

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

H.264 VİDEOLARININ İLETİMİNDE
HATA KURTARIMI

Güneş ARI

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Aylin KANTARCI

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 619.01.00
Sunuş Tarihi : 07.02.2011

Bornova-İZMİR
2011

Güneş ARI tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “H.264 Videolarının İletiminde Hata Kurtarımı” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 07.02.2011 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı	: Doç. Dr. Aylin KANTARCI	
Raportör Üye	: Yrd. Doç. Dr. R. Cenk ERDUR	
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Cengiz GÜNGÖR	

ÖZET

H.264 VİDEOLARININ İLETİMİNDE HATA KURTARIMI

ARI, Güneş

Yüksek Lisans Tezi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Aylin KANTARCI

Şubat 2011, 43 sayfa

İnternet teknolojileri ve dijital televizyon yayınlarındaki gelişim ile dijital video verilerinin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Kullanıcıların dijital video verisi içeren uygulamalardan beklentileri (yüksek kaliteli servis, hataya dayanıklı iletim gibi) arttıkça etkin video kodlama ve gelişmiş hata dayanıklılık yöntemlerinin önemi artmıştır.

Bu çalışmada H.264 video kodlama standardı incelenmiş ve H.264 video kodlama standartına göre kodlanmış bir video dosyası kullanılarak Raptor kodları ile hata kurtarma analizi yapılmıştır.

H.264 video çerçevelerini RTP paketlerine dönüştüren bir program kullanılmış ve bu programın çıktısına Raptor kodlayıcı programı ile farklı oranlarda ek bilgiler eklenmiştir. Kablolu ağlarda oluşabilecek iletim hatalarını simüle etmek amacıyla farklı hata modellerinin uygulandığı kayıp simülatör programı yazılmıştır. Raptor kodlarının eklendiği dosya üzerinde kayıp simülatörü kullanılarak paket kayıpları oluşturulmuş ve kayba uğramış dosya Raptor kod çözücü tarafından işlenerek kayıpların kurtarılması sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, orjinal videonun yeniden oluşturulabilmesi için gereken ek bilgi yüzdesi ve kayıp paket yüzdesindeki değişimler dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: H.264, Raptor Kodları, Gönderimde Hata Kurtarma.

ABSTRACT**ERROR CORRECTION ON H.264 VIDEOS**

ARI, Güneş

MSc in Computer Eng.

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Aylin KANTARCI

February 2011, 43 pages

Digital video data usage has increased with the development of Internet technologies and digital television broadcast. With the increasing expectations (high quality service, fault tolerant transmission) of users from applications that include digital video data, the importance of effective video encoding and error resilience methods has increased.

In this study, H.264 video coding standard was examined and error recovery analysis was performed using Raptor codes on video files that were encoded according to H.264 video coding standard.

A program was used for converting H.264 video frames to RTP packets and additional information was added with Raptor encoder program to the output of this program. In addition, a loss simulator program that supports different loss models, was written to simulate transmission errors on wired networks. Packet losses were generated by using loss simulator program on the file that was encoded by Raptor encoder and error recovery has been processed by Raptor decoder. Obtained results were evaluated with the percentage of extra information required to create original video again and changes in the percentage of packet loss.

Keywords: H.264, Raptor Codes, Forward Error Correction.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada ilgi, yardım ve desteğini benden esirgemeyen çok değerli danışmanım **Doç. Dr. Aylin KANTARCI**'ya, ayrıca tez çalışmam süresince yanımda olan eşime teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. TEMEL BİLGİLER.....	3
2.1. Video Kodlama Standartları	3
2.2. H.264/AVC Video Kodlama Standartı.....	6
2.2.1. Video kodlama katmanı (VCL)	8
2.2.2. Ağ soyutlama katmanı (NAL).....	15
2.3. H.264/AVC Profil ve Seviyeleri	16
3. VIDEO İLETİMİNDE HATA KONTROL YÖNTEMLERİ.....	18
3.1. Hata Dayanıklılığı (Error Resilience)	18
3.2. Hata Örtme (Error Concealment).....	19
3.3. Etkileşimli Hata Kontrolü (Interactive Error Kontrol).....	20
4. GÖNDERİMDE HATA DÜZELTME	21
4.1. Güvenli Veri İletimi.....	21
4.2. Gönderimde Hata Düzeltme Yöntemleri	22
4.3. Raptor Gönderimde Hata Düzeltme Yöntemi.....	23
5. KAYIP MODELLERİ	26
5.1. Uniform Dağılım Modeli.....	26
5.2. Simple Gilbert.....	26

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
5.3. Gilbert	26
5.4. Gilbert Elliot	27
6. BULGULAR	28
7. SONUÇ	39
8. ÖNERİLER	40
KAYNAKLAR DİZİNİ	41
ÖZGEÇMİŞ	43

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Video kodlama standartlarının gelişim süreci (CISCO, 2009).....	4
Şekil 2.2. H.264/AVC video kodlayıcı yapısı (Özdem, 2009)	7
Şekil 2.3 H.264/AVC kodlanmış video dizisi yapısı.....	8
Şekil 2.4. Kodlayıcı şeması (Purevdagva, 2007).....	9
Şekil 2.5. Kod çözücü şeması (Purevdagva, 2007)	10
Şekil 2.6. Intra 4x4 tahminleme (a) Mod 0,1, 3-8 (b) Mod 2 (c) Mod tablosu	11
Şekil 2.7. Makroblok ve alt-makroblok bölümlemesi	13
Şekil 2.8. Tarama sırası (a) Çerçeve (b) Alan modu	14
Şekil 2.9. H.264/AVC Profilleri	17
Şekil 4.1 RTP Protokolü	22
Şekil 4.2 Pınar Kodlama	23
Şekil 4.3 Raptor kodlayıcı ve kod çözücü (DF, 2005)	25
Şekil 5.1 Simple Gilbert kayıp modeli	26
Şekil 5.2 Gilbert kayıp modeli.....	27
Şekil 5.3 Gilbert Elliot kayıp modeli	27
Şekil 6.1 Kayıp modellerinin karşılaştırılması (Kayıp oranı %20)	30
Şekil 6.2 Kayıp modellerinin karşılaştırılması (Kayıp oranı %15)	30
Şekil 6.3 Kayıp modellerinin karşılaştırılması (Kayıp oranı %10)	31
Şekil 6.4 Kayıp modellerinin karşılaştırılması (Kayıp oranı %5)	31
Şekil 6.5 Kayıp modellerinin karşılaştırılması (Kayıp oranı %1)	32
Şekil 6.6 Uniform Dağılım Modeli (blok başına eklenen sembol = 530)	33
Şekil 6.7 Simple Gilbert Kayıp Modeli (blok başına eklenen sembol = 530).....	33
Şekil 6.8 Gilbert Kayıp Modeli (blok başına eklenen sembol = 530)	34

ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 6.9 Gilbert Elliot Kayıp Modeli (blok başına eklenen sembol = 530)	34
Şekil 6.10 %15 Kayıp oranında blok bazında kaybolan semboller	35
Şekil 6.11 %10 Kayıp oranında blok bazında kayıp semboller.....	36
Şekil 6.12 %5 Kayıp oranında blok bazında kaybolan semboller	37
Şekil 6.13 %1 Kayıp oranında blok bazında kayıp semboller.....	38

ÇİZELGELER DİZİNİ**Çizelge****Sayfa**

Çizelge 2.1 Dilim tipleri (Kuştutan, 2007)	9
Çizelge 6. 1 JM referans yazılımında kullanılan kodlama parametreleri	28

1. GİRİŞ

Günümüzde dijital video iletimi farklı alanlardaki uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Görüntülü telefon, video konferans, dijital televizyon yayınları, ısmarlama video (video on demand), kişisel video kaydediciler (personal video recorder - PVR) bu uygulamalardan bazılarıdır. Bu uygulamaların bir kısmı dijital videonun sınırlı bant genişliğine sahip iletim kanalları üzerinden yüksek kalitede iletilmesini gerektirirken, bir kısmı ise sınırlı depolama ortamlarında (DVD ya da kişisel video kaydediciler) en az kayıpla en fazla veriyi sıkıştırmayı gerektirir. Bu gereksinimleri karşılamak amacıyla farklı video kodlama standartları geliştirilmiştir.

İnternet ortamında verinin iletildiği kanallar çoğu zaman verinin kaybolması ya da bozulması riskine sahiptir. Paketler iletim kanallarındaki yoğunluktan dolayı alıcı tarafa ulaşmayabilir veya paketlerin içeriği bozulmuş olabilir. Bu tür sorunlara çözüm üretmek için çeşitli hata tespit etme ve düzeltme ve hata kurtarma teknikleri geliştirilmiştir. Bu teknikler dijital verinin güvenilir olmayan iletim kanalları üzerinden güvenilir olarak iletimini mümkün kılan tekniklerdir.

Hata düzeltme teknikleri geri yönlü hata düzeltme (Backward error correction) teknikleri ve ileri yönlü hata düzeltme (Forward error correction - FEC) teknikleri şeklinde sınıflandırılabilir. Geri yönlü hata düzeltme tekniği, otomatik tekrar isteği (Automatic repeat request - ARQ) gönderilmesiyle hata düzeltmeyi sağlar. Bu teknikte hatalı verinin yeniden gönderilmesi söz konusudur. ARQ, iletim kanalının değişken kapasitesi olduğu durumlar için uygundur. Ancak ARQ kullanılabilmesi için arka kanal (alıcıdan göndericiye) olması gerekir ki verinin tekrar gönderilmesi gerektiği için gecikme oranı artacaktır. Ayrıca, tekrar gönderimler, ağ trafiğinin artmasına (network congestion) sebep olabilir.

İleri yönlü hata düzeltme tekniği gönderimde hata düzeltme tekniği (GHD) olarak da bilinmektedir. Bu teknikte hatanın alıcı tarafta düzeltilmesi beklenir. Gönderici taraf veriye hata düzeltme kodu olarak adlandırılan ek bilgi ekler. Hatalı verinin düzeltilebilmesi için gönderici tarafın yeterince ek bilgi eklemesi gerekmektedir. Orijinal veri lineer kayıp düzeltme kodları ile kodlanır. Eğer iletim

esnasında verinin bir kısmı kaybolursa alıcının hata kurtarma algoritması kullanarak kayıpları telafi etmesi mümkündür. Bu tür uygulamalarda kodun mümkün olduğu kadar fazla hata düzeltmesi ve kodlama / kod çözme işlemlerini çok hızlı bir şekilde yapması kritik noktalardır. (Akman, 2009; Özdem'den, 2009)

1940'lı yıllarda Amerikalı matematikçi Richard Hamming bu alanda çalışmalar yapmış ve 1950 yılında ilk FEC kodu olan Hamming kodunu bulmuştur. FEC veri kontrol sistemi, alıcı tarafın hatayı tespit edip düzeltmesine olanak sağlayan, alıcıdan göndericiye iletim kanalı olmasını gerektirmeyen bir sistemdir.

Bu tezin amacı, en gelişmiş video kodlama standardı olan H.264 video kodlama standardı ile kodlanmış videoların RTP protokolü üzerinden iletimi sırasında oluşabilecek hatalara karşı Raptor kodlarının kullanılmasının sınanması ve kablolu ağlardaki paket kayıplarının simülasyonunda kullanılan kayıp modellerinin karşılaştırılmasıdır. Bu amaçla H.264 formatı ile kodlanmış verilerin öncelikle RTP paketlerine dönüştürülmesi gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan RTP paketleri ardışık şekilde dosyalara yazılmıştır. Bu dosyalar üzerine raptor kodları uygulanmış, farklı hata modelleri kullanılarak kayıp simülatörü ile dosyalar kayba uğratılmıştır. Kayıplı dosyalar raptor kod çözücü ile işlenerek raptor kodlarının hataların kurtarılmasındaki etkisi sınanmış ve elde edilen deney sonuçları değerlendirilmiştir.

Bölüm 2'de genel olarak video kodlama standartları ve hata düzeltme tekniklerinden bahsedilmiştir. Bölüm 3'te video iletiminde kullanılan hata kontrol yöntemleri sınıflandırılarak anlatılmıştır. Bölüm 4'te gönderimde hata düzeltme tekniği açıklanmış ve gönderimde hata düzeltme yöntemi olan Raptor kodlarından bahsedilmiştir. Bölüm 5'te kablolu ağlar üzerinde oluşabilecek hataları simüle etmek için yazılan kayıp simülatör programında kullanılan kayıp modelleri incelenmiştir. Bölüm 6'da tez kapsamında yapılan testlerin sonuçları grafiklerle gösterilmiştir.

2. TEMEL BİLGİLER

2.1. Video Kodlama Standartları

1990 yılından itibaren ITU-T¹ (International Telecommunication Union) organizasyonunun VCEG (Video Coding Experts Group) grubu ve ISO/IEC² (International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission) organizasyonunun MPEG (Moving Picture Experts Group) grubu video kodlama standartları üzerine çalışmalar yapmıştır. ITU-T, H261, H262, H263, ISO/IEC MPEG1, MPEG2, MPEG4/2 video kodlama standartlarını geliştirmiştir. Video kodlama standartlarının gelişim süreci Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

H.261 video kodlama standardı, pratikte ilk gerçek dijital video kodlama standardıdır. ITU-T tarafından 80’li yılların sonunda standart olarak kabul edilen H.261 video sıkıştırma formatı tümleşik hizmetler sayısal ağı (Integrated Services Digital Network - ISDN) üzerinden video telefon ve video konferans uygulamalarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. H.261 kodlama algoritmasını 40 kbit/s ve 2 Mbit/s arasındaki video bit oranlarında çalıştırmak mümkündür.

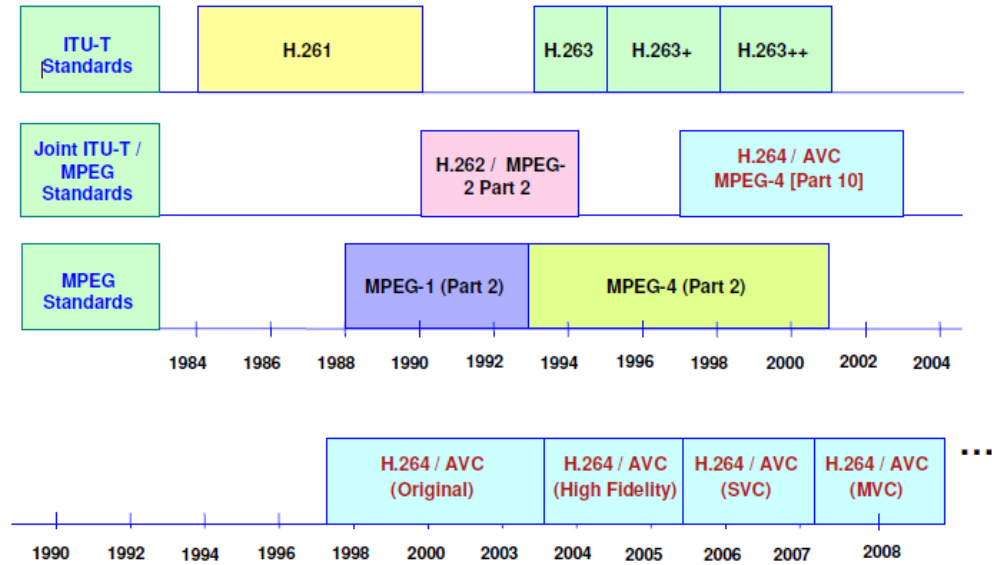
H.261 video kodlama standardının sıkıştırma performansını artırmak için H.263 sıkıştırma formatı önerilmiştir. H.263 standardı, videonun ağ üzerinden gerçek zamanlı iletiminin önemli olduğu kablosuz ve genel aktarmalı telefon şebekesi (Public Switched Telephone Network - PSTN) hatları üzerinden video telefon, video konferans ve video ile güvenlik gözetimi gibi uygulamalarda kullanılmak üzere H.261’in geliştirilmiş versiyonudur. Bu standart H.261 standardı ile karşılaştırıldığında aynı kalitedeki resimler için hemen hemen yarı yarıya bit kazancı sağlamaktadır.

