan kodlamaktadır.

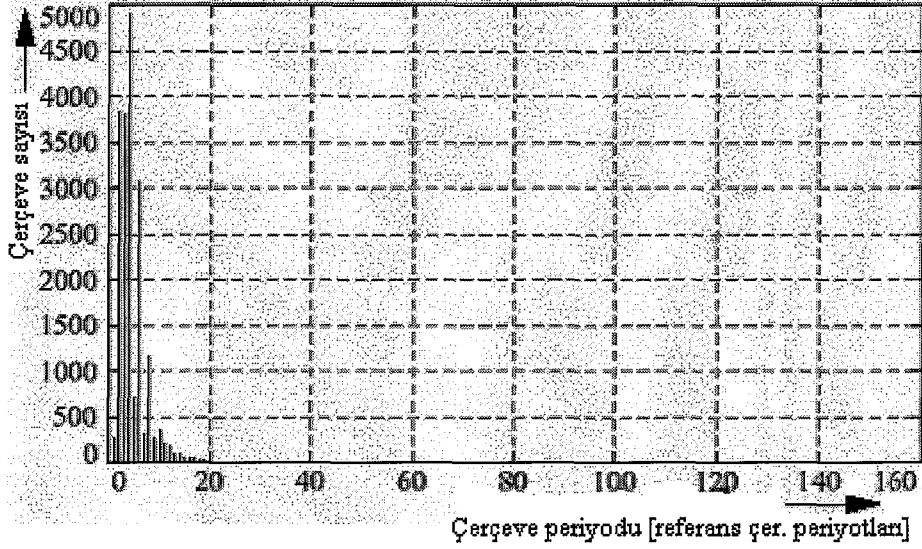


(a) Hedef Hızı Konmayan Star Wars IV



(b) 256kb/s Hedef Hızlı Jurassic Park I

²⁰ VBR (Variable Bit Rate) türü kodlama H.263 kodlayıcı çıkışında herhangi bir bit hızı sınırı konmaksızın yapılan kodlamaya denir.



(c) 16kb/s Hedef Hızlı Silence of the Lambs

Şekil 3.7 H.263 Video Dizilerinin Olasılık Ağırlık Fonksiyonları

Bununla birlikte Şekil 3.7(a)) dan görüldüğü üzere kodlanan çerçevelerin çoğunun çerçeve periyodunun 2Δ olduğu görülmekte. Bunun nedeni ise kodlayıcının çoğunlukla iki ardışık çerçeveden oluşan PB türü çerçeveler kodluyor olmasıdır. Kodlayıcı çıkışında çerçeveler atlanmadığı sürece PB türü çerçeveler arasındaki süre 2Δ kadar olacaktır. Ancak kod-çözücüde B türü çerçeve ilk olarak Δ periyodunda görüntülenip diğer periyotta P türü çerçeve görüntülenecektir.

Tablo 3.5'te birçok video dizileri için çerçeve boyutu X_n 'in istatistikleri verilmiştir. Öncelikle belirtmek gerekir ki H.263'te kodlayıcı çıkışında hedef bit hızında çıkış elde edilmeye çalışılmaktadır. Verilen istatistiklerde sıkıştırılmamış YUV bilgisinin bit hızı $38,016 \text{ bayt/çerçeve} \times 25 \text{ çerçeve/sn} = 950,4 \text{ kb/s}$ değerindedir. Hatırlanacağı üzere sıkıştırma oranı tüm kodlanmamış YUV çerçevelerinin toplam boyutunun kodlayıcıdan çıkan kodlanmış video çerçevelerinin boyutlarının toplamına oranı olarak ifade edilmekteydi. Göz önünde bulundurulması gereken bir nokta da H.263 kodlayıcının çerçeveleri kodlamadan atlayabileceği veya iki ardışık çerçeveyi PB türü çerçeve olarak kodlayabileceğidir. O nedenle kodlanan çerçevelerin sayısının YUV çerçevelerinin sayısından küçük olması normaldir.

Herhangi video için aynı hedef bit hızlarında kodlayıcı çıkışı isteniyorsa H.263 kodlayıcı aynı sıkıştırma oranını her video için uygulamaya çalışacaktır.

Tablo 3.5 Çerçeve Boyut Dizisi İstatistikleri

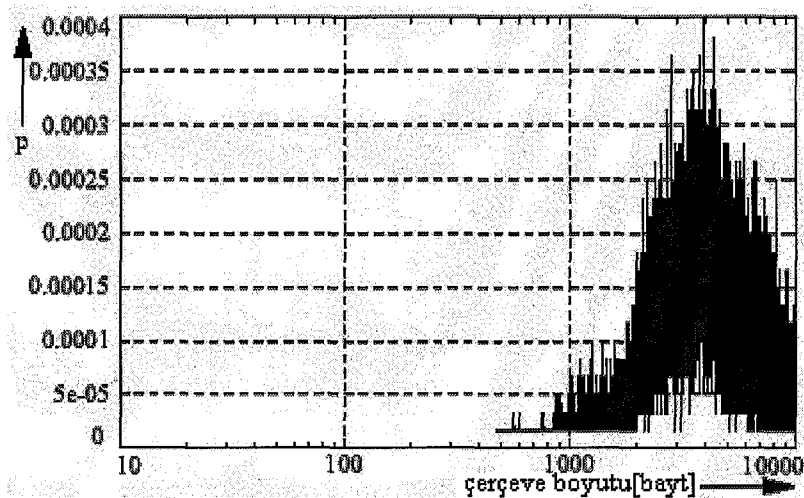
Bit hızı	Video dizisi	sıkış oranı YUV:HL2:53	ort. $\bar{X}$ [byte]	CoV $S_x/\bar{X}$	en yük./ort. $X_{max}/\bar{X}$
16 kbps	Jurassic Park I	476.38	476.38	0.87	30.88
	Silence of the Lambs	476.43	399.85	0.87	33.90
	Star Wars IV	476.43	398.02	0.81	11.32
	Mr. Bean	476.38	402.41	0.63	8.11
	First Contact	476.37	318.36	0.64	11.44
	From Dust Till Dawn	476.30	448.91	0.68	13.24
	The Firm	476.40	393.47	0.62	11.89
	Formula 1	476.07	518.23	0.59	4.90
	Soccer	476.30	654.56	0.60	7.10
	ARD News	476.88	442.47	0.63	4.90
	ARD Talk	476.20	340.87	0.61	11.28
	NT Talk	476.45	393.86	0.65	12.08
	Office-Gum	476.30	452.12	0.81	11.48
64 kbps	Jurassic Park I	118.98	1132.62	0.38	7.88
	Silence of the Lambs	118.95	1129.94	0.41	11.10
	Star Wars IV	118.95	1133.22	0.43	7.11
	Mr. Bean	118.95	1116.90	0.40	3.90
	First Contact	118.95	1093.94	0.46	5.33
	From Dust Till Dawn	118.95	1096.87	0.42	5.82
	The Firm	118.95	1188.73	0.35	3.53
	Formula 1	118.92	882.65	0.28	5.60
	Soccer	118.94	903.26	0.37	6.13
	ARD News	118.88	1293.72	0.38	3.74
	ARD Talk	118.94	1238.00	0.35	3.53
	NT Talk	118.95	1145.44	0.39	4.24
	Office-Gum	118.94	1534.89	0.12	3.32
256 kbps	Jurassic Park I	29.73	4533.67	0.25	2.61
	Silence of the Lambs	29.73	4433.81	0.26	5.00
	Star Wars IV	29.73	4593.53	0.23	3.58
	Mr. Bean	29.73	4434.93	0.37	2.25
	First Contact	29.73	4420.28	0.26	2.47
	From Dust Till Dawn	29.73	4183.71	0.29	3.00
	The Firm	29.73	4690.20	0.23	1.94
	Formula 1	29.72	3431.94	0.34	3.23
	Soccer	29.73	3337.87	0.37	3.23
	ARD News	29.70	4878.85	0.26	2.13
	ARD Talk	29.73	5032.38	0.34	2.04
	NT Talk	29.73	4546.89	0.28	3.87
	Office-Gum	29.73	6139.40	0.11	1.87
VBR	Jurassic Park I	17.08	3993.31	0.64	4.63
	Silence of the Lambs	25.18	2703.46	0.59	10.27
	Star Wars IV	65.79	1048.21	0.66	8.58
	Mr. Bean	25.00	2892.61	0.60	6.09
	First Contact	44.64	1512.82	0.78	7.68
	From Dust Till Dawn	19.30	3378.48	0.68	4.81
	The Firm	67.17	1241.80	0.80	7.39
	Formula 1	14.25	3836.30	0.47	3.69
	Soccer	10.18	6333.62	0.60	4.05
	ARD News	20.17	3442.46	0.77	4.45
	ARD Talk	20.70	3374.17	0.65	5.59
	NT Talk	27.96	2545.62	0.87	5.48
	Office-Gum	34.01	908.78	0.38	5.74

Hatta belirli bir hedef bit hızı için kodlanan tüm videoların bit hızları aynı ancak ortalama çerçeve boyutları farklı olacaktır. Örneğin 16 kb/s hedef hızı için, Soccer isimli videonun ortalama çerçeve boyutu 655 bayt iken Silence of the Lambs videosunda bu değer 370 bayt'tır. Kodlayıcı istenen hedef bit hızını

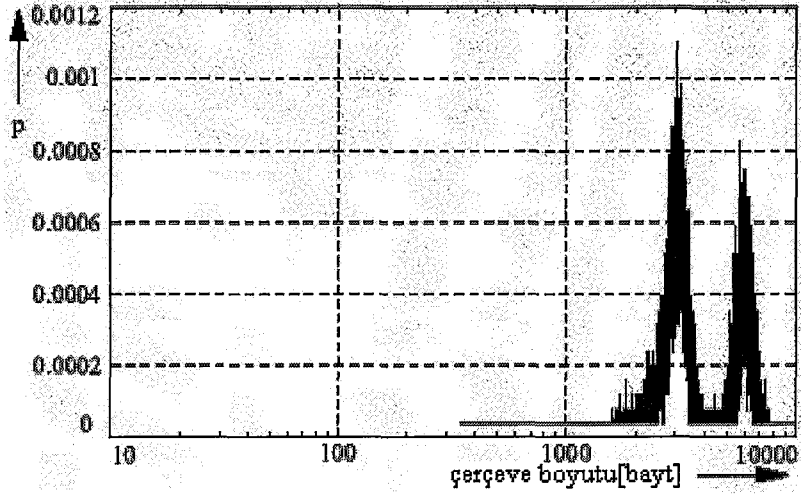
gerçekleyebilmek amacıyla ortalama çerçeve boyutu daha büyük olan Soccer videosundan daha fazla sayıda çerçeveyi atarak bu çerçeveleri göz ardı etmektedir.

256 kb/s hedef hızlı video dizileriyle VBR kodlu dizileri karşılaştırdığımızda bazı VBR kodlu video dizilerinin 256 kb/sn hedef hızlı video dizilerinden daha yüksek sıkıştırma oranına sahip oldukları görülmektedir. Örneğin Star Wars IV için VBR kodlu video dizisinde sıkıştırma oranı 65 iken 256 kb/sn hedef hızlı video dizisinde bu değerin 29,7 olduğu görülmektedir. VBR kodlamasının daha verimli bir kodlama olmasının yanında çerçeve boyutlarının değişkenliğinin fazla olması ise bir olumsuzluk teşkil etmektedir. Ancak önemli olan bir nokta da değişken çerçeve periyotlu olan H.263 kodlamada çerçeve boyutları video dizisinin istatistiğinin bir boyutunu oluşturmaktadır. Doğru karşılaştırmanın yapılabilmesi için çerçeve boyutlarının ilişkin çerçeve periyotlarıyla birlikte göz önünde tutulması gerekir. Örneğin VBR kodlamadaki büyük boyutlu çerçeveler şayet uzun çerçeve periyoduyla birlikte kodlanıyorsa bit hızında yükselme uzun çerçeve periyodu sayesinde telafi edilmiş olur. Ancak VBR kodlamada bu durum sınırlı video dizileri için olmaktadır.

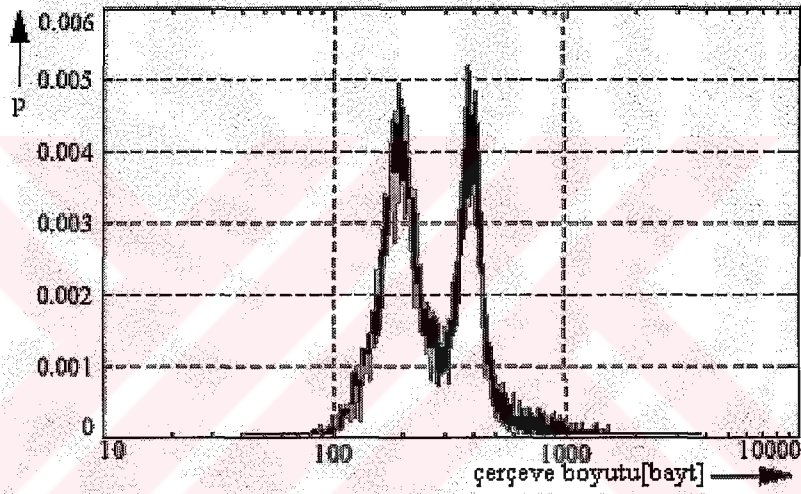
Şekil 3.8’de üç video dizisi için çerçeve boyutu X_n ’in her hangi değerinde bulunma dağılımları görülmektedir. 256 kb/sn hedef hızlı Jurassic Park I video dizisinin çerçeve boyutlarının iki ayrı tepecik oluşturduğu görülmektedir. Bunun nedeni kodlayıcının P çerçeveleri ortalama 3 kbayt büyüklüğünde, PB çerçeveleri ise 6 kbayt büyüklüğünde kodluyor olmasından kaynaklanmaktadır. Benzer gözlem 16 kb/sn hedef hızlı kodlanan Silence of the Lambs video dizisi için de gözlenmektedir.



(a) Hedef Hızı Konmayan Star Wars IV



(b) 256kb/s Hedef Hızlı Jurassic Park I



(c) 16kb/s Hedef Hızlı Silence of the Lambs

Şekil 3.8 H.263 Çerçeve Boyut Dağılımları

H.263 video dizisi içindeki korelasyonları ve uzun süreli video karakteristiklerini görebilmeyi kolaylaştırması açısından, her H.263 çerçeve boyut dizisi için X_n ve çerçeve periyodu t_n 'in baz alındığı iki farklı yaklaşım ele alınacaktır. İlk olarak kodlayıcının ürettiği X_n çerçeve boyut dizisine kodlayıcının attığı çerçeveler için sıfırlar eklemek yoluyla elde edilen “eklemeli (stuffed)” çerçeve boyut dizisi F_m , $m = 1, \dots, T_N / \Delta$ 'i, ikinci olarak ta hız dizisi olarak tanımlanan $r(t)$, $0 \leq t \leq T_N$ ifade edilmektedir. Hız dizisinde X_n çerçeve büyüklüğünün, çerçeve periyodu t_n süresince sabit akış hızı X_n / t_n ile iletildiği düşünülmektedir ($r(t) = X_n / t_n$). $r(t)$ 'nin

değeri çerçeve periyodu Δ 'nın tam sayı katlarında değişmektedir. O nedenle örneklenmiş hız dizisi

$$R_m = r(mx\Delta), m = 1, \dots, T_N / \Delta \quad (3.1)$$

olarak ifade edilebilir.

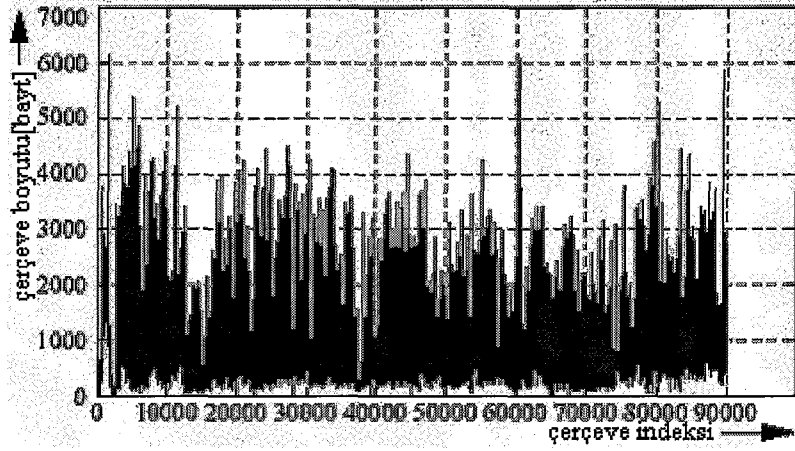
Tanımlanan bu iki kriter bazında aşağıda çerçeve boyut dizisi ($F_m, m = 1, \dots, T_N / \Delta$) ve hız dizisi ($R_m, m = 1, \dots, T_N / \Delta$) için istatistiksel özellikler incelenecektir. İlk olarak Tablo 3.6'te verilen "eklemeli çerçeve boyut dizisi" ve "örneklenmiş hız dizisi" istatistikleri belirtilmiştir.

Hedef hızla kodlanan video dizilerinden görüldüğü üzere çerçeve periyodunca sabit hızla iletilmesi kodlayıcı çıkışındaki değişkenliği oldukça düşürmektedir. Bunun nedeni bazı oldukça büyük boyutlu çerçevelere ilişkin çerçeve periyodunun da uzun olmasıdır. Bunun yanında hedef değerde kodlanan videolarda hız dizisinin Tepe Değer/Ortalama oranları genellikle beş ve daha büyük değerler almakta. Diğer tarafta VBR kodlu videolarda hız dizisindeki değişkenlik çerçeve boyutlarındaki değişkenlikten daha büyüktür. Ayrıca "eklemeli çerçeve boyut dizisi" istatistiklerinden düşük hedef hızlı video dizilerinde çerçeve periyodu boyunca çerçevenin sabit hızla iletilmesi kodlayıcı çıkışını oldukça değişken hale getirmektedir.

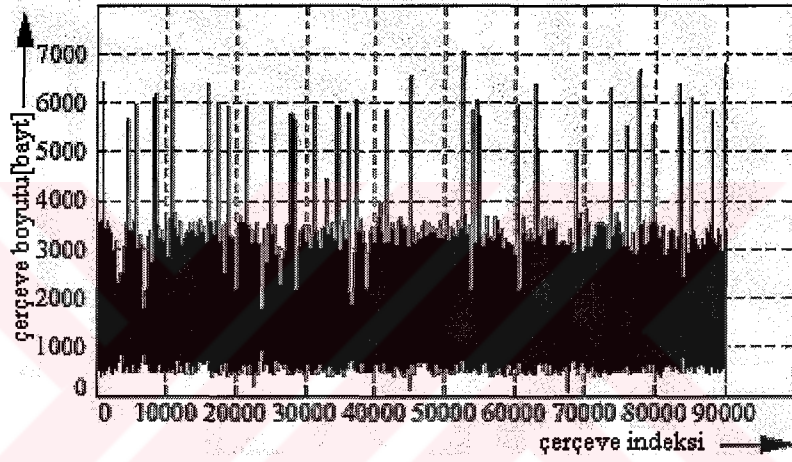
Yukarıda ima edildiği gibi bazı VBR kodlu video dizileri, 256 kb/sn hedef hızda kodlu video dizilerinden oldukça düşük ortalama bit hızlarına sahiptirler (ör. Star Wars IV). Ancak daha etkili olan VBR kodlama neticesinde kodlayıcı çıkışında değişken bit hızları oluşmaktadır. VBR kodlamada kodlayıcı video kalitesini düşürmeksizin karmaşık manzaraları kodladığından yüksek çıkış hızları oluşturmaktadır. Ancak belirtmekte yarar var ki bu çalışmada kullanılan kodlanmış H.263 video dizilerinin istatistiksel özelliklerinde farklı videolardaki göreceli video kalitesi detaylı ele alınmamaktadır. O nedenle belirli hedef hızları için farklı videolar için farklı görüntü kalitesi oluşması göz önüne alınmış bir durumdur.

Tablo 3.6 “Eklemeli” çerçeve boyut dizisi ve örneklenmiş hız dizisi istatistikleri.

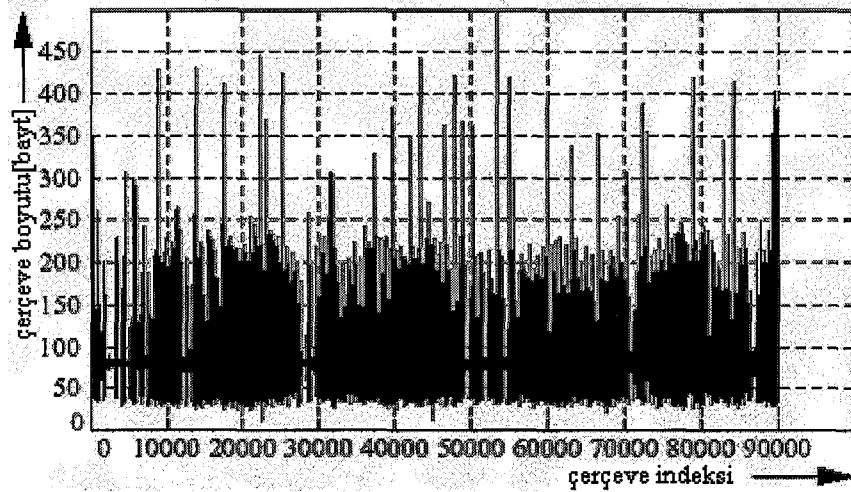
Bölge	Yer	“Saf” Hızlar			Örneklenmiş Hızlar		
		Ortalama F [km/s]	CoV S _r /F	Peak/Ortalama F _{max} /F	Ortalama A [m/s ²]	CoV S _a /A	Peak/Ortalama A _{max} /A
38 Bölge	Jumucka Parkı I	70.81	2.48	111.88	18	0.35	5.8
	Shence of the Jumein	70.80	2.38	187.14	18	0.37	8.3
	Star Wars IV	70.81	2.15	48.34	18	0.42	8.1
	Mr. Jume	70.80	2.46	48.91	18	0.34	8.1
	First Cleveland	70.81	2.15	45.68	18	0.4	5.8
	From Dark The Jume	70.82	2.68	74.48	18	0.3	8.1
	The Jume	70.82	2.68	74.48	18	0.3	8.1
	Starucka I	70.80	2.78	80.58	18	0.31	4.8
	Stoner	70.82	2.18	88.88	18	0.17	4.8
	ARR Jume	70.82	2.68	88.88	18	0.37	4.8
	ARR Takt	70.82	2.68	48.88	18	0.41	5.7
	NY Takt	70.78	2.18	88.88	18	0.38	5.8
	Office-Cum	70.82	2.68	88.88	18	0.44	5.3
64 Bölge	Jumucka Parkı I	318.58	1.78	27.88	64	0.42	5.7
	Shence of the Jumein	318.60	1.77	38.38	64	0.42	5.7
	Star Wars IV	318.62	1.81	25.88	64	0.45	5.2
	Mr. Jume	318.58	1.74	18.81	64	0.4	8.1
	First Cleveland	318.62	1.78	18.35	64	0.48	5.8
	From Dark The Jume	318.62	1.78	18.58	64	0.38	8.2
	The Jume	318.58	1.78	18.18	64	0.45	5.4
	Starucka I	318.62	1.48	15.11	64	0.38	5.7
	Stoner	318.62	1.48	14.54	64	0.38	8.0
	ARR Jume	318.61	1.85	22.31	64	0.42	5.3
	ARR Takt	318.65	1.88	18.41	64	0.48	5.7
	NY Takt	318.58	1.77	15.38	64	0.41	5.4
	Office-Cum	318.62	1.88	18.34	64	0.48	4.8
258 Bölge	Jumucka Parkı I	1278.78	1.78	8.38	258	0.42	5.5
	Shence of the Jumein	1278.81	1.78	17.4	258	0.42	5.9
	Star Wars IV	1278.80	1.72	12.78	258	0.47	5.3
	Mr. Jume	1278.78	1.71	7.78	258	0.48	5.7
	First Cleveland	1278.80	1.71	8.54	258	0.44	5.8
	From Dark The Jume	1278.78	1.68	8.88	258	0.38	5.9
	The Jume	1278.78	1.75	7.18	258	0.48	5.2
	Starucka I	1278.18	1.48	8.71	258	0.38	5.5
	Stoner	1278.78	1.42	8.78	258	0.35	5.7
	ARR Jume	1278.88	1.82	8.12	258	0.48	5.8
	ARR Takt	1278.88	1.85	8.08	258	0.48	5.8
	NY Takt	1278.78	1.75	13.74	258	0.41	5.5
	Office-Cum	1278.88	1.88	8.88	258	0.41	5.5
Vize	Jumucka Parkı I	2885.88	1.88	8.18	488	0.88	7.7
	Shence of the Jumein	1588.14	1.88	18.41	388	1.18	17.8
	Star Wars IV	888.88	1.84	15.25	188	0.78	11.8
	Mr. Jume	1588.88	1.17	18.87	388	0.78	11.8
	First Cleveland	881.88	1.58	18.85	178	0.84	13.8
	From Dark The Jume	1888.88	1.18	8.35	388	0.88	8.2
	The Jume	885.88	1.44	13.78	188	0.88	13.8
	Starucka I	8877.84	0.88	5.38	888	0.47	5.3
	Stoner	8788.28	0.88	8.88	788	0.58	8.1
	ARR Jume	1884.48	1.88	8.12	388	0.88	7.8
	ARR Takt	1888.48	1.28	18.72	288	0.81	8.4
	NY Takt	1388.78	1.28	18.38	278	0.88	8.8
	Office-Cum	488.88	1.18	11.47	88	0.88	11.8



(a) Hedef Hızı Konmayan Star Wars IV



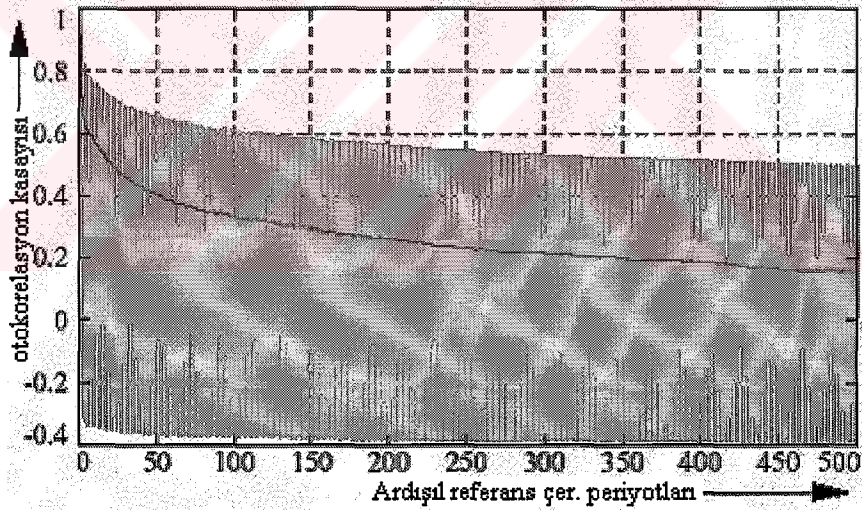
(b) 256kb/s Hedef Hızlı Jurassic Park I



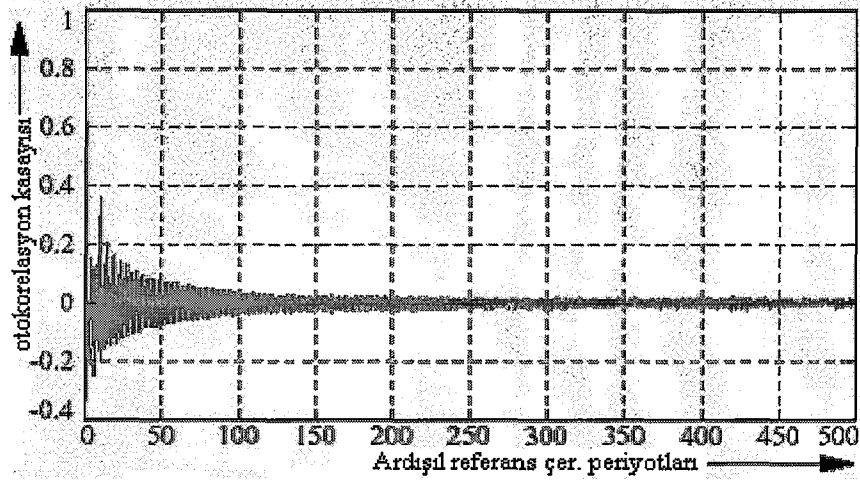
(c) 16kb/s Hedef Hızlı Silence of the Lambs

Şekil 3.9 “Eklemeli” çerçeve boyut dizisi

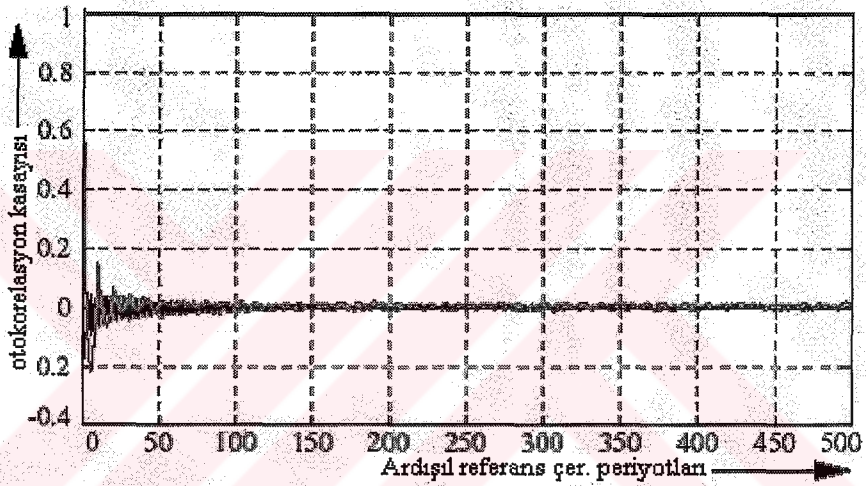
Şekil 3.9’da üretilmiş olan H.263 video dizisinin m indeksine göre (Δ çerçeve periyodunun katları) “eklemeli çerçeve boyut dizisi” F_m görülmektedir. Şekil 3.10’da ise eklemeli çerçeve boyut dizisinin otokorelasyon katsayısı $\rho_F(k)$ ve örneklenmiş hız dizisinin otokorelasyon katsayısı $\rho_R(k)$ ’nın video dizilerindeki Δ uzunluklu 14 referans çerçeve periyodu için bir biri ardına gelen çerçevelere göre (lag k) değişimi gösterilmiştir. Şekilden “eklemeli” dizinin korelasyon katsayısında ani değişimler görülmektedir. Bunun nedeni “eklemeli” video dizisine eklenen sıfırların negatif dipler yapmasıdır. Uzun süreli korelasyonun değişimini daha iyi görebilmek amaçlı Şekil 3.10’da yine üç farklı video için 500 referans çerçeve periyodu boyunca hesaplanan otokorelasyon fonksiyonu görülmektedir. VBR kodlu Star Wars IV ‘ün otokorelasyon fonksiyonunun oldukça yavaş düşüş gösterirken örneklenmiş hız dizisinin otokorelasyon katsayısı 500 çerçeve periyodundan sonra 0.2 de kalmaktadır. Diğer taraftan hedef hızlı kodlanan video dizilerinin otokorelasyon fonksiyonları hızla sıfıra düşmektedirler.



(a) Hedef Hızlı Konmayan Star Wars IV



(b) 256kb/s Hedef Hızlı Jurassic Park I



(c) 16kb/s Hedef Hızlı Silence of the Lambs

Şekil 3.10 500 Referans Çerçeve Periyodu Boyunca Eklemeli ve Örneklenmiş Çerçeve Boyut Dizilerinin Otokorelasyon Katsayıları.

4 WCDMA ve RADYO KAYNAKLARININ YÖNETİMİ

Radyo Kaynak Yönetimi (RRM), radyo bağlantı katmanlarının etkin ve verimli idare edilebilmesi için gerekli yöntemler ve algoritmalar kümesini içerir. Radyo Kaynak Yönetimi, Radyo Kaynak Kontrol (RRC) katmanında yürütülür. Diğer katmanlarda (MAC, RLC ve fiziksel katman) sağlanan fonksiyonların koordinasyonu ve gözlenip denetlenmesi, ayrıca fiziksel katmanın sağladığı kanalların doğru ve verimli bir şekilde kullanılması işlemlerini yürütür[19].

Radyo Kaynak Yönetimi, bütün mobil radyo sistemlerinin bir özelliğidir. Bununla birlikte, CDMA tekniğine dayalı mobil radyo sistemlerinin işletimi için daha özel bir öneme sahiptir. CDMA sisteminde kaynak, iletilen güç olduğundan, bunun kötü idaresi mobil radyo sistemin toplam kapasitesini olumsuz yönde etkileyecektir.

Bu bölümde; Radyo Kaynak Yönetimi ile gerçekleştirilen hücre seçimi ve yumuşak aktarma gibi temel özellikler anlatıldıktan ve girişim bazlı radyo kaynak yönteminden bahsedildikten sonra, yukarı ve aşağı bağlantı yükünün, dolayısıyla yük faktörünün belirli yöntemlerle hesaplanması ve sonuç olarak bu hesaplamaların radyo şebekesinde, kabul kontrolü ve yük kontrolü için kullanılması ele alınmıştır.

4.1 Radyo Kaynak Yönetimi ile Gerçekleştirilen Fonksiyonlar

Hücre seçimi / yeniden seçimi, yumuşak aktarma ve kabul kontrolü gibi birtakım fonksiyonlar Radyo Kaynak Yönetimi ile gerçekleştirilir. Bunları kısaca özetlersek (kabul kontrolü daha ilerde anlatılacaktır) [19]:

4.1.1 Hücre seçimi / Yeniden Seçimi

Hücresel mobil sistemlerde, boş durumda (çalışır durumda olup RRC bağlantısı olmayan) olan her mobil terminal bir radyo baz istasyonu ile ilişkilendirilir. Kullanıcı talep eder etmez, mobil terminal bu istasyon ile çağrı kurulumunu başlatacaktır. Mobil terminal açıldığı zaman, hücreyi “hücre seçim” işlemine göre seçer. Bu hücre,

mobil terminalin yer değişiklikleri, yayılma koşulları veya diğer parametrelere bağlı olan frekanslarda hücre yeniden seçim işlemi ile güncellenir. Bu nedenle, CDMA tekniğine dayalı sistemlerde, çağırma kurulumu sırasında iletilen gücü en aza indirmek için, mobil terminalin en iyi seçenek olan radyo baz istasyonu ile ilişkilendirilmesi önerilir. Ancak, bunun başarılması bazı koşullarda mümkün olmayabilir. Bu nedenle, mobil terminalin en iyi seçenek olan istasyondan ziyade, başka bir radyo baz istasyonu ile işaretleşme mesajlarını alıp vermesi ve şebekenin çağırmaı tekrardan en iyi seçenek olan istasyona yönlendirme imkanını sağlaması kabul edilebilir olacaktır.