MPEG-1, MPEG grubunun ilk standardı olup CD-ROM’lar üzerinde VHS kalitesinde ses ve görüntü depolamak için geliştirilmiştir. Bu standardın temel özellikleri, ses sıkıştırma yöntemleri (MP3), blok temelli hareket dengelemesi

¹ ITU-T telekomünikasyon standartlarını düzenleyen bir organizasyondur.

² ISO/IEC elektrik elektronik ve ilgili teknolojilerle ilgili standartları yöneten bir organizasyondur.

(Block Based Motion Compensation), ayrık kosinüs dönüşümü (Discrete Cosine Transform - DCT) gibi video kodlama metotlarıdır.



Şekil 2.1 Video kodlama standartlarının gelişim süreci (CISCO, 2009)

MPEG-2, bir önceki versiyon olan MPEG-1 video kalitesini arttırmak için 1994 yılında geliştirilmiştir. DVD’lerde standart kalite (Standard Definition - SD) video sinyallerinin sıkıştırılmasında kullanılmak üzere geliştirilmiş bir standarttır. MPEG-2 formatı aynı zamanda dijital video yayınlarında (DVB-C, DVB-S, DVB-T) ve kablo üzerinden iletilen standart kalite ve yüksek kalite (High Definition - HD) TV yayınlarında kullanılmaktadır.

MPEG grubu tarafından geliştirilen video kodlama standartlarından diğeri ise MPEG-4 video kodlama formatıdır. Bu formatın çekirdeği 1995-1999 yılları arasında geliştirilmiş olup, “ISO/IEC 14496” ismi altında 1999 yılında uluslararası standart olarak kabul edilmiştir. Yeni nesil çoklu ortam uygulamalarından olan interaktif TV ve interaktif video üzerinde bu format kullanılmıştır. MPEG-4 video sıkıştırma formatının getirmiş olduğu en büyük avantaj MPEG-1 ve MPEG-2 ile aynı bit oranında 2 kat daha fazla nesnel video başarımı sağlamasıdır. Örneğin, VHS kalitesinde MPEG-1 ile 1,2 Mbps bit hızında kodlanan bir video dizisi, aynı nesnel video kalitesinde MPEG-4 ile 500 ile 700 Mbps bit hızında kodlanabilmektedir. Son nesil video kodlama standartlarından olan MPEG-4, içerik temelli kodlama tekniği kullanmaktadır. Bu

kodlama tekniğinde video çerçevelerindeki her nesneye ilişkin doku ve hareket bilgisi ayrı bir katmanda kodlanmaktadır. Bu sıkıştırma formatı özellikle mobil uygulamalar için geliştirilmiş bir formattır.

H.264/MPEG4 AVC video kodlama standartlarının en gelişmiş olanıdır. Bu yeni video kodlama standardı, video kodlama algoritmalarına birçok yeni özellik katarak, önceki video sıkıştırma algoritmalarından (MPEG-4, H.263 vb.) daha iyi bir nesnel video başarımlar elde etmektedir.

En yeni video kodlama standardı olarak bilinen H.264, ITU-T ve ISO/IEC organizasyonlarının ortaklaşa geliştirdikleri bir kodlama yapısıdır. JVT³ (Joint Video Team) grubu tarafından 2003 yılında oluşturulmuştur. Literatürde bu yeni standart için farklı isimler kullanılmaktadır. ITU-T organizasyonu, yeni geliştirilen video kodlama standardına H.264 şeklinde isim verirken, ISO/IEC organizasyonu MPEG-4 Part10/AVC şeklinde isimlendirilmiştir. Bu nedenle H.264/AVC olarak da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bir video dosyası birbirini takip eden resim karelerinden oluşur. Kullanılan standarda göre bir video dosyası saniyede 24 ile 30 resim (kare/çerçeve) içerir. Bu nedenle video kodlama standartlarının temelinde resim sıkıştırma algoritmaları vardır. Resim sıkıştırma algoritmalarında uygulanan temel adımlar tahminleme, dönüşüm, nicemleme, entropi kodlamadır. Tahminleme, kod çözen tarafa ulaştığında, aktif çerçevenin, eldeki önceden çözülmüş çerçeve bilgilerine de dayanarak elde edilmesine olanak verecek bilginin hazırlanması sürecidir. Dönüşüm, girdi örneklerinin istatistiksel analizine dayanarak yeni bir örnek kümesi oluşturulmasına dayanır. Nicemleme, örneğin daha az bit kullanarak temsil edilmesini sağlayan, sıkıştırmada kayba neden olan adımdır. Entropi kodlama ise videoyu meydana getiren sembollerin bağıl olasılıklarına dayanarak farklı şekilde ifadesine dayanır. Verinin boyutunun küçültüldüğü temel adımdır. Bu adımlar konumsal benzerliği kullanır ve çerçeve-içi tahminleme (intra frame coding) adını alır.

³ JVT, ITU-T organizasyonunun VCEG ve ISO/IEC organizasyonunun MPEG gruplarının 2001 yılında bir araya gelmesiyle oluşturulmuş bir gruptur.

Videolarda ardışık olarak birbirini tekrarlayan resimler olduğu için video sıkıştırma zamansal benzerlik de kodlamada esas alınır. Tahminlemede ardışık sahneler arasındaki farklar kullanılır. Buna çerçeveler-arası tahminleme (inter frame coding) denir. Birbirine benzeyen ardışık çerçeveler arasındaki fark, etken çerçevedeki hareket eden nesnelerdir. Nesneler az miktarda hareket etse dahi, nesnelerin bulunduğu arka plana bağlı olarak çerçeve içeriğinde belirli ölçüde değişiklik meydana gelir. Aktif çerçeve içeriği önceki çerçeve ile karşılaştırılır; konumu değişen bloklar, hareket vektörleri (motion vector) ile işaretlenir. En benzer bloğu aramak ve bulunan blok için hareket vektörü oluşturma süreci hareket tahminlemesi (motion estimation) olarak adlandırılır. Benzer blok ile aktif blok arasındaki farkın kodlanması esasına dayanan bu yöntem en genel adıyla kalan kodlamalı hareket tamamlamalı tahminlemedir. (Motion Compensated Prediction - MCP residual coding) (Kuşutan, 2007)

2.2. H.264/AVC Video Kodlama Standartı

ITU-T organizasyonunun VCEG ve ISO/IEC organizasyonunun MPEG gruplarının bir araya gelerek oluşturdukları JVT grubu tarafından 2003 yılında geliştirilmiş kodlama standartıdır. Daha önceki standartlara göre daha etkin sıkıştırma sağlayan en son geliştirilmiş video kodlama standardıdır.

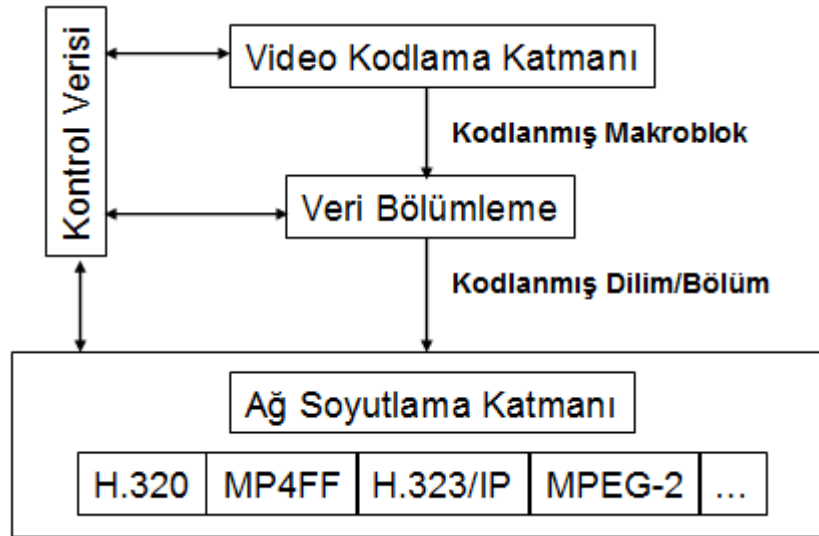
H.264/AVC projesinin amacı diğer mevcut standartlara göre oldukça düşük bit oranlarında ve gerçekleştirilmesi aşırı pahalı olacak karmaşık tasarımlar gerektirmeden iyi görüntü kalitesi sağlayacak bir standart yaratmaktır. Bir diğer hedef ise yeterli esneklik sağlayarak standardın televizyon yayınları, DVD depolama, RTP/IP paket ağları ve ITU-T çoklu ortam telefon sistemleri gibi, düşük ya da yüksek bit oranları, düşük ya da yüksek çözünürlükte görüntü içeren geniş bir ağlar ve sistemler yelpazesinde çalışabilmesi ve geniş bir uygulama çeşitliliğine sahip olmasıydı. (Wikipedia, H.264/MPEG-4 AVC, 2010).

H.264/AVC standartı aşağıda listelenen uygulama alanlarında dijital verinin etkin bir biçimde sıkıştırılarak kodlanmasına olanak sağlamaktadır.

- Kablolu, uydu, karasal, DSL yayınlarda

- Optik veya manyetik depolama cihazlarına dijital verinin depolanmasında
- ISDN, ethernet, LAN, DSL kablolu ve mobil ağlar veya bunlardan oluşan karma ağlar üzerinde iletişimde
- ISDN, DSL, LAN, kablolu ağlar üzerinde ısmarlama video veya çoklu ortam akışlandırma (streaming) servislerinde

Aynı zamanda yeni uygulama alanları ve ağlar ortaya çıktıkça bunlara uyum sağlayabilme esnekliğinde tasarlanmıştır. Standartta esneklik ve özelleştirilebilirlik için video kodlama katmanı (Video Coding Layer - VCL) ve ağ soyutlama katmanı (Network Abstraction Layer - NAL) şeklinde iki ayrı katman tanımlanmıştır. VCL, video içeriğinin etkin bir biçimde kodlanma işlemlerinin yürütüldüğü katmandır. NAL ise video içeriğinin VCL katmanındaki gösteriminin biçimlendirilmesi ve farklı özellikteki ağlar veya depolama ortamları için başlık bilgilerinin eklendiği katmandır. Şekil 2.2’de H.264/AVC video kodlayıcısının katmanlı yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.2. H.264/AVC video kodlayıcı yapısı (Özdem, 2009)

2.2.1. Video kodlama katmanı (VCL)

2.2.1.1. Dilim, makroblok ve alt makroblok

H.264/AVC standartının kodlama yapısı, daha önceki standartlar gibi hareket tahminleme-dönüştürme kodlama yapısına dayanır. Videonun her çerçevesi bir veya birden fazla dilime ayrılır. Dilimler makrobloklardan meydana gelir. Bir makroblok 16x16 boyuttaki parlaklık bileşeni (Y) ve formata uygun boyuttaki (4:2:0 formatında 8x8 boyutta) mavi (Cb) ve kırmızı (Cr) renk bileşeninden oluşur. H.264/AVC standardında parlaklık unsurunun her renk unsuruna göre 4 kat daha çok vurgulandığı 4:2:0 formatının yanı sıra 4:2:2 ve 4:4:4 formatları da kullanılmaktadır. Her makroblok hareket tahmini için alt-makrobloklara ayrılır. Alt-makrobloklar 16x16, 16x8, 8x16, 8x8, 8x4, 4x8 ve 4x4 şeklinde 7 farklı büyüklükte olabilir. Daha sonra alt-makrobloklar bloklara, bloklar da piksellere ayrılır. Kodlanmış video dizisinin (coded video sequence) hiyerarşik yapısı Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3 H.264/AVC kodlanmış video dizisi yapısı

Kodlanmış video dizisinin dilimler şeklinde tanımlanmasının avantajı, senkronizasyonu sağlamasıdır. Video çerçevesi, birbirinden bağımsız bölümler halinde dilimlere ayrılır ve her gönderimde senkronizasyon sağlanır, bu şekilde hata dayanıklılığı arttırılmış olur.

Dilim tipleri

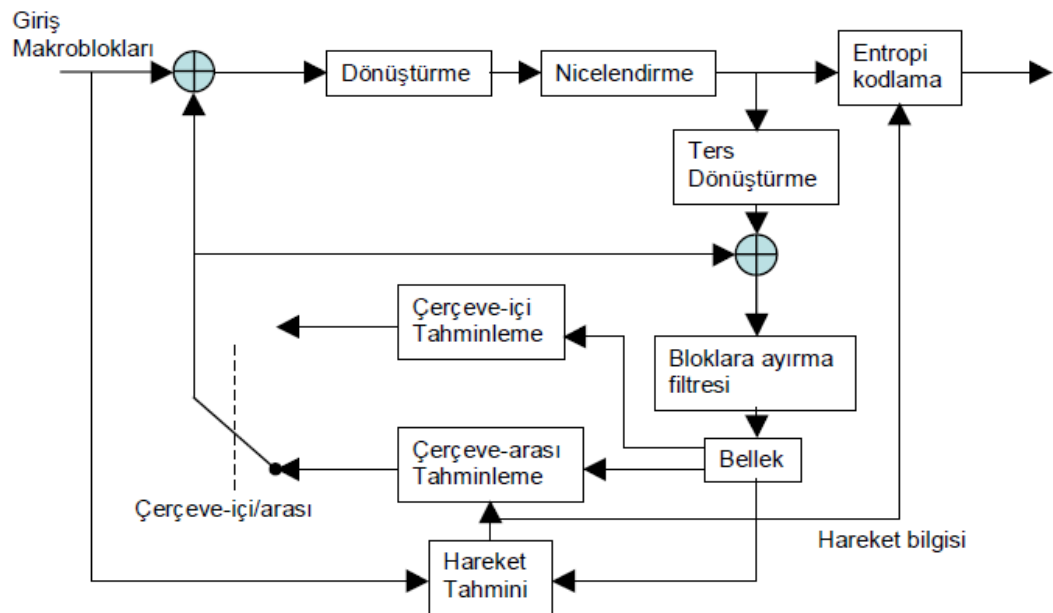
H.264/AVC standartında diğer standartlarda da olan I, P, B dilimlerinin yanı sıra SI (Switching I), SP (Switching P) dilimleri de vardır. SI ve SP dilimleri, I ve P dilimleri ile benzerdir. Farklı video dizileri arasında geçiş yapmaya olanak sağlarlar. Aynı zamanda, ileri atlama, geri sarma gibi fonksiyonellikleri desteklerler. Çizelge 2.1'de dilim tipleri ve ne amaçla kullanıldıkları listelenmiştir.