4.1.2 Yumuşak Aktarma

Yumuşak aktarma işlemi bir dizi fonksiyonu içermektedir: birtakım ölçümler yapmak, bunları yorumlamak ve bu süreci kontrol eden şebeke kısımlarına bu ölçümleri ve yorumları iletmek.

Örnek olarak, yumuşak aktarma algoritması için kullanılabilecek bir yaklaşım şu şekildedir: Eğer Aktif Kümeye (AK) ait olan bir radyo baz istasyonunun aldığı uygun bir referans işaret, belirli bir aralık ve artı olarak bir de ΔT zaman periyodu için ilişkilendirilmiş histerezis kadar, aktif kümedeki en iyi istasyonun aldığı referans işaret seviyesinden daha kötü ise, sorgudaki bu istasyon aktif kümeden çıkarılır. Eğer aktif kümedeki en iyi istasyon ile bu kümeye dahil olmayan başka bir istasyonun aldığı referans işaret seviyeleri arasında yukarda belirtilenden daha az bir fark varsa, bu baz istasyonu eğer aktif küme dolu değilse kümeye eklenir. Eğer aktif küme dolu fakat, aktif kümeye ait olmayan istasyonun aldığı referans işaret seviyesi, aktif kümedeki en kötü istasyonun aldığı işaret seviyesinden bir ΔT zaman periyodu için belirli bir aralık kadar daha iyi ise, bu kötü istasyon değiştirilecektir.

CDMA tekniğinin kullanıldığı UMTS gibi sistemlerle FDMA/TDMA tekniğinin kullanıldığı GSM sisteminde, radyo kaynaklarının yönetimi arasındaki farkı açıklamak için özellikle yüklü bir sistem hücresi dikkate alınacaktır. Bu gibi durumda, trafiğin bir bölümünü komşu hücrelere kaydırmak suretiyle aşırı yüklenmenin ortadan kaldırılması tavsiye edilebilir.

Bu GSM sisteminde, bazı kullanıcıları en iyi hizmet veren radyo baz istasyonu(yani mobil terminalin en kuvvetli işareti aldığı baz istasyonu) dışındaki bir baz istasyonundan kaynakları kullanmaya zorlayarak yapılabilir. Böylece, trafik tüm sistem hücrelerine daha düzgün bir şekilde dağıtılabilir. Diğer yandan, en iyi hizmet veren dışındaki bir radyo baz istasyonuna bağlanmaya zorlanan mobil terminaller, düşük kalitede çalışacaklar ve diğer sistem hücrelerinde aynı radyo frekansını ve zaman dilimini kullanan mobil terminallerle, daha büyük boyutta girişim oluşturacaklardır. Özellikle, GSM gibi bir sistemin kullanıcısı, yığılma yaşanan bir hücrede çağırma kurma talebinde bulunursa, sistem bu talebi, doğrudan deneme işlemi ile diğer bir komşu hücrenin kaynaklarını kullanarak karşılamaya çalışacaktır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, ilgili kullanıcı hücre sınırında olmasa dahi bu işlem yapılabilir.

Aynı işlem, CDMA tekniğine dayanan sistemde daha hassas bir konudur. Aslında, CDMA sisteminde radyo kaynak yönetiminin temel amacı, mobil terminallerin ilettiği gücü en aza indirmektir. Bu nedenle, her mobil en az güç kullanacağı olası olan radyo baz istasyonuna bağlanmalıdır. Bu baz istasyonun, mobil terminalin en kuvvetli işareti aldığı bir istasyon olmasına gerek yoktur. Esasen, eğer mobil terminalin ilettiği işaretin kodunun doğru bir şekilde çözülmesi isteniyorsa, diğer mobil terminallerden gelen ortogonal olmayan işaretlerle başa çıkılabilmesi için, işaretin radyo baz istasyonuna yeterli güçte ulaşması gerekmektedir. O halde, mobil terminaller tarafından kullanılan güç miktarı kanal durumunun ve baz istasyon yük seviyesinin bir fonksiyonudur. Sonuç olarak, her mobil terminal kendi yayılma kaybını ve girişim seviyesi toplamını mümkün olduğunca minimize eden radyo baz istasyonuna bağlanmalıdır. Bu radyo baz istasyonu en iyi seçenek olarak adlandırılabilir.

Yukarıda anlatılan durumda, özellikle yüklü hücre en iyi seçenek olarak kabul edilirse, bir kullanıcıyı başka bir hücrede çalışmaya zorlamak, o kullanıcıyı daha yüksek güç ile iletim yapmaya zorlamak demektir. Aslında, yüksek güç ileten bir mobil terminalin başka bir hücrede çalışmaya zorlanması, en iyi seçenek istasyon için önemli girişim yaratacak ve böylece, zaten çok yüklü olmasından dolayı yüksek olan girişim seviyesini iyice arttıracaktır. Bu örnekle, CDMA ve FDMA/TDMA sistemlerindeki radyo kaynak yönetimindeki önemli farklar gösterilmek istendiğinden, burada ifade edilen durumda, radyo kaynak yönetimi için gayet

önemli olan makro çoklrama kavramı bilerek göz ardı edilmiştir. Eğer yeni kullanıcı yüklü durumda olan hücrenin sınırında bulunuyorsa, çağırma kurulumunu makro çoklrama göz önünde bulundurup veya başka bir deyişle, diğer radyo baz istasyonlarını da hesaba katıp yaparak iletilen gücü minimize edebilir. Eğer yeni kullanıcı hücre sınırı yakınında değilse, bu kullanıcının veya benzer durumdaki kullanıcıların şebekeye erişiminin reddedilmesi diğer kullanıcıların algıladığı kaliteyi tehlikeye atmamak adına daha iyi olacaktır. Bu ise Kabul Kontrol fonksiyonunun amacıdır.

CDMA sisteminin ses ve veri iletimi dışında gerçek zamanlı video iletimi gibi servisleri de vereceği düşünülürse; her biri belirli bir bant aralığı ve belirli bir hizmet kalitesi ile karakterize edilmiş çoklu hizmetler verecek olan CDMA sisteminde belirtilen durumların önemi ortaya çıkmaktadır. Farklı hizmetler zaman içerisinde belirli bazı neticeleri olan farklı iletim güçleri talep edecektir. Örneğin, bant genişliği ihtiyacı çok değişken olan gerçek zamanlı video servisi alan kullanıcının kötü idaresi, ses hizmetlerini kullanan birçok kullanıcıyı olumsuz yönde etkileyebilecektir.

4.2 Girişim Bazlı Radyo Kaynak Yönetimi

Radyo Kaynak Yönetimi (RRM) hava arabirim kaynaklarının kullanımından sorumludur. Bu nedenle, servis kalitesi (QoS), planlanan kapsama alanının sağlanması ve yüksek kapasite sunulması açısından önemlidir. Radyo Kaynak Yönetimi; aktarma, güç kontrolü, kabul kontrolü ve yük kontrolü fonksiyonlarını kapsar [5].

Güç kontrolü, hava arabiriminde girişim seviyelerini minimumda tutmak ve talep edilen servis kalitesini sağlamak için gereklidir. Aktarma işlemleri, bir hücrenin kapsamından diğer hücrenin kapsamına giren kullanıcıların hareketliliğinin sağlanması için gereklidir. Üçüncü nesil şebekelerde; kabul kontrolü ve yük kontrolü radyo kaynak yönetim algoritmaları, servis kalitesinin garanti edilmesi ve farklı bit hızlarındaki hizmetlere ve kalite gereksinimlerine sahip sistem net çıkış verimini maksimize etmeyi amaçlar. Radyo Kaynak Yönetim algoritmaları, şebekedeki donanım miktarına veya hava arabirimindeki girişim seviyesine bağlı olarak

şekillenir. Fiziksel engelleme; kapasitenin, hava arabirimi daha aşırı yüklenmeden donanımsal nedenlerden ötürü sınırlanmasıdır. Yumuşak engelleme ise, hava arabirim yükünün planlanandan daha yukarda belirlendiği durumdur. Yumuşak engellemeye dayalı RRM, fiziksel engellemeye dayalı olana göre daha yüksek kapasite sunmaktadır. Eğer yumuşak engelleme tabanlı RRM uygulanacaksa, hava arabirim yükünün ölçülmesi gerekmektedir. IS-95 şebekelerinde RRM, kullanılabilir kanal elemanına (fiziksel engelleme) bağlıyken, bu yaklaşım, eş zamanlı olarak değişik bit hızlarının destekleneceği üçüncü nesil WCDMA sisteminde kabul edilebilir değildir.

4.3 Güç Kontrolü

WCDMA sisteminde hızlı güç kontrolü hem aşağı hem de yukarı bağlantıda 1.5 kHz sıklıkta desteklenmektedir. Örneğin GSM’de ise sadece yavaş (yaklaşık 2Hz frekansında) güç kontrolü mevcuttur. IS-95 sisteminde ise yalnızca yukarı bağlantıda 800 Hz sıklıkta hızlı güç kontrolü mevcuttur.

FDD bileşen için üç çeşit güç kontrol yöntemi düşünülmektedir. Bunlar, açık çevrim güç kontrolü, kapalı çevrim güç kontrolü ve dış çevrim güç kontrolüdür [5,19,20].

Açık çevrim güç kontrolü sadece yukarı bağlantı yönünde, çağrı kurulumu sırasında kullanılır. Baz istasyonu tarafından daha önceden belirlenip gönderilen bir ortak kontrol kanalından alınan güce (daha önceden bilinen veya yayın kanalı üzerinden gönderilen) göre, PRACH kanalının hangi güçte iletileceğinin hesabı yapılır. Bu yöntem, aşağı bağlantı solma²¹ kestirimi yaparak, bu değer yukarı bağlantı için yaklaşık bir tahmin oluşturacağını öngörür. Açık çevrim güç kontrolü ile belirlenip iletilen güç seviyesi yaklaşık bir değerdir. Gerçekte, yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı arasında çok küçük bir yayılma korelasyonu mevcuttur. Çünkü, bu iki link arasında belirli bir frekans mesafesi vardır. Sadece iki link üzerindeki uzun süreli solma yaklaşık olarak birbirine eşit kabul edilebilir. Bu da ancak, her iki link arasındaki frekans mesafesi nedeni ile oluşan farkı hesaba katmakla olur.

²¹ Fading kavramı yerine kullanılmıştır

Açık çevrim güç kontrolü yeterli doğruluğu sağlamadığından daha karmaşık olan kapalı çevrim güç kontrolü devreye girer. Kapalı çevrim güç kontrolünün işleyiş prensibi Şekil 4.1' de gösterilmiştir. Bu yöntem, sık sık komut göndermek suretiyle, kontrol edilen link üzerinde iletilecek gücün azaltılması veya arttırılmasına dayanır. Bu komutların gönderilme sıklığı bir zaman dilimine eşittir. Yöntem, kontrol edilen link üzerindeki C/I değerini ölçer ve bunu bir referans değeri $(C/I)_{Th}$ ile karşılaştırır. Bu karşılaştırmanın sonucuna göre, karşı link için gücü daha önceden belli bir değer kadar (0.5 – 1.5dB) arttıracak veya azaltacak komutlar uygun bir kontrol kanalından (DPCCH) gönderilir.

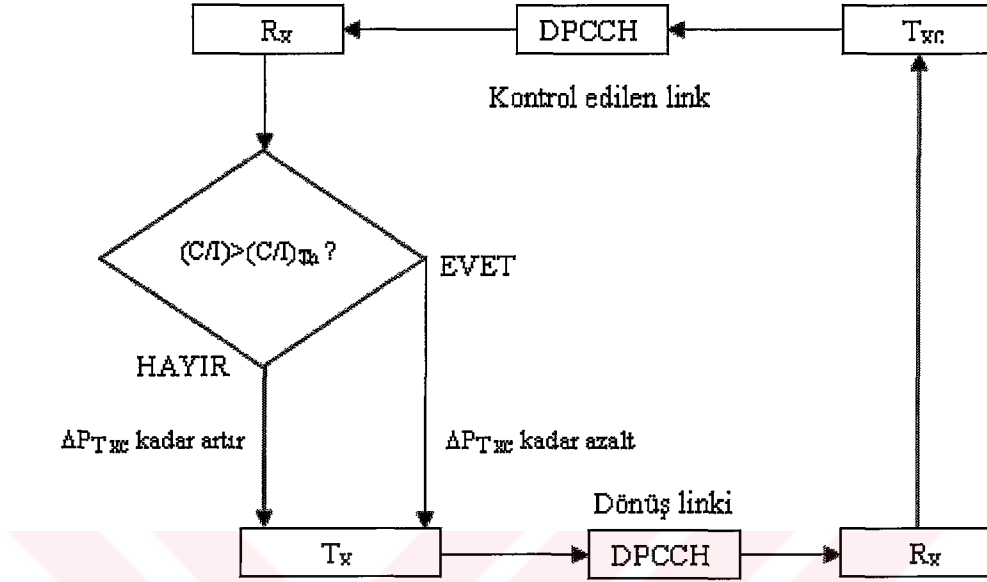
Dış çevrim güç kontrolü, $(C/I)_{Th}$ referans eşik değerini hesap eder. Bu hesaplama kapalı çevrim güç kontrolü için yapılandırılan daha az sıklıkta gerçekleştirilir. Bu eşik değeri, sürekli izlenen bağlantı kalitesi baz alınarak güncellenir. Genelde bu değişimler, çevredeki değişikliklerden ve ASU (Aktif Küme Güncellemesi) gibi kaynak yönetim işlemlerinden kaynaklanmaktadır.

Pratikte elde edilen sabit seviyeli bir güç değildir. Dolayısıyla sabit $SNR(E_b/I_0)$ değeri de değildir. Elde edilen, ortalama etrafında belli bir dağılım gösteren değerlerdir. Sonuç olarak ne kadar doğru olursa olsun güç kontrol yöntemi hiçbir zaman ideal olamaz.. İletilen güç geniş dinamik bir alanda, yayılma kanalındaki değişimleri düzenlemek için değişmekte ve böylece alınan güç ise mümkün olduğunca sabit tutulmaktadır.

Kapalı çevrim güç kontrolünün performansı mobil terminalin hızından etkilenmektedir. Aslında, kanal ölçümleri, bunların işlenmesi ve üretilen komutların iletilmesi için kullanılan geri besleme işlemi gecikmeye neden olmaktadır. Güç kontrol komutunun üretildiği an ile bu komutun yürütüldüğü an arasında bir veya iki zaman dilimi geçebilir.

Mobil terminal hızının düşük olduğu durumlarda, yayılma koşullarındaki değişim yavaştır. Bu nedenle güç kontrol komutları ile birtakım olumsuzluklar giderilebilir. Mobil terminalin hızı arttıkça yayılma koşullarındaki değişimler de artan sıklıkta olur. Neticede, güç kontrolü için gerekli süreler ve buna bağlı olarak oluşan gecikmeler nedeni ile yayılma kanalının izlenmesi verimsiz hale gelmektedir. Yüksek hızlarda (100 km/saat' den büyük) alınan güç kontrol komutları kanal

koşulları ile ilişkisini yitirmektedir. Teoride, bu noktada güç kontrolü devre dışı kalmaktadır. Bununla birlikte, hizmetin gerektirdiği kalite hata düzeltme kodları ve interleaving²² gibi diğer yöntemlerle sağlanmaktadır.



Şekil 4.1 Kapalı çevrim güç kontrol tekniğinin işleyiş prensibi

Güç kontrolünün ideal olmadığı gerçeğinin, hücresel kapsamada da etkisi vardır. CDMA sisteminde bütün hücreler genelde aynı taşıyıcı frekansı paylaşırlar. Pratikte, çok mükemmel olmayan bir güç kontrolü ve diğer etkenler nedeni ile hücreler yan yana birbirlerinden çok ayrı boyutlarda (mobil istasyonun ilettiği gücün çok farklılık gösterdiği hücreler) oluşturulmazlar. Bu nedenle, üç çeşit hücresel kapsama seviyesi (piko, mikro ve makro) için farklı taşıyıcı frekanslar verilmelidir. Kapsamanın mikro hücre seviyesinden makro hücre seviyesine geçtiği az yoğun bir yerde olduğumuzu düşünelim. Genel olarak, makro hücre kullanıcısının yaydığı güç için ortaya çıkan güç kontrol eksikliğinin makro hücreye çok az etkisi varken aynı şey bunun sınırındaki mikro hücre için geçerli değildir. Mikro hücre coğrafi olarak makro hücresinden daha küçüktür. Bu şu anlama gelmektedir: Makro hücresinde oluşan herhangi bir hata mikro hücresinde istenmeyen durumlara neden olur. Bu nedenle, farklı hiyerarşik seviyeler için farklı taşıyıcılar tahsis edilir.

²² Konuşmayı kodladıktan sonra konuşma parçalarını sıralarını değiştirerek gönderme. Burada amaç; girişim olursa, ard arda gelen konuşma parçalarının kaybedilmesini önlemektir.

4.4 Hava Arabirim Yükünün Ölçümü

Eğer Radyo Kaynak Yönetimi hava arabirimindeki girişim seviyelerine bağlıysa, hava arabirim yükünün ölçülmesi gerekmektedir. Bölüm 4.4.1’ de yukarı bağlantı yükün, bölüm 4.4.2’ de ise aşağı bağlantı yükün hesabı anlatılmaktadır [5].

4.4.1 Yukarı Bağlantı Yükü

Bu bölümde, geniş bantlı alışı gücüne ve net çıkış verimine dayanan yük kestirimi olmak üzere, iki tür yukarı bağlantı yük ölçümü anlatılacaktır. Bunlar WCDMA şebekelerde kullanılabilecek örnek yaklaşımlardır.

4.4.1.1 Yukarı Bağlantı Yük Faktörü

Bir WCDMA hücresinin teorik spektral verimliliği, aşağıda elde edilen yük eşitliği ile hesaplanır. İlk önce E_b/N_o (kullanıcı biti başına enerjinin, gürültü spektral yoğunluğuna oranı) ifade edilmelidir.

$$(E_b/N_o)_j = \frac{j. \text{ kullanıcının işareti}}{j. \text{ kullanıcının işlem kazancı} \times \text{Toplam alınan güç (kendini hariç)}} \quad (4.1)$$

Bu ifade şu şekilde yazılabilir:

$$(E_b/N_o)_j = \frac{W}{v_j R_j} \cdot \frac{P_j}{I_{\text{toplaml}} - P_j} \quad (4.2)$$

Bu eşitlikte; W chip hızını, P_j j kullanıcısından alınan işaretin gücünü, v_j j kullanıcısının aktivite faktörünü, R_j j kullanıcısının bit hızını ve I_{toplaml} termik gürültü gücünü de içerecek şekilde, baz istasyonunda alınan geniş bantlı toplam gücü göstermektedir. Bu eşitlikten P_j şu şekilde ifade edilebilir:

$$P_j = \frac{1}{1 + \frac{W}{(Eb/No)_j R_j v_j}} I_{toplaml} \quad (4.3)$$

$P_j = L_j \cdot I_{toplaml}$ olarak ifade edilir ve buradan, bir bağlantı için L_j yük faktörü elde edilir.

$$L_j = \frac{1}{1 + \frac{W}{(Eb/No)_j R_j v_j}} \quad (4.4)$$

Alınan toplam girişim (termik gürültü P_N haricinde), aynı hücredeki tüm N kullanıcıdan alınan gücün toplamıdır.

$$I_{toplaml} - P_N = \sum_{j=1}^N P_j = \sum_{j=1}^N L_j \cdot I_{toplaml} \quad (4.5)$$

Gürültü artışı, alınan geniş bantlı toplam gücün gürültü gücüne oranıdır.

$$\text{Gürültü Artışı} = \frac{I_{toplaml}}{P_N} \quad (4.6)$$

ve (4.5) eşitliğini kullanarak,

$$\text{Gürültü Artışı} = \frac{I_{toplaml}}{P_N} = \frac{1}{1 - \sum_{j=1}^N L_j} = \frac{1}{1 - \eta_{UL}} \quad (4.7)$$

elde edilir. Burada η_{UL} yük faktörü şu şekilde tanımlanmıştır,

$$\eta_{UL} = \sum_{j=1}^N L_j \quad (4.8)$$

η_{UL} değeri 1'e yaklaştığında, karşı gelen gürültü artışı sonsuza yakınsar ve sistem teorik maksimum kapasitesine ulaşmış olur. CDMA radyo şebekesi, teorik maksimum kapasitede işletilemez. Yük faktörü, maksimum kapasiteye ne kadar yakınlıkta çalışıldığının bir göstergesidir. % 75' den daha fazla olan yüklenmeler sistemde kararsızlığa neden olarak görülmüştür[20].

İlave olarak, yük faktörü ifadesinde diğer hücrelerden gelen girişim, i oranı ile hesaba katılmalıdır:

$$i = \frac{\text{diğer hücre girişimi}}{\text{kendi hücre girişimi}} \quad (4.9)$$

Artık yukarı bağlantı yük faktörü şu şekilde yazılabilir:

$$\eta_{UL} = (1+i) \sum_{j=1}^N L_j = (1+i) \sum_{j=1}^N \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b/N_o)_j R_j v_j}} \quad (4.10)$$

Yük denklemi, girişimden dolayı termik gürültü üzerine gerçekleşen gürültü artışını kestirebilmektedir. Gürültü artışı $-10\log(1 - \eta_{UL})$ değerine eşittir. Link için düşünülmüş girişim aralığı planlanmış maksimum gürültü artışına eşit olmalıdır.

İstenen E_b/N_o değeri, link seviyesinde yapılan simülasyonlardan ve ölçümlerden elde edilir. Bu değer, kapalı çevrim güç kontrolünün ve yumuşak aktarmanın etkisini içerir. Diğer hücre girişiminin kendi (servis veren) hücre girişimine oranı olan i değeri, hücre çevresinin veya hücre izolasyonunun (makro/mikro, kentsel/kırsal gibi) ve anten tipinin (her yöne servis veren, 3-sektör veya 6-sektör) bir fonksiyonudur. İlgili bu parametreler Tablo 4.1' de açıklanmıştır [5].

Yük denklemi gürültü artışının tahmininde ve boyutlandırma sürecinde, gürültü artışının planlanmasında kullanılır. Düşük R bit hızına sahip N kullanıcıları için (4.11) geçerli olacağından,

$$\frac{W}{E_b/N_o \cdot R \cdot v} \gg 1 \quad (4.11)$$

olur ve (4.10)'daki yukarı bağlantı yük ifadesi şu şekilde basitleştirilebilir:

$$\eta_{UL} = \frac{E_b / N_o}{W / R} \cdot N \cdot \nu \cdot (1 + i) \quad (4.12)$$

Tablo 4.1 Yukarı bağlantı yük faktörü hesabında kullanılan parametreler

	Tanımlamalar	Tavsiye edilen değerler
N	Hücre başına kullanıcı sayısı	
ν_j	Fiziksel katmanda j kullanıcısının aktivite faktörü	Konuşma için 0.67 Data için 1.0 Gerçek zamanlı video 1.0
E_b / N_o	Bit başına düşen işaret enerjisinin gürültü spektral yoğunluğuna bölümüdür. Bu değer daha önceden belirlenmiş servis kalitesini (örneğin bit hata oranı) karşılaması gerekir. Gürültü hem termik gürültüyü hem de girişimi içermektedir.	Hizmetin türüne, bit hızına, çok doğrultulu bayılan kanala, alışı anten çoklamasına, mobil hıza v.b. bağlıdır.
W	WCDMA chip hızı	3.84 Mchip/sn
R_j	J kullanıcısının bit hızı	Hizmet tipine bağlı
i	Baz istasyon alıcısı tarafından görülen, diğer hücre girişiminin kendi (hizmet veren) hücre girişimine oranıdır.	Her yöne servis veren antenli makro hücrede: %55

4.4.1.2 Geniş Bantlı Alış Gücüne Dayanan Yük Kestirimi

Geniş bantlı alış gücü, yukarı bağlantı yük kestiriminde kullanılabilir. Alınan güç seviyeleri baz istasyonunda ölçülebilir. Bu ölçümlere bağlı olarak, yukarı bağlantı yük faktörü elde edilebilir. Hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir. Alınan geniş bantlı girişim gücü $I_{toplaml}$, kendi kürce kullanıcıları $I_{ken.}$, diğer hücre kullanıcıları $I_{dig.}$ ve artalan ve alıcı gürültüsü P_N ' ye ayrılır:

$$I_{toplaml} = I_{ken.} + I_{dig.} + P_N \quad (4.13)$$

Yukarı bağlantı gürültü artışı alınan toplam gücün gürültü gücüne oranıdır:

$$\text{Gürültü Artışı} = \frac{I_{toplaml}}{P_N} = \frac{1}{1 - \eta_{UL}} \quad (4.14)$$

Bu eşitlik yukarı bağlantı yük faktörünü η_{UL} , vermek üzere tekrar düzenlenirse,

$$\eta_{UL} = 1 - \frac{P_N}{I_{toplama}} = \frac{Gürültü artışı - 1}{Gürültü artışı} \quad (4.15)$$

Burada, $I_{toplama}$ baz istasyonu tarafından ölçülebilir ve P_N önceden bilinmektedir. η_{UL} yukarı bağlantı yük faktörü, yukarı bağlantı yük göstergesi olarak kullanılır. Örneğin, yukarı bağlantı yük kapasitesinin %60' ı denirse, bu η_{UL} yukarı bağlantı yük faktörünün 0.60 olduğu anlamına gelir.

4.4.1.3 Net Çıkış Verimine Dayanan Yük Kestirimi

η_{UL} yukarı bağlantı yük faktörü, bu baz istasyonuna bağlı kullanıcıların yük faktörlerinin toplanması ile elde edilebilir:

$$\eta_{UL} = (1 + i) \sum_{j=1}^N L_j = (1 + i) \sum_{j=1}^N \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b/N_o)_j R_j v_j}} \quad (4.16)$$

Burada; N ilgili hücreden servis alan kullanıcıların sayısını, W chip hızını, L_j j. kullanıcının yük faktörünü, R_j j. kullanıcının bit hızını, $(E_b/N_o)_j$ j. kullanıcının E_b/N_o değerini, v_j j. kullanıcının ses aktivite faktörünü, i ise diğer hücre girişiminin kendi hücre girişimine oranıdır.

Dikkat edilmelidir ki, bu eşitlik yukarıda anlatılan radyo şebeke boyutlandırmasında kullanılan yük faktörü hesabıyla aynıdır. Boyutlandırma için bir hücrenin ortalama kullanıcı sayısı (N) kestirilmelidir. Bunun için; E_b/N_o , i ve v' nin ortalama değerleri giriş parametreleri olarak kullanılır. Bu değerler, o ortama özgüdür ve ölçümlere ve simülasyonlara bağlanabilir. E_b/N_o , i ve v' nin anlık ölçüm değerleri ve N kullanıcı sayısı kullanılarak anlık hava arabirim yükü hesaplanır.

Net çıkış verimine dayanan yük kestiriminde, diğer hücrelerden gelen girişimler doğrudan yüke katılmaz; fakat i parametresi ile hesaba katılmalıdır. Hatta, i

parametresi ile Rake²³ alıcısının yakalayamadığı kendi hücre girişiminin parçası da hesaba katılabilir. Eğer $i = 0$ olduğu kabulü yapılırsa, sadece kendi hücre girişimi dikkate alınmış olur.

4.4.1.4 Yukarı Bağlantı Yük Kestirim Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Geniş bantlı alışı gücüne dayanan yaklaşımda, komşu hücrelerden gelen girişim de doğrudan yük hesabına katılır. Çünkü, ölçülen geniş bantlı güç, baz istasyonunda alınan taşıyıcı frekanstaki tüm girişimleri içermektedir. Eğer komşu hücrelerdeki yüklenme düşükse, bu durum yük ölçümlerinde görülür ve bu hücrede daha büyük yüke izin verilir. Böylece yumuşak kapasite elde edilmiş olunur. Bu yöntemdeki problem, ölçülen geniş bantlı gücün komşu hücrelerin girişimini de içerebilmesidir. Bu durum, başka bir operatöre ait olan mobil terminalin baz istasyon antenine çok yakın bir yerde olmasından kaynaklanabilir. Bu nedenle, girişim tabanlı yöntem, taşıyıcının yükünü dış girişimden ötürü olduğundan fazla belirleyebilir. Baz istasyon alıcısı, geniş bantlı güç ölçümleri ile kendi taşıyıcısından gelen ve diğer taşıyıcılardan gelen girişimi ayırt edemez.

Net çıkış verimine dayanan yük kestirimi, komşu hücrelerden veya komşu taşıyıcılardan gelen girişimi doğrudan hesaba katmaz. Eğer yumuşak kapasite gerekiyorsa, komşu hücre yük bilgisi CDMA baz istasyonunu kontrol eden birimden (UMTS'de RNC) elde edilebilir. Net çıkış verimine dayanan Radyo Kaynak Yönetimi, hücrenin net çıkış verimini planlanan seviyede tutar. Eğer komşu hücrelerdeki yükleme fazla ise, bu hücrenin kapsama alanını etkiler.

4.4.2 Aşağı Bağlantı Yüğü

Bu bölümde, güç ve net çıkış verimine dayanan yük kestirimi olmak üzere, iki tür yük ölçümü anlatılacaktır. Bunlar WCDMA şebekelerde kullanılabilecek örnek yaklaşımlardır.

²³ CDMA sisteminde kullanılan alıcı birimine verilen isim.

4.4.2.1 Aşağı Bağlantı Yük Faktörü

η_{DL} aşağı bağlantı yük faktörü, her ne kadar parametreleri biraz farklı olsa da yukarı bağlantı için kullanılan prensibe benzer olarak tanımlanır:

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^N \nu_j \frac{(E_b/N_o)_j}{W/R_j} \left[(1 - \alpha_j)^+ + i_j \right] \quad (4.17)$$

Termik gürültü üzerindeki gürültü artışı $-10\log(1 - \eta_{DL})$ ile ifade edilir. Yük faktörünün ifadesinde kullandığımız parametreler Tablo 4.2’ de açıklanmıştır [5]. Yukarı bağlantı yük eşitliği ile karşılaştırıldığında, göze çarpan en önemli parametre α_j dir. Bu aşağı bağlantıda, kullanıcılara verilen kod dizileri arasındaki korelasyonu temsil etmektedir.

Tablo 4.2 Aşağı bağlantı yük faktörü hesabında kullanılan parametreler

	Tanımlamalar	Boyutlandırma için tavsiye edilen değerler
N	Hücre başına bağlantı sayısı = hücre başına kullanıcı sayısı * (1 + yumuşak aktarma ile ilgili olan)	
ν_j	Fiziksel katmanda j kullanıcısının aktivite faktörü	Konuşma için 0.67 Data için 1.0
E_b/N_o	Bit başına düşen işaret enerjisinin gürültü spektral yoğunluğuna bölümüdür. Bu değerin daha önceden belirlenmiş servis kalitesini (örneğin bit hata oranı) karşılaması gerekir. Gürültü hem termik gürültüyü hem de girişimi içermektedir.	Hizmetin türüne, bit hızına, çok doğrultulu bayılan kanala, alışı anten çoklaması, mobil hıza v.b. bağlıdır.
W	WCDMA chip hızı	3.84 Mchip/sn
R_j	J kullanıcısının bit hızı	Hizmet tipine bağlı
α_j	J kullanıcısının ortogonalitesi	Çok yönlü yayılmaya bağlıdır 1: tamamen ortogonal 0: ortogonal değil
i_j	J kullanıcısı tarafından alınan, diğer hücre baz istasyon gücünün kendi hücre baz istasyon gücüne oranıdır	Her kullanıcı, hücredeki yerine bağlı olarak farklı bir i_j görür.
$\bar{\alpha}$	Hücredeki ortalama ortogonalite faktörü	ITU Vehicular A channel: ~% 60 ITU Pedestrian A channel: ~% 90
$\bar{i}$	Kullanıcı tarafından alınan, diğer hücre baz istasyon gücünün kendi (hizmet veren) hücre baz istasyon gücüne oranının ortalamasıdır. Buradaki kendi hücre girişimi geniş bantlıdır.	Her yöne servis veren antenli makro hücrede: %55

WCDMA sistemi aşağı bağlantıda kullanıcıları ayırt etmek için ortogonal kodlar kullanır. α_j değerinin 1'e eşit olması, tam ortogonal kullanıcıları ifade etmektedir. Genellikle, çok doğrultulu kanallarda α_j 0.4 ve 0.9 arasında değer almaktadır.

Aşağı bağlantıda, diğer hücre girişiminin kendi hücre girişimine oranı olan i değeri, kullanıcı konumuna bağlıdır, dolayısıyla i oranı her j kullanıcısı için farklı olacaktır. η_{DL} aşağı bağlantı yük faktörü, η_{UL} yukarı bağlantı yük faktörüne çok benzer bir davranış sergiler. Şöyle ki; bu faktör bire yaklaştığında, sistem teorik maksimum kapasitesine ulaşır ve termik gürültü üzerindeki gürültü artışı sonsuza gider.

Aşağı bağlantı boyutlandırması için, gerekli baz istasyonu toplam iletim gücünün belirlenmesi önemlidir. Bu tespit, kullanıcı için iletilen ortalama güce dayanmalıdır, hücre sınırı düşünülerek iletilen maksimum güç baz alınmamalıdır. Matematiksel olarak, iletilen baz istasyonu toplam gücü aşağıdaki eşitlik ile verilir [5]:

$$BS_TxP = \frac{N_{rf} \cdot W \cdot \bar{L} \cdot \sum_{j=1}^N \nu_j \frac{(E_b/N_o)_j}{W/R_j}}{1 - \eta_{DL}} \quad (4.18)$$

Burada; N_{rf} , mobil alıcının gürültü spektral yoğunluğudur. N_{rf} şu şekilde ifade edilir ($T = 290$ K olarak kabul edilmiştir):

$$\begin{aligned} N_{rf} &= k.T + NF \\ &= -174dBm + NF \end{aligned} \quad (4.19)$$

Burada; k Boltzman sabiti (1.381×10^{-23} J/K), T Kelvin cinsinden sıcaklık ve NF mobil istasyon alıcı gürültü figürüdür (5 – 9 dB).

Hücre yük faktörü şöyle bir ortalama ile yaklaşık olarak ifade edilebilir:

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^N \nu_j \frac{(E_b/N_o)_j}{W/R_j} [(1 - \bar{\alpha}) + \bar{i}] \quad (4.20)$$

4.4.2.2 Güç Tabanlı Yük Kestirimi

Hücrenin aşağı bağlantı yükü iletilen toplam aşağı bağlantı gücü (P_{toplam}) ile belirlenir. Aşağı bağlantı yük faktörü, η_{DL} o anki toplam iletilen gücün baz istasyon maksimum gücüne P_{max} oranıdır:

$$\eta_{DL} = \frac{P_{\text{toplam}}}{P_{\text{max}}} \quad (4.21)$$

Bu yük tahmin yaklaşımında, baz istasyonunun toplam iletim gücü P_{toplam} , çalışan sistemin ne kadar aşağı bağlantı hava arabirim teorik maksimum kapasitesine ne kadar yakın olduğu hakkında kesin bir bilgi vermez. Küçük hücrede, aynı P_{toplam} büyük hücreye göre daha büyük hava arabirim yüklemesine karşı gelir.