Çizelge 2.1 Dilim tipleri (Kuştutan, 2007)

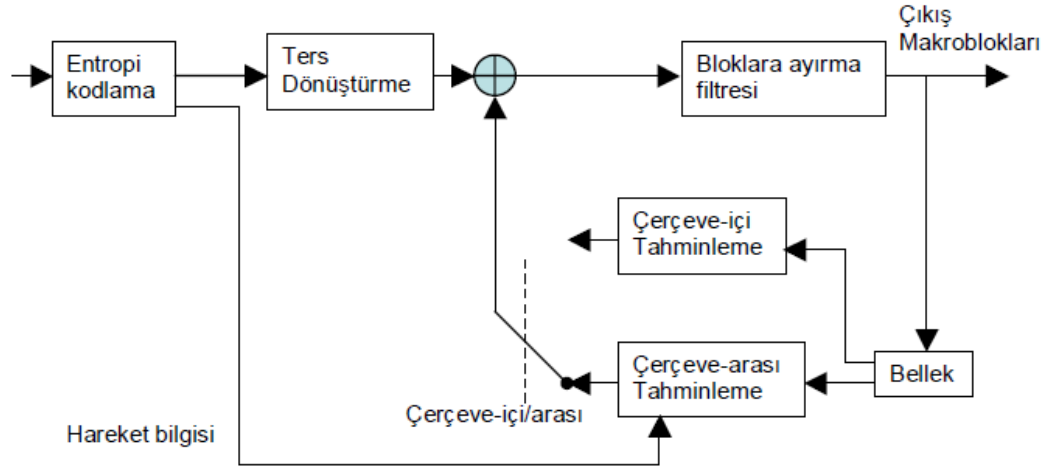
Dilim tipi	Dilimdeki Makroblok Türleri
I	Tüm makrobloklar çerçeve içi tahminlenir.
P	Makrobloklar çerçeve içi ya da tek yönlü olarak çerçeveler arası tahminlenir.
B	Makrobloklar çerçeve içi ve tek ya da çift yönlü olarak çerçeveler arası tahminlenir.
SI	Hata düzeltmeye olanak sağlamak üzere rastgele erişim için çerçeve içi kodlanan dilimdir. Sadece genişletilmiş profilde tanımlıdır.
SP	Farklı video dizileri arasında etkin geçişi sağlamak üzere kullanılır. Sadece genişletilmiş profilde tanımlıdır.

2.2.1.2. Kodlama ve kod çözme süreçleri

Şekil 2.4 ve Şekil 2.5’te H.264/AVC kodlayıcı mimarisinde yer alan bileşenler ile kodlama ve kod çözme süreçleri yer almaktadır.



Şekil 2.4. Kodlayıcı şeması (Purevdagva, 2007)



Şekil 2.5. Kod çözücü şeması (Purevdagva, 2007)

H.264 standardı, video kodlama için, temelde, önceki standartlar ile aynı fonksiyonel bileşenler mevcuttur.

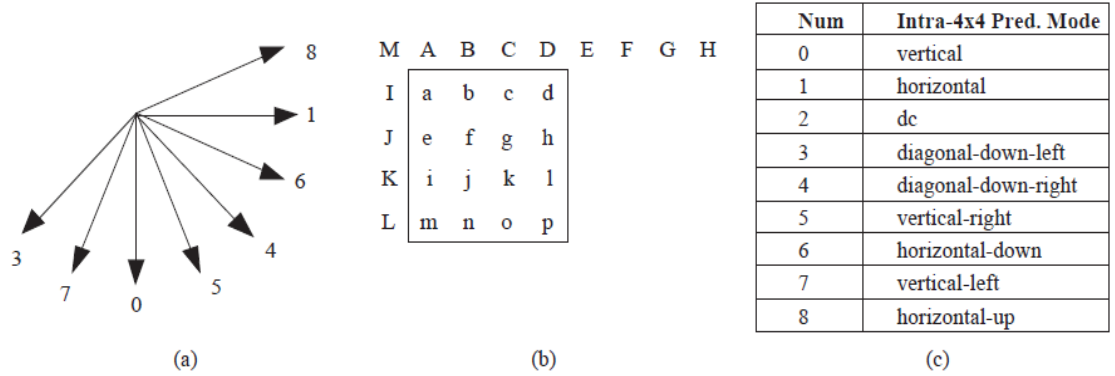
- Zamansal ve konumsal benzerliği kullanan hareket tamamlamalı tahminleme (motion compensated prediction)
- Konumsal bağımlılığı kullanan dönüşüm (transform for reduction of spatial correlation)
- Veri yoğunluğunu (bit-rate) yönetmek için yapılan nicemleme
- İstatistiksel bağımlılığı kullanan entropi kodlama

Çerçeve içi tahminleme, 4x4 boyutlu tamsayı dönüşümü, çoklu referans resimleri, değişken blok büyüklükleri, çeyrek blok keskinliğinde hareket tamamlama, bloklara ayırma filtresi, gelişmiş entropi kodlama gibi ayrıntılar sayesinde, H.264/AVC standardı diğer standartlardan daha etkin bir kodlama standardı haline gelmiştir.

Çerçeve içi tahminleme (Intra prediction)

Önceki standartlarda, çerçeve içi dilimler kodlanırken herhangi bir tahminleme yapılmazdı. I dilimlerine, doğrudan dönüştürme, nicemleme ve entropi kodlama uygulanırdı. H.264/AVC standartında I dilimlerine konumsal tahminleme yapılmaktadır. Intra 4x4, Intra 16x16 ve I-PCM şeklinde 3 temel

kodlama biçimi desteklenir. Intra 4x4 çerçevede detayın fazla olduğu bölümler için kullanılır. Şekil 2.6'da Intra 4x4 çerçeve için tahminleme modları gösterilmektedir. Intra 16x16 çerçeve de detayın az olduğu bölümler için kullanılır. IPCM tipi ise, tahminlemenin olmadığı tiptir. Piksel bilgileri olduğu gibi gönderilir. Veri kaybı olması istenmeyen önemli resim bölgelerinde IPCM kodlama yapılır.



Şekil 2.6. Intra 4x4 tahminleme (a) Mod 0,1, 3-8 (b) Mod 2 (c) Mod tablosu

- Mod 0 (Düşey) : A, B, C, D örnekleri tahminlemede temel alınır.
- Mod 1 (Yatay) : I, J, K, L örnekleri tahminlemede temel alınır.
- Mod 2 (DC) : Bloğun tüm birimleri için A..D, I..L örneklerinin ortalaması referans alınır.
- Mod 3 (Aşağı-Sol Köşegen) : Yukarı-sağdan aşağı-sola doğru 45 derece açıyla blok birimleri tahminlenir.
- Mod 4 (Aşağı-Sağ Köşegen) : Yukarı-soldan aşağı-sağa doğru 45 derece açıyla blok birimleri tahminlenir.
- Mod 5 (Düşey-Sağ) : Düşeyin 26,6 derece açıyla soluna doğru blok birimleri tahminlenir.
- Mod 6 (Yatay-Aşağı) : Yatayın 26,6 derece açıyla aşağısına doğru blok birimleri tahminlenir.
- Mod 7 (Düşey-Sol) : Düşeyin 26,6 derece açıyla soluna doğru blok birimleri tahminlenir.

- Mod 8 (Yatay-Yukarı) : Yatayın 26,6 derece açıyla yukarısına doğru blok birimleri tahminlenir

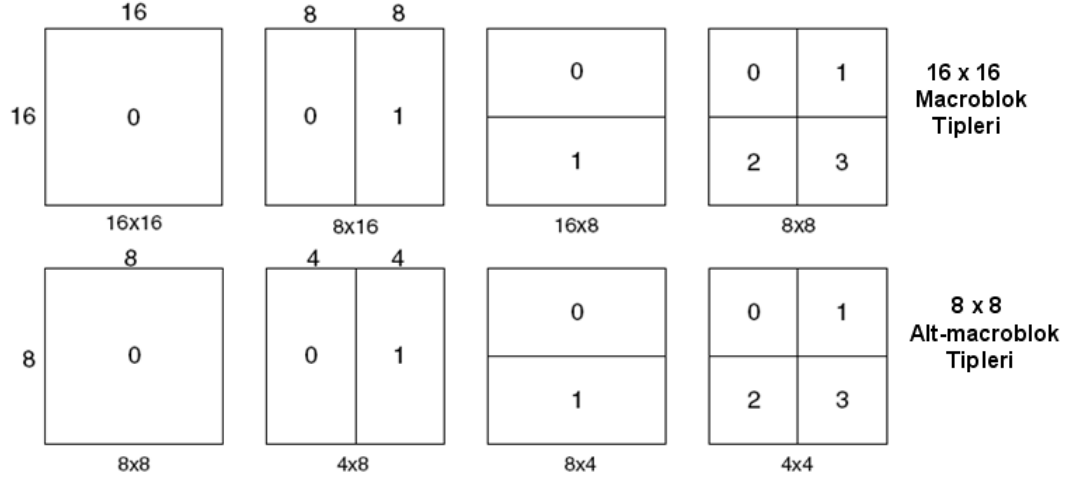
Çerçeve arası tahminleme (Inter prediction)

Çerçeve arası tahminlemede kullanılan dilimlerin P ve B şeklinde iki çeşidi vardır.

P dilimlerinde çerçeveler-arası tahminleme

P dilimlerinde zamansal benzerlik kullanılarak tahminleme yapılır. Tahminleme 16x16 makroblok boyutunda yapılabilceği gibi 16x8, 8x16, 8x8, 8x4, 4x8 veya 4x4 boyutlarında daha küçük bloklara bölünerek de yapılabilir. Makroblok alan büyüklükleri 16x16, 16x8, 8x16 veya 8x8 şeklinde tanımlanır. Alt makroblok alan büyüklükleri ise 8x8, 8x4, 4x8, 4x4 şeklindedir. Yalnız 8x8 büyüklüğündeki makroblok, alt makroblok tanımlamasına izin verir. Şekil 2-7’de hareket tahminlemesinde kullanılmak üzere makroblokların ve 8x8’lik alt-makroblokların ne şekilde bölümlendiği gösterilmiştir.

Söz dizimi çok sayıda referans resme izin verir. Önceden çözümlenmiş çerçeveler, çözümlenmiş resim deposunda (Decoded Picture Buffer - DPB) tutulmaktadır. 16x16, 16x8, 8x16 ve 8x8 boyutundaki makrobloklar için DPB referans indeks belirlenir. Referans resim seçimi makroblok bazında yapılmaktadır. Bu nedenle 8x4, 4x8, 4x4 büyüklüğündeki alt-makrobloklar için 8x8 boyutundaki makroblok için tanımlanmış referans indeksi kullanılır.



Şekil 2.7. Makroblok ve alt-makroblok bölümlenmesi

B dilimlerinde çerçeveler-arası tahminleme

H.264/AVC'nin B dilimlerinde getirdiği en önemli yenilik dilimlerin referans olarak kullanılabilmesidir. P ve B dilimler arasındaki en önemli fark B dilime ait makrobloklar tahminlenirken iki referans listesinin (list0, list1) kullanılmasıdır.

B dilimler P dilimlere benzer şekilde 16x16, 16x8, 8x16, 8x8 boyutunda makrobloklara bölünür. 8x8 makroblok kendi içinde 8x4, 4x8, 4x4 alt bloklara da ayrılabilir.

B dilimlerinin aynı zamanda özel bir modu vardır. (direct mode) Bu özel modda, makroblok için hareket vektörleri gönderilmez. Kodlayıcı dilim başlığında, kod çözücü için hareket vektörünün hangi referans resminden oluşturulabileceği ya da konumsal benzerliği kullanarak hangi komşu makrobloktan çıkarılabileceği bilgisini belirtir. (Sullivan, 2004)

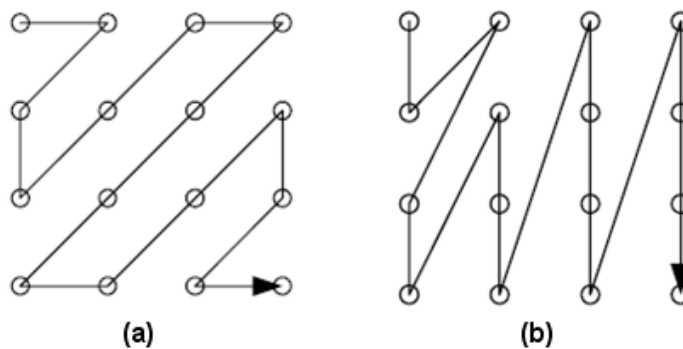
Dönüştürme ve nicemleme

H.264/AVC standardında 8x8 boyuttaki DCT yerine tamsayı dönüştürme kullanılmaktadır. Dönüştürme işleminin boyutu çoğunlukla 4x4, bazı özel durumlar için 2x2'dir. Dönüştürme işleminde tamsayı kullanıldığı için ters

işleminde veri kaybı olmaz. Dönüştürme işleminin boyutunun küçük olmasının nedenleri:

- Çerçeve-içi ve çerçeveler-arası kodlanan bloklar daha küçük boyutlarda tahminlendiği için elde edilen her kalan değeri daha küçük bir alanı temsil eder. Herhangi bir uyuşmazlık durumunda daha az alan etkilenir.
- 4x4 dönüşüm sayesinde nesnelerin kenarlarında oluşan “mosquito noise” ya da “ringing” gibi kusurlar azalır.
- Küçük boyutta dönüşüm daha az hesaplama yükü getirir.

Nicemleme işleminde giriş sinyal değerleri çerçeve veya alan tarama sırasıyla önceden belirlenmiş değerlere yuvarlanmaktadır. Çerçeve ve alan tarama sırası Şekil 2.8’de gösterilmektedir. H.264/AVC standardında sayısal nicemleme (scalar quantization) kullanılmaktadır. Nicemleme parametresi olan QP’nin 52 farklı değeri vardır.



Şekil 2.8. Tarama sırası (a) Çerçeve (b) Alan modu

Entropi kodlama

Sıkıştırma işleminin son adımı olan entropi kodlama, karakterlerin kullanım sıklığına göre kısa veya uzun kod atayan kayıpsız bir sıkıştırma işlemidir. H.264/AVC standardının 2 tür entropi kodlama metodu vardır:

- İçerik uyumlu değişken uzunluk kodlaması (Context Adaptive Variable Length Coding - CAVLC)

- İÇerik uyumlu ikili aritmetik kodlama (Context Adaptive binary Arithmetic Coding - CABAC)

İÇerik uyumlu değişken uzunluk kodlaması yÖnteminde, dÖnüşüm katsayıları Önceki söz-dizim elemanlarının değerlerine göre değiştirilen değişken uzunluklu kod (VLC) tablosu kullanılarak belirlenir. Aritmetik kodlama yÖntemi sadece kaydırma, tablo araştırma gibi Çarpma işlemleri içermeyen yÖntemler ile kodlama yaptığından, karmaşıklığı düşüktür. Ayrıca CAVLC ile karşılaştırıldığında CABAC %10, %15 oranında daha etkin sıkıştırma sağlar.

Bloklara ayırma filtresi

H.264/AVC standardının bu filtresi resim içindeki blok kenarlarında oluşan kusurları azaltmak için kullanılır. Bloklara ayırma filtresi kodlama şekli (ÇerÇeve içi veya ÇerÇeve arası), nicemleme parametresi, hareket vektörü, piksel değerleri ve tarama sırasına bakarak değer alır. Nicemleme sayısı ne kadar azsa filtrenin etkisi o kadar azalır.