4.4.2.3 Net Çıkış Verimine Dayanan Yük Kestirimi

Net çıkış verimine dayanan yük kestirimi, aşağı bağlantıda tahsis edilmiş bit hızlarının toplamını kullanarak ifade edilir:

$$\eta_{DL} = \frac{\sum_{j=1}^N R_j}{R_{\text{max}}} \quad (4.22)$$

Burada N ortak kanalları da içerecek şekilde aşağı bağlantılarının sayısıdır. R_j j. Kullanıcının bit hızıdır ve R_{max} ise hücre için müsaade edilen maksimum net çıkış verimidir.

Kullanıcı bit hızları aşağıdaki gibi E_b/N_o değeri ile de ifade edilebilir:

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^N R_j \frac{\nu_j (E_b/N_o)_j}{W} \left[\left(1 - \bar{\alpha} \right) + \bar{i} \right] \quad (4.23)$$

Burada W chip hızı, $(E_b/N_o)_j$ j. kullanıcının E_b/N_o değeri, ν_j ses aktivite faktörü, $\bar{\alpha}$ hücrenin ortalama ortogonalitesi ve $\bar{i}$ ise ortalama aşağı bağlantı diğer hücre girişiminin kendi hücre girişimine oranıdır.

Ortalama aşağı bağlantı ortogonalitesi, yukarı bağlantıdaki çok doğrultulu yayılmaya dayanarak baz istasyonu tarafından kestirilebilir. Diğer hücreslerden gelen ortalama girişim, komşu hücre yükler dikkate alınarak elde edilir.

4.5 Kabul Kontrolü

Radyo Kabul Kontrolü için kullanılan yöntemler, radyo kaynakları müsait olsa dahi şebekeye erişimi sınırlandırabilir. Bu yöntemler erişim tekniğinin bir özelliğidir. Örneğin CDMA sisteminde kullanıcı sayıları arttıkça kalite düşmektedir. Bu nedenle, maksimum yük, kaliteyi kabul edilebilir seviyede tutmak için, sonraki çağırmları reddetme yetkisine sahip operatör tarafından belirlenir. CDMA sistemleri yumuşak kapasiteye sahiptir. Bu tip kurallar, FDMA/TDMA tekniklerine dayanan sistemlerde genellikle kullanılmaz. Bu sistemlerin sabit kapasiteleri vardır. Bununla kastedilen, müsait kaynakların (frekanslar ve zaman dilimleri olarak) önceden bilinmesidir. Bu kaynaklar kullanılana kadar, algılanan kalitede önemli bir etki yaratmayacak şekilde yeni kullanıcıların kabul edilebilmesi her zaman olası olacaktır. Tabii ki burada, frekans planlama işleminin (CDMA sistemleri için gerekmemektedir) doğru bir şekilde yapıldığı düşünölmektedir [19].

Eğer hava arabirim yükünün aşırı yüklenmesine izin verilirse, hücrenin kapsama alanı planlanan değerlerden daha aşağıya düşer ve kurulmuş olan bağlantıların servis kalitesi garanti edilemeyebilir. Yeni bir bağlantı kabul etmeden önce, şebeke kabul kontrolü yapılan kabulün, planlanan kapsama alanını ve kurulmuş bağlantıların kalitesini etkilememesini sağlamalıdır. Kabul kontrolü gelen talebi kabul ederek veya reddederek radyo erişim şebekesinde bir radyo erişim taşıyıcısı oluşturur. Taşıyıcı oluşturulduğuunda veya değiştirildiğuinde kabul kontrol algoritması yürütölür. Kabul kontrol fonksiyonunun CDMA baz istasyonu yerine çeşitli hücreslerden yük bilgisinin alınabildiğu CDMA baz istasyonlarını kontrol eden birimde yerleştirilmiş olması algoritmanın etkinliğu açısından tercih edilmektedir. Kabul kontrolü, radyo şebekesinde taşıyıcı kurulumunun neden olacağu yük artışını belirler. Bu yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı için ayrı ayrı tespit edilmelidir. Eğer hem yukarı bağlantı hem de aşağı bağlantı kabul kontrolü onaylarsa talep edilen taşıyıcı kabul edilir. Aksi halde, yapılacak kabul şebekede aşırı girişim oluşturabilir düşünçesi ile reddedilir[5].

4.5.1 Güç Tabanlı Kabul Kontrol Stratejisi

Kabul kontrol politikaları çeşitli ölçütleri temel almaktadır. Burada, girişim ölçütüne (kriterine) değinilecektir. Yeni bir kullanıcı şebekeye kabul edildiğinde, güç hem yukarı bağlantıda hem de aşağı bağlantıda iletilir. Bu durum, diğer kullanıcılar tarafından algılanan girişimi arttırmaktadır. Bu nedenle, eğer kabul edilen kullanıcının ürettiği girişim fazla ise, bu kullanıcının kabul edilmesi istenenden ters bir durum ortaya koyacaktır.

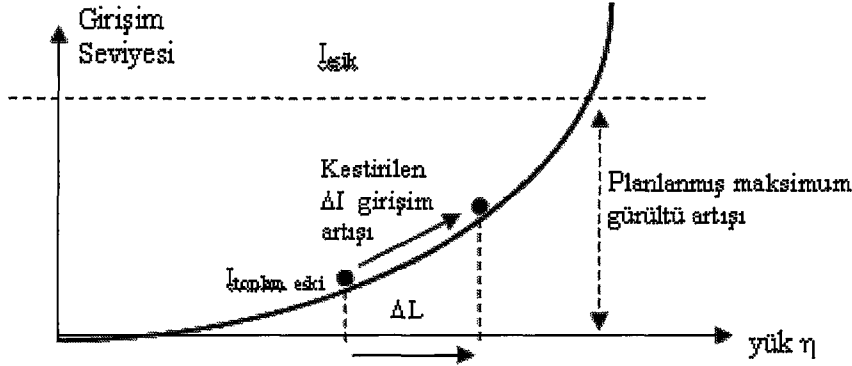
Yeni kullanıcı, yukarı bağlantıda radyo baz istasyonunun aldığı güç seviyesinde bir artışa neden olacaktır. Eğer, talep edilen hizmetin, o anki yükün ve kanal durumlarının bir fonksiyonu olan bu artış, diğer kullanıcıların kodunu çözmede yeterince problem oluşturuyorsa, yeni mobil terminalin şebekeye erişiminin reddedilmesi daha iyidir. Ortogonal yayma kodların kullanıldığı aşağı bağlantıda, genellikle radyo baz istasyonunun iletebileceği maksimum güç ile bir sınırlama oluşturulmuştur. Diğer bir deyişle, radyo baz istasyonu yeni kullanıcının ihtiyaç duyduğu gücü iletebilecek durumda olmayabilir. Bu değerlendirmeler temel alınarak, mobil terminal çağırma kurulumu yapmadan önce bir kabul kontrol işlemi, güç seviyesinin cihaz ve operatör tarafından belirlenen değerlere uygun olup olmadığını kontrol etmelidir. Eğer uygunluk söz konusu değilse, yeni kullanıcının şebekeye erişiminin reddedilmesi tavsiye edilir. Alternatif olarak, yeni kullanıcıların talep ettiği hizmetler tekrardan gözden geçirilebilir. Örnek olarak, bazı kullanıcıların hızları azaltılmak suretiyle toplam iletilen güç azaltılacak ve dolayısıyla yeni kullanıcıların şebekeye erişimine imkan sağlanmış olacaktır.

Güç (girişim) tabanlı kabul kontrolünde, yukarı bağlantı kabul kontrol algoritmasına göre eğer yeni bir kullanıcı şebekeye kabul edildiği takdirde oluşan girişim seviyesi bir eşik değerinden düşükse kabul yapılır [5]:

$$I_{toplam_eski} + \Delta I > I_{esik} \quad (4.24)$$

$I_{eşik}$ eşik değeri maksimum yukarı bağlantı gürültü artışına benzemektedir ve radyo şebeke planlama tarafından belirlenir. Link planlamasında, gürültü artışı girişim aralığı olarak yer almalıdır. Güç tabanlı kabul kontrolü Şekil 4.2' de gösterilmiştir. Yukarı bağlantı kabul kontrol algoritması yük artışını aşağıda sunulan iki yöntemden

herhangi biri ile hesaplar. Yukarı bağlantı güç artış kestirim yöntemleri, yukarı bağlantı yük eğrisini hesaba katar.



Şekil 4.2 Yukarı bağlantı yük eğrisi ve yeni bir kullanıcı yük artışının kestirimi

İki farklı yukarı bağlantı yük kestirim yöntemi aşağıda gösterilmiştir. Bunlar; girişim tabanlı kabul kontrolünde kullanılabilir. Buradaki temel fikir, alınan yukarı bağlantı geniş bantlı girişim gücündeki (I_{toplam}), yeni bir kullanıcıdan dolayı oluşan ΔI artışını tespit etmektir. Yeni kullanıcının şebekeye kabulü ve güç artış kestirimi, kabul kontrol fonksiyonelliği ile gerçekleştirilebilir.

İlk önerilen yöntem (4.27) eşitliğinde belirtilen türev yöntemi ve ikincisi (4.28) eşitliğinde belirtilen integral yöntemidir. Her ikisi de yük eğrisini hesaba katarlar ve yukarı bağlantı girişiminin yukarı bağlantı yük faktörüne göre değişimine (türevine) bağlıdır.

$$\frac{dI_{toplam}}{dI} \quad (4.25)$$

$$\text{Gürültü artışı} = \frac{I_{toplam}}{P_N} = \frac{1}{1-\eta} \Rightarrow$$

$$I_{toplam} = \frac{P_N}{1-\eta} \Rightarrow \quad (4.26)$$

$$\frac{dI_{toplaml}}{d\eta} = \frac{P_N}{(1-\eta)^2}$$

Yukarı bağlantı girişim gücündeki değişim (4.27) eşitliği ile elde edilebilir. Bu eşitlik güç artışının, yukarı bağlantı eski girişim gücünün yukarı bağlantı yük faktörüne göre türevinin yeni kullanıcının yük faktörü (ΔL) ile çarpımı şeklinde olduğu varsayımına dayanır:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta I}{\Delta L} &\approx \frac{dI_{toplaml}}{d\eta} \Leftrightarrow \\ \Delta I &\approx \frac{dI_{toplaml}}{d\eta} \Delta L \Leftrightarrow \\ \Delta I &\approx \frac{P_N}{(1-\eta)^2} \Delta L \Leftrightarrow \\ \Delta I &\approx \frac{I_{toplaml}}{1-\eta} \Delta L \Leftrightarrow \end{aligned} \quad (4.27)$$

İkinci yukarı bağlantı güç artış kestirim yöntemi integrasyon yöntemine dayanmaktadır. Bu yöntemde, girişimin yük faktörüne göre türevi, yük faktörünün eski değerinden ($\eta_{\text{eski}} = \eta$) yeni değerine ($\eta_{\text{yeni}} = \eta + \Delta L$) kadar aşağıdaki gibi integre edilir:

$$\begin{aligned} \Delta L &= \int_{\eta}^{\eta+\Delta L} dI_{toplaml} \Leftrightarrow \\ \Delta I &= \int_{\eta}^{\eta+\Delta L} \frac{P_N}{(1-\eta)^2} d\eta \Leftrightarrow \\ \Delta I &= \frac{P_N}{1-\eta-\Delta L} - \frac{P_N}{1-\eta} \Leftrightarrow \\ \Delta I &= \frac{\Delta L}{1-\eta-\Delta L} \frac{P_N}{1-\eta} \Leftrightarrow \\ \Delta I &= \frac{I_{toplaml}}{1-\eta-\Delta L} \Delta L \end{aligned} \quad (4.28)$$

(4.27) ve (4.28) eşitliklerinde yeni kullanıcının yük faktörü ΔL , yeni kurulan bağlantının kestirilen yük faktörüdür ve şu şekilde elde edilir:

$$\Delta L = \frac{1}{1 + \frac{W}{v (E_b/N_o) R}} \quad (4.29)$$

Burada W chip hızı, R yeni kullanıcının bit hızı, E_b/N_o yeni bağlantının kabul edilen E_b/N_o değeri ve v yeni bağlantının kabul edilen ses aktivitesidir.

Aşağı bağlantı kabul kontrol stratejisi de yukarı bağlantıdaki gibidir. Örneğin yeni kullanıcı, eğer yeni toplam aşağı bağlantı iletim gücü daha önceden belirlenmiş hedef değeri geçmese kabul edilir [5]:

$$P_{toplam_eski} + \Delta P_{toplam} > P_{esik} \quad (4.30)$$

P_{esik} eşik değeri radyo şebeke planlama tarafından ayarlanır. Aşağı bağlantıdaki ΔP_{toplam} yük artışı başlangıç güce bağlı olarak belirlenir. Başlangıç güç baz istasyonundan uzaklığa bağlıdır ve açık çevrim güç kontrol algoritması ile belirlenir.

4.5.2 Net Çıkış Verimine Dayanan Kabul Kontrol Stratejisi

Net çıkış verimine dayanan kabul kontrol yaklaşımında aşağıdaki eşitsizlikler dikkate alınarak yeni kullanıcının radyo erişim şebekesine kabulü yapılır [5].

$$\eta_{UL} + \Delta L > \eta_{UL-esik} \quad (4.31)$$

aşağı bağlantıda;

$$\eta_{DL} + \Delta L > \eta_{DL-esik} \quad (4.32)$$

Burada; η_{UL} ve η_{DL} yeni bir bağlantı kabulü yapılmadan önceki yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı yük faktörleridir ve bölüm 4.4.1 ve 4.4.2' de gösterildiği gibi

belirlenir. Yeni kullanıcının yük faktörü ΔL , eşitlik (4.29)' daki gibi hesaplanır. Sonuç olarak, yukarı ve aşağı bağlantıda farklı kabul stratejileri izlenebilir.



5 EŞZAMANLI MEDYA ARABİRİM KONTROLLÜ PAKET İLETİMİ

5.1 Giriş

İletişim teknolojilerinin gelişimi gelecekte çoğul ortam servisleri için daha büyük bir talep doğacağını göstermektedir. Çoğul ortam uygulamaları genel olarak durağan net çıkış verimi, küçük gecikme farkı ve sınırlı kayıp oranı gereksinimlerini beraberinde getirirler. Şu ana kadar geliştirilmiş olan çoğul ortam protokolleri temelde kablolu sabit şebekeler için geliştirilmişlerdir. Ancak mobil iletişimdeki gelişmeler benzer protokollerin mobil ve kablosuz sistemlere uyumlu olarak geliştirilmesi gerekliliğini doğurmuştur. Sabit şebekelere nispeten kablosuz bağlantılar kabaca *iyi* ve *kötü* olarak nitelendirebileceğimiz durumlar arasında sınırlar. *Kötü* olarak nitelendirdiğimiz kanal durumunda bazı zaman periyotlarında birbirleriyle ilişkili uzun hatalar nedeniyle iletişimin mümkün olamamaktadır. Uygulamalar açısından kötü kanal şartları düşük net çıkış verimi, yüksek kayıp oranı, yüksek gecikme farkı veya gecikme olarak yaşanacaktır.

Çalışmanın temel düşüncesinde uygulamaların durağan olmayan kanal şartlarına göre kendini adapte ederek mevcut kalite ile yetinmesi yerine [3]; çoğul ortam uygulamaları için WCDMA sisteminin sunduğu servis kalitesini (QoS) uygulamanın ihtiyacına göre adaptif hale getirmek yatmaktadır. Böylelikle uygulamalara sağlanan servis kalitesinde durağanlık sağlanabilecektir. Servis kalitesini durağan hale getirmekle ifade edilmek istenen; elde edilebilir servis kalitesinin uygulama tarafından ihtiyaç duyulanla eşzamanlı (paralel) halde tutulabilmesidir. Verilen hizmetin servis kalitesinin sabit tutulabilmesi için gerektiği durumda gecikme ve gecikme farkında artışa yol açmadan, net çıkış verimini düşürmeden kayıp oranı düşürülebilmelidir. Ayrıca kullanılacak algoritmalar kanalın durumunun *iyi* olduğu anlarda bant genişliğini gereksiz yere harcamamalıdır.

ARQ, FEC veya HARQ gibi yöntemler kullanılarak kaybedilen verinin (paketlerin) yeniden iletimi yoluyla uygulamaların yaşadığı kayıp oranı azaltılabilmektedir. ARQ

yöntemi kullanıldığında kötü kanal koşullarında hatalı paketler tekrar iletileceğinden gecikmenin artmasına ve net çıkış veriminin düşmesine yol açılmış olacaktır. Çünkü bir paketin yeniden iletimi iletim kuyruğunda beklemekte olan sonraki tüm paketlerin gecikmeli olarak gönderilmesi anlamına gelmektedir. Oysa gerçek zamanlı çoğul ortam uygulamalarında paketlerin alıcıya ulaşmasının belirli gecikmenin üzerine çıkması durumunda bu paketler kayıp olarak kabul edilirler.

FEC kullanılmasının bedeli ise net çıkış veriminin düşmesi olarak ödenecektir. Kötü kanal durumlarında paketlerin aynılarının tekrar iletiminde fazla bant genişliği harcanmasına yol açacak olan FEC başlıkları net çıkış verimini olumsuz etkileyecektir.

Bu bölümde ele alınan yaklaşımın ana fikri toplam kullanılan CDMA kanal sayısının belirli bir sınırı aşmadığı durumda, kullanıcıya birbirine paralel birden fazla CDMA kanal kullanımına izin verilmesidir. Bu bölümde SMPT tekniğiyle çoklu kanal kullanımı sağlanarak çoğul ortam uygulamalarının servis kalitesinin artırılması ele alınacaktır. Bir kullanıcıya birden fazla kanal tahsisine yönelik çalışmaların çoğunda tahsis edilen kanal sayısı kanal durumuna göre değişmemektedir[21]. Bu yaklaşımların aksine SMPT 'de kanal koşulları kötüleştiği durumda geçici olarak birden fazla kanal tahsisi söz konusudur. Bu işlemin geçici olarak yapılmasının nedeni, aynı zamanda kanal kullanımının artmasıyla İşaret/Gürültü (SNR) oranının düşürülmesine yol açılmasıdır. Kullanılan toplam kanal sayısı, kapasitesinin girişime bağlı olduğu WCDMA sisteminde²⁴ SNR değerini yüksek tutmaya çalışan kullanıcıların SNR değerleri üzerinde istatistiksel etki yapmaktadır.

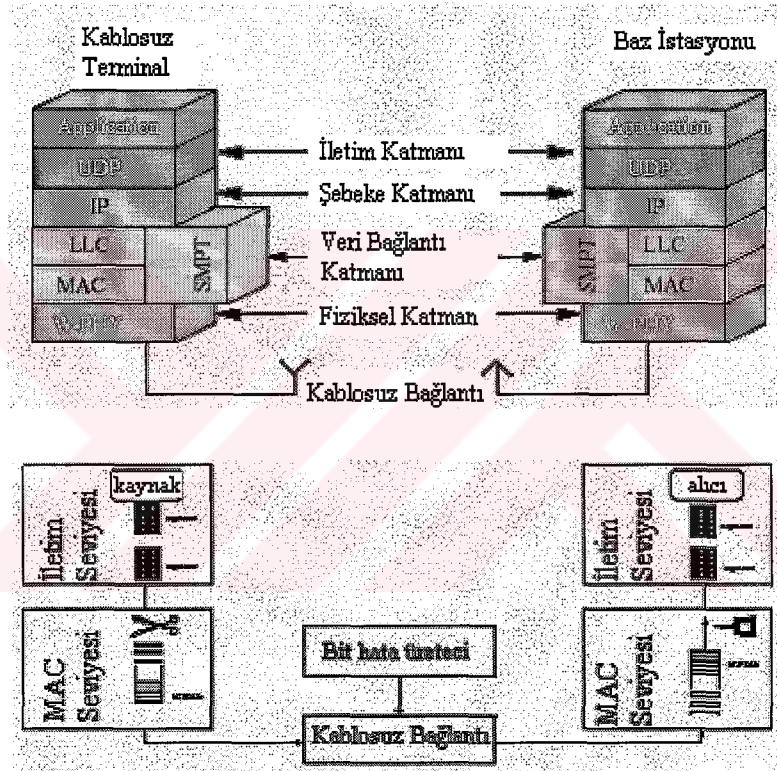
SMPT uygulamaların kullandığı güvenli iletim protokolü olan TCP 'nin performansını oldukça olumlu etkilemektedir. Bu bölümde SMPT'nin özellikle çoğul ortam uygulamalarının kullandığı UDP performansı üzerindeki etkileri ne de değinilecektir.

Bundan sonraki bölümlerde ilk olarak SMPT tekniği ele alınacak, ardından SMPT 'nin çoğul ortam uygulamalarına uygulanması ele alınıp son olarak ta SMPT sistem modeli ve performans değerlendirmesi üzerinde durulacaktır.

²⁴ Bkz. Bölüm 4.

5.2 SMPT Tekniği

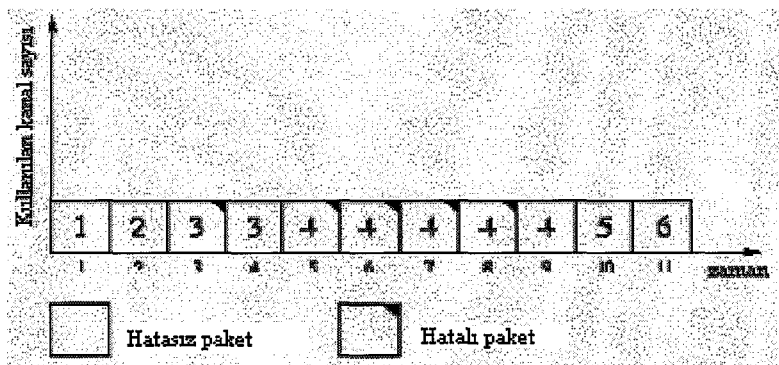
Şekil 5.1’de UDP gibi iletim birimlerinin MAC seviyesinde paket gruplarına ayrılması gösterilmiştir. Her bir pakete ise ζ başlığı eklenmektedir. Bu başlık MAC paketlerini doğru sırada elde edebilmek, ait olduğu UDP birimine ilişkilendirmek ve hata tesbiti için kullanılır. Başlık bilgisi eklenen paketler kablosuz bağlantı üzerinden iletilirler, alıcıda tekrar sıraya konarak iletim katmanına gönderilirler. Kablosuz mobil sistemlerde olduğu gibi kablosuz bağlantının zamanla değışen bit hata olasılığında olduğu düşünölmektedir.



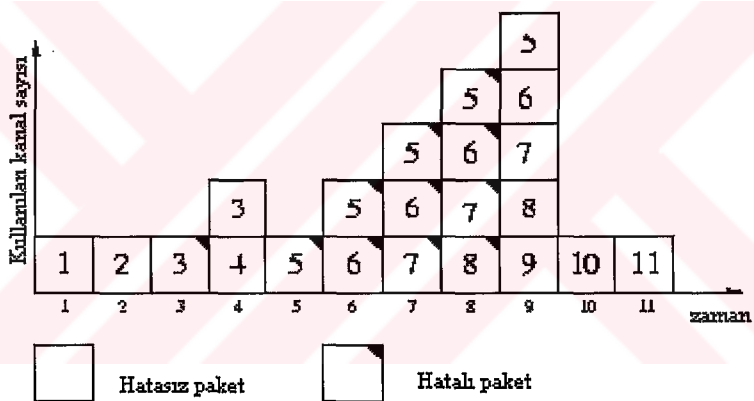
Şekil 5.1 İletim katmanları ve MAC seviyesinde iletim birimlerinin paketlenmesi ve birleştirilmesi.

Her bir haberleşme oturumu için bir WCDMA kanalı kullanıldığı ve diğeri kullanıcıların girişimden dolayı gürültü olarak algılandığı durumu ele alalım. Bu durumda B_{iyi} WCDMA kanalının iyi durumdaki elde edilebilir bit hızını göstermektedir. Bu durum için servis kalitesinin haberleşme uygulaması için yeterli olduğunu kabul edelim. Temel işleyişte düzeltilemeyen bit hatasına maruz kalan her bir paket kayıp olarak kabul edilir. Aynı zamanda tek bir paketin kaybedilmesi tüm UDP segmentinin kaybedilmesi anlamına gelmektedir. Belirlediğimiz senaryoda

WCDMA tabanlı mobil haberleşme sisteminde aktif kullanıcı sayısından fazla sayıda WCDMA kodları bulunmaktadır.



Şekil 5.2 Sıralı İletim Metodu



Şekil 5.3 SMPT İletim Metodu

Hata düzeltme maksatlı en basit yöntem olan ARQ yöntemi kullanıldığında (ARQ kablosuz LAN standartlarında önerilmektedir) Şekil 5.2’de gösterildiği gibi gönder ve bekle mantığıyla her gönderilen paket için ulaşıldı onayı gelene kadar beklenmekte ve kaydedilen paketler bu süre içerisinde bekletilmektedirler. Sonuç olarak etkin bant genişliği B_{iyi} ‘den $B_{kötü}$ ‘ye düşmekte olup eşzamanlı olarak gecikme farkı da artmaktadır. Sonuçta ortaya çıkan $B_{kötü}$ bit hızının servis kalite parametreleriyle belirlenen net çıkış verimini sağlayamayacağı ve ortaya çıkan gecikme farkının uygulama için kabul edilemez olacağı özellikle gerçek zamanlı uygulamalar için ortadadır.

SMPT temel olarak yukarıda anlatılan durumdaki problemleri ortadan kaldırmaktadır. Kanalin iletim koşulları kötü olduğu müddetçe çoklu WCDMA kanalları kullanımıyla $\omega = B_{iyi} - B_{kötü}$ bit hızı kaybının telafi edilmesi amaçlanmıştır. Kablosuz bağlantı kalitesindeki değişimleri yakalayabilmek için bir bilgi geri beslemesine ihtiyaç vardır. Bu durum CDMA radyo ucundaki kullanıcı cihazları tarafından yapılacak erişim isteği doğrultusunda sistem özelliklerine göre WCDMA sistemi tarafından gerekli kanallar tahsis edilecektir. Bir kullanıcıya verilebilecek maksimum kanal sayısı örneğin bir mobil şebeke hücresi için, WCDMA sisteminin kullanabileceği maksimum kod sayısının yanında hücredeki trafikle ters orantılı biçimde tahsisat yapılabilir. Ancak bir kullanıcıya beş paralel kanaldan fazla tahsisat yapılması gerçekçi bir yaklaşım olmayacaktır.

Şekil 5.3'te uygulanabilecek bir SMPT iletim metodu görülmektedir. Sıralı İletim ise Şekil 5.2 'de gösterilmiştir. Hiç bir hata oluşmadığı müddetçe paketler bir WCDMA kanalı kullanarak sıralı olarak gönderileceklerdir. Bir paket iletimi başarısız olduğunda SMPT ek bir WCDMA kanalı daha kullanarak, iletilemeyen paketle bir sonraki paketi paralel olarak iletmeyi dener. Eğer sonraki iletimde de hata olursa kullanıcıya tahsis edilebilecek maksimum kanal sayısına kadar bu şekilde paralel kanal kullanılarak iletmek istenen paketler artırılabilecektir. Burada göz önünde bulundurulacak nokta bir τ_{slot} 'luk WCDMA çerçeve zaman aralığında paralel iletilen paketlerin ya hepsi başarılı olarak iletilebilecek ya da başarısız olacaklardır. Hata oluşumundan dolayı iletilemeyen paketlerin tamamı iletildikten sonra ek olarak kullanılan WCDMA kanalları bırakılacaktır.

Paralel k adet WCDMA kanalı kullanımıyla elde edilen $B_{toplam,k}$ k adet $B_{kötü}$ kanal hızının toplamından daha küçük olmaktadır. Paralel k adet kanal kullanımından dolayı toplam bit hızında meydana gelen bit hızı düşümü Δ_k ile ifade edilmektedir.

$$B_{joint,k} = k B_{bad} - \Delta_k \quad (5.1)$$

$B_{toplam,k}$, Δ_k 'ya bağlı olduğundan daha açık ifade edilecek olursa,

$$\Delta_k = \Delta_{Codes,k} + k \Delta_{ECS} + \Delta_r \quad (5.2)$$

5.2.1 Ek Kanal Kullanımının Getirdiği Etki (Δ Codes,k)

Kullanılan paralel kanalların sayısının artmasıyla gürültü seviyesi (WCDMA alıcısındaki girişim) de artacak ve dolayısıyla gerçek bit hızları bir miktar düşecektir. Bu parametrenin etkisi algılanan ortak girişim nedeniyle tüm CDMA sistemine bağlıdır. Bu nedenle WCDMA sistemini SMPT yaklaşımının olumsuz etkilerinden koruyucu mekanizmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin bir CDMA baz istasyonu hücrenin boyutlarının (kapasitesinin) bilgisine sahip olacağından her bir mobil kullanıcıya belirli bir maksimum sayıdan fazla kod tahsisi yapmamalıdır. Benzer şekilde mobil cihaz net çıkış verimi iyileşmediği halde ek WCDMA kanal isteğinde bulunmamalıdır. Sonuç olarak hücrede mobil kullanıcılar için optimum kanal sayısı belirlenebilir ve böylece hücredeki diğer mobil kullanıcılara olan etki daha düşük tutulurken, bant genişliği daha durağan seviyede tutulabilecektir.

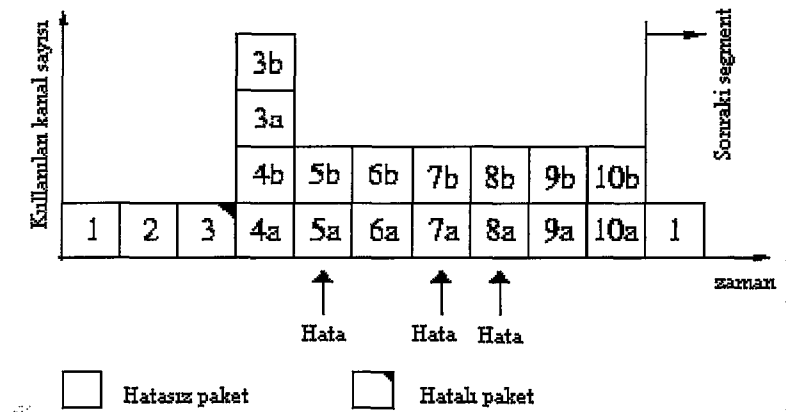
5.2.2 Hata Düzeltme Tekniğinin Getirdiği Etki (Δ ECS)

Kablosuz bağlantı kalitesinin düşük olduğu durumda, paketleri ek hata düzeltme mekanizmalarıyla koruyabiliriz. Bit hata olasılığının yükselmesi durumunda ARQ yerine FEC metoduna geçilebilir. Elbette hata düzeltme yöntemlerinin her bir kanalın gerçek bit hızında düşüşe neden olması kaçınılmazdır.

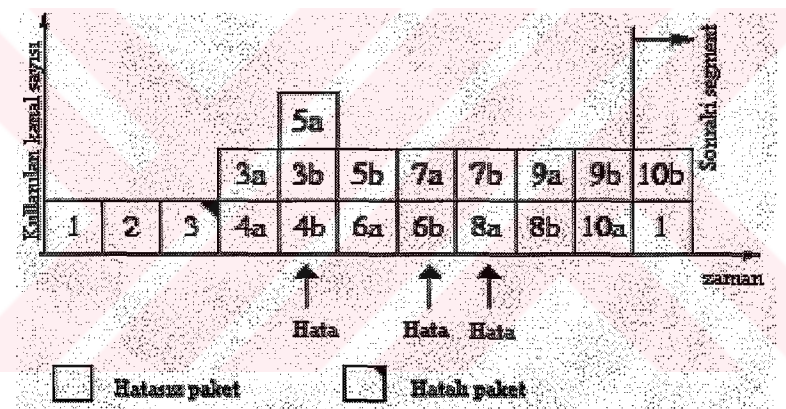
Şekil 5.4 ve 5.5’de sırasıyla dikey ve yatay SMPT yaklaşımları ifade edilmektedir. FEC ‘ı kullanma algoritması dikey SMPT yaklaşımıyla açıklanmıştır. Bu yaklaşıma göre ilk hatalı paket oluşumu tespit edildiğinde (Şekil 5.4’te 3 ncü paket), hatalı paket ve sonraki paket t pakete bölünerek iletilirler. Bu paketlerin her biri ek FEC kodu ile korunmuşlardır ve her biri ayrı kanaldan iletilirler.

Burada önemli bir soru, kullanılan ek kanalların ne zaman bırakılacağıdır. En basit çözüm paketleri oluşturduğu bölümün (segment) iletimi tamamlandıktan sonra ek kanalların serbest bırakılabileceğidir. Şekil 5.4’teki örnek bölümün kalan paketleri (5’ten 10’a kadar) FEC kullanımıyla korunacaktır. FEC uygulandığı bu durumda oluşabilecek hatalara karşı işlem tekrarlanabilecektir. Bu yöntemin bir sakıncası; linkte artık hata oluşmasa bile FEC kullanımının devam etmesidir. Çünkü FEC kullanımı sayesinde hataların oluşmadığı varsayılmaktadır. Bu nedenle birçok

durumda spektrum verimli kullanılmamış olur. Bu sakıncayı ortadan kaldıracak daha karmaşık çözüm Şekil 5.6'daki gibi uygulanabilir.

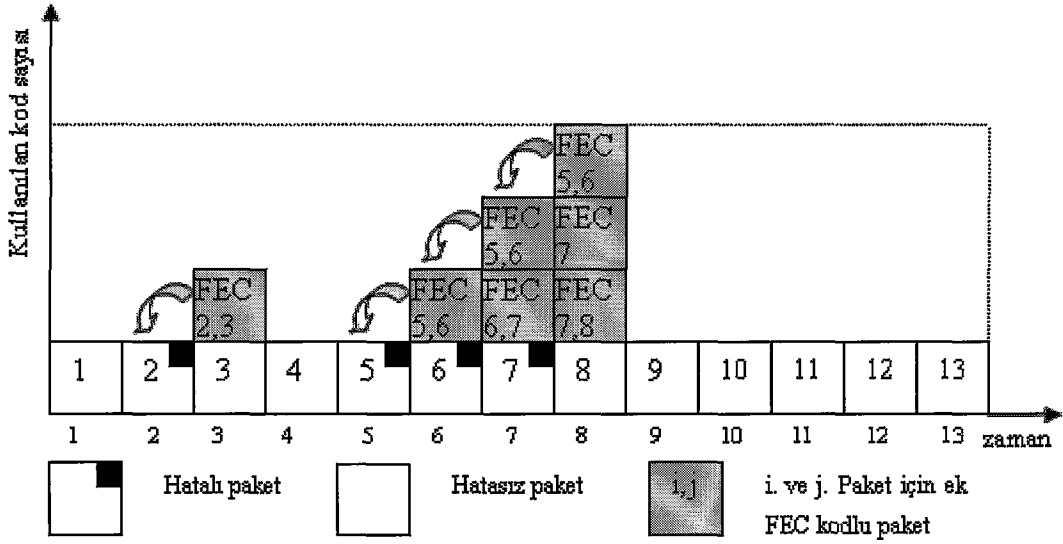


Şekil 5.4 Dikey FEC kullanımlı SMPT İletim Metodu



Şekil 5.5 Yatay FEC kullanımlı SMPT İletim Metodu

Paket grubundaki (segment) paketlere FEC kodu eklemek yerine FEC paketleriyle orjinal paketler korunabilir[22]. Örneğin paket grubunun i . paketinin bozulduğunu kabul edelim. i . paketi FEC kodu ekleyerek yeni bir kanaldan iletmek yerine $i+1$. paket i . paketle birleşik FEC kodlamasıyla birlikte ek bir kanaldan iletilip $i+1$ ve i . paket için FEC koruması sağlayacaktır. Paketler hatalı iletildikçe ek kanallardaki FEC paketleri artacaktır. Orjinal paketler ilk kanaldan FEC kodu olmaksızın iletildiklerinden hatasız iletimi gerçekleştiğinde kanal durumunun iyileştiği bilgisi alınmış olacak ve spektrum verimli kullanmak amacıyla FEC kullanımı durdurulacaktır. Şekil 5.6'da bu yönteme ilişkin bir örnek gösterilmiştir(3. ve 8. paketlerin hatasız iletiminin tespit edilebilmesiyle FEC kullanımı durdurulabilmiştir).