2.2.2. Ağ soyutlama katmanı (NAL)

Ağ soyutlama katmanı kodlayıcısı, video kodlama katmanının kodladığı dilimleri paket tabanlı ağlar için uygun olan NAL birimlerine dönüştürür.

2.2.2.1. NAL birimleri

Kodlanmış video verisi belirli sayıda byte içeren NAL birimleri şeklinde düzenlenir. NAL birimleri, VCL NAL birimleri ve VCL olmayan NAL birimleri şeklinde ikiye ayrılır. VCL NAL birimleri videoyu oluşturan ÇerÇevelerdeki ÖrneK değerlerini temsil eder. VCL olmayan NAL birimleri, ilgili diğer bilgileri (VCL NAL birimlerine ait Önemli başlık bilgisi) ve zamanlama gibi Çözölmüş videonun kullanılabilirliğini iyileştiren ek genişletme bilgisini (Supplemental Enhancement Information - SEI) içerir.

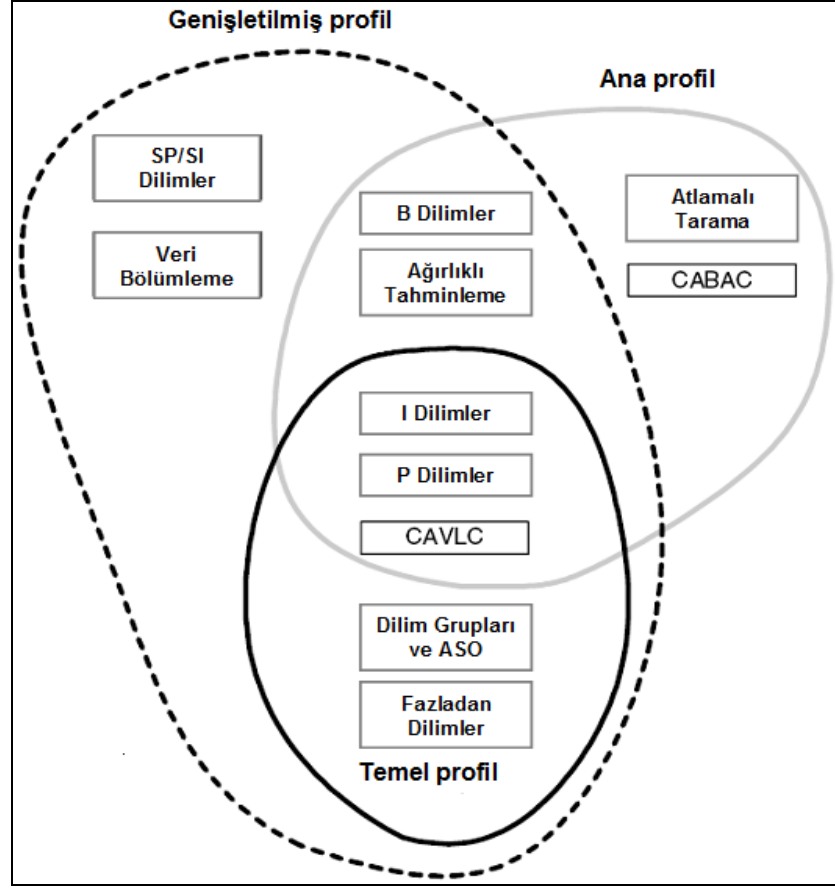
2.3. H.264/AVC Profil ve Seviyeleri

H.264/MPEG-4 AVC standardı, profiller olarak adlandırılan, belirli uygulama sınıflarına hitap eden kabiliyetler kümelerini içerir. Bir çözücü için profil, amaçlanan uygulamalardaki gereksinimleri karşılaması için gerekli özellikler kümesidir. Bu da her profile H.264/AVC'nin özelliklerinin tümünün desteklenmediği anlamına gelir. (Wikipedia, H.264/MPEG-4 AVC, 2010) Performans limitleri için farklı seviyeler tanımlanmıştır. Her bir seviyede örnek işleme hızı, çerçeve boyutu ve hafıza gereksinimi gibi farklı parametreler mevcuttur.

Her bir profilin kendine özgü işlevleri bulunmaktadır. Temel profil (Baseline Profile) çerçeve-içi, çerçeveler-arası kodlamayı ve içerik uyumlu değişken uzunluklu entropi kodlamayı (CAVLC) destekler. Ana profil (Main Profile), B çerçeveleri kullanılarak çerçeveler-arası kodlama, ağırlıklı tahmin kullanılarak çerçeveler-arası kodlama ve içerik uyumlu aritmetik kodlamayı (CABAC) kullanan entropi kodlamayı içermektedir. Ayrıca binişimli (interlaced) video özelliği bu profil içerisinde yer almaktadır. Gelişmiş profil (Extended Profile) binişimli video özelliğini desteklememektedir fakat iletim ortamında oluşabilecek veri kaybını minimuma indirmek için veri bölme (data partitioning) özelliği bu profile eklenmiştir. Bu profiller dışında, yüksek profil (high profile) olarak bilinen başka bir profil daha vardır. Bu profilin getirmiş olduğu yeniliklerden biri 12 bit/piksel bit derinliğine olanak sağlamasıdır. 12 bit/piksel özellikle tıbbi uygulamalarda kullanılmaktadır. (Kocaeli Üniversitesi İşaret ve Görüntü İşleme Laboratuvarı, H.264/AVC Video Kodlama, 2010)

Temel profilin, temel kullanım yerleri video konferansı ve kablosuz haberleşme uygulamalarıdır. Web videoları ve iPhone ya da PSP gibi taşınabilir aygıtlarda temel profil kullanılmıştır. Kaynağın kısıtlı olduğu gösterim çabalarının bir sonucu olarak geliştirildiğinden, B çerçeveler gibi önemli özelliklerden tümüyle yoksundur. Ana profil ise televizyon yayınlarında, video depolama uygulamalarında hatta 720p çözünürlüklü kaliteli videolarda kullanılmaktadır. Gelişmiş profil ise özellikle çoklu ortam akışlandırma (streaming)

uygulamalarında kullanışlıdır. Temel, ana ve gelişmiş profiller arasındaki ilişki Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. H.264/AVC Profilleri

Ayrıca “Fidelity Range Extensions” kapsamında dört yüksek profil (High, High 10, High 4:2:2, High 4:4:4) içerik zenginleştirme, içerik dağıtımı, stüdyo düzenleme ve son işlemede kullanılır.

- Yüksek Profil: 8 bit 4:2:0 örnekleme video uygulamalarını destekler.
- Yüksek 10 Profil: 10 bit 4:2:0 örnekleme video uygulamalarını destekler.
- Yüksek 4:2:2 Profil: 10 bit 4:2:2 örnekleme video uygulamalarını destekler.
- Yüksek 4:4:4 Profil: En fazla 12 bit 4:4:4 örnekleme video uygulamalarını destekler. RGB sinyali kodlamada tamsayı kalanlı renk dönüşümü yapılır. (Özdem, 2009)

3. VIDEO İLETİMİNDE HATA KONTROL YÖNTEMLERİ

Dijital veri paketlerinin ağ üzerinden iletimi sırasında çeşitli sebeplerden bozulma veya kaybolma olasılığı yüksek bir durumdur. Ağlardaki iletim hataları genel olarak, bit hataları ve paket kayıpları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Bit hataları, dijital verinin ağ üzerinden iletimi sırasında oluşabilecek olan ses, elektromanyetik dalgalar gibi dış etkenler dolayısıyla meydana gelebilir. Veri bu durumda bit bazında bozulur.

Paket kayıpları ise paket tabanlı IP benzeri ağlarda, gönderilen paketlerin kaybolması durumudur. Gerçek zamanlı uygulamalarda gecikme önemlidir. Bu yüzden, ağ üzerinde uzun süre geciken paketler de kayıp paket olarak nitelendirilir. Ağda tıkanıklık oluşması da paketlerin kaybolmasına neden olan faktörler arasındadır.

Bozulan veya kaybolan paketlerin göndericiden alıcıya tekrar gönderilmesi ile hatasız iletişim elde edilir. Ancak gerçek zamanlı uygulamalar düşünüldüğünde tekrar gönderimden kaynaklanan gecikmeler kabul edilemez. Bu nedenle verilerin tekrar gönderilmesi yerine kodlanırken iletim hatalarına karşı daha dayanıklı olması çok önemlidir. Özellikle video verileri hataya karşı çok hassastır. Çünkü sadece hatalı çerçeveler değil, aynı zamanda o çerçeveyi referans alan diğer çerçeveler de hatadan etkilenir. Bir bit hatasından bile video kodlayıcı ve kod çözücü arasındaki senkronizasyon kaybolabilir. Bu tür sorunlara çözüm üretebilmek için video kodlama standartlarında çeşitli hata kontrol yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler hata dayanıklılığı, hata örtme teknikleri ve etkileşimli hata kontrolü şeklinde gruplandırılabilir.

3.1. Hata Dayanıklılığı (Error Resilience)

Olası hatalara karşı kodlayıcı video bit akımına ek bilgi eklenmesine dayanan hata dayanıklılığı tekniğinde, kod çözücünün hata durumlarını algılayıp eklenen bilgiler ile düzeltme yapması sağlanır. Ancak ek bilgi eklendiği için aynı kalitedeki videoları elde etmek için daha fazla veriye ihtiyaç duyulur. Bu nedenle

kodlama etkinliği azalır. Hata dayanıklılığı arttıran yöntemlerde amaç, en küçük ek bilgi ile hata dayanıklılığında en büyük kazanç sağlamak olmalıdır.

Video sıkıştırma standartlarında birçok hata dayanıklılık teknikleri mevcuttur. Hata yayılmasını önlemek için yeniden senkronizasyon sağlayan işaretleyici koymak (Inserting of Resynchronization Markers) ve tersine değişken uzunluk kodlaması (Reversible Variable Length Coding) teknikleri kullanılabilir. Çerçeve-içi kodlanmış çerçeveleri/blokları araya koyma (Insertion of Intra Frames/Blocks) ve bağımsız segment tahminleme (Independent Segment Prediction) teknikleri ise oluşan hataların düzeltilmesine yardımcı olur. Ayrıca eşit olmayan hata koruma ile katmanlı kodlama (Layered Coding with Unequal Error Protection) ve çoklu tanımlayıcı kodlama (Multiple Descriptive Coding) gibi teknikler ile az bozulmuş, temel kaliteyi garantilemiş videolar elde edilebilir. Bir başka teknik ise sıkıştırılmış ve kodlanmış videoya kanal kodlama eklemektir. Kanal kodlama gönderimde hata düzeltme (Forward Error Correction) olarak da bilinmektedir. LT, Raptor kanal kodlama teknikleri mevcuttur. (Purevdagva, 2007)

3.2. Hata Örtme (Error Concealment)

Kodlayıcıdaki hata dayanıklılığı tekniklerinin yanı sıra kod çözücüdeki oluşan hataların algılanıp örtülmesini sağlayan teknikler de çok önemlidir. Kod çözücü hataları örtmek için gelen videonun konumsal ve zamana ilişkin bilgilerini kullanır.

Konumsal hata örtme tekniğinde bir çerçevedeki bozulmuş makroblokların düzeltilmesi için komşu makroblokların bilgileri kullanılır. Burada en az iki tane sağlam makroblok olması gerekir. Ancak tüm çerçeve bozulduğu zaman bu teknik etkin değildir.

Zamana ilişkin hata örtme tekniğinde ise bir önceki veya sonraki çerçevedeki makrobloklar kullanılır. Bu tekniğin en basiti bir önceki çerçevedeki aynı yerde bulunan makroblokları değiştirmeden kopyalamaktır. Bozulan makroblokların hareket bilgilerini tahmin etmek çok önemlidir. Bu hareket

bilgisini tahmin ederken komşu makroblokların hareket vektörlerinin ortalaması, çeşitli interpolazisyon yöntemleri kullanılabilir.

3.3. Etkileşimli Hata Kontrolü (Interactive Error Kontrol)

Etkileşimli hata kontrol yöntemi, kod çözücünden kodlayıcıya geri beslemeli bir hat olması esasına dayanır. Kod çözücü gelen verinin hangi kısmının hatalı geldiğini kodlayıcıya bildirir. Kodlayıcı bu geri bildirim ile hatanın düzeltilmesi için uygun işlemi yapar. Bu yüzden tüm verilerin hata dayanıklılığını artıran ek işleme ve ek veriye gerek kalmaz. Ancak bu teknik, işlemi karmaşık hale getirdiğinden kodlama etkinliğini azaltır. Hata oranı yüksek olan ağlar üzerinde çok gecikmeye yol açar.

4. GÖNDERİMDE HATA DÜZELTME

4.1. Güvenli Veri İletimi

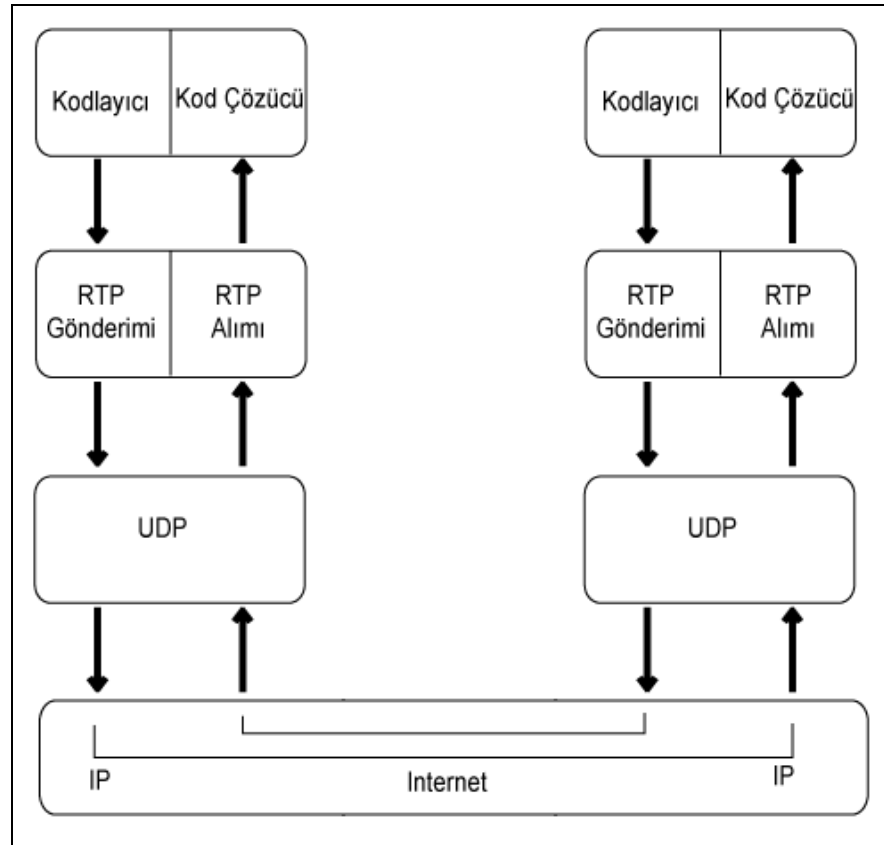
Güvenilirlik ağ üzerinden veri gönderimi sırasında oldukça önemlidir. Gönderilen veri ağ üzerinde bozulabilir ya da paketler kaybolabilir. Buna en iyi örnek video gönderimidir. Video verisi paket kayıplarına oldukça duyarlıdır. Bu gibi durumlarda gönderimde hata düzeltme tekniği kullanılarak kaybolan veriler tekrar yaratılabilir.