Şekil 5.6 FEC(Hibrit tür II) ile SMPT İletim Metodu

5.2.3 Kanal Tahsislerinin Getirdiği Etki ($\Delta\tau$)

Bağlantı kalitesini istenen seviyeye çekmek için gerekli olan kanallar hemen kullanıma hazır hale gelemezler. Yeni bir kanal kurulması için τ kadar bir gecikme oluşacaktır. τ aşağıda açıklanan τ_{decs} , τ_{aloc} ve τ_{sync} parametrelerine bağlıdır.

τ_{decs} - Bit hızı düşüşünün tespit edilmesine kadar geçen süre.

τ_{aloc} -Yeni bir kanal tahsis edilene kadar geçen süre. Kanal tahsis etme işlemi mobil kullanıcı tarafından yapıldığı müddetçe τ_{aloc} değeri 0 alınabilir. Eğer CDMA sisteminde merkezi kanal yönetimi mevcutsa bu değer artacaktır.

τ_{sync} -Kanala senkronizasyon sağlanana kadar geçecek süredir.

Bu parametrelerin toplamı τ 'yi verecektir.

$$\tau = \tau_{decs} + \tau_{aloc} + \tau_{sync} \quad (5.3)$$

$\Delta\tau$ ise τ 'den kaynaklanan bit hızı üzerindeki azaltıcı etkiyi göstermektedir.

Tüm bu etkiler sonucunda $B_{joint,k}$ aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

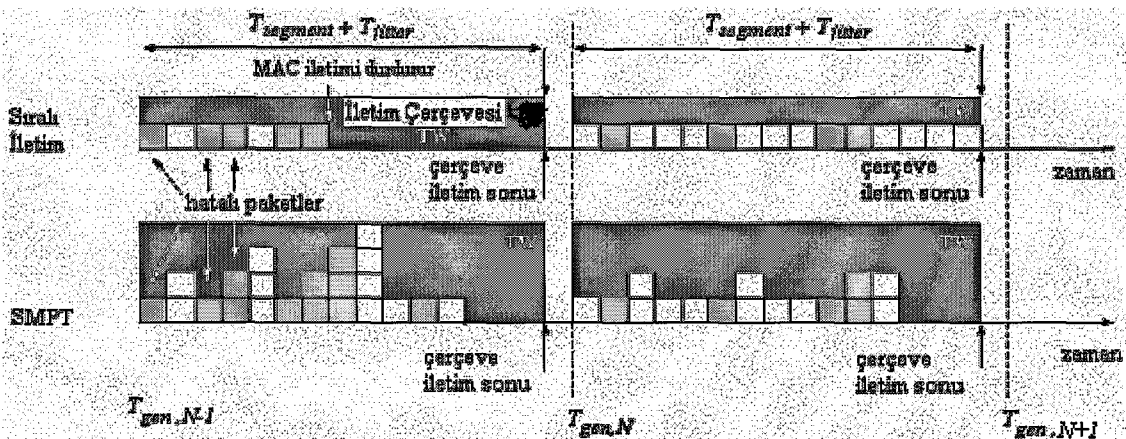
$$B_{joint,k} = k B_{bad} - \Delta_{Codes,k} - k \Delta_{ECS} - \Delta_{\tau 6} \Delta_k \quad (5.4)$$

$B_{joint,k}$ 'in B_{good} seviyesine ulaşacağı her zaman garanti edilemez. Bu tamamen kablosuz sistemin dizayn parametrelerine ve kullanılan CDMA teknolojisine göre değişmektedir.

5.3 Çoğul Ortam Uygulamaları İçin SMPT

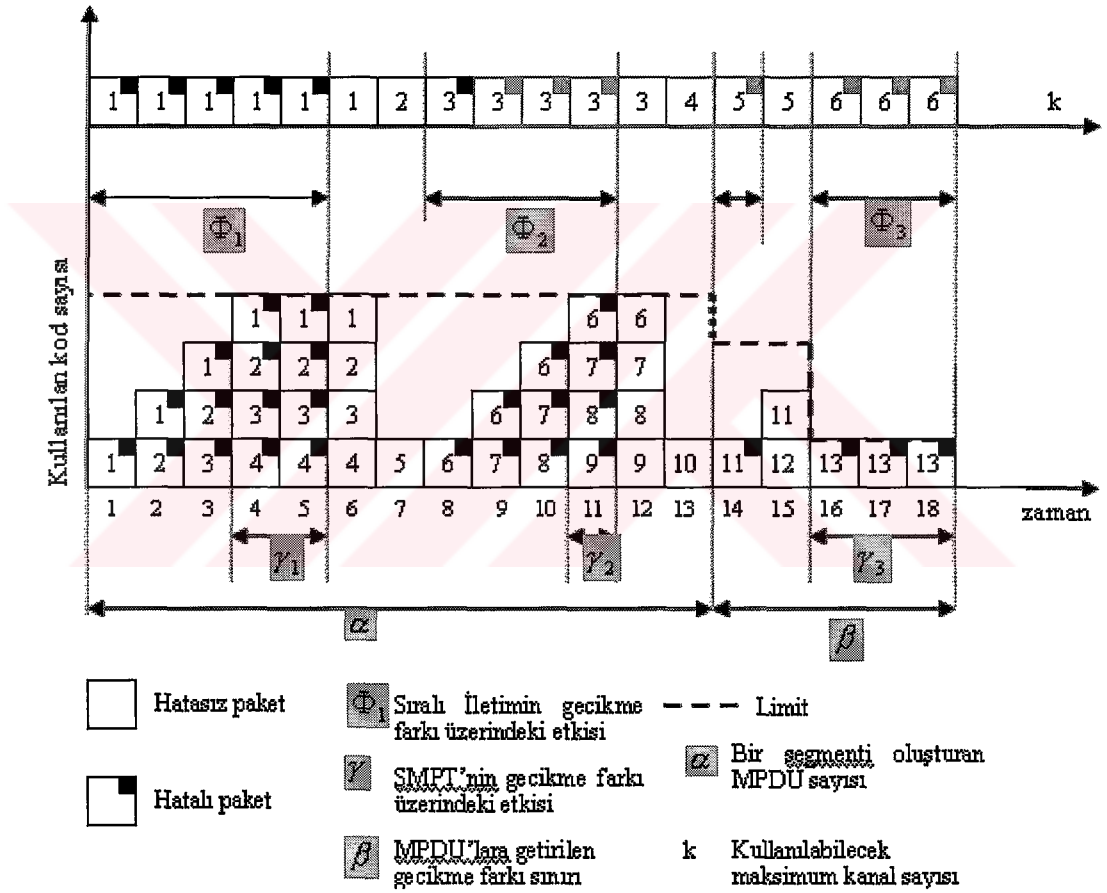
Çoğul ortam uygulamaları servis kalite parametrelerine genel veri hizmetlerinden (ftp, www, e-posta) daha çok ihtiyaç duymaktadırlar. Özellikle uygulama veri parçalarının gecikme farkı (jitter) sınırlandırılmalıdır. Genel ARQ mekanizmasını kullanan MAC seviyesini örnek verecek olursak; gecikme farkı izin verilen maksimum yeniden iletim sayısı ile sınırlandırılmıştır. Bu aynı zamanda SMPT kullanılmayan Sıralı İletimde yeniden iletim sayılarını azaltıp uygulama veri parçalarının kaybedilme olasılığını artırmaktadır. Bu alt bölümde servis kalitesini durağan hale getirebilmek amacıyla Sıralı İletime kıyasla belirli bir SMPT algoritması incelenecektir.

Belirli bir gecikme farkı sınırı t_{jitter} ve SMPT yaklaşımı için donanım sınırlamalarından dolayı kullanılabilir maksimum kanal sayısının k olduğunu kabul edelim. Uygulama veri parçaları MAC seviyesinde MAC paket veri birimlerine (MPDUs) ayrılırsınlar. Bir MPDU'yu iletmek için gerekli zaman t_{MPDU} , CDMA kanal süresi τ_{slot} ve kablosuz bağlantıda hiç bir hata oluşmadığı durumda uygulama veri parçasının iletilmesi için geçecek süre $t_{segment}$ olsun. Bir uygulama veri parçasındaki MPDU sayısı ise α olsun.



Şekil 5.7 Sabit Segment Üretim Hızında SMPT ve Sıralı İletim

Şekil 5.7’de segmentler sabit τ_{gen} hızında üretilmektedirler ve üretilen paketler $t_{\text{segment}} + t_{\text{jitter}}$ uzunluklu İletim Çerçevesi (TW) içinde kablosuz bağlantıdan iletilirler. Sıralı iletimde iletimi başarısız olan MPDU aynı kanal üzerinde tekrar iletilecektir. Eğer MPDU ’ların toplam tekrar iletim sayısı β ’yı geçerse MAC yeniden iletimi durdurup ilgili uygulama segmentine ilişkin MPDU ’ları artıracaktır. Bu durumda gönderen uygulama $\tau_{\text{gen},N+1}$ ’de bir sonraki segmente ilişkin yeni MPDU ’ları göndermeye başlayacaktır. Böylece gecikme farkı izin verilen maksimum yeniden iletim değeri β ile sınırlandırılmış olur. Bu nedenle her başarılı olarak iletilen segment $t_{\text{segment}} + t_{\text{jitter}}$ ’a eşit veya daha az bir gecikmeye sahip olacaktır.



Şekil 5.8 Çoğul ortam uygulamaları için incelenen SMPT yaklaşımı ve Sıralı İletim($\alpha=13, \beta=5, k=4$)

Şekil 5.8’de sıralı iletim ve SMPT iletiminde, $N_{\text{ErrorBurst}}$ hata dizisinin segment gecikme farkını nasıl etkilediğini göstermektedir. Örnekte uygulama veri parçası $\alpha=13$ pakete bölünmüştür. Sıralı iletimde yukarıda anlatıldığı gibi her yeniden iletim segmentin gecikme farkını artırmaktadır. Sıralı durumda yeniden iletim sayısını Φ_i ile

gösterelim. Aşağıdaki ifade sağlandığı müddetçe gönderici taraftaki MAC seviyesi kablosuz bağlantı üzerinden paketleri göndermeye devam edecektir. İkinci hata dizisi (burst) Φ_2 'de üçüncü paketin ilk yeniden iletiminden sonra, gönderen taraftaki MAC seviyesi iletimi durduracaktır. Şekilde gri renkli paketler iletilmeyeceklerdir. Yalnızca anlaşılabilirliği artırmak açısından eklenmişlerdir.

$$J_{Sıralıllı\ tim} = \sum_{i=1}^{i=N_{HataDizisi}} \Phi_i \leq \beta \quad (5.5)$$

SMPT metodunda da iletimi başarısız olan MPDU yeniden iletilecektir. Ancak MPDU yeniden iletilirken kuyruktaki yeni bir MPDU paralel bir kanaldan iletilecektir. Eğer yine iletim başarısız olursa eski MPDU 'lar ve üçüncü bir kanaldan yeni bir MPDU daha gönderilir. Kanal sayısı k ile sınırlı olduğundan paralel maksimum k MPDU iletilebilir. Bu durumda ilk MPDU k kez, ikinci MPDU $(k-1)$. kez ve üçüncü MPDU $(k-2)$. kez yeniden iletilmiş durumdadırlar. k . MPDU ise ilk kez gönderilmiştir. Maksimum k kanala ulaşıldığında yine bit hataları oluşuyorsa k kanalla iletmeye devam edilir. SMPT yaklaşımı içinde bir gecikme farkı sınırı t_{jitter} olsun. t_{jitter} süresince SMPT maksimum $k.\beta$ sayıda yeniden iletme izin verecektir. Yeniden iletim sayısının minimum değeri Sıralı İletimdeki sayıya eşit olacaktır.

Şekil 5.8'de uygulama segmentinin iletiminin başlangıcında beş uzunluklu hata dizisi göstermektedir. Maksimum kullanılabilir kod sayısı $k=4$ 'ün gecikme üzerindeki etkisi sadece $\gamma_1=2$ (sıralı iletimde $\Phi_1=5$ olmasına rağmen) 'dir. Kullanılabilecek kanal sayısı k 'nın artırılmasıyla gecikme farkı üzerindeki etki daha da azaltılabilir. Uygulama veri parçasının gecikme farkı γ_i ile ifade edilmektedir. Sekil 5.8'den görüldüğü üzere kullanılan kanal sayısı L_{limit} sınır değerindeyken kablosuz bağlantıda hata oluşması durumunda γ_i artmaktadır(örnekte $t = 4,5,11,16,17,18$). L_{limit} değeri h kuyrukta iletmek üzere beklemekte olan paket sayısını göstermek üzere aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$L_{Limit} = \left\{ h = \sum_{i=1}^{i=\infty} \gamma_i : \begin{array}{l} k : t \leq t_{segment} \\ \gamma_i : t_{segment} < t \leq t_{segment} + t_{jitter} : h < k \\ k : t_{segment} < t \leq t_{segment} + t_{jitter} : h \geq k \end{array} \right\} \quad (5.6)$$

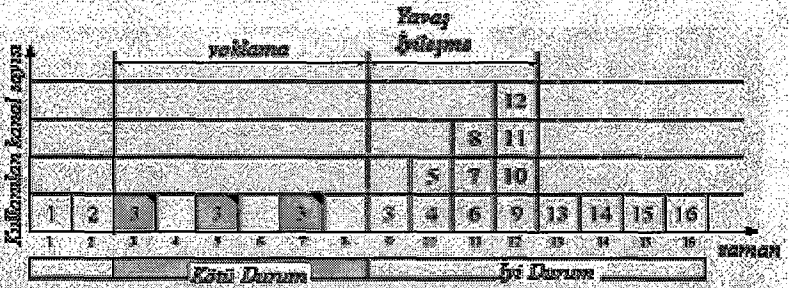
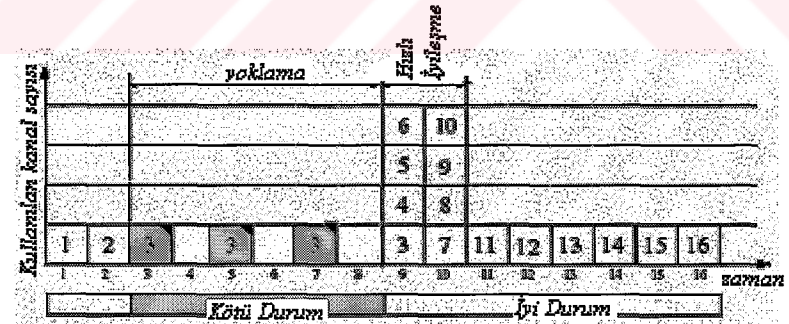
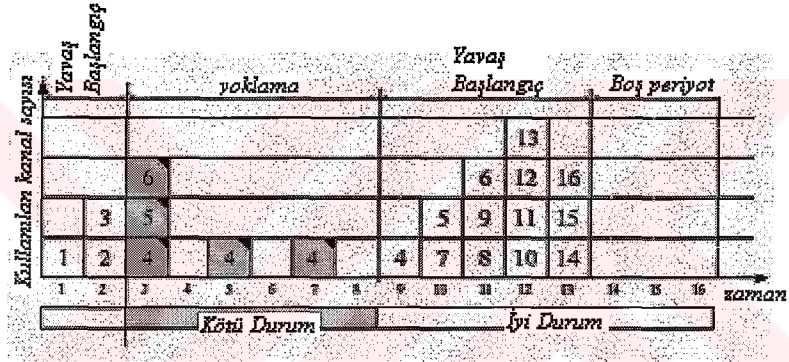
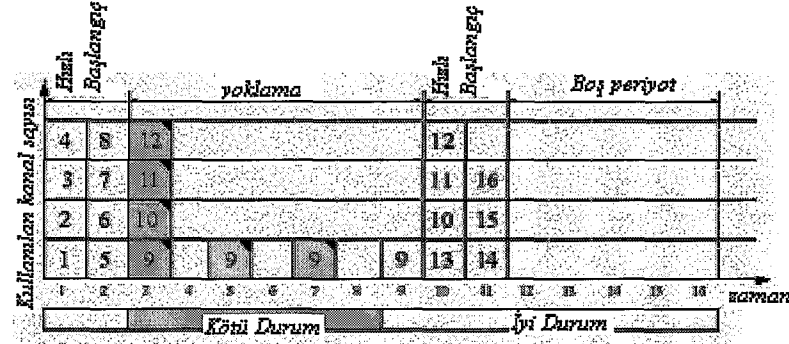
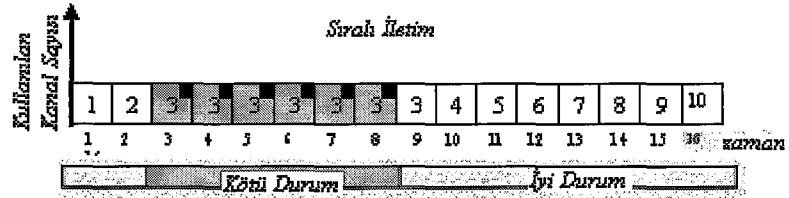
Tüm $N_{HataDizisi}$ 'lerde γ_i 'lerin toplamı β 'yı aşmadığı müddetçe gönderici MAC seviyesi MAC paketlerini göndermeye devam edecektir.

$$J_{SMPT} = \sum_{i=1}^{i=N_{HataDizisi}} \gamma_i \leq \beta \quad (5.7)$$

Uygulama veri parçasını iletmek için kullanılabilir maksimum süre $t_{segment} + t_{jitter}$ Sıralı İletimle aynıdır. SMPT'nin getirdiği üstünlük paralel kanalların kullanımıyla gecikme farkını artırmaksızın daha fazla MPDU iletilmesini sağlamasıdır. SMPT'de yeniden iletim sayısının daha yüksek olmasına imkan tanındığından; SMPT'de uygulama segmentlerinin kayıp olasılığı düşmektedir.

5.4 SMPT İletim Teknikleri

SMPT mekanizmasının CDMA sisteminin spektrumunu daha verimli kullanmasına yönelik bazı değişiklikler öne sürülebilir. SMPT'de iletim seviyesinde ARQ gibi hata kontrol mekanizmalarının gerektirdiği yeniden iletimler nedeniyle kanalda minimum kalitenin altında şartlar olduğunda hiç bir paket iletilemediği halde çoklu kod kullanımına devam ediliyordu. Bunda amaç kanal kalitesi düzeldiğinde paralel kodlarla kuyrukta bekleyen paketlerin gecikmeye uğramaksızın iletilmesini sağlamaktı. Kanalda başarılı iletim gerçekleşmediği halde çoklu kanal kullanımı önlenerek CDMA spektrumunu daha verimli kullanmak mümkün olacaktır. Böylece sistemde daha yüksek SNR değerleri elde edebilmek amacıyla çoklu kanal kullanımına sadece kanal şartları iyi olduğunda izin verilebilir. Bu amaçla kanal şartları iyi olduğunda ilk tek kanaldan kanalın durumunu *yoklamak* amacıyla iletilemeyen paket gönderilir. Bu işlemi *yoklama (probing)* olarak adlandırabiliriz. Gönderici tarafta veri bağlantı seviyesi hata oluştuğunu tesbit ettiği durumda (iki durumlu Morkov zincirinde kanal durumunun *iyi* 'den *kötü* durumuna geçmesi) yoklama paketleri gönderilmeye başlanır. Bu durumda tek CDMA kanalı kullanılacak ve gereksiz girişime neden olunmayacaktır. Yoklama durumu iletmeye çalışılan en son başarısız olan paketin başarıyla ulaştırılmasıyla son bulur. Bu ise kanalın *kötü* durumdan *iyi* duruma geçtiğini belirtmektedir. SNR seviyesini yüksek tutmak amacıyla yalnızca iyi durumdaki kanaldan çoklu kod kullanarak iletim yapılabilir. Kanal durumu yoklama sonucunda iyi duruma geçince çoklu kod kullanımına Şekil 5.9'de gösterilen farklı yaklaşımlar getirilebilir.



Hatasız paket
 Hatalı paket

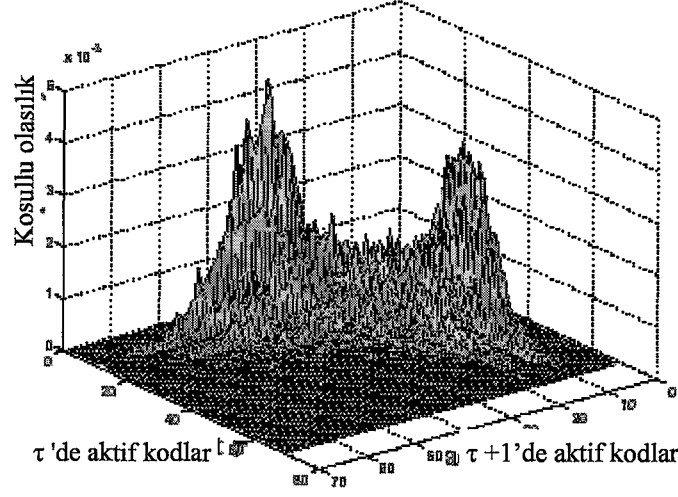
Şekil 5.9 SMPT’de farklı iletim metodlarına örnekler.

Şekilde gösterilen yaklaşımlar sırasıyla Yavaş-Başlangıçlı (Slow-Start), Hızlı-Başlangıçlı (Fast-Start), Yavaş-İyileşme (Slow-Healing), Hızlı-İyileşme (Fast-Healing) olarak adlandırılabilirler.

Şekilde örnek olarak 16 MPDU ‘nun iletimi ele alınmıştır. Yaklaşımlar prensip olarak İyileştirici (Self Healing) ve İşleyen (Startup) olarak ikiye ayırabiliriz. İyileştirici mekanizma yalnızca Sıralı İletimde kanal hataları nedeniyle iletilemeyen paketler nedeniyle istenen QoS hedefi yakalanamayacağı zaman uygulanan yaklaşım olarak adlandırılabilir. İyileştirici mekanizmada iki ana yaklaşım olarak yukarıda bahsedilen Yavaş-İyileşme ve Hızlı-İyileşme sayılabilir. Şekil 5.9’de gösterildiği gibi Hızlı-İyileşmede kanal durumunun iyi olduğunun tesbit edilmesinden sonra CDMA sisteminin mobile tahsis edebileceği tüm kaynakların hepsi kullanılmaya başlanırken, Yavaş-İyileşmede çoklu kodlar kademeli biçimde her periyotta paralel kanal sayısı artırılarak kullanılır. İşleyen Metod yaklaşımında ise kanal iyi duruma geçtiği her durumda çoklu kanal kullanımına geçilir. Bu metoddaki benzer şekilde Yavaş-Başlangıçlı ve Hızlı-Başlangıçlı olarak iki yaklaşım getirilebilir. Hızlı-Başlangıçlıda hemen maksimum sayıda çoklu kanal kullanırılmasına karşın, Yavaş-Başlangıçlı kademeli olarak kanal artırımı uygular. Şekil 5.9’de görüleceği gibi İşleyen metoddaki hiç bir paket iletilmediği *boş* (idle) periyotlar oluşmaktadır. Sıralı iletimde tüm yeniden iletimlerin sonraki paketlerin gecikmesinde olumsuz etkisi vardır. Şekil 5.9’de tüm SMPT tekniklerinde 16 MPDU 16 zaman periyodunda iletilmiş olmasına rağmen Sıralı İletimde iletilememiştir.

5.4.1 SMPT’nin CDMA Ortamındaki Olumsuz Etkileri

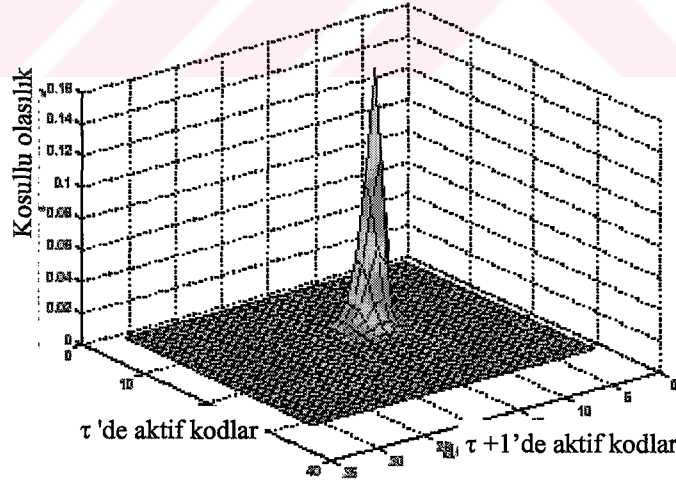
SMPT’nin CDMA sisteminde oluşturacağı önemli bir etki ise uygulanması gereken güç kontrolü üzerinde olacaktır. Şekil 5.10 ve 5.11’te sırasıyla Hızlı-Başlangıçlı ve Yavaş-İyileşme yaklaşımları için aktif kullanılan τ sayıda CDMA koddan sonra $\tau + 1$ kod kullanımına geçişte kullanılan toplam kanal sayısının koşullu olasılığı $p(\tau + 1)$ gösterilmiştir. $p(\tau + 1)$ koşullu olasılığı hücrede kullanılan kodların dinamiğini göstermektedir. Kod kullanımının kısa zaman içinde hızlı değişimler göstermesi CDMA alıcısında oluşan girişimde hızlı dalgalanmalar meydana getireceğinden yüksek performanslı güç kontrolü gerektirmektedir. Çünkü bu durumda oluşan girişimin enerjisi geniş bir ölçekte ve yüksek varyansta dağılım gösterecektir.



EC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
KOMİTE TASLAVI MÜHÜRÜ

Şekil 5.10 Hızlı-Başlangıçlı yaklaşımında tüm kod sayılarının koşullu kullanım olasılıkları[23].

Şekil 5.10 ve 5.11'te Hızlı-Başlangıçlı yaklaşımında Yavaş-Başlangıçlı yaklaşımına göre kod kullanımındaki değişimin çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumda kod kullanımındaki değişimlerin yüksek olması sistemin bu durağansızlığa karşı korunması gerekliliğini ortaya koymaktadır.



Şekil 5.11 Yavaş-İyileşen yaklaşımında tüm kod sayılarının koşullu kullanım olasılıkları[23].

Kod kullanımının ortalama değerinin ve varyansının hücrenin kendisinde ve komşu olduğu diğer hücrelerde büyük etkisi olduğundan kod kullanımındaki değişimin düşük tutulması gereklidir. Eğer hücrede kod kullanımındaki değişim belirli bir

değerin üzerine çıkarsa CDMA tabanlı mobil kullanıcının da bulunduğu şartlarda yeni güç seviyesini ayarlamasında problemler yaşanabilecek ve bağlantılardaki düşme oranlarının artmasına neden olunacaktır. O nedenle sistemde ancak belirli bir orana kadar kod kullanımında değişikliğe izin verilmelidir.



6 SİMÜLASYONLAR

Üçüncü ve dördüncü nesil mobil haberleşme şebekelerinde gerçek zamanlı video iletiminin en önemli uygulamaları olan mobil video telefonu, video konferans, teletıp, video sunucularda yapılan canlı video yayınları, etkileşimli uygulama, oyun ve daha birçok servis kullanıcı bazında yaygın hale geleceklerdir. Bu tür uygulama ve servisler video çerçevelerinin gecikmelerinde ve kayıp oranlarında katı talepler ortaya koymaktadırlar. Gerçek zamanlı videonun yakın gelecekte mobil şebekelerdeki çoğul ortam trafiğinin önemli bir kısmını oluşturacağı düşünüldüğünde; simülasyonlarda elde edilen sonuçlar gelecek nesil hücresel mobil sistemlerin dizayn ve boyutlandırılmasına ışık tutacak niteliktedir.

Simülasyonlarda gerçek zamanlı videonun bir WCDMA hücresinde çoklu kod kullanımı yoluyla iletimi gerçekleştirilmiştir. Çoklu kod kullanımına dayanan SMPT tekniğinin farklı özellikteki video trafiği için değişik tekniklerle uygulanmasıyla video iletiminde servis kalitesini yükselttiği kanıtlanmıştır. SMPT iletimiyle bilinen Sıralı İletime oranla gerçek zamanlı video iletim performansında önemli bir yükselme sağlanmaktadır.

İletilen video trafiğinin iletim kalitesinde Gecikme Farkı (jitter), Net Çıkış Verimi, farklı gecikme sınır değerleri için Çerçeve İletim Başarımı gibi servis kalite değerleri ve sistemde meydana gelebilecek yük artışlarından etkilenimleri incelenmiştir.

Simülasyonlarla WCDMA hücresinin istenen video servis kalitesinde hizmet verebileceği kullanıcı sayıları demek olan hücre kapasitesi de ele alınmıştır. Kullanıcıların WCDMA sistemi ve video iletim kalitesi üzerindeki etkileri ele alınıp WCDMA ortamında simüle edilen gerçek zamanlı video trafiği için kabul ve yük kontrolü uygulanarak sunulan servis kalitesinin sürekliliği hedeflenmiştir.

6.1 Simülasyon Ortamı ve Göz Önüne Alınmayan Bazı Özellikler

Simülasyon ortamı Java dilinde yazdığımız modüler yapıda bir uygulama olarak gerçekleştirilmiştir. Uygulamanın Java gibi nesne tabanlı bir dille geliştirilmiş olması simülasyon senaryolarının gerçekleştirilmesine ve uygulamanın geliştirilmesine önemli katkı sağlamıştır. Uygulamaya eklenen GUI aracılığıyla WCDMA hücresindeki mobil kullanıcıların durumu ve kalite değerleri gerçek zamanlı olarak ta gözlemlenebilmektedir. Simülasyon uygulamasına ait kaynak kodu, iletimi yapılan video dosyaları ve çalıştırılması için gerekli olan Java Runtime V.1.4.0 SE ekte yer alan CD’de bulunmaktadır.

Simülasyonlarda iletim yapmakta olan mobiller birbirlerinden bağımsız olarak iletim yapmakta olup birbirlerinin etkilerini ancak ortak kullandıkları WCDMA alıcısında ürettikleri girişimden etkilenmeleriyle yaşamaktadırlar.

Simülasyonlarda temel olarak aşağıdaki fonksiyonlar gerçekleştirilmektedir:

- WCDMA Alıcısı (radyo baz istasyonu):

Güç kontrolü, kabul kontrolü ve yük kontrolü gibi fonksiyonları tetiklemektedir. Her CDMA iletim periyodunda güç kontrolü sonucunda mobillerin iletim güçlerini belirler. Bunun için her periyotta yukarı bağlantı yük hesaplamaları yaparak mobil erişimlerinde kabul kontrolünü çağırıp, sistemde yük kararsızlıkları tespit ettiğinde ise yük kontrol fonksiyonunu çalıştırır. Simülasyon ortamında CDMA iletim periyodu, mobillerin iletim kuyruklarındaki her bir paketin iletilebileceği süre olan 10 msn seçilmiştir. Her bir paketin 80 bayt (640 bit) olduğu düşünülürse 10 msn’de 64 kbit/sn hızında 80 bayt’lık paket iletilebilecek demektir. 64 kbit/sn değeri simülasyonlarda alınan 3.84 Mchip/sn chip hızı değeri için bir WCDMA kanalının hızı olarak alınmıştır.

WCDMA sistemi için önemli bir diğer parametre ise kapasite sınırlaması için konulmuş olan WCDMA baz istasyonu toplam çıkış gücüdür. Pratikte mobil terminallerin çıkabilecekleri maksimum bir güç seviyesi bulunmaktadır. Bu seviyenin üzerindeki güçlerde iletim yapmaları olanaksızdır. Bu değerler ve hücrede planlanan eşzamanlı hizmet alacak olan mobil sayısı göz önünde

tutularak iletilen toplam güce bir sınır konmaktadır. Hücrede bu güç aşıldığında güç kontrolü tarafından mobillerin iletim güçleri düşürülmektedir. Bu noktadan sonra sisteme kabul edilen mobiller nedeniyle yeni güç dengesinin kurulabilmesi ancak hücredeki mobillerin iletim güçlerini ve dolayısıyla SIR değerlerini düşürmeleriyle mümkün olmaktadır. Simülasyonlarda WCDMA alıcısı için toplam güç sınırı 16W olarak seçilmiştir. Simülasyonlarda belirtilen eşzamanlı kullanıcı sayıları bu bilgi ışığında değerlendirilmelidir. Ancak simülasyonlarda gösterilmek istenen, farklı iletim teknikleri için kapasitenin değişimi olduğundan bu değer farklı seçilmesi sonuçları etkilemeyecektir.

- Mobil Kullanıcı:

CDMA alıcısının güç kontrolü sonucunda kendisine belirttiği iletim gücünde iletim gerçekleştirir. Video okuyucu fonksiyonuna iletilecek video ismini girdi olarak verip iletilecek çerçeve olduğunda video okuyucudan gelen çerçeve bilgisini paketlere bölerek iletim kuyruğuna atar. İletimi belirtilen SMPT iletim tekniğine göre yapmaktadır. Simülasyonlarda çerçevelerin bölündüğü paketlerin uzunluğu 80 bayt, mobil terminallerdeki iletim kuyruğu uzunluğu ise 100 paket büyüklüğünde alınmıştır ($100 \times 80\text{bayt} = 64 \text{ kbit}$).

- Video Okuyucu:

İletimi gerçekleştirilen videolar, Bölüm 3'te karakteristik özellik taşıyan bazı videoların istatistikleriyle incelendiği, H.263 ve MPEG-4 kodlu videolardır²⁵. Simülasyonda kullanılan her videoya ilişkin bir dosya bulunmaktadır. Bu dosyalarda ilişkin zaman periyodunda video kodlayıcının ne kadar baytlık kodlu çerçeve ürettiği yer almaktadır. Video okuyucu nesnesi mobil terminalin belirttiği video dosyasına her 10 msn'lik iletim periyodunda dosyaya göz atarak o zamana ilişkin üretilmiş çerçeve olup olmadığını kontrol eder. Şayet var ise ilişkin çerçeve büyüklüğünü (bayt) mobile geri dönmektedir. Böylece mobil terminaldeki video kodlayıcı çıkışı iletmek

²⁵ Simülasyonlarda kullanılan 25 adet H.263 ve MPEG-4 kodlu videolara ilişkin; çerçevelerinin boyut ve zamanlama bilgilerinin bulunduğu dosyaları EK B'de sunulan CD'de ve <http://www.eas.asu.edu/trace> adresinden elde edilebilir.

istenen video için simüle edilmiş olmaktadır. Mobilde ise bu çerçeve 80 bayt'lık paketlere bölünerek iletim kuyruğuna konmaktadır.