Bilginin karşı tarafa gittiğinden emin olunması ile güvenli haberleşme sağlanır. Bu güvenilirlik, bilginin alındığına dair karşı taraftan gelen bir onay mesajı ile sağlanır. Eğer bilgi gönderildikten belli süre sonra bu mesaj gelmezse paket yeniden gönderilir. Bu mekanizma sadece TCP (Transmission Control Protocol) protokolü üzerinde çalışır. TCP protokolü OSI⁴ (Open Systems Interconnection) referans modelinde aktarım katmanında yer alır ve gönderici ve alıcı tarafın güvenilir veri iletimi yapmasını sağlar. Bunun için çift yönlü iletişime ihtiyaç duyar. TCP protokolü, yerine ulaşmayan paketlerin tekrar gönderilmesinden sorumludur. Paketlerin tam olarak ulaşmış olup olmadığını kontrolünün yapılabilmesi için paketlere sıra numarası verilir. Ulaşan paketler için alıcı taraftan alındı sinyali gönderilir, ulaşmayan paketler içinse tekrar gönderim yapılır.

UDP (User Datagram Protocol) protokolü iletim katmanının bir diğer protokolüdür. Minimum protokol mekanizmasıyla bir uygulama programından diğerine mesaj göndermek için bir prosedür içerir. TCP den farklı olarak, iletişimin güvenilirliği ile ilgili herhangi bir garanti vermez. Ağ üzerinden paketi gönderir ama gidip gitmediğini takip etmez ve paketin yerine ulaşmış olup olmadığını onay verme yetkisi yoktur. UDP üzerinden güvenilir şekilde veri göndermek isteyen bir uygulama bunu kendi yöntemleriyle yapmak zorundadır.

⁴ OSI, ISO tarafından geliştirilmiş ağ üzerindeki iki taraf arasındaki iletişim katmanlarını tanımlayan standarttır.

Ağ üzerinden ses ve görüntü aktarımı gibi gerçek zamanlı veri aktarımlarında UDP üzerinde çalışan RTP (Real-Time Transport Protocol) kullanılır. UDP protokolünde bağlantı kurulum işlemleri, akış kontrolü ve tekrar iletim işlemleri olmaması sebebiyle ses ve görüntü aktarımı için tercih sebebidir. RTP protokolü, RTCP (RTP Control Protocol) ile birlikte kullanılır. RTP çoklu ortam verisini taşıırken, RTCP ses ve görüntü senkronizasyonunu sağlar. Şekil 4.1’de RTP protokolünün çalışma şekli gösterilmiştir.



Şekil 4.1 RTP Protokolü

4.2. Gönderimde Hata Düzeltme Yöntemleri

Gönderimde hata düzeltme, göndericinin gönderdiği içeriğe fazladan veri eklediği hata kontrol sistemidir. Gönderimde hata düzeltme sisteminin avantajı geri dönüş kanalına ve verinin tekrar iletimine ihtiyaç duyulmamasıdır. Bunun karşılığında ortalamalardan daha yüksek bant genişliği ihtiyacı duyulmasını beraberinde getirir.

Genel olarak gönderimde hata düzeltme kodları iki alt kategoriye ayrılır.

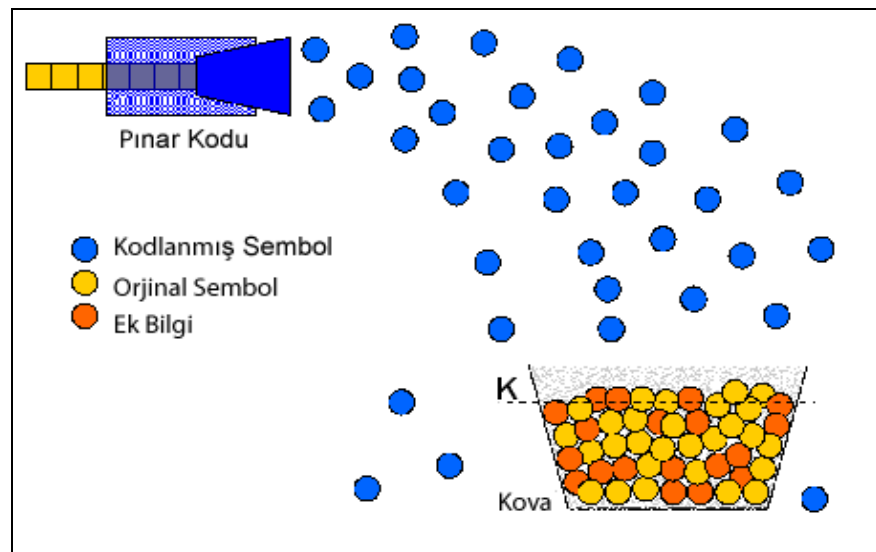
Sistematik GHD Kodları Bir (n, k) sistematik GHD kodu k tane kaynak sembole $(n-k)$ tane ekstra sembol ekler. Kodlayıcıdan çıkan n sembolün k tanesi kaynak (orjinal) semboldür.

Sistematik olmayan GHD Kodları Bir (n, k) sistematik olmayan GHD kodu n tane sembolü k tane sembolden yaratır. Kodlayıcıdan çıkan n tane sembolün tamamı k tane kaynak (orjinal) sembolden farklıdır.

Raptor, Reed Solomon, Tornado, LT kodları en bilinen gönderimde hata düzeltme kodlarıdır. Bu çalışmada Raptor kodları incelenmiştir.

4.3. Raptor Gönderimde Hata Düzeltme Yöntemi

Raptor gönderimde hata düzeltme yöntemi bir pınar (fountain) kodlama yöntemidir. Pınar kodları belirli sayıda (orjinal sembol sayısı veya biraz daha fazla) kodlanmış sembolün alıcı tarafa ulaştığında, orjinal verinin elde edilmesini sağlayan kodlardır. Pınar kodlaması şeklinde isimlendirilmesinin sebebi şu şekilde ifade edilmektedir: Bir pınardan kovaya su doldururken hangi su damlalarının kovaya girdiğinin önemi yoktur. Kovanın dolması yeterlidir. Şekil 4.2’de pınar kodlamanın nasıl işlediği gösterilmiştir.



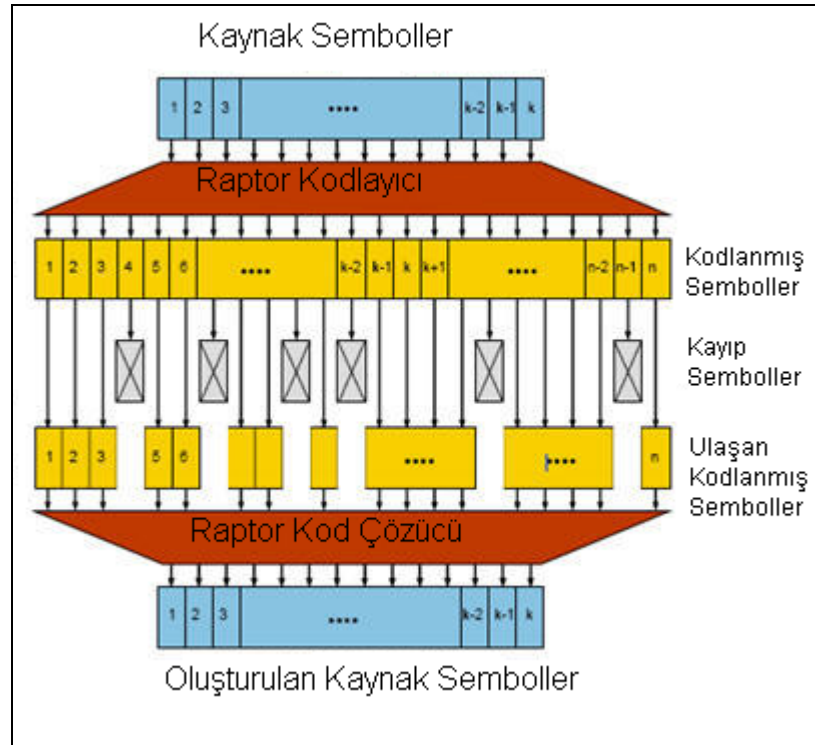
Şekil 4.2 Pınar Kodlama

Raptor kodları aşağıda listelenmiş özellikleri sayesinde diğer gönderimde hata düzeltme tekniklerinden daha avantajlıdır.

- Orjinal kaynak sembol setinden limitsiz miktarda kodlanmış sembol elde edilebilir. Bu şekilde uygulamanın gereksinimlere göre düşük veya yüksek ağ kayıpları desteklenmiş olur.
- Orjinal veri, alıcı tarafa ulaşan herhangi belirli sayıda kodlanmış sembolen oluşturulabilir.
- Hızlı kodlama ve kod çözme algoritması sayesinde çok çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. (DF, 2005)

Raptor FEC teknolojisi, esnek, basit ve güçlü bir hata düzeltme yöntemi olarak tasarlanmıştır. Paket anahtarlama ağılarda, paket seviyesinde hata düzeltmeyi sağlar.

Kodlanacak veri ilk önce sabit büyüklükte bileşenlere bölünür. Sabit büyüklükteki bu bileşenlere kaynak sembol adı verilir. Kaynak sembol, Raptor algoritmasının çalıştığı atomik birimdir. Raptor kodlayıcı, kaynak sembolleri işleyerek, istenilen uzunlukta kodlanmış sembollere dönüştürür. Her bir sembol diğer sembollerden bağımsız olarak kodlanır. Raptor kodu, pınar kodlama yöntemi olduğu için kodlanmış sembol sayısı limitsiz bir şekilde artırılabilir. Alıcı tarafta, kayıp ya da bozulmuş paketlerden dolayı kodlanmış sembollerin hepsi alınmayabilir. Raptor kod çözücü ancak yeterli sayıda kodlanmış sembol ulaşırsa orjinal kaynak sembolleri oluşturabilir. Şekil 4.3'te bu işleyiş gösterilmektedir.



Şekil 4.3 Raptor kodlayıcı ve kod çözücü (DF, 2005)

5. KAYIP MODELLERİ

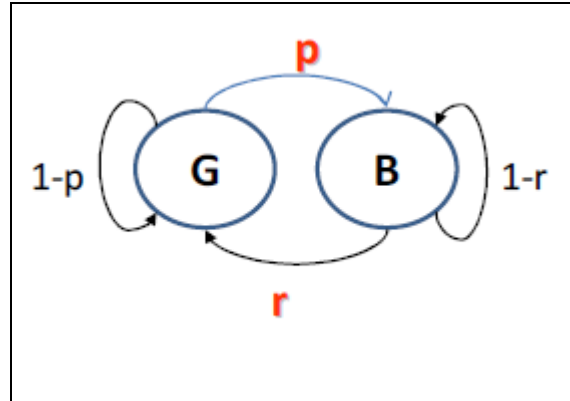
Ağdaki paket kayıpları farklı modellerle simüle edilebilir. Bu çalışmada Uniform, Simple Gilbert, Gilbert, Gilbert Elliot kayıp modelleri incelenmiştir.

5.1. Uniform Dağılım Modeli

Uniform dağılım modelinde ağdaki paket kaybı “p” olasılıkla mümkündür.

5.2. Simple Gilbert

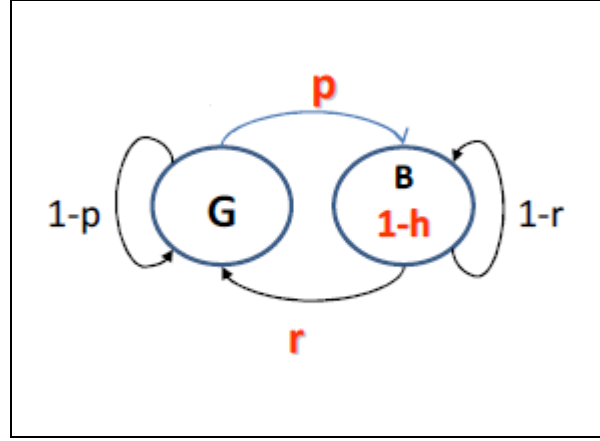
Simple Gilbert kayıp modelinde iyi (good) ve kötü (bad) olmak üzere iki durum ve birbirinden bağımsız iki parametre vardır. “p” kayıp olasılığı ve “r” hata olma süresi (error burst duration) parametreleriyle sistem modellenir. Ardışık (consecutive) kayıpların olduğu sistemlerin modellenmesi için uygundur. (Salsano et al., 2010) Şekil 5.1’de durumlar arasındaki geçiş gösterilmektedir.



Şekil 5.1 Simple Gilbert kayıp modeli

5.3. Gilbert

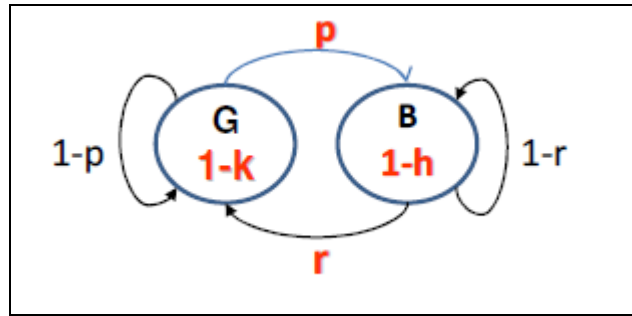
Gilbert kayıp modelinde iyi (good) ve kötü (bad) olmak üzere iki durum ve birbirinden bağımsız üç parametre vardır. “p” kayıp olasılığı, “r” hata olma süresi ve “1-h” kayıp yoğunluğu parametreleriyle sistem modellenir. “h” parametresi kötü durum içinde paketin iletilme olasılığıdır. Birbiriyle ilişkili kayıpların olduğu sistemlerin modellemesi için uygundur. (Salsano et al., 2010) Şekil 5.2’de durumlar arasındaki geçiş gösterilmektedir.



Şekil 5.2 Gilbert kayıp modeli

5.4. Gilbert Elliot

Gilbert Elliot kayıp modelinde iyi (good) ve kötü (bad) olmak üzere iki durum ve birbirinden bağımsız dört parametre vardır. “p” kayıp olasılığı, “r” hata olma süresi, “1-h” kötü durumdaki kayıp yoğunluğu ve “1-k” iyi durumdaki kayıp yoğunluğu parametreleriyle sistem modellenir. “h” parametresi kötü durum içinde paketin iletilme olasılığıdır. “k” parametresi iyi durum içinde paketin iletilme olasılığıdır. (Salsano et al., 2010) Şekil 5.3’te durumlar arasındaki geçiş gösterilmektedir.



Şekil 5.3 Gilbert Elliot kayıp modeli

6. BULGULAR

Bu çalışmada H.264/AVC video kodlama standardına göre kodlanmış bir video dosyası üzerinde deneyler yapılarak bazı bulgular elde edilmeye çalışılmıştır.