- SMPT İletim Teknikleri:

Yapılan simülasyonlarda 64 kb/sn hedef hızında H.263 kodlu hız kontrollü video için mobillere tahsis edilebilecek maksimum kanal sayısı $R=3$ olarak alınmıştır. Değişken bit hızlı MPEG-4 kodlu video için ise bu değer $R=8$ alınmıştır. Bölüm 6.2'de daha ayrıntılı ele alınmaktadır.

- Kablosuz Kanal:

İletim kanalı ilişkili hataların oluştuğu kötü kanal koşulları ve bu durumların dışında kanalda oluşacak bit hatalarını modellemek amacıyla iki durumlu Markov Modeli olarak modellenmiştir. Buna göre kanal kötü durumda hata oluşma olasılığı 1, iyi durumda ise geliştirilmiş Gauss metoduyla[24] hesaplanmaktadır. Geliştirilmiş Gauss yöntemine göre hatalar hücredeki girişim seviyesine göre üretilmektedir. Gauss hataları ise Rayleigh dağılımından elde edilmekte olup ayrıntılı bilgi Ek B'de verilmiştir.

- Güç Kontrolü:

Simülasyonlar yukarı bağlantı iletim yönünde, mobilden WCDMA alıcısına doğru yapılan video trafik iletimi göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. Esasen aynı sonuçlar aşağı yönde WCDMA vericisinde paketlerin tariflenip (scheduling) mobil terminallere iletilmesi için de geçerlidir. Ancak simülasyonlarda ele aldığımız durum için güç kontrolü yukarı bağlantı yükü hesaplanarak yapılmıştır. Video konferans gibi iki yönde de eşzamanlı iletimin olduğu durumda güç kontrolünün aşağı ve yukarı bağlantı yükleri hesaplanarak yapılması uygun olacaktır. Çünkü bu durumda, aşağı ve yukarı bağlantı arasında frekans mesafesi bulunduğu ve farklı görüntülerin iletilmesinden dolayı her iki bağlantıda da iletim SIR değerleri göz önüne alınarak iletim yapılması gerekecekti. Simülasyonlarda uygulanan güç kontrolü her CDMA iletim periyodu olan 10 msn'de bir çalışıp güç ayarlaması yaptığından kapalı çevrim güç kontrolü uygulamaktadır.

- Kabul Kontrolü:

Video trafiğinin WCDMA sistemine getirdiği yükün zamanla değişkenlik gösterebilmesi ve SMPT iletim tekniğinin sıralı iletme üstünlükleri yanı sıra getirdiği kanal kullanımındaki değişkenlik nedeniyle; kabul kontrolünde yük için 0.70 değeri video trafiği için hücre kapasitesi olarak alınmıştır. Bölüm 6.6'da ayrıca anlatılmıştır.

- Yük Kontrolü:

Yük kontrolü hücrede kullanılan SMPT tekniğine göre farklı uygulanmıştır. Temelde hücrede tahsis edilebilecek CDMA kod sayısının sınırlandırılması veya mobillere kullandırılan maksimum paralel R kod sayısının yük dengesi kurulana kadar sınırlandırılması esas alınır. Bölüm 6.7'de ayrıca anlatılmıştır.

- Video İletimi QoS Ölçümleri:

Bölüm 6.3'te ele alınmıştır.

- Sonuçların GUI üzerinde gerçek zamanlı ve grafik olarak sunulması

6.2 SMPT ile Gerçek Zamanlı Video İletimi

Çalışmanın temelinde video trafiğinin bilinen Sıralı İletimin yanı sıra SMPT yaklaşımıyla iletimi incelenmektedir. Görüntü iletiminde gönderici uç birimde (örneğin mobil kullanıcı veya video sunucu) video, video çerçevelerine kodlanmaktadır. Kodlanan her video çerçevesi uygulama katmanında zaman kaybedilmeksizin UDP ve IP protokol paketlerine konarak şebeke protokol seviyesine indirilirler. UDP ve IP protokolleri uygulamadan gelen her bir video çerçeve verisine kendi başlıklarını eklerler. İfade kolaylığı açısından her bir çerçevenin bir iletim katmanı segmentinin içerisine konduğunu kabul edebiliriz. Veri katmanı seviyesinde bu segment (video çerçevesi, UDP ve IP başlığı) terminalin iletim kuyruğuna sabit uzunluklu Link seviyesi Paket Veri Birimi (LPVB) paketleri olarak bölünerek konurlar. Bu paketler kablosuz ortamdan sonra bir ATM omurga şebekeden iletilebilecek ATM hücreleri olabilecekleri gibi farklı uzunlukta da olabilirler.

Veri Bağlantı katmanında bilinen Sıralı İletim yaklaşımında; LPVB'ler tek CDMA kod kullanarak gönder ve bekle mantığıyla iletilirler. Gönderilen paket alıcı uca

ulaştığında göndericiye hemen bir alındı onayı gönderilir ve gönderici diğer paketi bir sonraki CDMA çerçevesinde gönderir. Şayet bir LPVB'nin gönderimi başarısız olursa kaybolan LPVB başarılı olana kadar gönderilir. Gönderim gerçekleşikten sonra bir sonraki LPVB'ye geçilir.

6.2.1 Hız Kontrollü Video İçin Yavaş-İyileşen ve Yavaş-Başlangıçlı SMPT

SMPT tekniğine ilişkin ayrıntılı bilgi Bölüm 5'de verildiğinden hız kontrollü kodlanmış video²⁶ için uygulanacak SMPT tekniğinden bahsedilecektir. UMTS, IMT ve IS-59 gibi modern mobil telekomünikasyon sistemlerinin kullanılan kod sayılarını ayarlayarak iletim hızlarına adapte olabilmesi sayesinde, SMPT'nin bu sistemlerde uygulanmasına imkan sunmaktadırlar. Şunu belirtmekte fayda var ki, CDMA sistemlerinde iletim hızlarının adapte edilmesi, kullanılan kod sayısının artırılması yanında CDMA kazanç çarpanının değiştirilmesiyle de sağlanabilmektedir. Ancak çalışmada verilmek istenen fikirleri netleştirmek amacıyla hız adaptasyonunu yalnızca çoklu kanal kullanımıyla yapılmıştır ve simülasyonlarda CDMA kazanç çarpanı sabit tutulmuştur.

Mobil terminal iletim kaynaklarında (enerji, işlem kapasitesi ve zamanı gibi) tasarruf sağlamak ve WCDMA alıcısında oluşacak girişimi azaltmak amacıyla SMPT yükseltme mekanizmasını Bölüm 5.4'te ele alındığı gibi *bağlantı yoklama* mantığıyla gerçekleştirilmesi, WCDMA sisteminin başarımı açısından önem arz etmektedir. Buna göre yükseltme mekanizmasında iletim hatası olursa tekrar tek kanaldan tek paket iletme dönülüp, iletim başarılı olduğunda yükseltme mekanizmasına geçilir. Bağlantı yoklama kablosuz mobil bağlantılarda özellikle yüksek oranda ilişkili iletim hatalarında sistemin girişim seviyesine de olumlu etki yapması bakımından oldukça iyi sonuç vermektedir.

Bölüm 3.4'te incelendiği gibi hız kontrollü video belirli hedef bit hızı etrafında küçük salınımlar göstermektedir. Bu nedenle simülasyon sonuçlarından da görülebileceği gibi kablosuz bağlantının net çıkış verimini düşürmemek amaçlı uygulanan Yavaş-İyileşen SMPT bu tür video trafiği için uygun düşmektedir. Yavaş-İyileşen SMPT'nin en önemli özelliklerinden birisi diğer SMPT tekniklerine oranla

²⁶ Bkz. Bölüm 3.4

oldukça iyi girişim özellikleri olmasıdır. Hücredeki kod kullanımındaki değişimin düşük olması nedeniyle, güç kontrolüne olan ihtiyaç azalmakta ve komşu hücrelerde meydana getirilen girişim de düşük tutulabilmektedir.

Yavaş-Başlangıçlı SMPT ise yalnızca hata oluşumunda değil iletim kuyruğunda bekleyen paket olduğunda çoklu kanal kullanım mantığına dayandığından hücredeki girişimi artırıcı etkiye sahiptir. Ancak bunun yanında video iletim servis kalite değerleri açısından bakıldığında Yavaş-İyileşen SMPT'ye oranla daha yüksek servis kalitesi sağlamaktadır.

6.2.2 Hız Kontrolsüz Video İçin Yavaş-Başlangıçlı ve Hızlı-Başlangıçlı SMPT

Hız kontrolsüz video uzun periyotta görüntü içeriğindeki değişimle birlikte oldukça yüksek bit hızı değişimleri göstermektedir. Bu tür bir video trafiği için link seviyesindeki sabit büyüklüklü iletim kuyruğu yeterli olmayacaktır. Veri bağlantı katmanı bu tür video trafiğinin değişen bit hızı (bant genişliği) ihtiyacına adapte olabilmek için daha etkili olan Yavaş-Başlangıçlı ve Hızlı-Başlangıçlı SMPT iletim tekniklerini uygulaması gerekmektedir.

Hızlı-Başlangıçlı SMPT'de kablosuz terminal, iletim kuyruğunda bekleyen paket olduğu müddetçe belirlenen R paralel kodla iletme başlar. Şayet iletim hatası olursa bağlantı yoklama moduna geçilir ve tek kanaldan tek paket iletmeye çalışılır. Yoklama moduna geçilmeyip R kodla iletmekte ısrar edilmesi kanal başarımının düşük olduğu bir durumda gereksiz yere paket iletimleri nedeniyle yüksek olan girişimi daha da artıracaktır. İletim başarılı olduğunda tekrar R paralel kanaldan kuyrukta bekleyen R paket paralel iletilirler.

Diğer taraftan Yavaş-Başlangıçlı SMPT'de ise yine kuyrukta bekleyen paketler varsa²⁷ yükseltme mekanizması başlatılır. Paketlerin iletimi başarılı olduğu müddetçe her CDMA periyodunda artırılarak maksimum R kanala kadar paralel iletim yapılır. Yine bir paket iletimi başarısız olursa bağlantı yoklama moduna geçilip tek kanala düşülür. Bağlantı yoklama amaçlı gönderilen paket iletilirse tekrar yükseltme moduna geçilir. İletim kuyruğunda biriken paketleri daha hızlı iletmekle değişken bit

²⁷ Yavaş-İyileşen tekniğinde ise kanalda iletim hatası olduğu durumda kuyrukta bekleyen paketler iletilmektedir. O nedenle hız kontrolsüz video için uygun düşmektedir.

hızlı videolar için uygun olan bu SMPT tekniklerinin dezavantajı ise hücrede kullanılan toplam kod sayısındaki değişimin yüksek olmasıdır. Bu ise güç kontrolünün sınırlarını zorlayabilmekte ve komşu hücrelerde meydana getirilen girişimi Yavaş-İyileşen SMPT'ye göre daha fazla olumsuz etkilemektedir.

6.3 Gerçekleştirilen Video İletiminde Servis Kalite (QoS) Ölçütleri

Sürekli ortam uygulamaları katı zamanlama kriterleri gerektirmektedir. Video için, alıcı taraf video çerçevesini bir video çerçevesi süresi içerisinde alıp kod-çözümleyip görüntüleyebilmelidir. Bölüm 3'te de incelendiği gibi bu süre kodlamaya göre değişkenlik gösterip genellikle 40 msn veya katları şeklindedir. Şayet bir video çerçevesinin alıcıya ulaşması kendisine ait görüntülenme zamanını aşıyorsa alıcı çerçevenin bir kısmını ya da tamamını kaybedecektir. Bu kayıplar görüntüde bozulmalar ve yapaylıklar olarak algılanacak ve görüntü kalitesinde düşüşe neden olacaktır.

Çalışmanın amacına yönelik olarak, video çerçeveleri için yukarıda bahsedilen zamanlama kriteri olarak “gecikme (delay)” ve “gecikme farkı (jitter)” kriterleri incelenecektir[25]. Bir t_0 anında bir video çerçevesinin üretilip hızla iletim katmanı, şebeke katmanı ve veri bağlantı katmanına geçirildiğini düşünelim. Bu video çerçevesinin (üst seviye başlıkları dahil) yine N adet LPVB pakete bölündüğünü düşünelim. Sıralı İletimde video çerçevesinin minimum gecikmesi,

$$D_{\min} = N \cdot \tau_{slot} \quad (6.1)$$

olacaktır. Bu minimum gecikme ancak bağlantıda hiç bir LPVB'nin yeniden iletimi gerekmediği durumda olacaktır. Halbuki kablosuz bağlantıda iletim hataları nedeniyle bazı paketler kaybedilecek ve tekrardan iletilmeleri gerekecektir. Alıcı tarafta iletim katmanında ise D_{maks} 'dan fazla gecikmeye sahip segmentlerin (video çerçevesinin) işe yaramadığını kabul edelim.

$$D_{maks} = \min \{ \tau_{gecikme}, D_{\min} + \tau_{GecikmeFarki} \} \quad (6.2)$$

$\tau_{gecikme}$ gecikme sınırını belirtirken, $\tau_{GecikmeFarkı}$ gecikme farkı için [25]'de tanımlanan sınırı belirtmektedir. D_{maks} ise bir çerçeveye ilişkin paketlerin göndericiden alıcıya ulaştığında başarılı sayılabilmesi için kabul edilebilir maksimum gecikmeyi göstermekte olup *iletim penceresi* olarak ta adlandırabiliriz. Segmentin alıcı iletim katmanında t_2 anında alındığını kabul edelim. İletimi başarılı kabul edilecek segmentlerin (çerçevelerin) gecikmesi D 'nin ve gecikme farkı J 'nin aşağıdaki eşitsizlikleri sağlamaları gerekmektedir.

$$D = t_2 - t_0 \leq \tau_{gecikme} \quad (6.3)$$

$$J = t_2 - (t_0 + N \cdot \tau_{slot}) \leq \tau_{GecikmeFarkı} \quad (6.4)$$

Simülasyonlarda aşağıdaki QoS kriterleri ölçülmektedir.

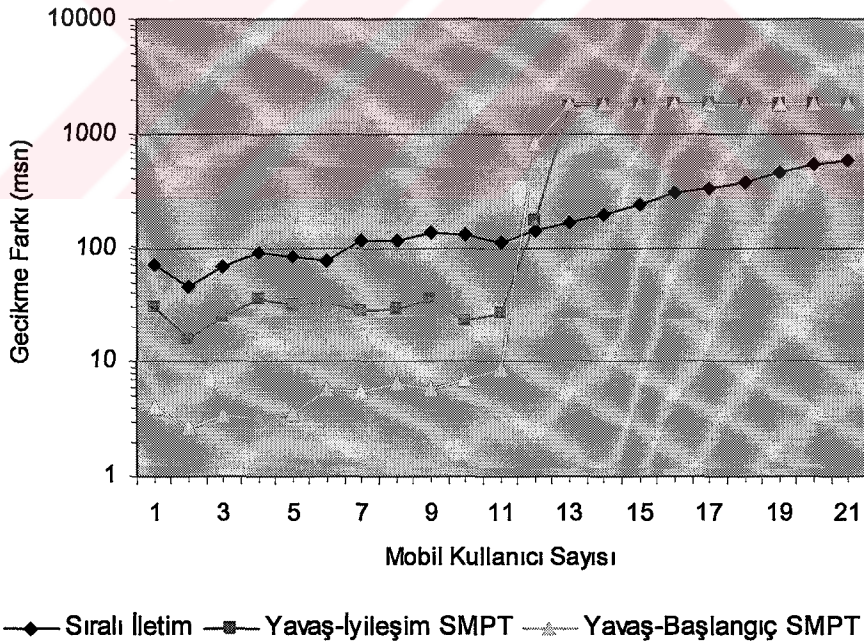
- Simülasyonlarda iletilen çerçevelerin gecikme farkları (6.4)'e göre ölçülmekte ve iletilen her video için hücredeki mobil sayısının değişmediği periyotlara ilişkin ortalaması sonuçlara yansıtılmaktadır.
- Belirli $\tau_{gecikme}$ değerleri için Video Çerçevelerin (segmentlerin) Başarılı İletim Olasılıkları hesaplanmaktadır. Hesaplamalar gerçek zamanlı sürekli uygulamalar için önemli olan 50msn, 100msn, 150msn, 200msn ve 250msn gecikme sınırları için yapılmakta ve sonuçlara yansıtılmaktadır.
- Net Çıkış Verimi ise başarılı olarak iletilen veri bağlantı seviyesi paketlerindeki video bilgi büyüklüğünün (bit) ilişkin bit akış süresine (CDMA kanal süreleri toplamı) bölümüyle elde edilen bit/sn değeri olarak hesaplanmakta ve tüm mobiller için ortalaması alınıp sonuçlara yansıtılmaktadır. Ortalaması alınan bu ölçütlerin anlık değerleri simülasyona ilişkin GUI üzerinden gerçek zamanlı olarak takip edilebilmektedirler.
- Çerçeve boyutlarıyla gecikme farkı arasındaki ilişkiyi farklı iletim teknikleri için ortaya koyabilmek için çerçeve boyutları ve gecikme farkının olasılık dağılım değerleri hücrede sabit sayıda mobil iletim yaparken ölçülmektedir.
- Belirtilen gecikme kısıtları ve net çıkış verimi değerleri çerçevesinde hücrenin kapasitesi ortaya konmaktadır. Kapasite anlamında belirlenen servis kalite kriterlerinin sağlanması koşulunda hücrede kaç tane mobilin eş zamanlı olarak video iletimi gerçekleştirebileceği ortaya konmaktadır.

6.4 WCDMA Ortamında Hız Kontrollü Video Trafikinin Taşınması

Hız kontrollü video için 25 adet 64kb/sn hedef hızında H.263 kodlu video kullanılmıştır. Belirli bir hedef hızda kodlanan H.263 kodlu videolar hedef bit hızı etrafında küçük değişimler göstermektedirler. Bu nedenle hız kontrollü video trafiğinin simülasyonu için kullanılmışlardır. Hız kontrollü trafiğin iletiminde SMPT mekanizması için $R=3$ maksimum kod kullanımıyla iletim gerçekleştirilmiştir.

6.4.1 Kullanıcı Sayısının Gecikme Farkına Etkisi

Aynı video trafiği eşzamanlı olarak sırasıyla Sıralı İletim, Yavaş-İyileşen ve Yavaş-Başlangıçlı SMPT iletim teknikleri için simüle edilerek sonuçlar ortaya konmuştur. Şekil 6.1’de hücredeki kullanıcı sayısının artmasıyla (video trafiğindeki artış) gecikme farkı arasında farklı iletim teknikleri için değişim görülmektedir. Gecikme farkı hücredeki tüm mobil birimlerin ilettiği videolara ilişkin ortalama gecikme farkıdır.



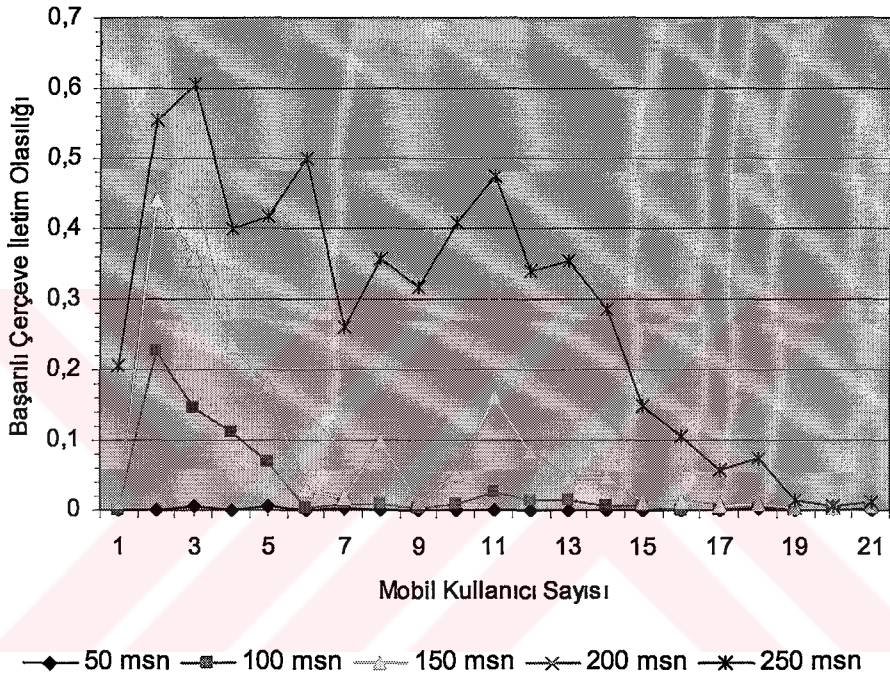
Şekil 6.1 Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Ortalama Gecikme Farkı Değişimi

Belirli bir kullanıcı sayısına kadar Yavaş-İyileşen SMPT’de gecikme farkının 30 msn’nin altında, Yavaş-Başlangıçlı SMPT’de ise 10 msn’nin altında tutulabildiğini

görmekteyiz. Bu değerler gerçek zamanlı video gibi uygulamalar için oldukça iyi bir sonuçtur. Sıralı iletimde ise 100 msn'nin üzerine çıkmaktadır.

6.4.2 Gecikme Kriteri ve Çerçeve İletim Başarımı

İletilen video çerçevelerindeki gecikmelerdeki değişim yanı sıra, uygulanan iletim tekniklerinin başarımını ortaya koyacak en önemli ölçüt iletilen çerçevelerin istenen gecikme sınırı dahilinde alıcı tarafa iletilip iletilemeyeceğidir.

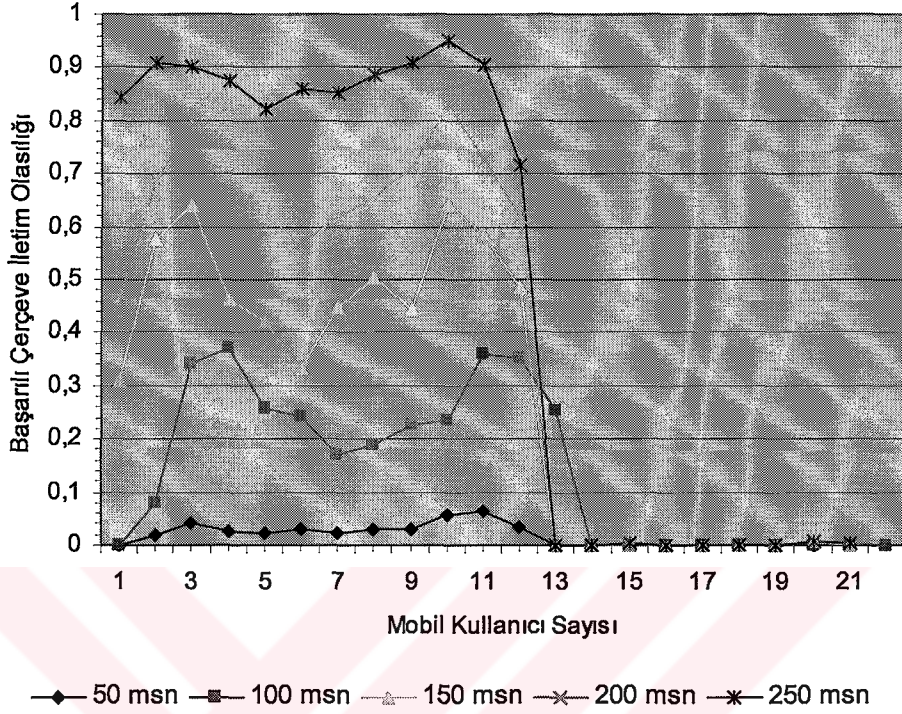


Şekil 6.2 Sıralı İletimde Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı

Kuşkusuz alıcı birime video çerçevelerinin ulaştırılmasında WCDMA erişiminden sonra şebekedeki diğer faktörler de etkili olacaklardır. Ancak çalışmada vurgulanmak istenenler yönüyle; kablosuz mobil sistemlerde gerçek zamanlı video iletiminde daha büyük problemlerin yaşandığı mobil birimden WCDMA alıcısına kadarki iletim ele alınmakta ve şebekeden kaynaklanabilecek yoğunluk ve diğer gecikme etkilerinin sabit tutulabildiği varsayılmaktadır.

Şekil 6.2, Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'te sırasıyla Sıralı İletim, Yavaş-İyileşen ve Yavaş-Başlangıçlı SMPT teknikleri için Şekil 6.1'de elde edilen gecikme farkına ilişkin

trafik altında çerçevelerin başarılı iletim olasılıkları görülmektedir. İletim başarımları 50, 100, 150, 200 ve 250 msn 'lik gecikme sınırları için ölçülmüştür.

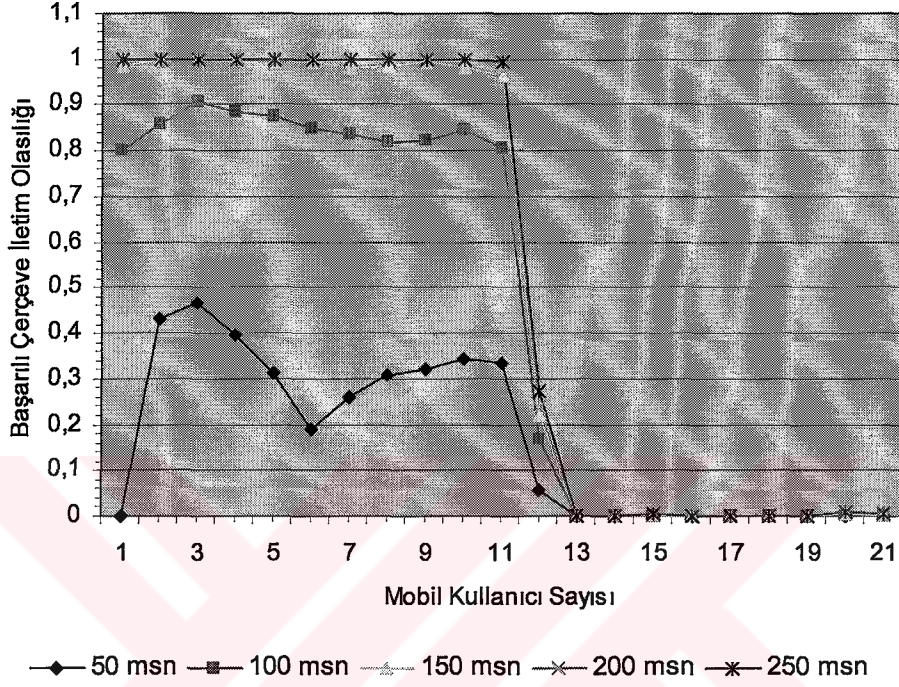


Şekil 6.3 Yavaş-İyileşen SMPT’de Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı

Hız kontrollü video trafiğinde 64 kb/sn hedef hızında H.263 kodlu video trafiği kullanılmaktaydı. Esasen iletimde hiç hata oluşmadığı durumda Sıralı İletimde kullanılan 64kb/sn hızındaki bir WCDMA kanalının bu video trafiğini %100 başarımla iletmesini bekleyebilirdik. Ancak oluşan iletim hatalarından dolayı iletim kuyruğunda biriken paketlerin geç iletilmesi nedeniyle iletim başarımının oldukça düşük değerlerde kaldığı görülmektedir. 200 msn’lik bir gecikme sınırında bile %20’ye yakın bir çerçeve iletim başarımı gerçek zamanlı video kalitesini hem kaybedilen çerçeveler hem de kayıpların diğer çerçevelerin kod çözümünde yol açacağı hatalardaki yayılım, görüntü kalitesinde ciddi kalite problemlerine yol açacaktır.

Yavaş-İyileşen SMPT tekniğinde 200 ve 250 msn’lik gecikme farkı sınırları için %70-%90 oranında gerçekleşen iletim başarımı görüntü kalitesinde zaman zaman bozulmalara neden olsa da Sıralı İletime göre oldukça iyi performans sunmaktadır.

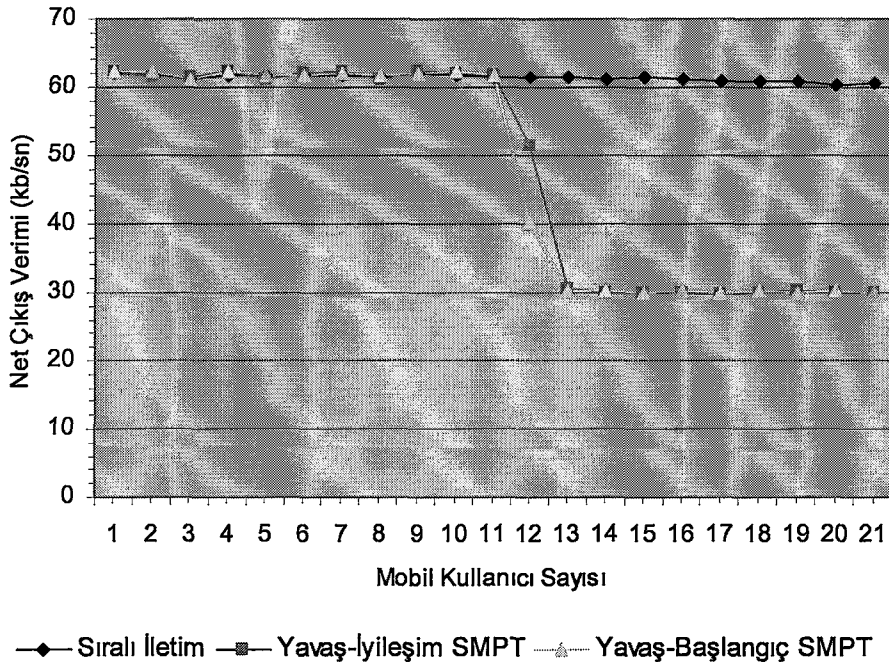
Şekil 6.4'te Yavaş-Başlangıçlı SMPT'de 150, 200, 250 ms gecikme sınırları için iletim başarımının %100 olarak gerçekleştiğini ve Yavaş-İyileşen SMPT ile iletimde kayıpların 50 ve 100 ms'n'lik gecikmeler dışında sıfıra yakın düşürülebildiği gözlenmektedir.



Şekil 6.4 Yavaş-Başlangıçlı SMPT' de Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı

6.4.3 Kullanıcı Sayısının Net Çıkış Verimine Etkisi

Net çıkış verimindeki değişimin çerçeve iletimindeki başarımla birlikte yorumlanması gerekir. Şekil 6.5'te görülen değerler iletim teknikleri için iletilen paketler bazında alınmış ve iletilen paketlerin alıcıda işe yarayıp yaramayacağı bilinmeksizin iletilen paketlere göre ölçülmektedir. Buna göre belirli bir kullanıcı sayısından sonra SMPT tekniğine dayalı iletimde net çıkış veriminde önemli düşüş görülmektedir.



Şekil 6.5 Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Net Çıkış Verimindeki Ortalama Değişim

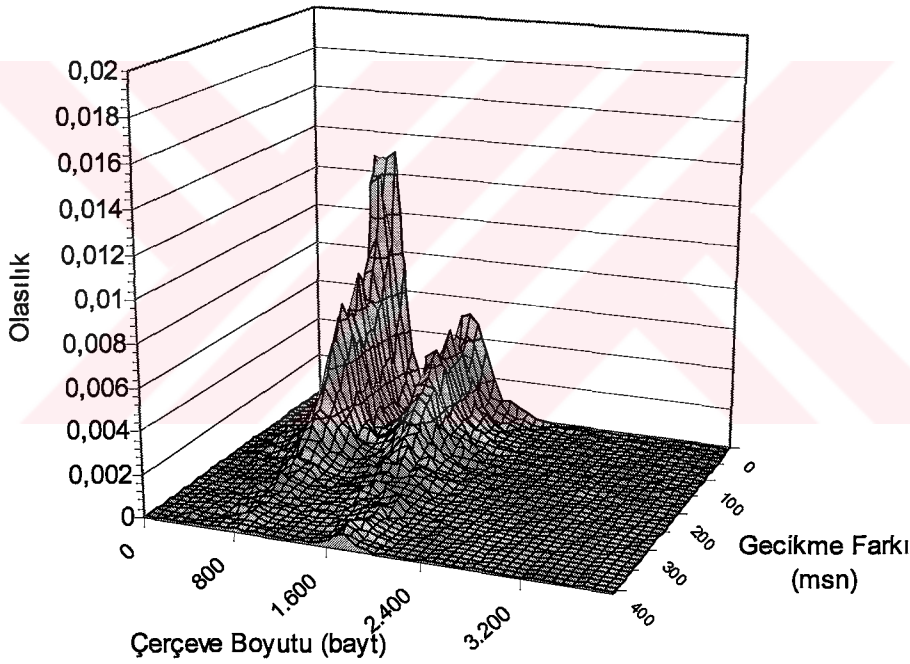
Sonuçları verilen video trafiği için hücredeki kullanıcı sayısının 11'i aşması durumunda SMPT iletim teknikleri için video iletim servis kalite değerlerinde önemli kötüleşmeler gözlenmektedir. Elbette bu sayı farklı videoların iletildiği diğer bir simülasyonda farklı olabilecektir. Kullanıcı sayısının 11'i aşması durumunda WCDMA sistemi kapasitesi aşılarak iletimler başarısız olmakta ve SMPT tekniğince paralel kanal kullanıp iletim kuyruğu boşaltılmak istendikçe hatalar daha da artmaktadır. Bu durum SMPT teknikleri için sistem kapasitesini ortaya koymaktadır. Şekil 6.1'de 11 kullanıcıdan sonra SMPT' nin gecikme farkı sıralı iletimden farksız hale gelmektedir. Benzer biçimde Şekil 6.3 ve 6.4'te görüldüğü gibi çerçeve iletim başarımı da bu değerden sonra ani bir düşüş göstermektedir.

6.4.4 Video Çerçeve Bazlı Gecikme Farkı

SMPT iletiminin belirli gecikme sınırları altında (150, 200, 250 msn) oldukça yüksek çerçeve başarımı sağlayabilmesi gecikme farkının düşük tutulabilmesiyle mümkün olabilecektir. Çünkü gecikme farkındaki değişimin fazla olması bazı çerçevelerin gecikme sınırını aşmasına ve kayıpların artmasına neden olacaktır. Gecikme farkı ise çerçeve boyutlarına bağlı olarak değerlendirilmelidir. Küçük boyutlu çerçevelerin

oluşturduğu videolarda gecikme farkının küçük olması beklenir. Gecikme farkındaki değişimi çerçeve boyutlarına göre yorumlamak daha isabetli bir yaklaşım olacaktır.