Deneyde kullanılan video dosyası JM H.264 referans yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Kodlama için JM kodlayıcısının kullandığı konfigürasyon dosyası değiştirilerek uygun parametreler verilmiştir. Kodlama sırasında kullanılan önemli bazı parametreler Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6. 1 JM referans yazılımında kullanılan kodlama parametreleri

Çözünürlük	1280x720
Kullanılan çerçeve sayısı	288
GOP yapısı	I-7B-P-7B

H.264 dosyası toplamda 288 çerçeveden oluşacak şekilde ayarlanmış ve her GOP (group of pictures) içinde I-7B-P-7B şeklinde 16 çerçeve olması sağlanmıştır. Dolayısıyla dosyada toplamda 18 GOP bulunmaktadır.

Oluşturulan H.264 video dosyası daha sonra Vpade⁵ programı kullanılarak RTP paket yapısına dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm sırasında RTP paketleri sıralı olarak bir dosyaya yazılmaktadır.

Vpade⁵ programı, H.264 video dosyalarında yer alan NAL birimlerini okuyarak bu NAL birimlerini belirlenen parametreler dahilinde RTP paketlerine dönüştürmektedir. Programda RTP paketlerinin payload formatı olarak, Audio/Video Transport Working Group tarafından hazırlanan “H.264 videoları için RTP payload formatı” (RFC3984bis) standart dökümanında belirtilen payload formatı referans alınarak geliştirilen payload formatı kullanılmıştır. (Özdem, 2009)

⁵ Vpade⁵ (Video pacetizer depacketizer) programı, Sezer Özdem tarafından 2009 yılında yüksek lisans tez çalışması kapsamında geliştirilmiştir.

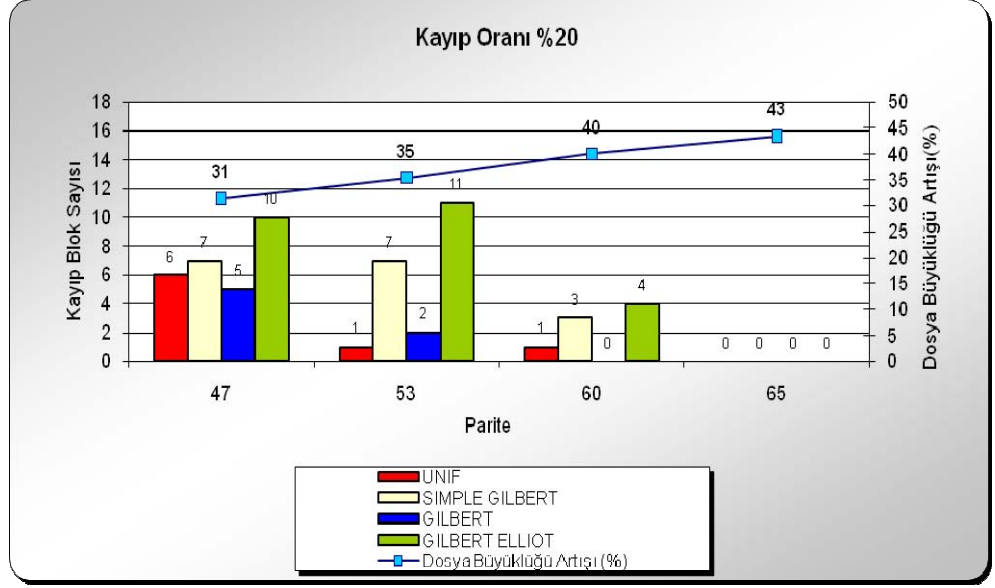
Vpadep programında parametre olarak maksimum RTP paket büyüklüğü belirlenmektedir. Deneyde kullanılan maksimum RTP paket büyüklüğü 1280 byte olarak belirlenmiştir. Bu şekilde eğer RTP paketine dönüştürülecek olan NAL birimi 1280 byte'tan büyükse NAL birimi parçalanarak birden fazla RTP paketi içine yerleştirilir. NAL birimlerinin parçalanarak RTP paketleri içine yerleştirilmesi daha çok paketin kurtarılmasını sağlar.

Raptor kodlarının kullanıldığı programda kodlayıcı ve kod çözücü olmak üzere iki mod vardır. İlk olarak video dosyası kodlayıcı programa verilir. Kodlayıcı programda parite değeri girilerek dosyaya kodlama uygulanır. Kod çözücü ise aynı parite değerini alarak, kodlanmış dosya üzerinde kod çözme işlemi yapar. Deneyde video dosyası, kodlayıcıdan kod çözücüye verilmeden önce kablolu ağlardaki paket kayıplarını simüle etmek için yazılmış kayıp simülatör programından geçirilmiştir.

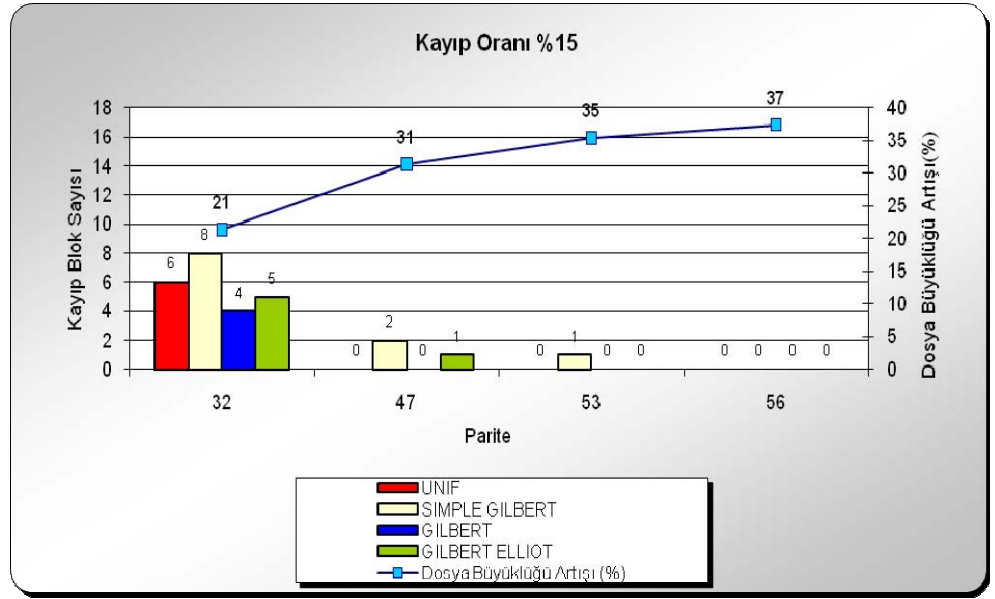
Kayıp simülatör programı, bu tez çalışması kapsamında geliştirilmiş, dört farklı kayıp modelinin uygulanabildiği, farklı kayıp oranlarının belirlenebildiği, kablolu ağlardaki paket kayıplarının simüle edilebildiği bir programdır. Programın desteklediği kayıp modelleri, Uniform dağılım modeli, Simple Gilbert, Gilbert ve Gilbert Elliot kayıp modelleridir.

Şekil 6.1 – Şekil 6.5 arasındaki şekillerde farklı kayıp modellerinin uygulandığı %20, %15, %10, %5 ve %1 kayıp oranlarına göre hata kurtarma deneylerinin sonuçları gösterilmektedir.

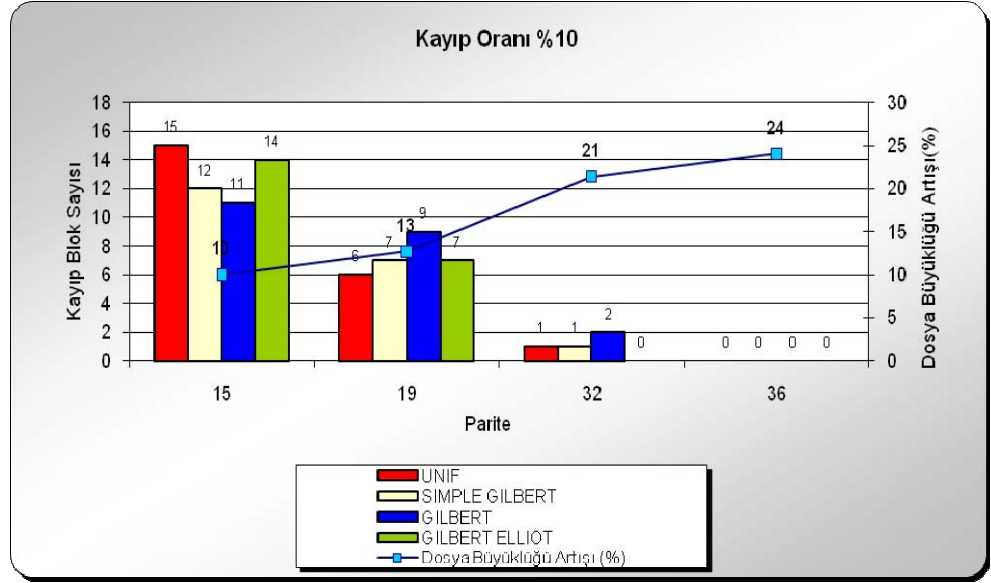
Buna göre genel olarak Uniform dağılım modeli ve Gilbert kayıp modeline göre oluşturulan kayıplar diğer modellere göre daha az parite değeri eklenerek kurtarılabilmektedir. Bunun sebebi kaybolan paketlerin bloklara dağılımının daha homojen olmasıdır. Ardışık kayıpların olduğu Simple Gilbert kayıp modelinde, kayıp paketler belirli bloklar üzerinde görüldüğü için tüm blokların kurtarılabilmesi için büyük parite değerinin kullanılması gerekmektedir.



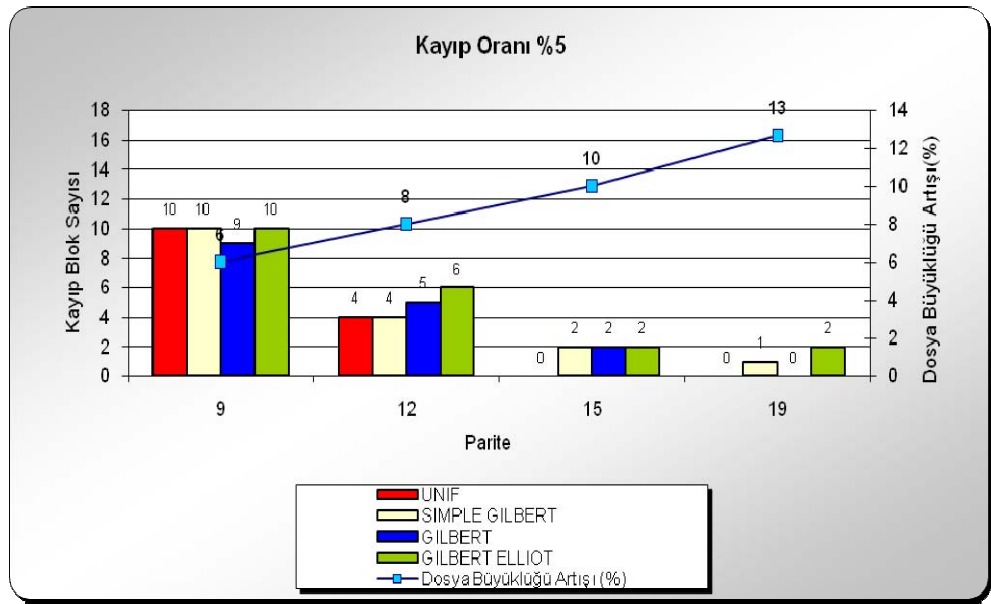
Şekil 6.1 Kayıp modellerinin karşılaştırılması (Kayıp oranı %20)



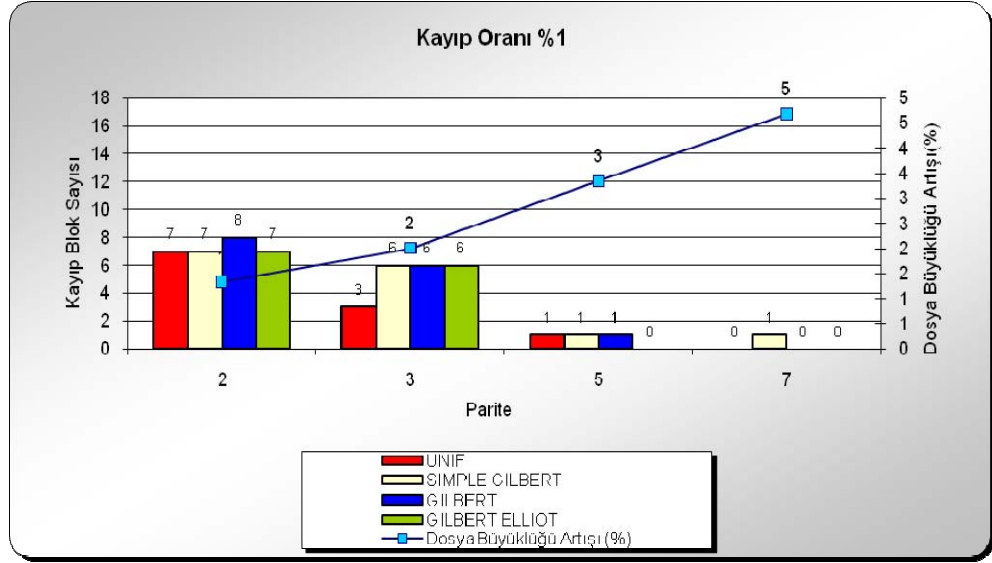
Şekil 6.2 Kayıp modellerinin karşılaştırılması (Kayıp oranı %15)



Şekil 6.3 Kayıp modellerinin karşılaştırılması (Kayıp oranı %10)



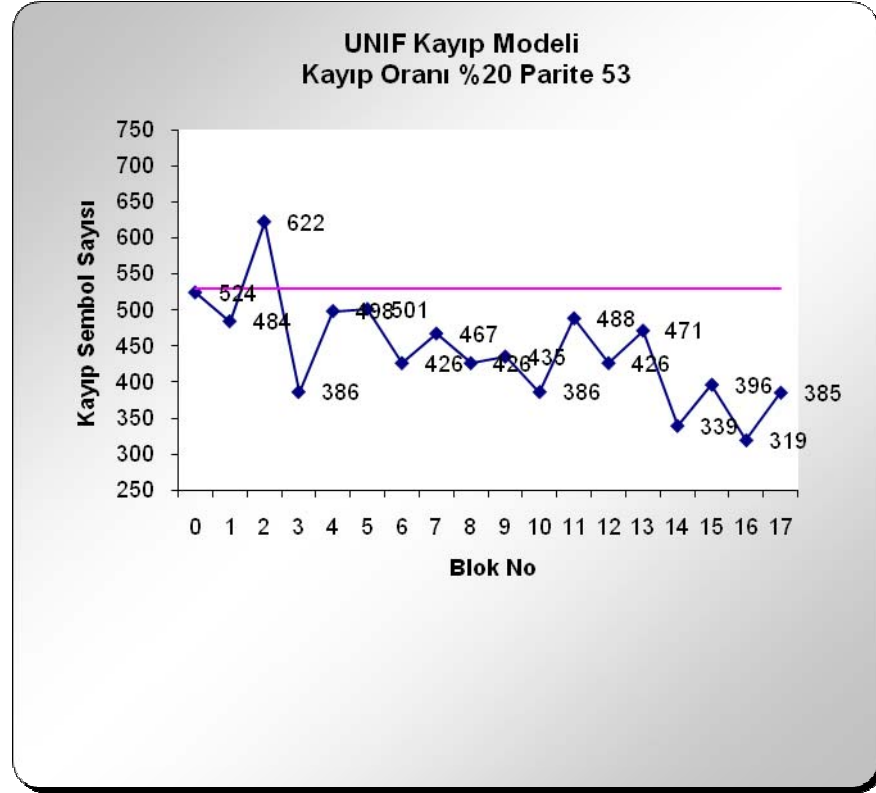
Şekil 6.4 Kayıp modellerinin karşılaştırılması (Kayıp oranı %5)