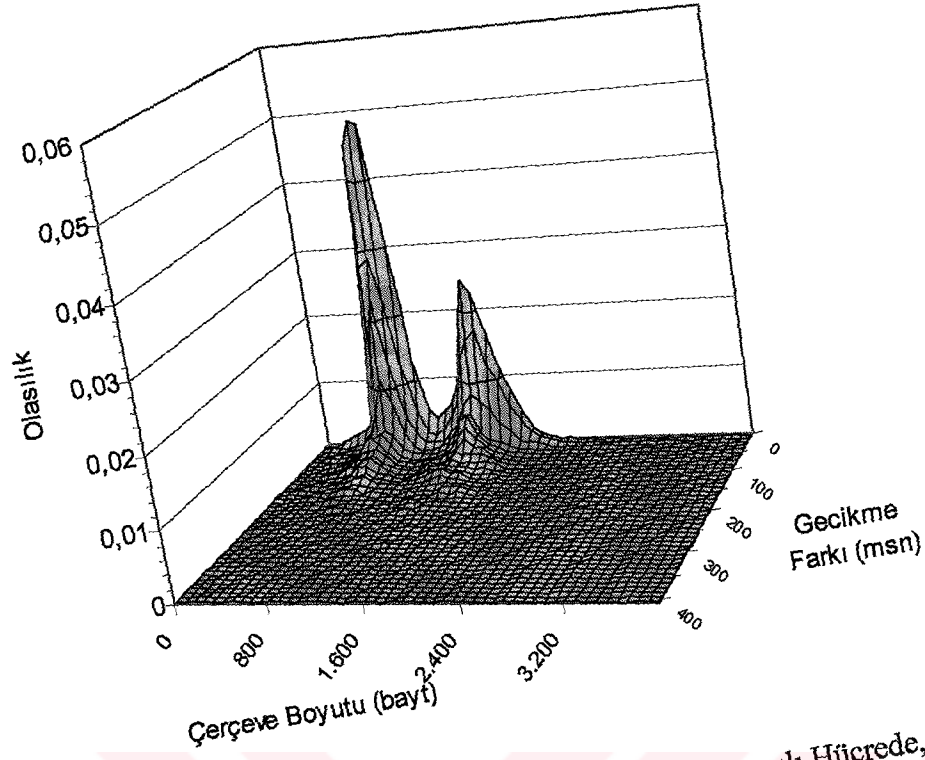
Şekil 6.6'da Sıralı İletimde gecikme farkının çerçeve boyutuna göre elde edilen olasılık dağılımı görülmektedir. Simülasyon 9 kullanıcının hücrede iletim yaptığı durumu için gerçekleştirilmiştir. Çerçeve boyutlarının hedef hızda kodlanmış H.263 kodlu video için tipik özellikte²⁸ iki ortalama değer etrafında (800, 1600 bayt) yığıldığını gözlemlemekteyiz. Gecikme farkının yoğun olarak 0-200 msn aralığında olmak üzere 0-400 msn aralığında yayılmış olduğunu gözlemlemekteyiz ki bu değişim Sıralı iletimin çerçeve iletim başarımındaki kötü başarım yanında gecikme farkındaki değişkenlikle birlikte gerçek zamanlı video trafiğini taşıyamayacağını göstermektedir.



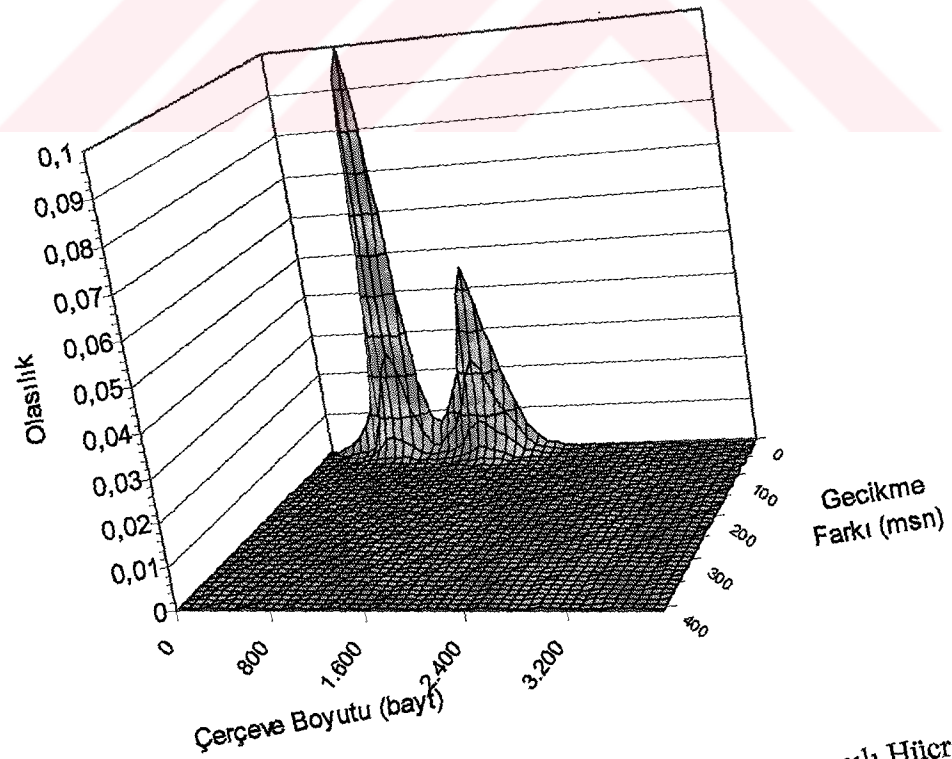
Şekil 6.6 Sıralı İletim, 9 Aktif Mobil Kullanıcılı Hücrede, Video Çerçeve Boyutuna göre Gecikme Farkı Olasılık Dağılım Fonksiyonu.

Şekil 6.7'de Yavaş-İyileşen SMPT'de gecikme farkının büyük oranda 50msn'nin altında kaldığı Şekil 6.8 Yavaş-Başlangıçlı SMPT'de ise gecikme farkının 30 msn'nin altında gerçekleştiği görülmektedir.

²⁸ Bkz. Bölüm 3.4.



Şekil 6.7 Yavaş-İyileşen SMPT, 9 Aktif Mobil Kullanıcılı Hücrede, Video Çerçeve Boyutuna göre Gecikme Farkı Olasılık Dağılım Fonksiyonu.



Şekil 6.8 Yavaş-Başlangıçlı SMPT, 9 Aktif Mobil Kullanıcılı Hücrede, Video Çerçeve Boyutuna göre Gecikme Farkı Olasılık Dağılım Fonksiyonu.

6.5 WCDMA Ortamında Hız Kontrollü Olmayan Video Trafikinin Taşınması

Kodlayıcı çıkışında hız kontrolünün uygulanmadığı açık çevrim kodlayıcılarda karmaşıklık hız kontrollü kodlayıcılara göre çok daha düşük olmaktadır. Bunun yanında hız kontrolü uygulanmadığı durumda kodlayıcı çıkışında istenen seviyede sabit bir görüntü kalitesi elde etmek te mümkündür. Oysa hız kontrollü videoda istenen hedef hızda kodlayıcı çıkışı elde edebilmek için, kodlayıcı tarafından gerektiğinde çerçeveler atılabilmekte veya kuantalama adımları seyrekleştirilebilmektedir. Bu ise kodlayıcı çıkışında sabit bir görüntü kalitesi elde edilmesine imkan tanımamaktadır.

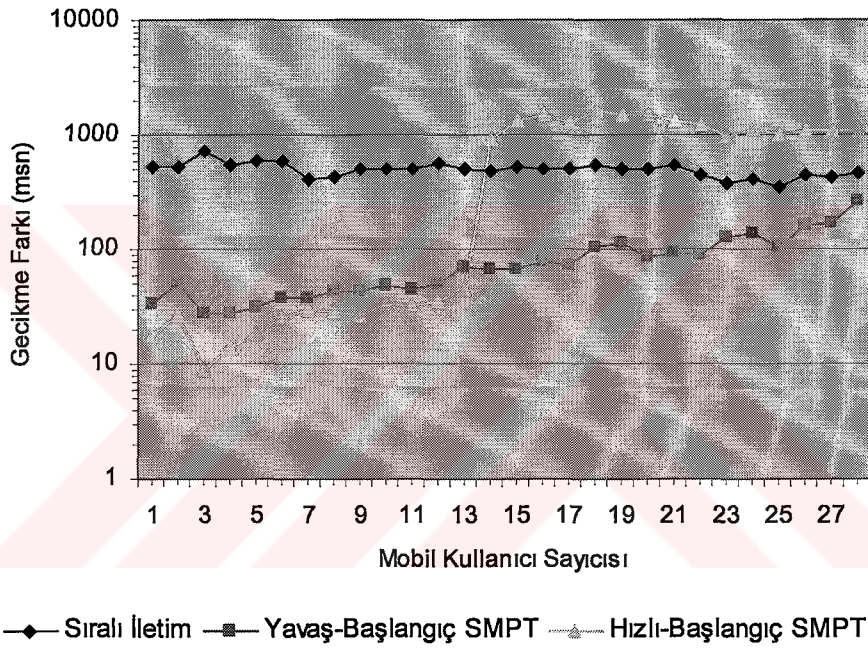
Hız kontrolsüz videoda istenen görüntü kalitesinin sürekli elde edilmesi avantajının yanında çerçeve boyutlarının zaman içinde çok değişkenlik göstermesi hücredeki trafiği de uzun süreli periyotta oldukça değişken hale getirmektedir.

Simülasyonlarda hız kontrolsüz video için MPEG-4 kodlu düşük, orta ve yüksek kalitede kodlu 25 farklı video kullanılmıştır²⁹. Hız kontrolsüz video trafiğinin iletimi için WCDMA sisteminin mobil terminal başına atayabileceği kod sayısının hız kontrollü trafiğe göre daha yüksek olması gerekmektedir. Hız kontrollü video trafiğinde kullanılan 64 kb/sn hedef hızlı videolar için iletim hatalarının oluşmadığı durumda bir WCDMA kanalının yeteceği açıktır. Ancak MPEG-4 kodlu hız kontrolsüz videolarda ortalama bit hızı 64x3 kb/sn ortalaması etrafında salınması nedeniyle WCDMA sisteminin hız kontrolsüz video için mobil terminale tahsis edebileceği maksimum kanal sayısı $R=8$ olarak alınmıştır. Maksimum kanal sayısının hız kontrollü duruma göre yaklaşık 3 kat ($3 \rightarrow 8$) artması nedeniyle WCDMA sisteminin servis verebileceği kullanıcı sayısını artırmak servis kalite değerlerinin değişimini kıyaslamak bakımından yararlı olacaktır. Bu nedenle 64 kb/sn sabit WCDMA kanal hızı için WCDMA chip hızı 4×3.84 MHz olarak seçilmiştir. Aksi halde hız kontrolsüz video için kullanıcı sayıları çok daha az olduğu durumda WCDMA sistemi aşırı yüklenmiş olurdu.

²⁹ Ayrıntılı bilgi için Bkz. Bölüm 3.3.2

6.5.1 Kullanıcı Sayısının Gecikme Farkına Etkisi

Şekil 6.9’da hız kontrollü video trafiği için yapılan simülasyon sonucunda elde edilen, kullanıcı sayısına göre gecikme farkının ortalama değişimi verilmiştir. Sıralı İletimde gecikme farkı ortalama 500 msn olarak gerçekleşmektedir. Bu değer gerçek zamanlı video için çok yüksek bir değerdir. Video konferans uygulamalarında gecikme farkı için en fazla 150 msn zorunluluğu gerektirmektedirler. Gerçek zamanlı video için kabul edilebilir değerler yalnızca SMPT yaklaşımlarıyla elde edilebilmektedir.



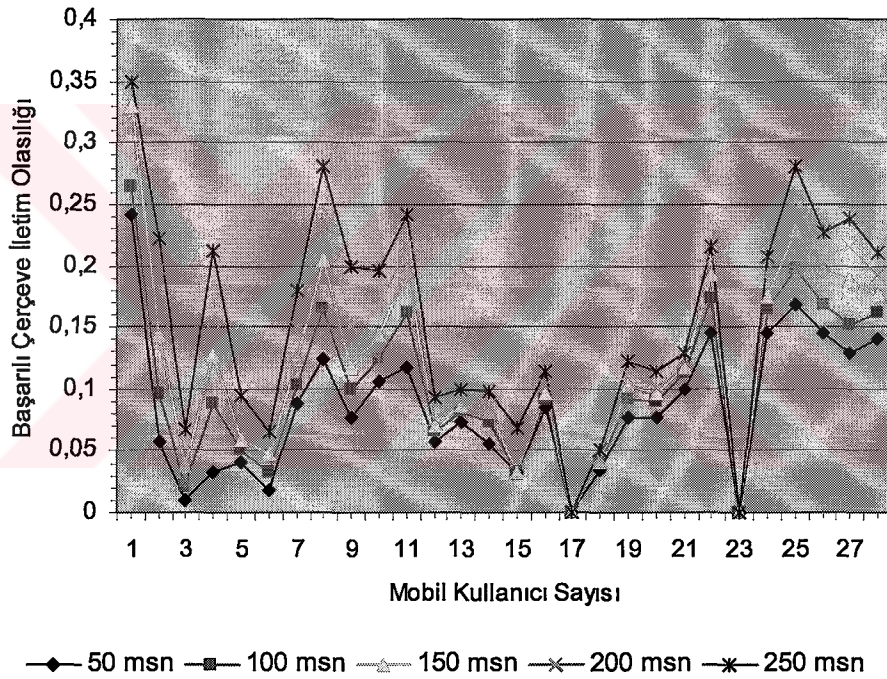
Şekil 6.9 Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Ortalama Gecikme Farkı Değişimi

Hücrede 13 kullanıcıya kadar Hızlı-Başlangıçlı SMPT Yavaş-Başlangıçlı SMPT’ye göre biraz daha düşük bir gecikme farkı sunmaktadır. Ancak daha yüksek sayıdaki kullanıcılar için Hızlı-Başlangıçlı SMPT durağanlıktan çıkarak daha kötü sonuç vermektedir. Bunun nedeni Hızlı-Başlangıçlı SMPT’nin hücredeki girişim durumunu dikkate almaksızın paralel 8 kodu birden ($R=8$ alınmıştı) kullanmaya çalışması nedeniyle WCDMA sistemini aşırı yükleyip güç kontrolünün sağlanamayarak iletmeye çalışılan paketlerin sezilememesidir. Bunun yanında Yavaş-Başlangıçlı SMPT yaklaşık 23 kullanıcıya kadar 150 msn’nin altında bir gecikme farkı sunmaktadır. Yavaş-Başlangıçlı SMPT hücredeki girişim seviyesini yokladıktan sonra kademeli olarak kanal kullandığından WCDMA sistemini ani olarak

yüklemeyerek iletim kuyruğunda birikmelere neden olmaz ve daha geniş bir aralıkta QoS durağanlığı sağlar.

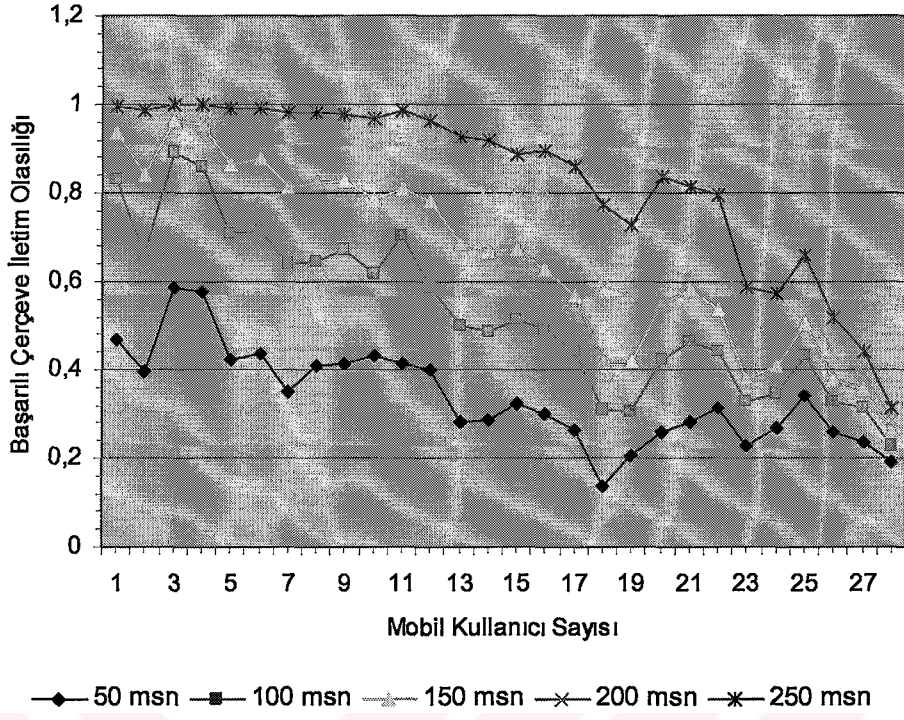
6.5.2 Gecikme Kriteri ve Çerçeve İletim Başarımı

Şekil 6.10, Şekil 6.11 ve Şekil 6.12’de sırasıyla Sıralı İletim, Yavaş-Başlangıçlı ve Hızlı-Başlangıçlı SMPT teknikleri için çerçevelerin başarılı iletim olasılıkları görülmektedir. Sıralı İletimde başarımla olasılığı çok fazla değişmeyip 0-0,25 aralığında değişmektedir ki Şekil 6.2’deki hız kontrolsüz video trafiğine göre hız kontrollü trafik altında Sıralı İletimin çok daha düşük başarımla ortaya koyduğu görülmektedir.

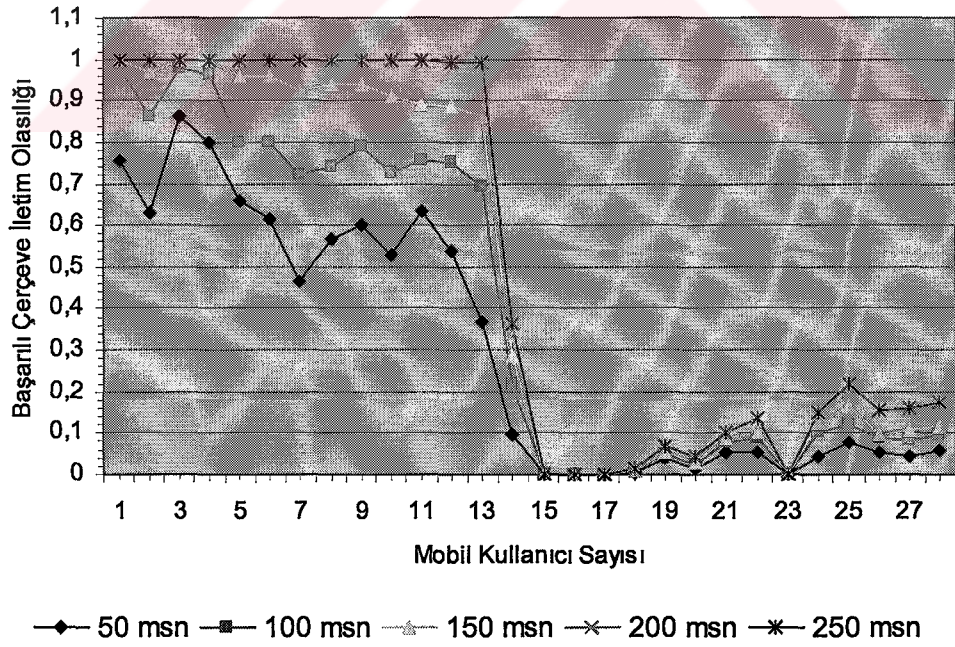


Şekil 6.10 Sıralı İletimde Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı

Yavaş-Başlangıçlı SMPT’de gecikme farkının kabul edilebilir seviyeleri aşmadığı 23 kullanıcıya kadar çerçeve iletim başarımının Sıralı İletime oranla oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Hızlı-Başlangıçlı SMPT’de ise yine servis kalite değerlerinin en iyi olduğu daha düşük trafik için (13 kullanıcıya kadar) çerçeve iletim başarımının 150, 200, 250 msn için genel olarak %90 üzeri olduğunu görmekteyiz.



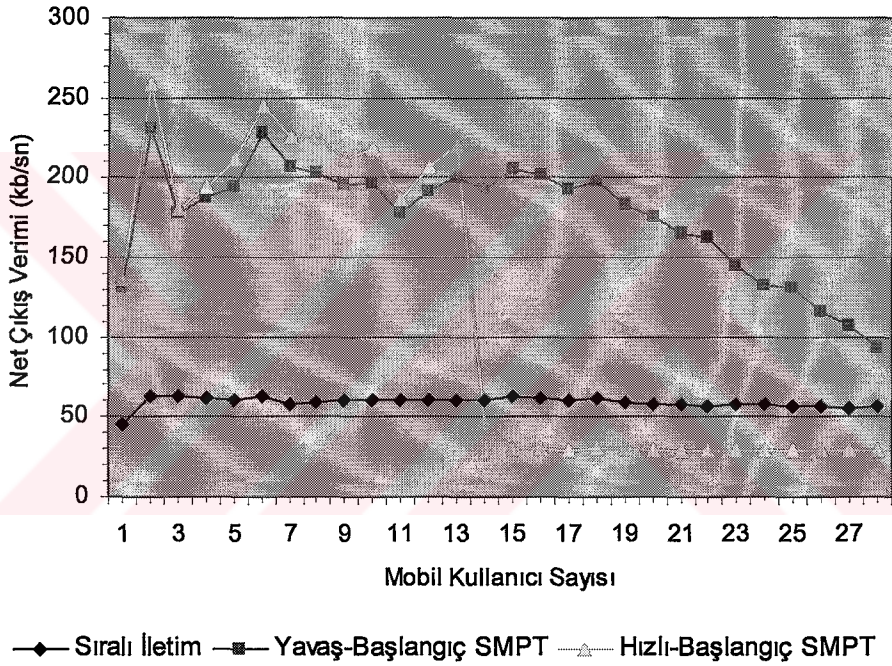
Şekil 6.11 Yavaş-Başlangıçlı SMPT’de Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı



Şekil 6.12 Hızlı-Başlangıçlı SMPT’de Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı

6.5.3 Kullanıcı Sayısının Net Çıkış Verimine Etkisi

Şekil 6.13'te ise yine farklı iletim teknikleri için hız kontrolsüz video trafiği altında hücredeki ortalama Net Çıkış Veriminin değişimi görülmektedir. Sıralı İletimde Net Çıkış Veriminin sabit ve 60-64 kb/sn civarında kaldığı görülmektedir. Hızlı-Başlangıçlı SMPT 'nin 13 kullanıcıya kadar daha yüksek bir çıkış verimi sağladığı görülmektedir. Bu kapasiteden sonra Sıralı İletimin seviyesine inmektedir. Yavaş-Başlangıçlı SMPT 'nin Net Çıkış Verimi 13 kullanıcıya kadar Hızlı-Başlangıçlıdan biraz daha düşük olsa da hücrede daha fazla kapasiteye kadar (18 kullanıcıya kadar) bu verimi sağlayabilmektedir.



Şekil 6.13 Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Net Çıkış Verimindeki Ortalama Değişim

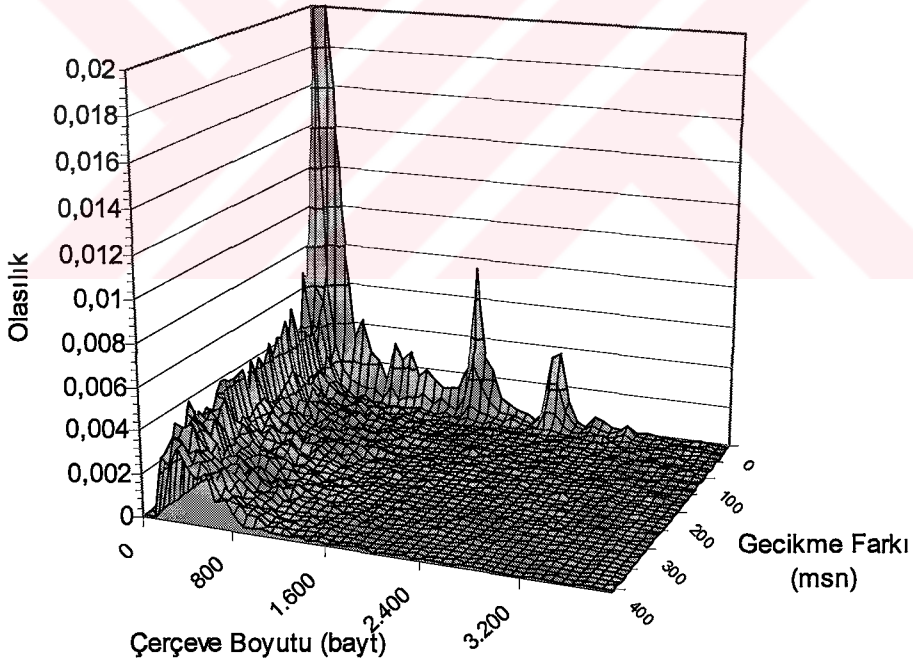
6.5.4 Video Çerçeve Bazlı Gecikme Farkı

MPEG-4 gibi hız kontrolsüz kodlamada kodlayıcı çıkışında sabit görüntü kalitesi elde edilmektedir. İletim şartlarına göre bu sabit kaliteden ödünler vererek bazı çerçevelerin atılmasını gerektirecek koşullar olacaktır. MPEG-4'te Bölüm 2 ve 3.3'te incelendiği gibi kodlayıcının değişik video nesne düzeylerinde farklı bant genişliği ihtiyaçlarına göre farklı seviyelerde kodlama gerçekleştirmek mümkündür. Videoyu iletecek olan birim veya alacak olan birim sahip olduğu bant genişliğine ve ekran

çözünürlüğüne göre istediği kalitede görüntü isteyebilecek ve seviyeler arası geçiş yapabilecektir.

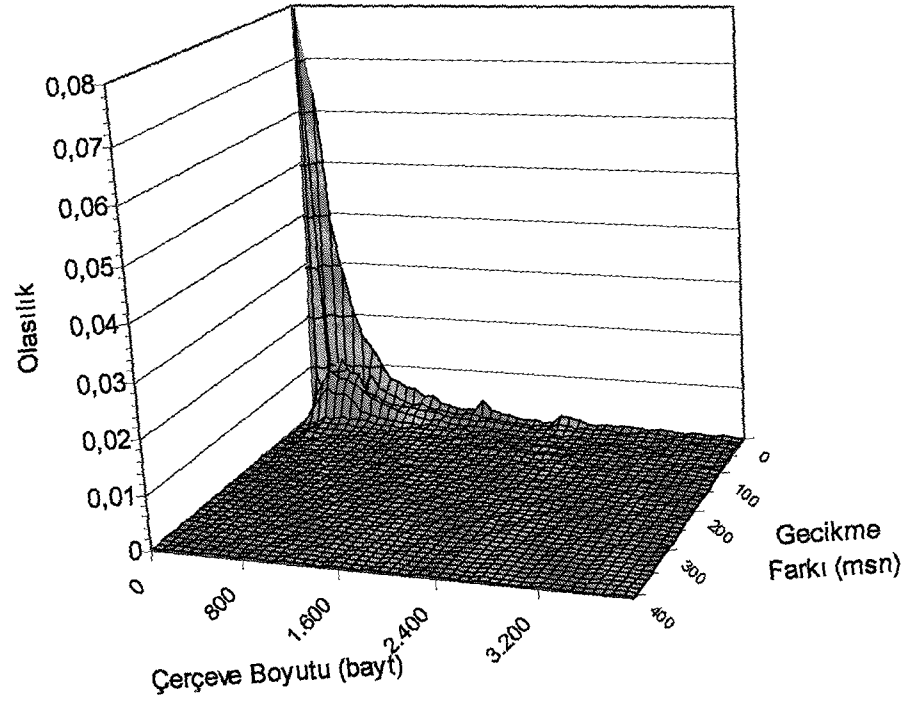
Simülasyonlarda bu durum hız kontrolsüz video trafiği için; mobil terminallerin 100 paketlik iletim kuyruğuna konmak istenen çerçeve için kuyrukta yer yoksa atılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Böylece hız kontrolsüz MPEG-4 çerçeve boyutlarında ani değişim gösteren çerçeveler atılarak, bant genişliğinin (iletim kuyruğu durumu bunun bir göstergesidir) durumuna göre trafikteki ani yükselmeler kırılmış olmaktadır.

Şekil 6.14’de Sıralı İletimde gecikme farkının çerçeve boyutuna göre elde edilen olasılık dağılımı görülmektedir. Simülasyon 9 kullanıcının hücrede hız kontrolsüz video trafiği iletim durumu için gerçekleştirilmiştir. Çerçeve boyutlarının hız kontrolsüz düşük, orta ve yüksek kaliteli MPEG-4 kodlu videolar için 0-1200 aralığında yığıldığını görmekteyiz. Gecikme farkları ise 400 msn’yi aşmaktadır.

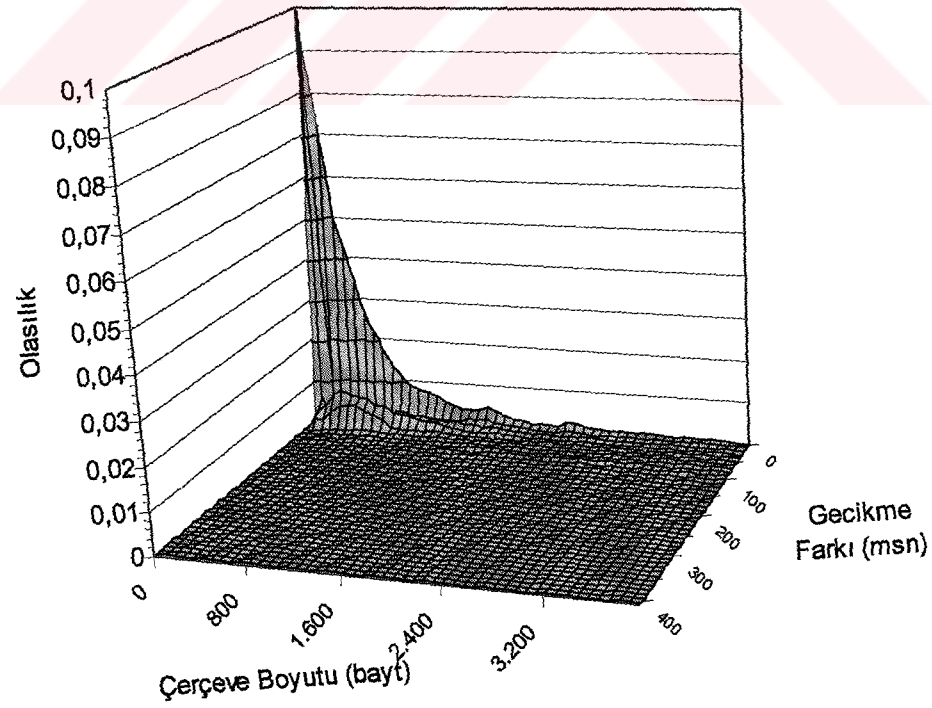


Şekil 6.14 Sıralı İletim, 9 Aktif Mobil Kullanıcılı Hücrede, Video Çerçeve Boyutuna göre Gecikme Farkı Olasılık Dağılım Fonksiyonu.

Şekil 6.15’te görülen Yavaş-Başlangıçlı için gecikme farkı 50 msn altında tutulabildiği görülmektedir. Şekil 6.16’den ise Hızlı-Başlangıçlı SMPT’nin gecikme farkını 30 msn altında tutulabildiği görülmektedir.



Şekil 6.15 Yavaş-Başlangıçlı SMPT, 9 Aktif Mobil Kullanıcılı Hücrede, Video Çerçeve Boyutuna göre Gecikme Farkı Olasılık Dağılım Fonksiyonu.



Şekil 6.16 Hızlı-Başlangıçlı SMPT, 9 Aktif Mobil Kullanıcılı Hücrede, Video Çerçeve Boyutuna göre Gecikme Farkı Olasılık Dağılım Fonksiyonu.

6.6 WCDMA Ortamında Video Trafiki İçin Uygulanan Kabul Kontrolü

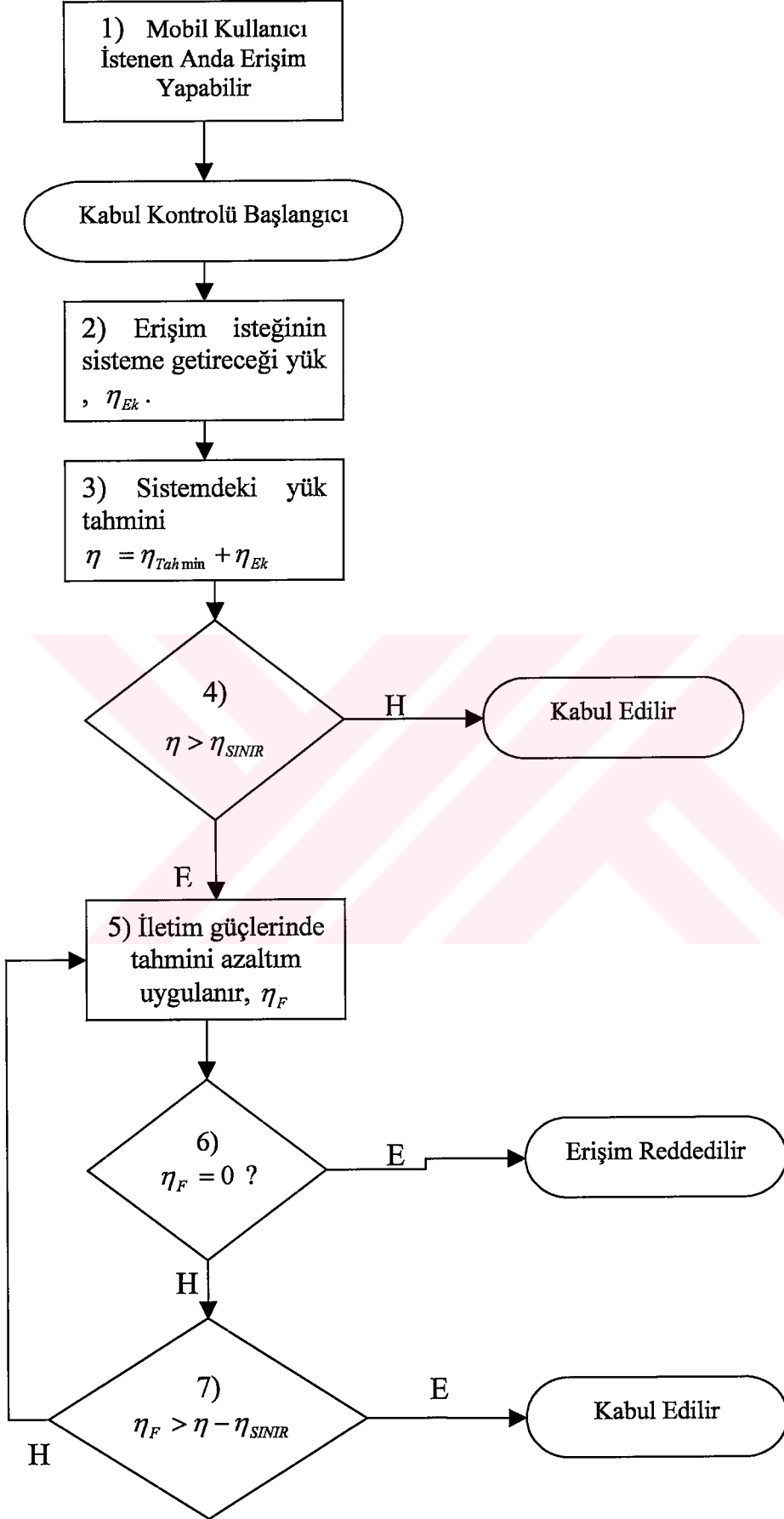
Simülasyonlarda uyguladığımız kabul kontrolü algoritması Şekil 6.17’de gösterildiği gibi gerçekleştirilmektedir. Akış diyagramından algoritmanın işleyişini ele alacak olursak;

1. Herhangi bir anda yeni bir mobilin erişim isteğinde bulunması mümkün olmasına rağmen simülasyonlarda 1 dakikalık periyotlarla yeni mobil hücreye erişim isteğinde bulunmaktadır.
2. Erişim isteği yapan j mobilinin WCDMA sistemine getireceği yukarı bağlantı yükü (6.5)’le hesaplanır. Dikkat edilirse SMPT tekniğiyle iletim yapabilecek mobilin getireceği ek yük tek kanal kullanımı için yapılmaktadır.

$$\eta_{Ek} = \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b/N_o)_j R_j v_j}} \quad (6.5)$$

3. Sistemde yapılan yük tahmini kabul kontrolünün etkinliğinde rol oynayan en önemli faktördür. Bu aşamada yapılan tahmin yük kontrolüne olan ihtiyacın ölçüsünü de ortaya koyacaktır. Erişimin yapıldığı andaki yük alınacak olursa; sistemin kapasitesine yakın noktalarda o anki yükün düşük olması durumunda erişim kabul edilecek, ancak kısa süre sonra sistemde aşırı yüklenme oluşabilecektir.