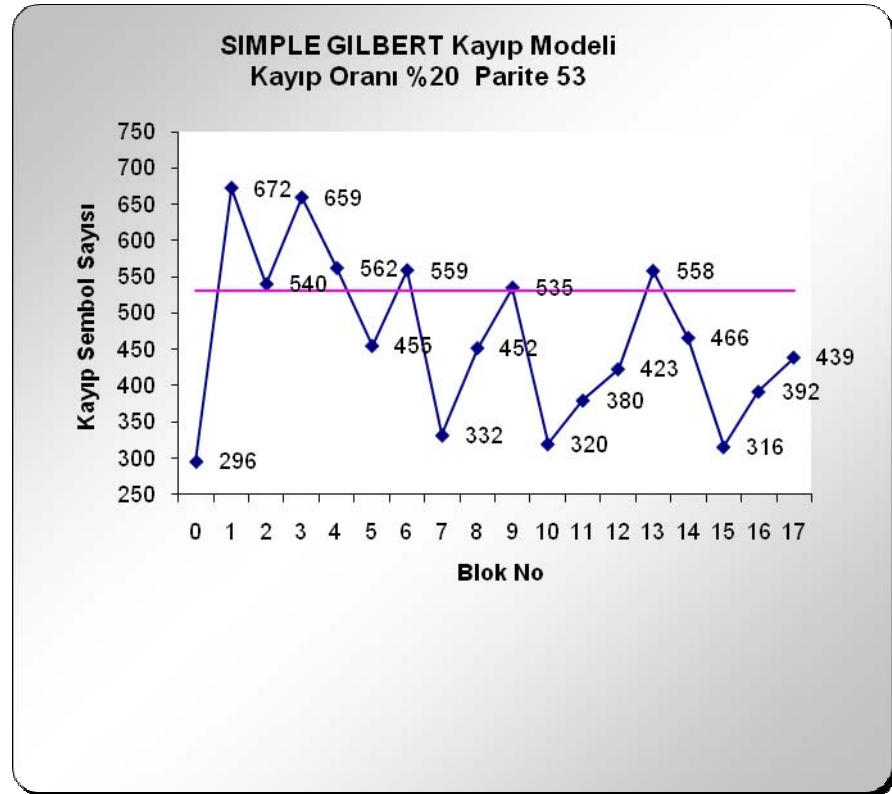
Şekil 6.5 Kayıp modellerinin karşılaştırılması (Kayıp oranı %1)

Dosyanın tümünü kurtarabilmek için eklenen bilgi miktarının kayıp miktarına göre yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi bazı kaynak bloklarda diğer kaynak bloklara oranla daha fazla sembol kaybolmasıdır. Bu kaynak blokları da kurtarabilmek için gerekli ek bilgi miktarı arttırılmak zorunda kalmıştır. Dosyadaki her bir kaynak bloğun kayıp sembol sayısı ve kurtarılma durumları incelendiğinde eklenen sembol sayısından daha fazla sembolün kaybolduğu durumda kaynak bloğun kurtarılamadığı gözlemlenmiştir.

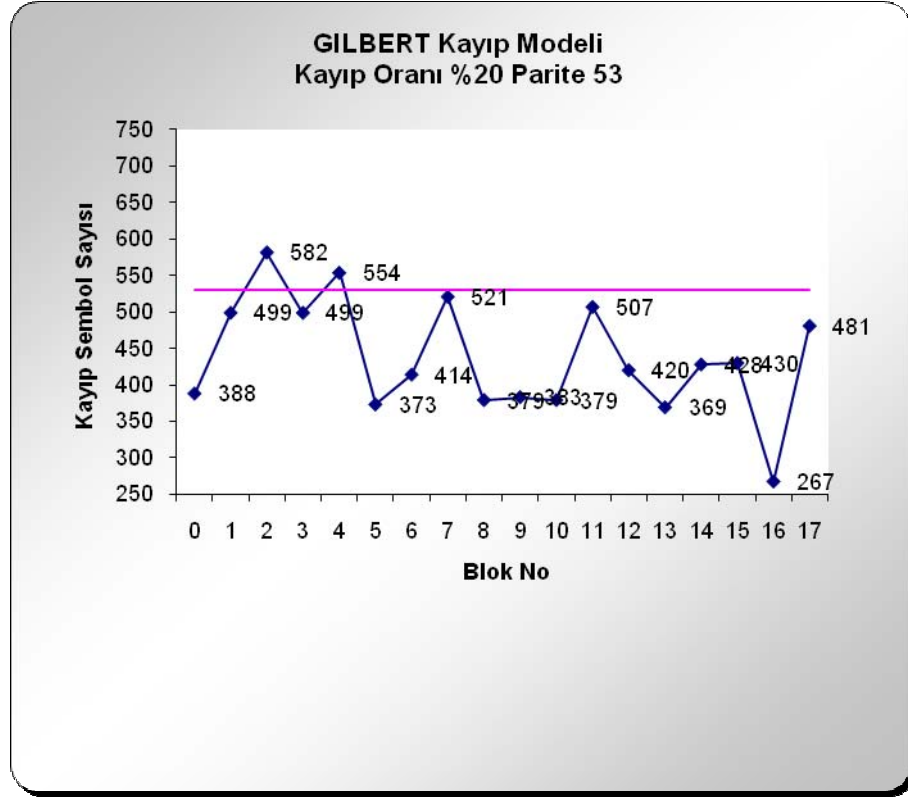
Şekil 6.6 – Şekil 6.9 arasındaki şekillerde parite 53 değerine ve %20 kayıp oranına göre farklı kayıp modellerindeki kaynak blok bazındaki kayıp sembol sayıları verilmiştir. 53 parite ile yapılan deneyde, kaynak blok başına eklenen ek sembol sayısı 530’dur. (Deneyler $G=10$ ile yapılmıştır. G değeri, bir paketteki sembol sayısını ifade eder.) 530 sembolden daha fazla kaybın olduğu kaynak bloklar kurtarılamamıştır.



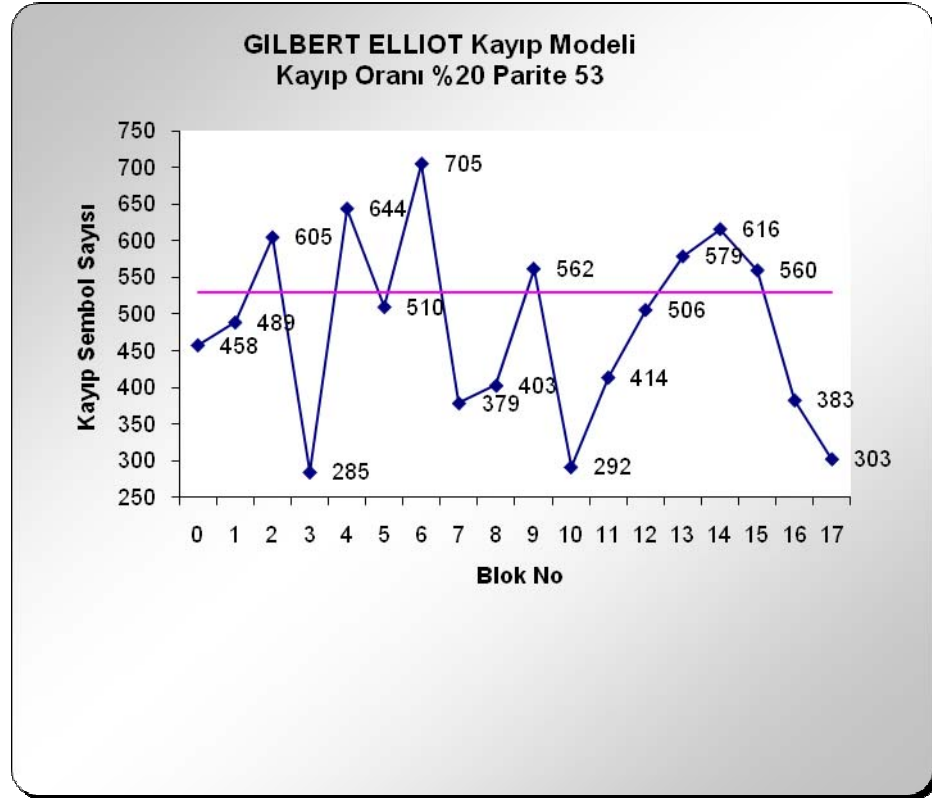
Şekil 6.6 Uniform Dağılım Modeli (blok başına eklenen sembol = 530)



Şekil 6.7 Simple Gilbert Kayıp Modeli (blok başına eklenen sembol = 530)

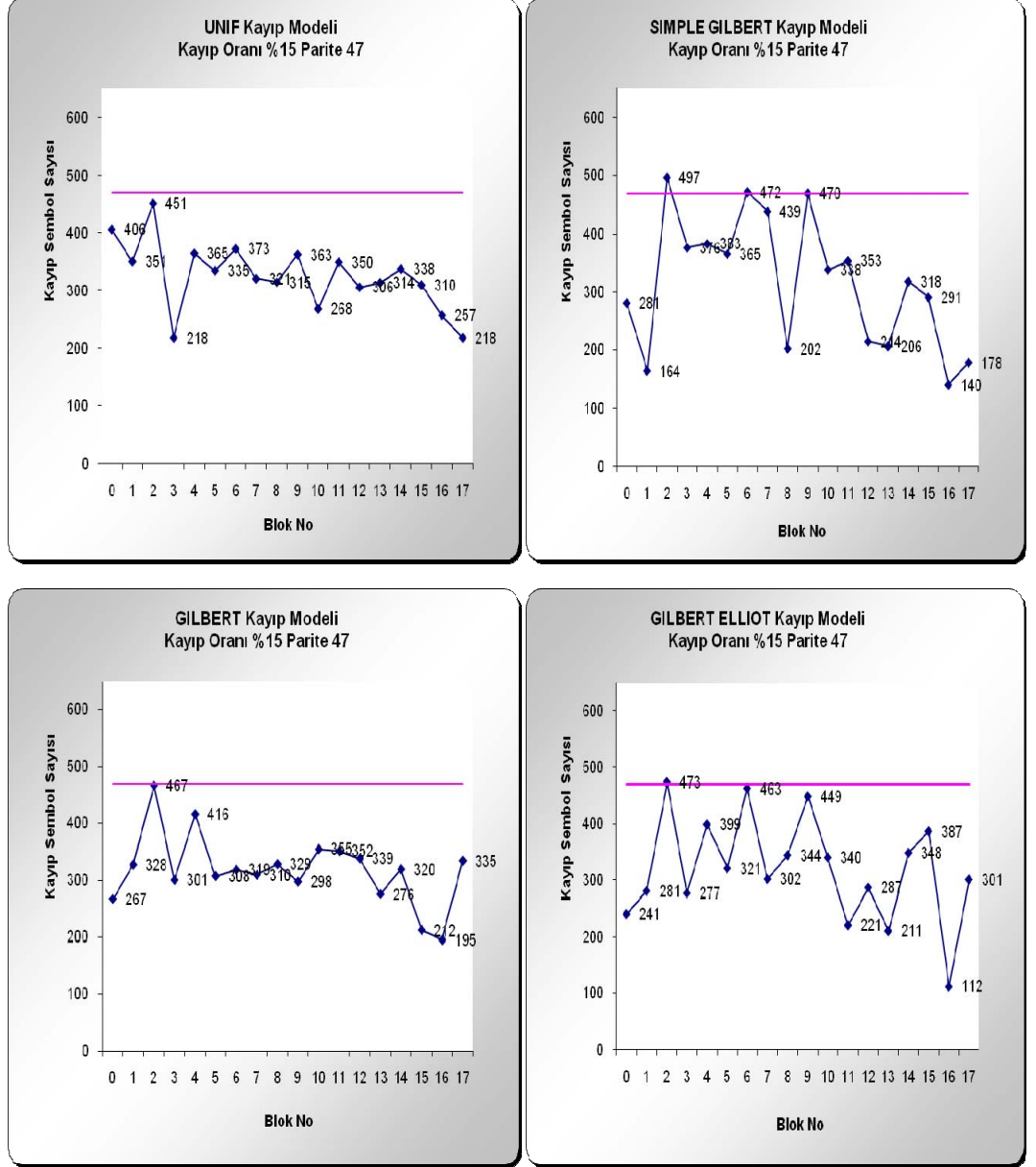


Şekil 6.8 Gilbert Kayıp Modeli (blok başına eklenen sembol = 530)

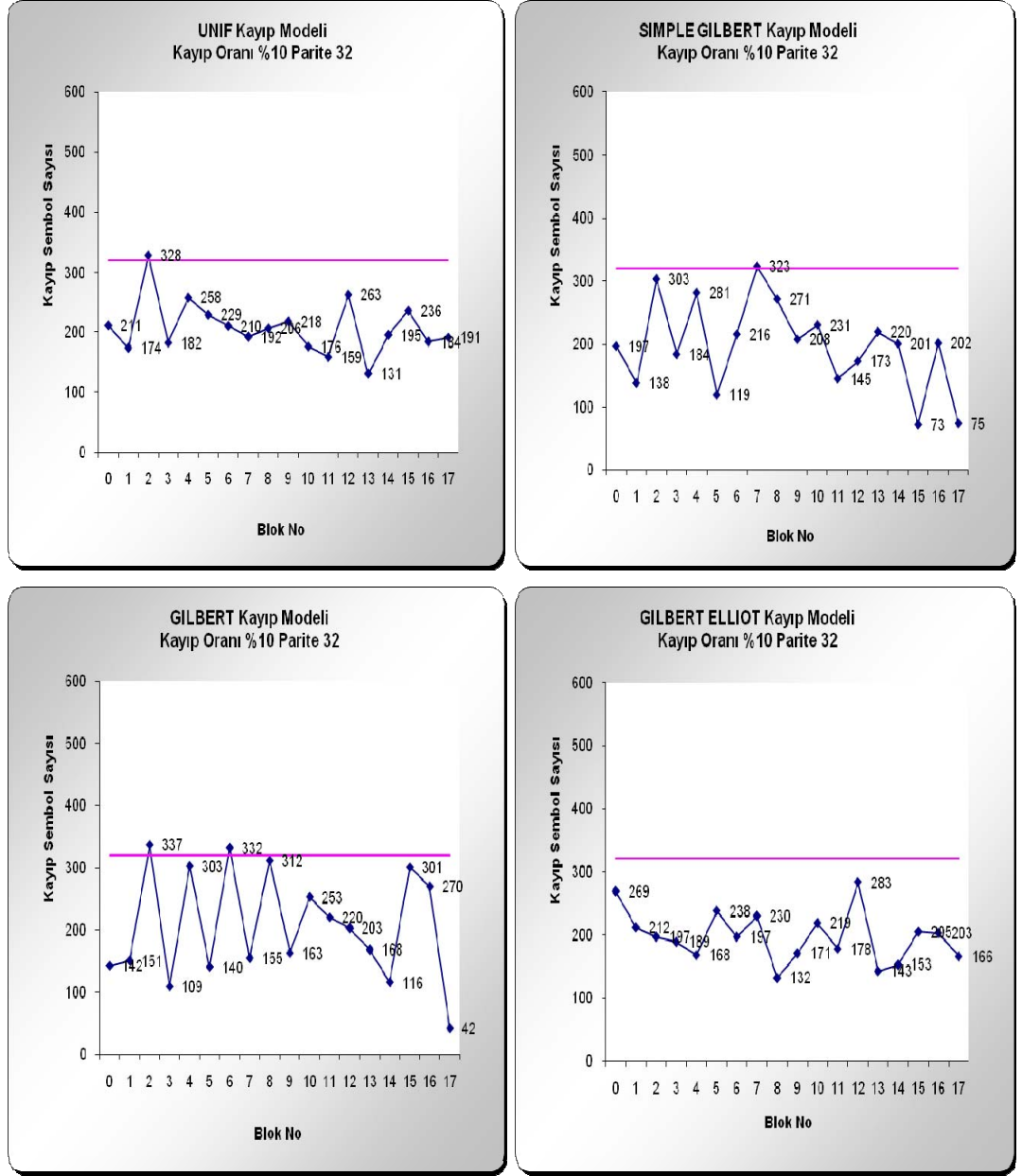


Şekil 6.9 Gilbert Elliot Kayıp Modeli (blok başına eklenen sembol = 530)

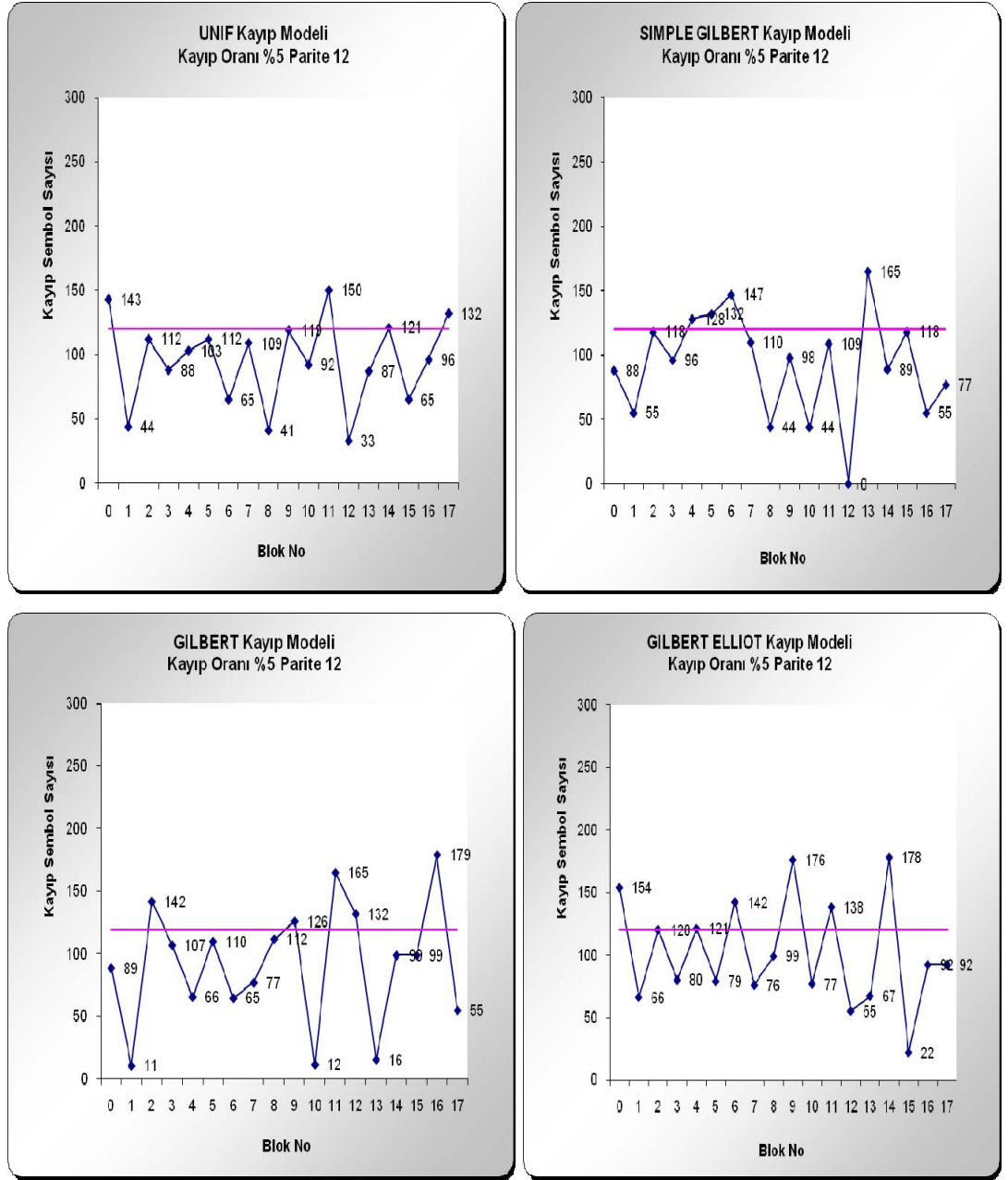
%15, %10, %5 ve %1 kayıp oranlarına göre kaynak sembol bazında yapılan incelemelerin sonuçları Şekil 6.10 ile Şekil 6.13 arasında verilmiştir. %20 kayıp oranında olduğu gibi eklenen sembol sayısından daha fazla kaybın olduğu blokların kurtarılamadığı gözlenmiştir.



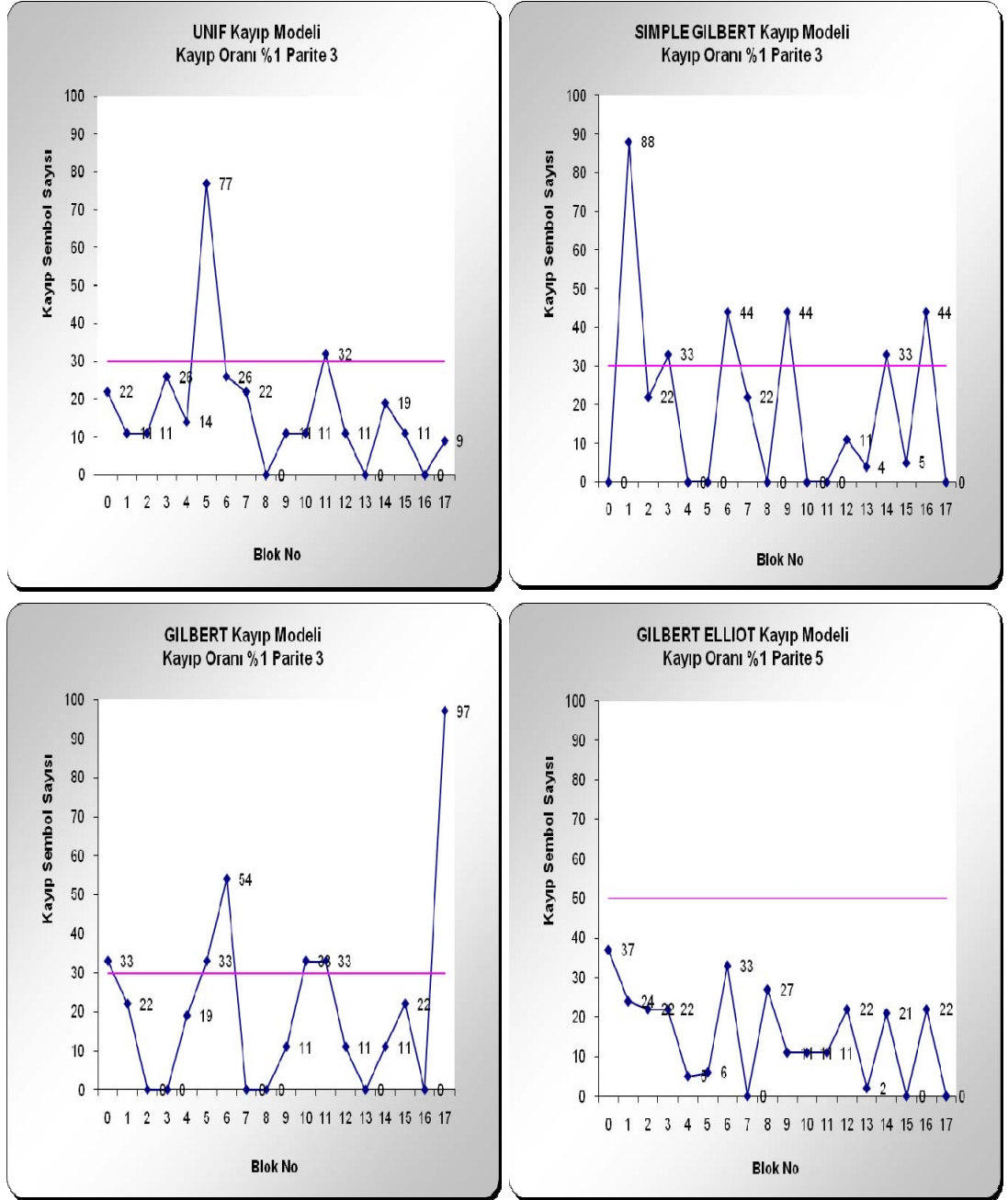
Şekil 6.10 %15 Kayıp oranında blok bazında kaybolan semboller



Şekil 6.11 %10 Kayıp oranında blok bazında kayıp semboller



Şekil 6.12 %5 Kayıp oranında blok bazında kaybolan semboller



Şekil 6.13 %1 Kayıp oranında blok bazında kayıp semboller

7. SONUÇ

Bu çalışmada, günümüzde kullanımı gittikçe artan video verilerinin kablolu ağlar üzerinden iletimi sırasında oluşabilecek hataların kurtarılmasına yönelik deneyler yapılmıştır. Gönderimde hata düzeltme tekniği olan Raptor kodlarının RTP paketlerine dönüştürülmüş H.264 video NAL birimlerine uygulanarak kodlanması ile, video verilerinin güvenli iletiminin mümkün olduğu gözlenmiştir.

Ağın durumuna göre farklı miktarlarda ek bilgi eklenerek farklı oranlarda kurtarma sağlanabilir. Burada önemli olan karar ne kadar güvenli bir iletim olmasının istendiğidir. Eklenen ek bilgi miktarı arttıkça gönderilmesi gereken paket sayısı da artmış olacaktır.

8. ÖNERİLER

H.264 video kodlama standardında GOP yapıları içinde, hiyerarşik çerçeve kullanımı mevcuttur. H.264 videolarının hiyerarşik çerçeve yapısı düşünüldüğünde, en alt katmandaki çerçevelerin doğruluğu, üst katmanlardaki çerçevelerin doğruluğunu etkilemektedir. Raptor hata kurtarma kodlarının H.264 videolarında kullanımının hiyerarşik çerçeve yapısı dikkate alınarak uygulanması ve en etkin biçimde hata kurtarılması için bu çalışma bir temel oluşturabilir.

Ağdaki kayıp durumları değişken olabilir. Ağ durumunun değişiminin gönderici tarafından algılanarak, farklı ağ durumlarında farklı miktarlarda ek bilgi eklenmesi ile ağın iyi olduğu durumlarda fazladan ek bilgi eklenmesinin önüne geçilebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akman, A., S.,** 2009, Raptor Kodları Kullanarak JPEG2000 Videolarında Hata Kurtarımı Üzerine Bir Çalışma, Ege Üniversitesi
- CISCO,** 2009, Advanced Video Compression Standards: H.264 AVC, SVC & MVC
- Demir, U. and Aktas, O.,** 2006, Raptor versus Reed Solomon forward error correction codes, Computer Networks, 2006 International Symposium, 264-269 p.
- DF,** 2005, DF Raptor Technology, www.digitalfountain.com.
- Ghandi, M.,M. and Ghanbari, M.,** 2004, The H.264/AVC Video Coding Standard for the Next Generation Multimedia Communication, IAEEE Journal, 10p.
- H.264/AVC Reference Software (JM),** “JM referans yazılımı”, <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/> (Erişim Tarihi: Eylül 2010)
- ITU-T Recommendation H.264,** 2005, Advanced Video Coding For Generic Audiovisual Services, ITU-T Rec. H.264 (03/2005), 343p.
- Kocaeli Üniversitesi İşaret ve Görüntü İşleme Laboratuvarı,** “H.264/AVC Video Kodlama”, http://kulis.kocaeli.edu.tr/arastirmalar/h264_web2.htm (Erişim Tarihi: Kasım 2010)
- Kuşutan, S.,** 2007, H.264 Videolarında Bölüt Belirlemesi Üzerine Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 88s.
- Mesut, A.,** 2006, Veri Sıkıştırma Yeni Yöntemler, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 156s.
- Özbek, N. ve Tunalı, T.,** 2005, A Survey on the H.264/AVC standard, TÜBİTAK, 16p.
- Özdem, S.,** 2009, Raptor Kodları Kullanılarak H.264 Videolarında Hata Kurtarımı Üzerinde Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 42s.
- Purevdagva, M.,** 2007, H.264/AVC Videolarında Hata Dayanıklılığının Artırılması Üzerine Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 73s.
- Salsano, S., Ludovici, F. and Ordine., A.,** 2010, Definition of a general and intuitive loss model for packet networks and its implementation in the Netem module in the Linux kernel, University of Rome

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Sousa, P., B. and Ferreira, L., L., 2007, Bit Error Models, Technical Report, 7 p.

Sullivan, G., J., Topiwala, P. and Luthra, A., 2004, The H.264/AVC Advanced Video Coding Standard: Overview and Introduction to the Fidelity Range Extensions, SPIE Applications of Digital Image Processing XXVII, 5558, 454-474 p.

Wang, Y., Wenger, S., Wen, J. and Katsaggelos, A. K., 2000, Review of Error Resilient Techniques for Real-Time Video Communications, IEEE Signal Proc. Magazine, 17, 4, 61-82 p.

Wikipedia, “Forward error correction”, http://en.wikipedia.org/wiki/Forward_error_correction (Erişim Tarihi: Aralık 2010)

Wikipedia, “H.264/MPEG-4 AVC”, http://tr.wikipedia.org/wiki/H.264/MPEG-4_AVC (Erişim Tarihi: Aralık 2010)

Zhang, X., Wu., D., Porter, T. and Haywood, R., A Hierarchical Unequal Packet Loss Protection Scheme for Robust H.264/AVC Transmission

ÖZGEÇMİŞ

Güneş ARI 1983 yılında Denizli’de doğdu. 2005 yılında Ege Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Yüksek lisans eğitimine 2005 yılında başladı. 2005 yılından itibaren sırasıyla Cabot İzmir Yazılım ve Donanım A.Ş.’de ve Vestel Elektronik A.Ş.’de yazılım mühendisliği görevinde bulundu. Vestel Elektronik A.Ş.’de yazılım mühendisliği görevine devam etmektedir.