Bu nedenle $\eta_{Tah\min}$ değeri mobil ortamdaki yük değişimlerine göre adaptif olarak değişen İletim Penceresi boyunca oluşan en yüksek yük değeri olarak alınmaktadır. Örneğin İletim Penceresi sisteme bir mobil eklenmesi durumunda yeniden oluşmaya başlayacaktır. Böylelikle sistemin uzun periyotta değişken karakteristikli olabilecek video trafiki için uygun kabul kontrolü yapılması sağlanmaktadır.



Şekil 6.17 Kabul Kontrolü Algoritması Akış Diyagramı

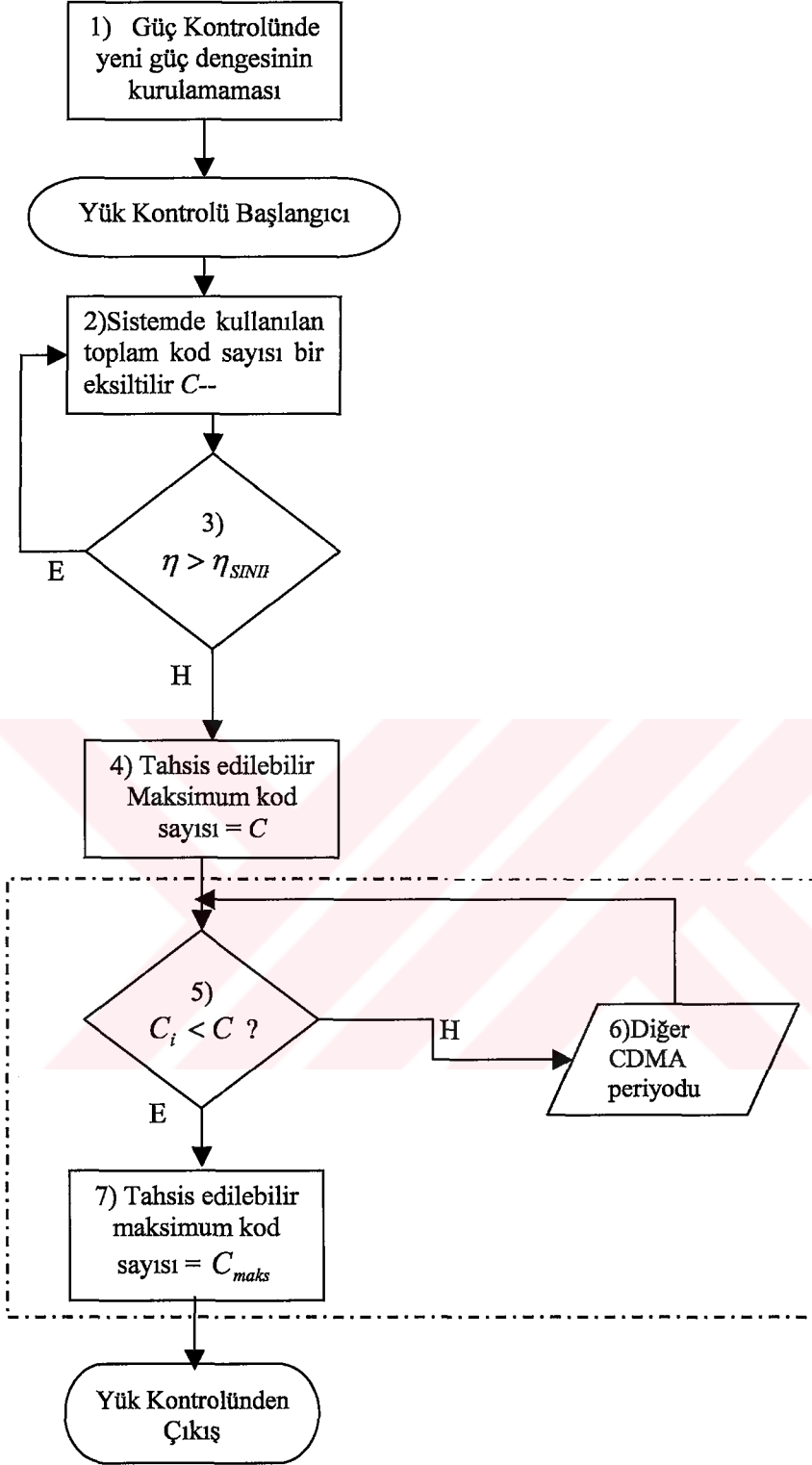
4. Tahmin edilen sistem yükü ve erişim yapan mobilin getireceği yük toplamı η_{SINR} değeriyle karşılaştırılmaktadır. η_{SINR} WCDMA sisteminde gerçek zamanlı video trafiği için belirlenen eşik yük değeri olan bir parametredir. Simülasyonlarımızda hücrede gerçek zamanlı video trafiğini simüle etmekte olduğumuzdan bu değer 0.70 olarak alınmıştır. Yükün sınır değerini üzerine çıkmaması durumunda erişim kabul edilir. Diğer durumda 5 ile devam edilir.
5. Erişim yapan mobilin sistemde servis almakta olan mobillerin iletim güçlerinden azaltma yapılması yoluyla güç kontrolü tarafından kararlı bir noktaya ulaşıp ulaşılamayacağını tahmini yapılır. Bunun için o anki mobil güçlerine iteratif azaltma uygulandığı durumda elde edilecek yük düşüşü tahmini olan η_F hesaplanır.
6. Şayet tüm mobiller gereksinim duydukları minimum SIR seviyesine yaklaşmış olduklarında hiçbir mobile güç azaltma uygulanamıyorsa ($\eta_F = 0$) erişim reddedilir. Çünkü kabul edilmesi durumunda erişimin sistemde güç kontrolünün sağlanamaması ve sistemdeki başarımı kararsızlığa sokacağı tahmin edilmiştir. Şayet η_F değeri sıfırdan büyükse algoritma 7 ile devam eder.
7. Güç kontrolü tarafından uygulanabileceği tahmin edilen yük azaltması η_F 'nin sınır yük değerinin aşıldığı $\eta - \eta_{SINR}$ değerini karşılayabiliyorsa erişim kabul edilir. Aksi halde tahmin edilen η_F yük azaltması değerini artırabilmek üzere algoritma 5 ile devam eder.

6.7 WCDMA Ortamında Video Trafiği İçin Uygulanan Yük Kontrolü

Simülasyonlarda uyguladığımız yük kontrolü algoritması Şekil 6.18'de gösterildiği gibi gerçekleştirilmektedir. Yük kontrolünün uygulanmasında hız kontrollü ve hız kontrolsüz video trafiği için farklı yaklaşım getirmek gerekliliği doğmaktadır. Bunun nedeni algoritmada 7. adımda açıklanmıştır. Akış diyagramından algoritmanın işleyişini ele alacak olursak;

1. Güç kontrolünde yeni bir güç dengesinin kurulamaması durumunda WCDMA sistemi aşırı yüklenmiş olduğundan iletmeye çalışılan paketler başarısız olacak ve mobiller SMPT tekniğine göre girişimi düşürmek üzere yoklama (probing) moduna geçip tek kanalla iletim yapacaktır. Tüm mobillerin tek kanalla iletim yapması durumunda iletimler başarılı olacağından SMPT yükseltme mekanizması gereği kullanılan kanal sayıları artırılacaktır. Mobillerin iletiminde WCDMA sistemi tarafından koordinasyon (scheduling) söz konusu olmaması nedeniyle sistemde tekrar aşırı yüklenme oluşmakta ve dolayısıyla servis kalite düşüşünü engellemek amacıyla güç kontrolü tarafından Yük Kontrol algoritması tetiklenmektedir.
2. Sistemde aşırı yüklenmeyi önleyecek en yüksek kod sayısını bulmak üzere iterasyon başlatılır ve aşırı yüklenme durumunda hücrede kullanılan kod sayısı bir eksilterek hücrede tahsis edilebilecek maksimum kanal sayısı olarak belirlenir.
3. Hesaplanan yükün η_{SINR} değerinin altına inmediği durumda 2 ile iterasyona devam edilir.
4. Yeni kanal sayısı durumunda hesaplanan yük η_{SINR} değerinin altına indiği durumda elde edilen C kod sayısı; WCDMA sisteminde aşırı yüklenme oluşturmayacak en yüksek kanal sayısı demektir. O nedenle hücrede tahsis edilebilecek maksimum toplam kanal sayısı C 'ye eşitlenir.

Bu yöntem Hızlı-İyileşen ve Hızlı-Başlangıçlı SMPT yaklaşımları dışındaki SMPT teknikleriyle Sıralı İletimde etkili yük kontrolü sağlamaktadır. Hızlı-İyileşen ve Hızlı-Başlangıçlı SMPT yaklaşımlarında ise ciddi servis kalite düşüşlerine neden olmaktadır. Çünkü bu yaklaşımlarda iletim hatalarında tek kanalla iletme geçilip, iletim başarılı olduğu durumda mobil terminal için tahsis edilebilecek maksimum kanal sayısı iletime geçilmektedir. Hücredeki tüm mobiller için servis kalite sürekliliği sağlanabilmesi için WCDMA hücresindeki toplam kanal sayısı yerine mobil terminal başına tahsis edilebilecek maksimum kanal sayısına sınırlama getirilmesi yoluyla yük kontrolü uygulanması etkili bir yük kontrolü sağlamaktadır.



Şekil 6.18 Kabul Kontrolü Algoritması Akış Diyagramı

5. Güç kontrolü tarafından her CDMA periyodunda hücrede anlık kullanılan kanal sayısı olan C_i 'nin yük kontrolü tarafından sınırlandırılan kod sayısı

olan C 'den küçük olduğu durumda yük kontrolü pasif hale getirilmek üzere algoritma 7. adımla devam eder.

6. Sınırlandırılan C kanalın da kullanılıyor olması hücrede trafik artışının devam ettiğini göstermektedir. Bir sonraki CDMA iletim periyodunda tekrar kontrol edilmek üzere algoritmaya 5. adımla devam edilir.
7. Video trafiğinde yaşanan yükselmenin düşüş göstermesi nedeniyle hücredeki tahsis edilebilir maksimum kanal sayısı hücrenin trafik boyutlandırmasına göre önceden belirlenmiş olan değerine eşitlenerek tahsis edilebilir kanal sayısına konmuş olan üst sınır kaldırılmış olur.

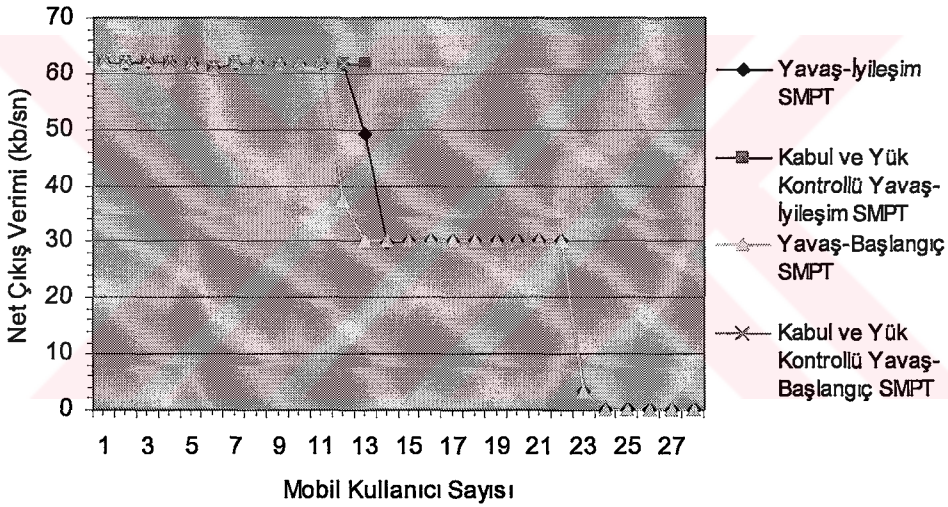
6.8 WCDMA Ortamında Gerçek Zamanlı Video İletiminde Servis Kalite Sürekliliği

Bu aşamaya kadar ileri sürülen sonuçlarda SMPT tekniklerinin gerçek zamanlı video iletiminde Sıralı İletime oranla çok daha yüksek servis kalitesi sağladığını ve WCDMA tabanlı kablosuz mobil ortamlar için gerçek zamanlı uygulamaların ihtiyaç duyduğu servis kalite kriterlerini sağladığını görmekteyiz.

Ancak hız kontrollü ve hız kontrolsüz video trafiği için SMPT kullanımının sistem kapasitesinin daha erken ve ani olarak sınırına gelebileceği ve bu durumda servis kalitesinin ani olarak istenen değerlerin çok altına düştüğü görülmektedir. Bu nedenle çalışmamızda 6.6'da anlatılan kabul kontrolünün uygulanmasıyla SMPT'nin yüksek servis kalite performansı sağladığı sistem kapasitesi sınırlarında kalması sağlanmaktadır. Ancak kabul kontrolü özellikle hız kontrolsüz gerçek zamanlı video gibi video içeriklerine göre değişkenlik gösterebilecek trafik için tek başına yeterli değildir. Üstelik mobil ortamlarda çoğu zaman solmalar ve mobil birimin hareketli olması nedeniyle değişen girişim koşullarından dolayı güç kontrolü tarafından yapılan ayarlamalar sonucu, hücredeki kullanıcı sayısı değişmese dahi hücredeki yük değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle farklı SMPT teknikleri için etkili olabilecek iki yaklaşımla 6.7'de anlatılan yük kontrolünü uygulayarak hücrede elde edilen servis kalitesinde süreklilik sağlanabilmektedir.

6.8.1 Hız Kontrollü Video Trafiği için Kabul Kontrollü ve Yük Kontrollü Uygulandığı Durum

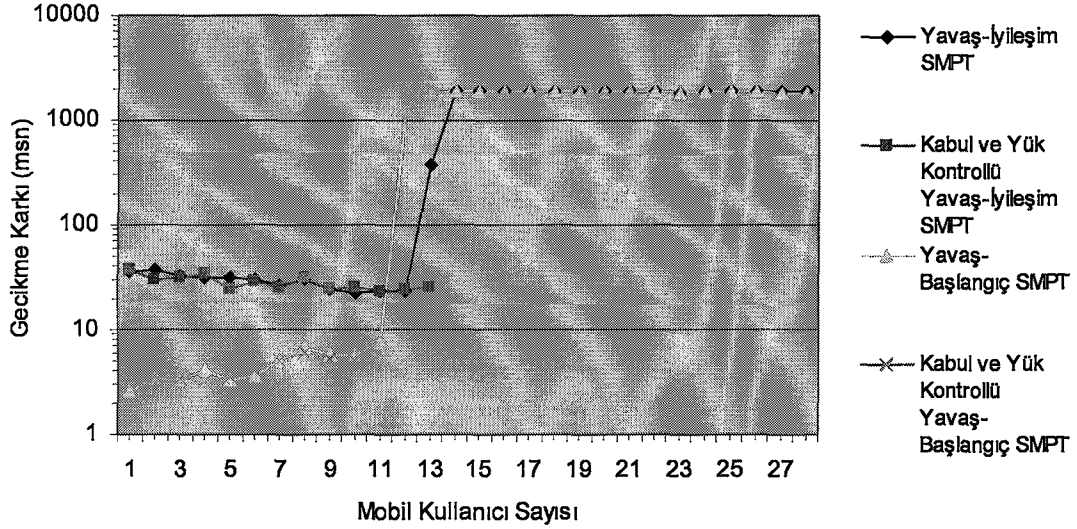
Yapılan simülasyonlarda aynı hız kontrolsüz trafik altında kabul kontrollü ve kabul kontrolsüz durumda Yavaş-İyileşen ve Yavaş-Başlangıçlı SMPT için servis kalite değişimleri incelenmiştir. Buna göre Şekil 6.19'da Yavaş-İyileşen SMPT'de kabul ve yük kontrollü durumda 13 kullanıcıya kadar erişim isteği kabul edilmiş ve sonrasında yapılan istekler reddedilmiştir. Kabul kontrolü uygulanmadığı durumda 12 kullanıcıdan sonra net çıkış veriminde düşüş gözlenmektedir. Kabul kontrollü durumda 13 kullanıcıya kadar servis verilebilmesi ani yük değişiminde yük kontrolünün devreye girmesiyle servis kalite düşüşünün önüne geçilmekte ve 13 kullanıcıya istenen servis kalitesinde servis verilmektedir.



Şekil 6.19 Kabul ve Yük Kontrollü Durumda Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Net Çıkış Verimindeki Ortalama Değişim

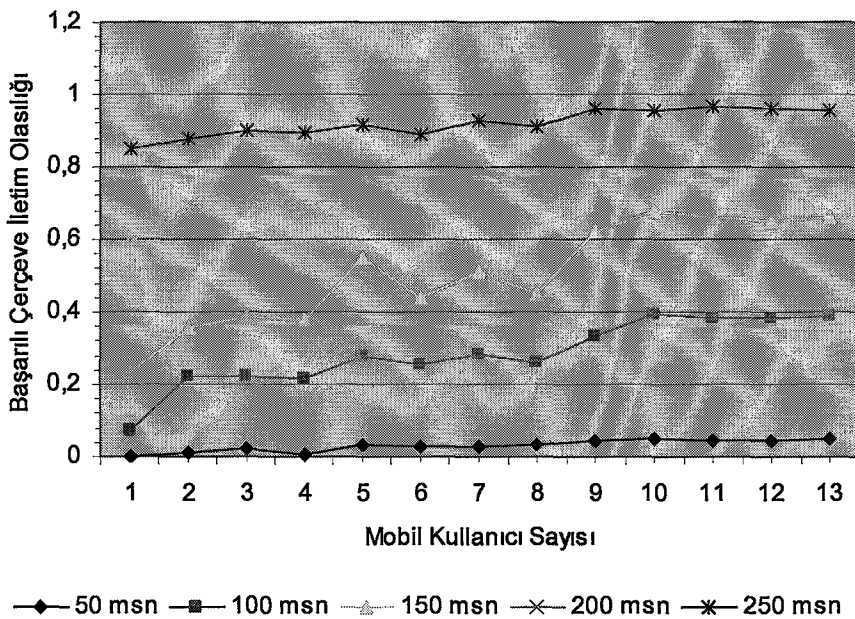
Yavaş-Başlangıçlı SMPT'de kabul ve yük kontrollü durumda 12 kullanıcıya kadar erişim isteği kabul edilmiş ve sonrasında yapılan istekler reddedilmiştir. Yavaş-Başlangıçlıta örnek simülasyon durumu için bir kullanıcı daha az kabul edilmiştir. Bu fark video trafiğine ve hücredeki girişim durumuna göre daha fazla olabilmektedir. Yavaş-Başlangıçlıda daha az sayıda kabul gerçekleşmesinin nedeni Yavaş-İyileşene oranla kanal kullanımının daha değişken olması nedeniyle yükteki dalgalanmaların daha fazla gözlenmesi ve Bölüm 6.6'da anlatıldığı gibi kabul

kontrolünün bunu göz önüne alarak sıkışmaları önlemek üzere erken sınır koymasındır.



Şekil 6.20 Kabul ve Yük Kontrollü Durumda Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Ortalama Gecikme Farkı Değişimi

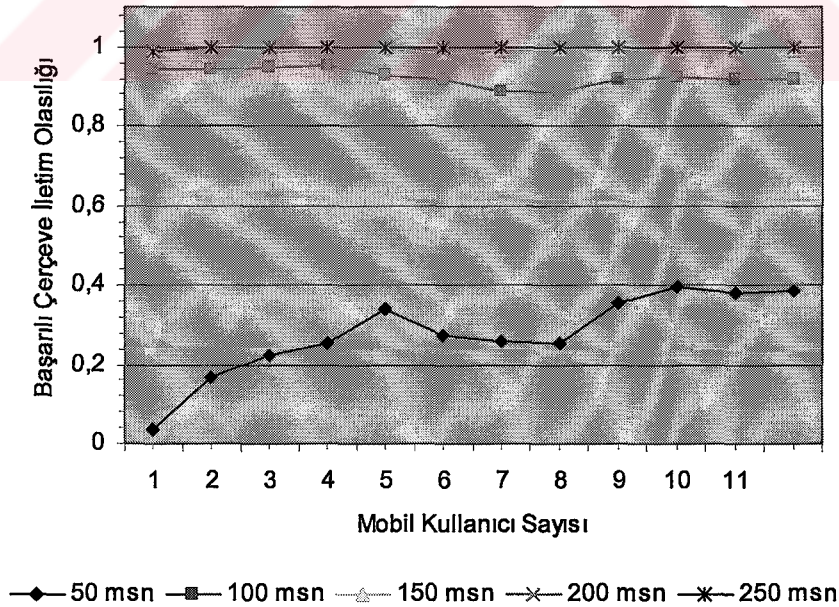
Benzer şekilde kabul ve yük kontrolü sayesinde gecikme farklarının kötüleşeceği noktaya yakın bir noktada kullanıcı sayısına kabul kontrolüyle sınır konmuş ve sistemi aşırı yükleyecek girişim anında yük kontrolü sayesinde Yavaş-İyileşimde 13, Yavaş-Başlangıçlıda 12 kullanıcıya kadar erişime izin verilmiştir.



Şekil 6.21 Yavaş-İyileşen SMPT’de Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı

Şekil 6.21’de Yavaş-İyileşen SMPT’de erişimine izin verilen 13 kullanıcı için çerçeve iletim başarımlarının istenen seviyelerde tutulduğu görülmüştür. 13 kullanıcıdan daha fazla sayıda erişim kabul edildiğinde çerçeve iletim başarımının düşeceğini Şekil 6. 19 ve 6.20’ye bakarak söyleyebiliriz. Benzer biçimde Şekil 6.22’de Yavaş-Başlangıçlı SMPT’de erişimine izin verilen 12 kullanıcılı duruma kadar iletim başarımı yüksek değerlerde bulunmaktadır.

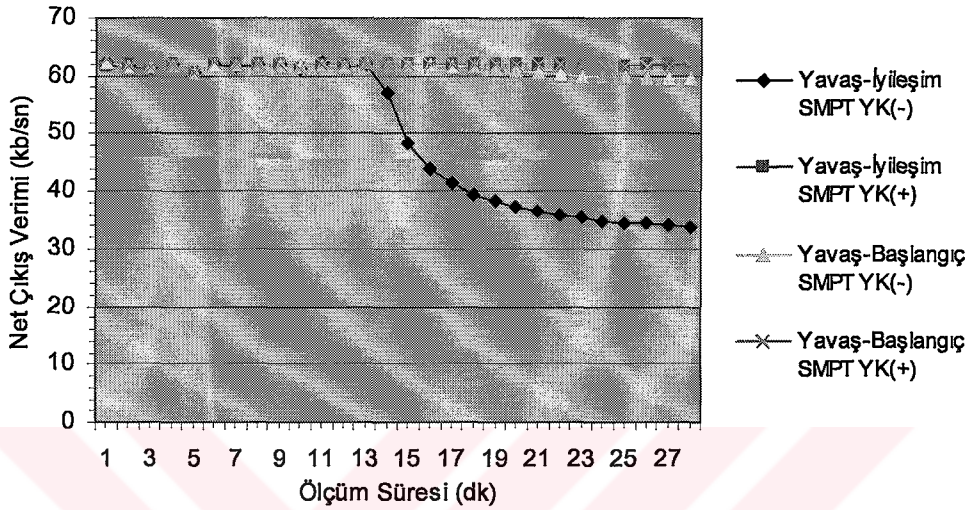
Hücrede kabul kontrolünün sağlanmasıyla servis kalite sürekliliği tamamlanmış sayılmaz, gerçekte kabul kontrolü hücredeki var olan bağlantılarda zamanla meydana gelebilecek değişimler nedeniyle hiç bir zaman %100 verimle çalışmaz. Bu nedenle yük kontrolü uygulanarak bu değişimlerin servis kalitesi üzerine olumsuz yansıması ortadan kaldırılabilmektedir. 6.8.2’de kabul kontrolü ve hız kontrolü uygulandığı durumla kabul kontrolü uygulanıp yük kontrolü uygulanmadığı durumlar için yapılan simülasyonlarda uygulanan kabul kontrolünün ve yük kontrolünün etkinliği ortaya konmaktadır.



Şekil 6.22 Yavaş-Başlangıçlı SMPT’de Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı

6.8.2 Hız Kontrollü Video Trafiği için Yük Kontrolsüz Durum

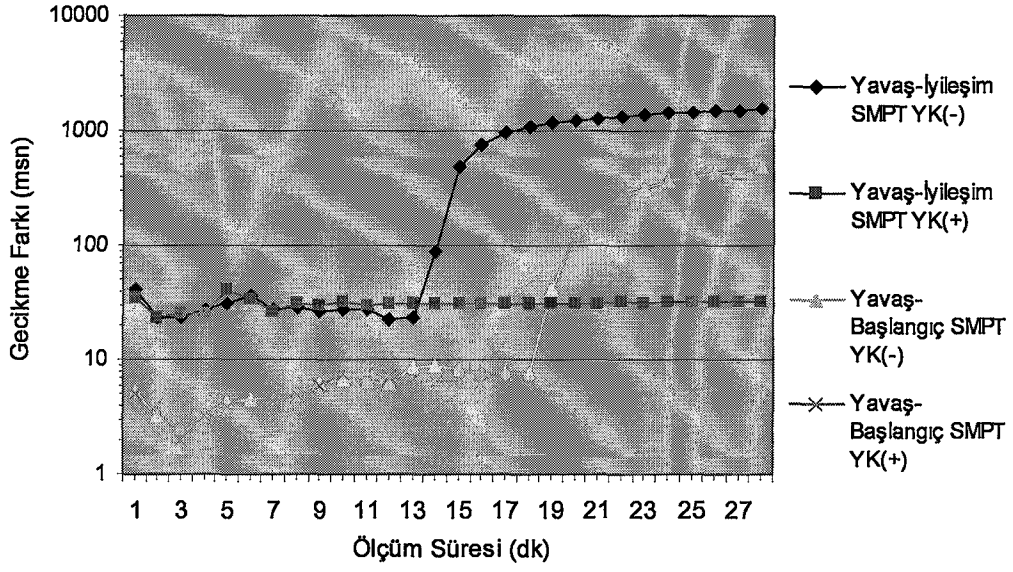
Bu bölümde yapılan simülasyonlarda kabul kontrolünün sistem kapasitesinin istenen %70'lik yük sınırına ulaşmasından sonra yük kontrolü uygulanan ve uygulanmayan durum için servis kalite değişimleri incelenmektedir.



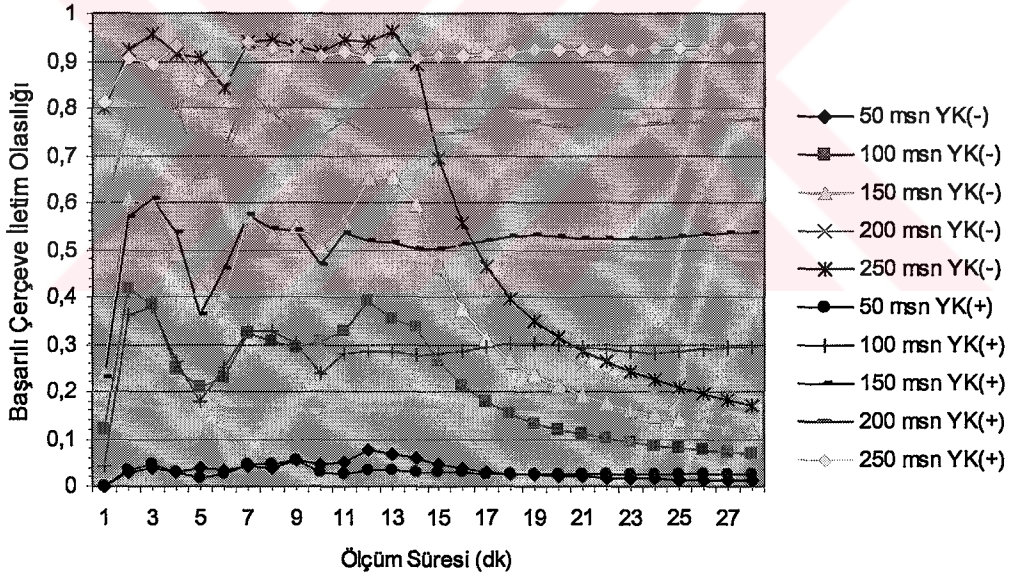
Şekil 6.23 Yük Kontrollü ve Yük Kontrolsüz Durumda Hücredeki Ortalama Net Çıkış Verimi Değişimi

Şekil 6.23, 6.24, 6.25 ve 6.26'da Yavaş-İyileşen SMPT'de 11, Yavaş-Başlangıçlı SMPT'de 10 kullanıcının erişimi kabul edilmiştir. Her 1 dakikalık periyotlarda servis kalite değerleri ölçülmüştür. Buna göre 11. ve 10. dakikalardan sonra Yavaş-İyileşen ve Yavaş-Başlangıçlı SMPT için servis kalite değişimleri incelenmektedir.

Şekil 6.23'te 13. dakikadan sonra Yavaş-İyileşen SMPT'de iletimde meydana gelen hataların birçok mobil için aynı zaman periyoduna rastlaması nedeniyle birçok mobilin aynı CDMA periyodunda çoklu kanal kullanmak istemesi nedeniyle sistem aşırı yüklenerek iletim hataları daha da artmakta ve çoklu kanal kullanım talebi de artmaktadır. Bunun sonucu olarak net çıkış verimi düşmeye başlamıştır. Aynı durum Yavaş-Başlangıçlı SMPT için de geçerli olabilirdi. Ancak Yavaş-Başlangıçlı SMPT'de mobil birimlerden aynı anda iletim kuyrukları boş olanlarının sayısı Yavaş-İyileşenden yüksek olması nedeniyle bu periyotta yük kontrolüne gerek kalmamıştır.



Şekil 6.24 Yavaş-İyileşen SMPT’de Yavaş-İyileşim SMPT YK(-) ve Yavaş-İyileşim SMPT YK(+) Durumda Hücresindeki Ortalama Gecikme Farkı Değişimi

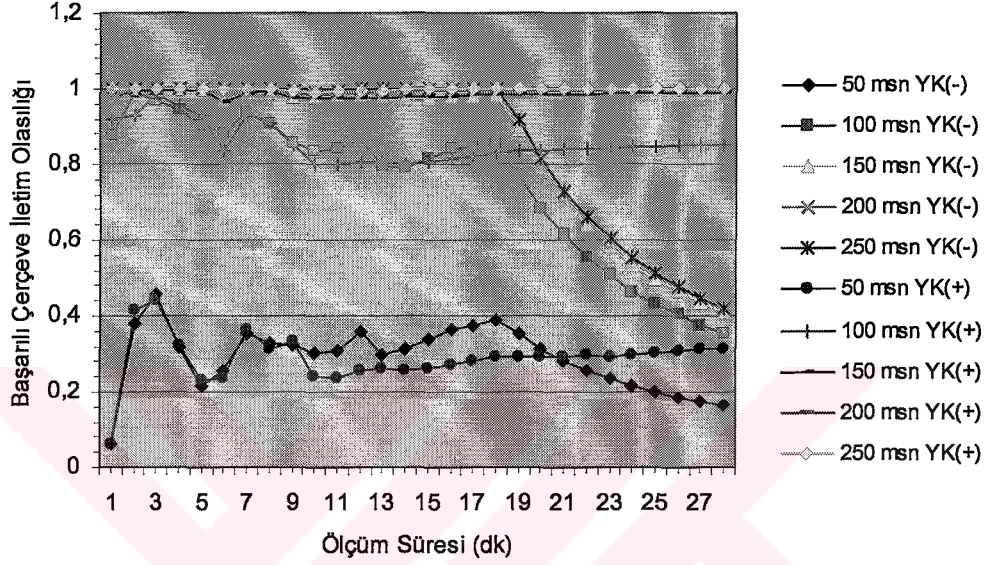


Şekil 6.25 Yavaş-İyileşen SMPT’de Yavaş-İyileşim SMPT YK(-) ve Yavaş-İyileşim SMPT YK(+) Durumda Hücresindeki Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı

Şekil 6.24’ten Yavaş-İyileşen SMPT için 13. dakikadan sonra gecikme farkının net çıkış veriminde açıklanan nedenden dolayı yükseldiğini görmekteyiz. Yavaş-İyileşim SMPT YK(-) durumunda ise gecikme farkının sabit tutulabildiği görülmektedir. Yavaş-Başlangıçlı SMPT’de net çıkış veriminde önemli bir düşüş yaşanmazken 18. dakikadan sonra

gecikme farkında önemli bir yükselme görülmektedir. Yük kontrollü durumda ise gecikme farkı sabit tutulabilmiştir.

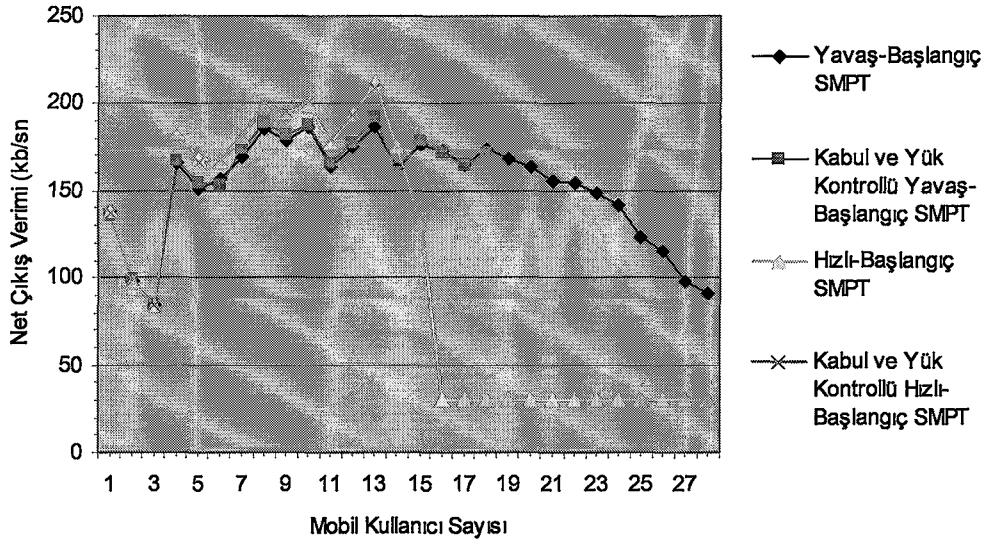
Şekil 6.25'te Yavaş-İyileşen SMPT'de Şekil 6.26'da Yavaş-Başlangıçlı SMPT'de kabul kontrolünden sonra uygulanan yük kontrolünün çerçeve iletim başarımında da sürekliliği sağladığı görülmektedir.



Şekil 6.26 Yavaş-Başlangıçlı SMPT'de Yük Kontrollü ve Yük Kontrolsüz Durumda Hücredeki Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı

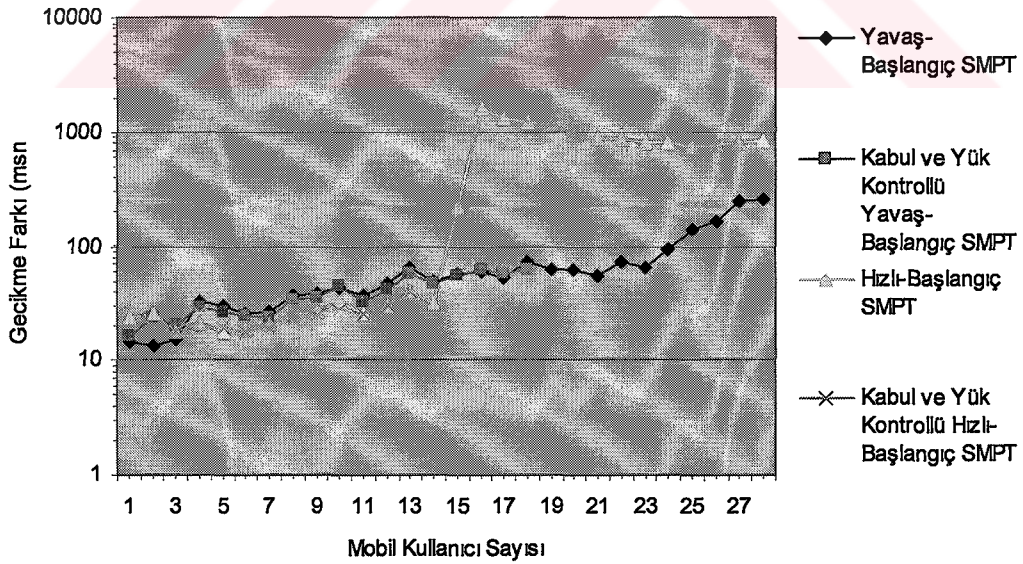
6.8.3 Hız Kontrolsüz Video Trafiği için Kabul Kontrolü ve Yük Kontrolü Uygulandığı Durum

Şekil 6.27'de net çıkış veriminin düşmeye başladığı kullanıcı sayısında kabul kontrolüyle erişim engellenmiştir. Yavaş-Başlangıçlı için 18, Hızlı-Başlangıçlı için ise 13 kullanıcının erişimine izin verilmiştir. Hızlı-Başlangıçlıda 1'den 8 paralel kanal kullanımına geçilmesi nedeniyle yükte meydana gelen ani tepe değerler göz önüne alınarak sistemin aşırı yüklenmesini engellemek amaçlı erişim daha erken engellenmiştir.



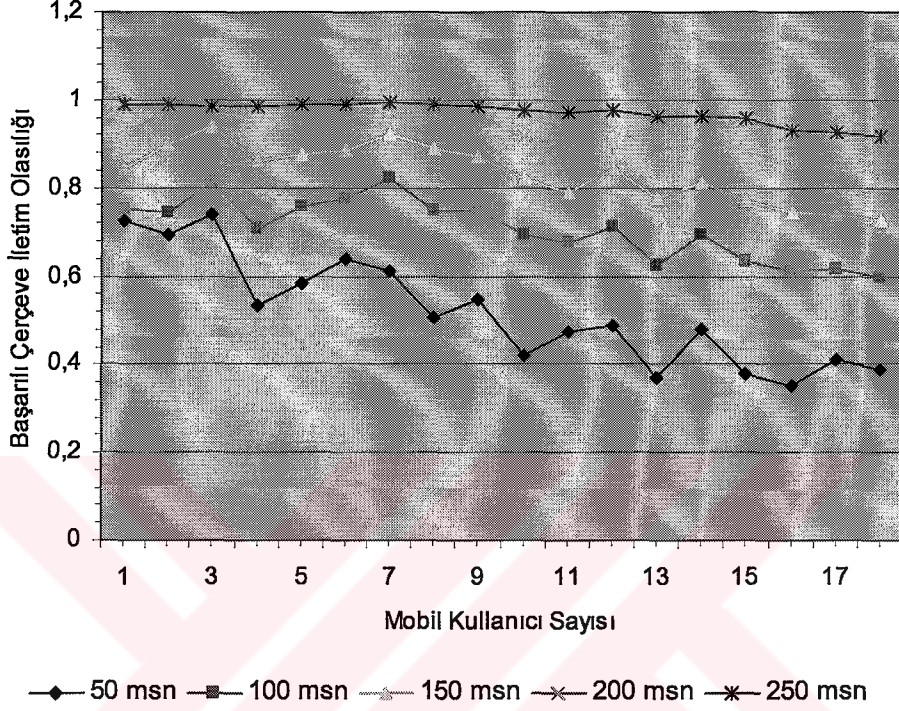
Şekil 6.27 Kabul ve Yük Kontrollü Durumda Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Net Çıkış Verimindeki Ortalama Değişim

Şekil 6.28’de Yavaş-Başlangıçlı SMPT için gecikme farkının hızlı olarak yükselişe geçmemesine karşın erişimin engellenmesinin nedeni tamamen daha önceki yük değişimlerine göre yapılan tahmin nedeniyledir.



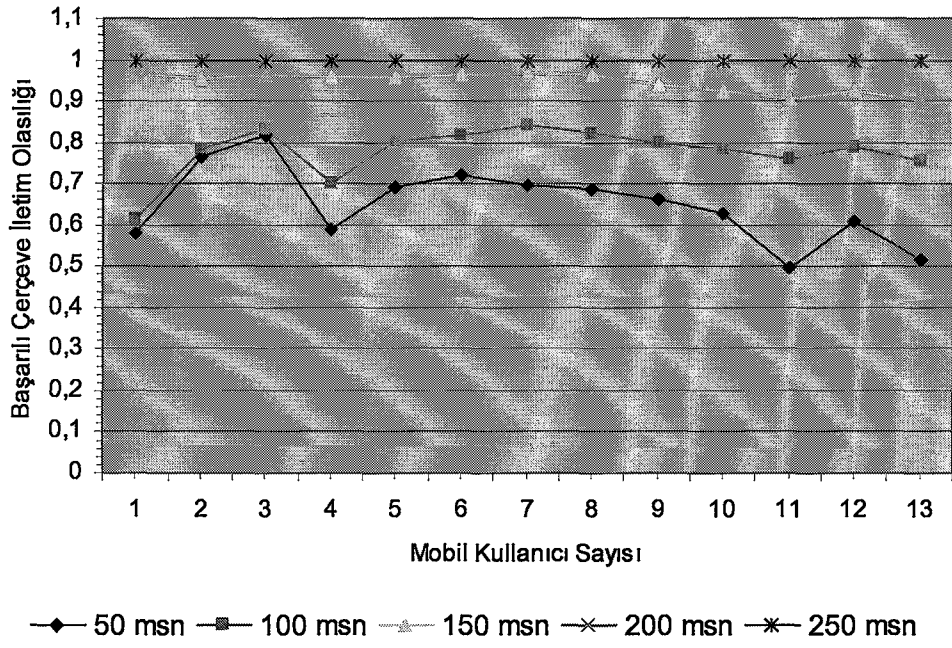
Şekil 6.28 Kabul ve Yük Kontrollü Durumda Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Ortalama Gecikme Farkı Değişim

Ancak Şekil 6.27’de bu noktada WCDMA sisteminin aşırı yüklenmesinden dolayı iletilebilen çerçevelerin azalmasıyla net çıkış veriminin düşmeye başladığını görmekteyiz. Bu nedenle bölüm 6.6’da açıklanan algoritmanın gerçek zamanlı video trafiği için etkili bir kabul kontrol tahmini yaptığını söyleyebiliriz.



Şekil 6.29 Yavaş-Başlangıçlı SMPT’de Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı

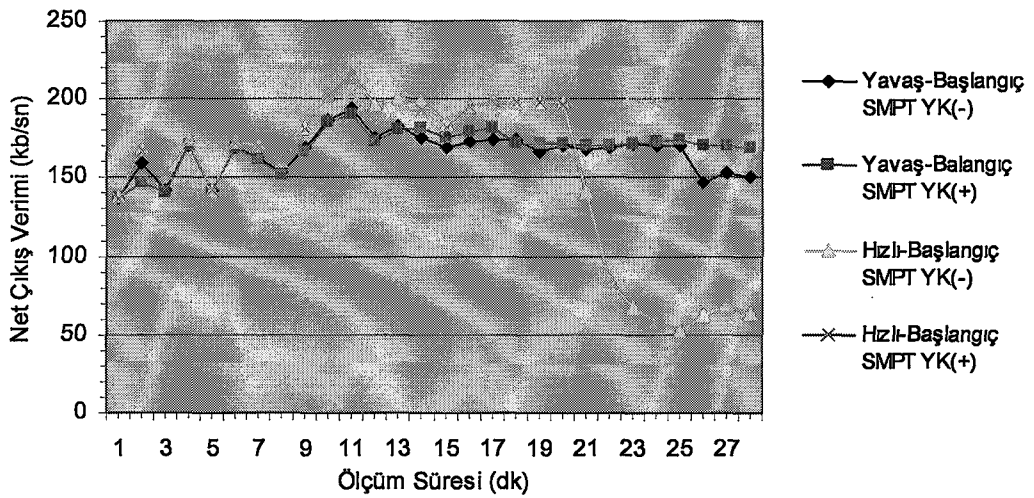
Şekil 6.29’da Yavaş-Başlangıçlı SMPT’de erişimine izin verilen 18 kullanıcı için çerçeve iletim başarımlarının istenen seviyelerde tutulduğu görülmektedir. 18 kullanıcıdan daha fazla sayıda erişim kabul edildiğinde çerçeve iletim başarımının düşeceğini Şekil 6.27 ve 6.28’e bakarak söyleyebiliriz. Benzer şekilde Şekil 6.30’da Hızlı-Başlangıçlı SMPT’de erişimine izin verilen 13 kullanıcıya kadar iletim başarımı istenen servis kalitesini sağlamaktadır.



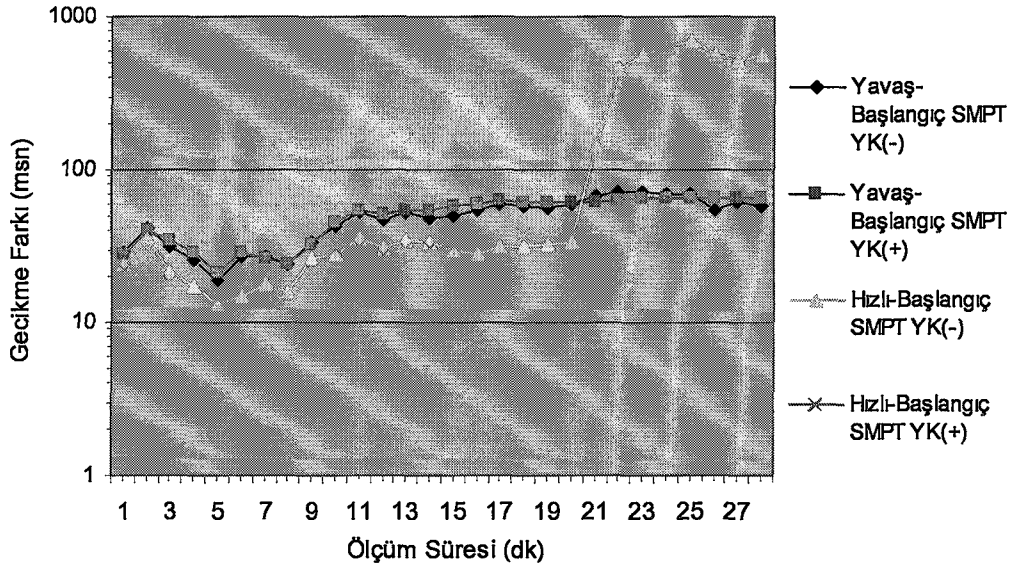
Şekil 6.30 Hızlı-Başlangıçlı SMPT’de Hücredeki Kullanıcı Sayısına Göre Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı

6.8.4 Hız Kontrolsüz Video Trafiği için Yük Kontrolsüz Durum

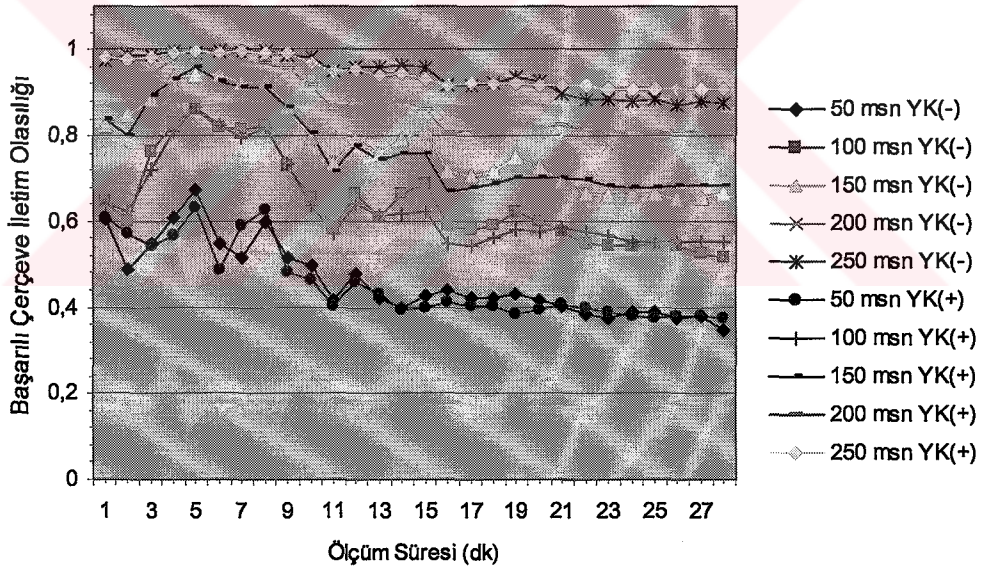
Şekil 6.31, 6.32, 6.33 ve 6.34’de Yavaş-Başlangıçlı SMPT’de 16, Hızlı-Başlangıçlı SMPT’de 14 kullanıcının erişimi kabul edilmiştir.



Şekil 6.31 Yük Kontrollü ve Yük Kontrolsüz Durumda Hücredeki Ortalama Net Çıkış Verimi Değişimi



Şekil 6.32 Yavaş-Başlangıçlı SMPT'de Yavaş-Başlangıçlı SMPT YK(-) ve YK(+), Hızlı-Başlangıçlı SMPT YK(-) ve YK(+) durumundaki Gecikme Farkı Ortalama Değişimi



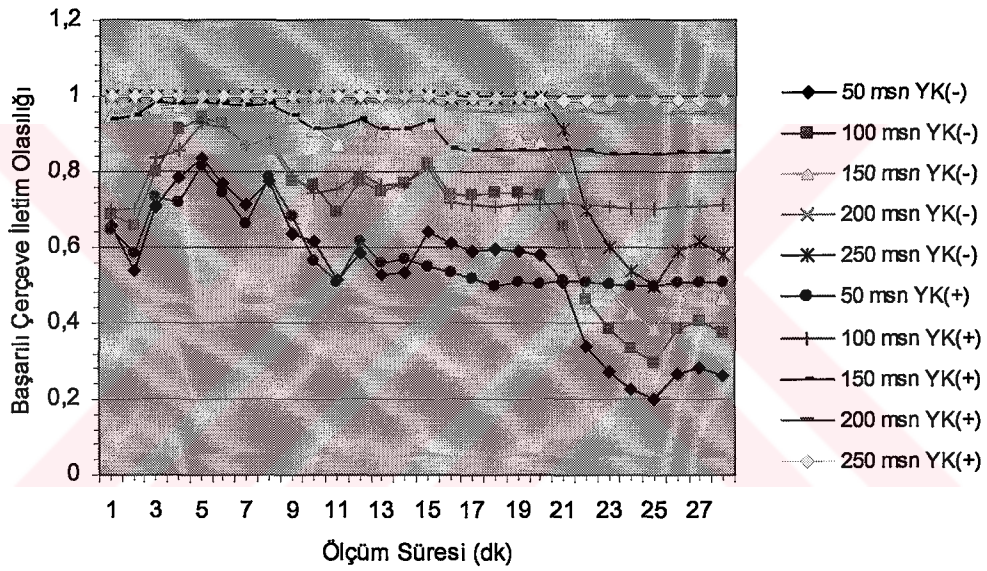
Şekil 6.33 Yavaş-Başlangıçlı SMPT'de Yavaş-Başlangıçlı SMPT YK(-) ve YK(+), Hızlı-Başlangıçlı SMPT YK(-) ve YK(+) durumundaki Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı

Her 1 dakikalık periyotlarda servis kalite değerleri ölçülmüştür. Buna göre 16. ve 14. dakikalardan sonra Yavaş-İyileşen ve Yavaş-Başlangıçlı SMPT için servis kalite değişimleri incelenmektedir. Şekil 6.31'den Hızlı-Başlangıçlı SMPT için 20. dakikadan sonra Yavaş-Başlangıçlı SMPT'de ise 25. dakikadan sonra net çıkış

verimi düşmektedir. Kabul kontrolü uygulandığı durumda ise değişim sabit tutulabilmektedir.

Şekil 6.32’de yük kontrolü uygulanmadığı Hızlı-Başlangıçlı SMPT’de gecikme farkı 20. dakikadan sonra ani olarak yükselmektedir.

Şekil 6.33’te Yavaş-Başlangıçlı SMPT’de yük kontrolüne Hızlı-Başlangıçlı SMPT’ye oranla daha az ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Bunun nedeni Yavaş-Başlangıçlı SMPT’de SMPT yükseltme mekanizmasının kademeli olarak kanal artırması ve hücredeki toplam kanal sayısının ani değişmemesi nedeniyle yükün ani değişimler göstermemesidir.



Şekil 6.34 Hızlı-Başlangıçlı SMPT’de Yük Kontrollü ve Yük Kontrolsüz Durumda Hücredeki Başarılı Çerçeve İletim Olasılığı

Hızlı-Başlangıçlı SMPT’de ise Şekil 6.34’de görülebileceği gibi 20. dakikadan sonra çerçeve iletim başarımını düşürmemek için yük kontrolünün gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

7 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışmada gerçek zamanlı video trafiğinin iletimi, video bant genişliği bazlı olan hız kontrollü video ve video görüntü kalitesi bazlı hız kontrolsüz video trafik karakteristiği için gerçekleştirilmiştir. Bant genişliğinin temel alındığı video trafiğinde, iletilen video belirli hedef hızlarında kodlanmakta ve dolayısıyla videonun ihtiyaç duyduğu bant genişliğindeki değişkenlik mümkün olduğunca düşük tutulabilmektedir. Görüntü kalitesinin temel alındığı video trafiğinde ise iletilen videonun bant genişliği ihtiyacı görüntü içeriğiyle birlikte oldukça değişken olabilmektedir. Bu ise hücrede ihtiyaç duyulan toplam bant genişliğinde de durağansızlıklara neden olmaktadır. Her iki tür video trafiğine uyum sağlayabilen SMPT tekniklerinin uygulanmasıyla istenen servis kalitesinde video iletimi mümkün olmaktadır. Çalışmada altıncı bölümde ayrıntılı olarak değinildiği gibi hız kontrollü video trafiği için Yavaş-İyileşen SMPT yüksek gecikme farkları için üstün performans gösterirken, mobil terminal başına maksimum 3 kanal kullanılarak gerçekleştirilen Yavaş-Başlangıçlı SMPT’de, video iletim performansında video konferans gibi gerçek zamanlı uygulamalar için gereken 150 msn mertebesindeki ihtiyaçlar kolaylıkla karşılanabilmekte ve arzu edilen servis kalitesini elde etmek mümkün olmaktadır. Hız kontrolsüz video trafiğinde ise maksimum 8 paralel kanal kullanımıyla uygulanan Yavaş-Başlangıçlı ve Hızlı-Başlangıçlı SMPT yöntemleriyle video iletim kalitesi ve iletim başarımındaki performans oldukça yüksek tutulabilmektedir.

Gerçek zamanlı videonun iletiminde Sıralı İletim tekniğinin uygulanamayacak kadar düşük performans gösterdiği yapılan simülasyonlar sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında önerilen eşzamanlı paket iletimine dayalı tekniklerin ise gerçek zamanlı video gibi sürekli zamanlı uygulamalar için oldukça iyi performans gösterdiği yapılan simülasyonlarla ortaya konmuştur.

Hız kontrollü video trafiği için :

- Gecikme farkları Sıralı İletimde 100 msn mertebesinde iken, Yavaş-İyileşen SMPT’de 20-30 msn, Yavaş-Başlangıçlı SMPT’de 5-10 msn arasında gerçekleşmiştir.
- Çerçeve iletim başarımlarının olasılığı Sıralı İletimde 0,4’ün altında kalırken, Yavaş-İyileşen SMPT ile 150 msn gecikme kriterinin üstü için yaklaşık 0,7, yavaş-Başlangıçlı SMPT ile 0,95’in üzerinde gerçekleşmiştir.

Hız kontrolsüz video trafiği için :

- Gecikme farkları Sıralı İletimde 600 msn olarak gerçekleşirken Yavaş-Başlangıçlı SMPT ile 30-40 msn, Hızlı-Başlangıçlı SMPT ile 20 msn civarında gerçekleşmiştir.
- Çerçeve iletim başarımlarının olasılığı Sıralı İletimde 0,25’in altında kalırken Yavaş-Başlangıçlı SMPT ile 0,8, hızlı-Başlangıçlı SMPT ile 0,8’in üzerinde gerçekleşmiştir.

Simülasyonlarda WCDMA sisteminin kapasitesi olarak verilen değerler simülasyon için oluşturulan hücre parametrelerine olduğu kadar iletilen videolar tarafından da belirleyici olmaktadır. Gerçek zamanlı video gibi hücredeki bant genişliği ihtiyacının değişkenlik arz ettiği durumlarda kesin bir kapasite belirlemek hiç bir zaman gerçekçi bir yaklaşım olmaz. Kaldı ki WCDMA sistemleri yumuşak kapasiteye sahip sistemler olduğundan anlık olarak iletimlerde meydana gelen değişimler doğrultusunda sunulabilecek kapasite de değişkenlik gösterecektir.

Çalışmada kapasite anlamında önerilen SMPT iletim tekniklerinin video servis kalitesini artırmaları yanında birbirlerine göre hücre kapasitesinde meydana getirdikleri düşüşler de ortaya konmuştur. Buna göre Hızlı-Başlangıçlı SMPT gibi hücrede kullanılan kanal sayısında ani değişimlerin olduğu iletim durumu Yavaş-Başlangıçlıya göre servis kalitesini yükseltmesine karşılık kapasitede düşüşlere yol açmaktadır. Benzer biçimde Yavaş-İyileşen SMPT ye göre de Yavaş-Başlangıçlı SMPT’nin sunduğu servis kalitesi daha yüksek olmasına karşı sistemde oluşturulan yük değişiminin göreceli olarak fazla olması nedeniyle kapasite Yavaş-İyileşen tekniğine göre düşmektedir.

Çalışmada video iletiminde istenen servis kalitesiyle iletim gerçekleştirilebilmesi amacıyla teknikler uygulanmasını yanında elde edilen servis kalitesinin sürekliliği de uygulanan kabul kontrolü ve yük kontrolü ile sağlanmıştır. Kabul kontrolünde öncelikle hücrede video trafiği için istenen yükleme seviyesi göz önüne alınarak (Bölüm 6'da sonuçları verilen simülasyonlarda 0,70 alınmıştır) kabul kontrolü yapılmıştır. Kabul kontrolünde erişim kabul edilirken dikkate alınan yük seviyesi hücrede durağan olarak devam eden zaman periyodunda yaşanan en yüksek yük seviyesi olarak alınmıştır. Bu şekilde hücrede tekrar yaşanabilecek yük artışında servis kalitesinde düşüşler önlenebilmiştir. Ancak tahmin edilen yük seviyesinin ilk olarak aşılması her zaman olasılık dahilinde olması nedeniyle uygulanan yük kontrolü ile, ani yük değişimlerinde kısa süreli servis kalite düşüşlerine neden olursa da kısa süre sonunda sistemin kararsızlığa sürüklenmeden istenen servis kalitesinde iletme devam edilebilmiştir. Simülasyonlar kabul kontrolü sonrası uygulanan yük kontrolü ile gecikme farkı, çerçeve iletim başarımları ve net çıkış veriminde düşüşlerin etkili biçimde önlendiğini göstermiştir.

WCDMA sistemlerinde aynı anda video iletimi yapan iki kullanıcının ilettikleri video kalitesine ve kullandıkları SMPT tekniğine göre sisteme yük getirdikleri muhakkaktır. Örneğin video kalitesinden ödün verilmeksizin değişken bant genişlikli video servisi alan bir kullanıcı, hedef hızda kodlu video ileten kullanıcıya göre WCDMA sisteminde çok daha fazla yük dengesizliğine neden olabilecektir. Sistemdeki yük dengesizliklerini aşağıya çekmek ve sistem kullanımıyla orantılı gelir elde edebilmek amacıyla sunulan video servislerinin video kalite bazlı olması durumunda ve kullanılan SMPT tekniği bazında operatör tarafından ücretlendirilmesi, alınan gerçek zamanlı video servislerinin kalitesine standart getirilmesi bakımından önem kazanmaktadır. Örneğin değişken bant genişlikli ve 8 paralel kanala ihtiyaç duyacak bir video servis isteği şayet sistemde bu taşıyıcı servisi tanımlayan abonelik verilmemişse gerçekleştirilemeyecek ve sistemde işgal edilen bant genişliklerinin eşit dağılımla gelire dönüştürülmesi mümkün olabilecektir.

Yeni nesil mobil sistemlerde trafiği oluşturan temel unsurların konuşma, gerçek zamanlı video, gerçek zamanlı olmayan video ve veri trafiğinden oluşacağı düşünüldürse gerçek zamanlı video trafiği için ve konuşma için hücrede ayrı yük sınırları konması ve böylece trafik türüne göre boyutlandırma yapılması uygun

olacaktır. İnternet tabanlı e-ticaret, e-bankacılık gibi gecikmelere karşı duyarlı olmayan servislerin yaygınlaşmasıyla video trafiğinin değişkenlik gösterdiği CDMA iletim periyotlarında veri trafiğinin iletilmesiyle sistem yüküne bağlı olarak hücrede servis sunulan kapasite mümkün olduğu kadar yüksek ve durağan seviyede tutulabilecektir. Bu noktada sistemlerde uygulanabilecek paket tarifleme (scheduling) algoritmalarıyla çalışmamızda uygulana yöntemin etkinliği daha da artırılabilir.

Simülasyonlarda uygulanan iletimde veri bağlantı katmanı üzerinde hiç bir katmandan bilgiye ihtiyaç duyulmadığı durum için iletim gerçekleştirilmiştir. Bu durum uygulanabilirlik ve karmaşıklığı azaltmak açısından elverişli bir durumdur. Ancak video iletiminde iletim başarımının düşük olduğu koşullarda bir video çerçevesinin alıcı taraf için çerçeve zaman aşımı nedeniyle gözden çıkarıldığı durumda gönderici çerçeveyi sonuna kadar iletmektedir. İletimde şayet çerçevenin zaman aşımı dolduğu durumda (RTP başlığından bu bilgi elde edilebilir) gönderici tarafta o anki çerçeve iletilmeden bir sonraki çerçeveye geçilmesini sağlayıcı bir paket tarifleme algoritmasıyla, elde ettiğimiz sonuçları iyileştirilebilir. Üst protokol seviyelerinden elde edilecek bu tür bilgilerle iletilen video kalitesinin ve WCDMA sistem kapasitesinin daha da yükseltilmesini temin etmeye yönelik bu konu üzerinde farklı çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **F.Fitzek and M.Reisslein**, 2001. MPEG-4 and H.263 Video Traces for Network Performance Evaluation, *IEEE Net.*, vol.15, no.6, pp.40-54; video traces available at <http://www.eas.asu.edu/trace>
- [2] **F.Fitzek and M.Reisslein**, 2001. A Prefetching Protocol for Continuous Media Streaming in Wireless Environments, *IEEE JSAC*, 19, 2015-2028.
- [3] **D.Sisalem**, 1997. End-To-End Quality of Service Control Using Adaptive Applications, IFIP Fifth International Workshop on Quality of Service IWQOS'97, New York, USA, May.
- [4] **F.H.P.Fitzek**, 2002. Streaming Video Applications over TCP in CDMA Based Networks, *Proc. 3Gwireless, San Francisco, CA*, 755-760.
- [5] **Holma, H. and Toskala, A., (ed.)**, 2001. WCDMA for UMTS, John Wiley & Sons, Ltd, Nokia, Finland.
- [6] **ISO/IEC 13818-2**, 2000, Information technology, Generic coding of moving pictures and associated audio information, Video.
- [7] **ITU-T Recommendation H.263**, 1998, Video coding for low bit rate communication.
- [8] **MPEG AOE Group**, 1995, Proposal Package Description (PPD), Revision 3 Tokyo meeting, document ISO/IEC/JTC1/SC29/WG11 N998, July 1995.
- [9] **Y.Zhang**, 1997, ISCAS Tutorial on MPEG-4. Chapter 3.4 <http://bs.hhi.de/mpeg-video/contrib/iscas97/>
- [10] **ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N3747**, 2000, Overview of the MPEG-4 standard.
- [11] **ISO/IEC 14496-2**, 2000, Information technology, Coding of audio-visual objects, Part 2: Visual.
- [12] **O.Rose**, 1995. Statistical Properties of MPEG video traffic and their impact on traffic modelling in ATM systems. Technical Report 101, University of Wuerzburg, Wuerzburg, Germany.
- [13] **M.Krunzh, R.Sass and H.Hughes**, 1995. Statistical characteristics and multiplexing of MPEG streams, Proceedings of IEEE Infocom '95, pp.455-462, April 1995.
- [14] **J.Walter**, bttvgrab software, <http://www.garni.ch/bttvgrab/> .

- [15] **G.Heising and M.Wollborn**, 1999. MPEG-4 version 2 video reference software package, ACTS AC098 mobile multimedia systems (MOMUSYS), December 1999
- [16] **ITU-T Recommendation H.261**, 1993, Video codec for audio-visual services at 64-1920 kbit/s.
- [17] **K.Rijkse**, 1996, Video coding for low bit rate communication, *IEEE Communications Magazine*, vol.34 no.12, pp.42-45.
- [18] **A.Puri and T.Chen**, 2000, *Multimedia Systems, Standards and Networks*, New York.
- [19] **Muratore, F., (ed.)**, 2000. UMTS Mobile Communications for the Future, John Wiley & Sons, Ltd, Telecom Italia Group, Italy.
- [20] **Ojanpera, T. and Prasad, R., (ed.)**, 1998. Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications, Artech House, London.
- [21] **J.Bito, T.Höhne and Peter Noll**, 1997. Simulation Study on Integrated Video, Voice and Data Transmission in Common-Code DS/CDMA Systems, Mobile Multimedia Communications, Plenum Press, pp. 223-230.
- [22] **S.Chakraborty, E.Yli-Juuti and M.Liinaharja**, 1998. An ARQ Scheme with Packet Combining, *IEEE Communications Letters*, Vol.2, July.
- [23] **C.Hsu, A.Ortega and M.Khansari**, 1999. Rate Control for Robust Video Transmission over Burst-error Wireless Channels, *IEEE JSAC*, Vol.17, no.5, pp.756-773, May.
- [24] **Frank H.P.Fitzek, Rolf Morich, and Adam Wolisz**, 2000. Comparison of Multi-Code Link-Layer Transmission Strategies in 3G wireless CDMA, *IEEE Communications Magazine*, pp.58-64, October.
- [25] **RFC 1193**, 1990. Client Requirements for Real-Time Communication Services.

EK A

MPEG-4 ve H.263 video dizileri için istatistiksel tanımlamalar metotlar. N video dizisindeki çerçeve sayısı, X_n , $n=1,..., N$ n . çerçevedeki bit sayısını göstermektedir.

Çerçeve boyut dizisinin aritmetik ortalaması $\bar{X}$:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_n$$

Çerçeve boyut dizisinin ortalama varyansı S_X^2 :

$$S_X^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (X_n - \bar{X})^2$$

İşlemsel açıdan daha uygun bir ifade ile S_X^2 :

$$S_X^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{n=1}^N X_n^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{n=1}^N X_n \right)^2 \right]$$

Değişim katsayısı kovaryans CoV :

$$CoV = \frac{S_X}{\bar{X}}$$

Maksimum çerçeve boyutu $X_{\max}$:

$$X_{\max} = \max_{1 \leq n \leq N} X_n$$

Bir biri ardına gelen k video çerçevesi için $k=0,1,...,N$, otokorelasyon katsayısı $\rho_X(k)$:

$$\rho_X(k) = \frac{1}{N-k} \sum_{n=1}^{N-k} \frac{(X_n - \bar{X})(X_{n+k} - \bar{X})}{S_X^2}$$

Belirli bir GoP dizisi Y_m , $m=1,..., N/G$ için ortalama varyans S_x^2 , varyans katsayısı ve otokorelasyon katsayısı $\rho_Y(k)$ benzer şekilde hesaplanırlar.



ÖZGEÇMİŞ

Bülent Köksal 1976 yılında Zonguldak'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini Zonguldak'ta tamamladı. Ortaokul yıllarında karar verdiği mesleğe ilk adım olarak 1993'te Zonguldak Endüstri Meslek Lisesi Elektronik Bölümünden mezun oldu. 1998 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği bölümünden lisans derecesini aldı. Lisans tezini Yapay Sinir Ağlarıyla Haberleşme Kanallarının Dengelenmesi konusunda tamamladı. İngilizce bilmektedir. Halen 1998'de başladığı aktif çalışma hayatını sürdürmektedir.

