

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ *FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR-BİT DÖNÜŞÜMÜ TEMELLİ BLOK HAREKET
KESTİRİMLERİNİN H.264/AVC'YE UYGULANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik ve Haberleşme Mühendisi Orhan AKBULUT

Anabilim Dalı: Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Danışman: Doç. Dr. Sarp Ertürk

KOCAELİ, 2007

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR-BİT DÖNÜŞÜMÜ TEMELLİ BLOK HAREKET
KESTİRİMLERİNİN H.264/AVC'YE UYGULANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik ve Haberleşme Mühendisi Orhan AKBULUT

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11.06.2007

Tezin Savunulduğu Tarih : 13.07.2007

Tez Danışmanı

Üye

Üye

Doç. Dr.

Sarp ERTÜRK


(.....)

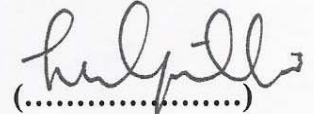
Yrd. Doç. Dr

Cabir VURAL


(.....)

Yrd. Doç. Dr.

M. Kemal GÜLLÜ


(.....)

KOCAELİ, 2007

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

“Bir-Bit Dönüşümü Temelli Blok Hareket Kestirimlerinin H.264/AVC’ye Uygulanması” isimli bu çalışmanın video kodlama ve hareket kestirimi konularında çalışmak isteyen arkadaşlarıma katkıda bulunması temenni ederim.

Yüksek lisans bitirme tezi danışmanlığını üstlenerek, gerek konu seçimi, gerekse çalışmaların yürütülmesi ve değerlendirilmesi sırasında, ilgi ve yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Doç. Dr. Sarp ERTÜRK’e teşekkür ederim.

Ve tabî ki; lisans yıllarında olduğu gibi, yüksek lisans öğrenimi boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen biricik AİLEME teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ	iv
SİMGELER DİZİNİ	v
KISALTMALAR	v
ÖZET.....	vi
İNGİLİZCE ÖZET.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. TEMEL KAVRAMLAR.....	3
2.1 Uzamsal ve Zamansal Örnekleme	3
2.2 Renk Uzayları	4
2.2.1 RGB renk uzayı.....	4
2.2.2 YCrCb renk uzayı	4
2.3 Nesnel Kalite Ölçütü	7
3. H.264 VİDEO KODLAMA	9
3.1 Giriş	9
3.2 H.264 Video Profilleri	11
3.3 H.264 Video Kodlama Yapısı	12
3.4 H.264 Video Kodlama Standardının Genel Özellikleri.....	14
3.4.1 Giriş.....	14
3.4.2 Değişken blok boyutlu hareket dengelemesi	14
3.4.3 Alt-piksel doğrulukta hareket dengelemesi	16
3.4.4 Çoklu referans çerçeve seçimi	17
3.4.5 Dönüşüm kodlaması performansı ve esnekliği	18
3.4.6 Bloklama-önler süzgeç.....	20
4. H.264 HAREKET KESTİRİMİ UYGULAMALARI	21
4.1 Giriş	21
4.2 Bir-Bit Dönüşümü	22
4.2.1 Deneysel sonuçlar	25
4.3 Çarpmasız Bir-Bit Dönüşümü	26
4.3.1 Deneysel sonuçlar	28
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	32
KAYNAKLAR	33
KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER.....	35
ÖZGEÇMİŞ	36

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Video dizisinde uzamsal ve zamansal örnekleme.....	3
Şekil 2.2: YCrCb renk uzayında kullanılan renk formatları	6
Şekil 2.3: PSNR örnekleri (a) orijinal foreman çerçevesi (b) AGS ile süzgeçlenmiş foreman çerçevesi (PSNR = 32.74 dB).....	8
Şekil 3.1: H.264 kodlayıcı yapısı [12].	12
Şekil 3.2: H.264 kod-çözücü yapısı [12]......	13
Şekil 3.3: Hareket dengelemesinde kullanılan blok boyutları	15
Şekil 3.4: Yarım ve çeyrek piksel doğrulukta hareket dengelemesi için ara-piksel değerlerinin elde edilmesi	16
Şekil 3.5: Tenis dizisine ait çoklu referans çerçeve seçimi kullanımı: (a) 81. çerçeve (b) 82. çerçeve, (c) 83. çerçeve	17
Şekil 3.6: Bloklama-önler süzgecin yeniden oluşturulan imge üzerindeki etkisi: (a) bloklama-önler süzgeç pasif (b) bloklama-önler süzgeç aktif.....	20
Şekil 4.1: 1BT yaklaşımında kullanılan çekirdek süzgecinin frekans yanıtı	23
Şekil 4.2: (a) orijinal football imgesi, (b) çekirdek matrisi ile konvolüsyon sonrasında elde edilen imge I_F imgesi, (c) bir-bit dönüşümü sonrasında elde edilen ikili imge	24
Şekil 4.3: (a) orijinal football imgesi, (b) sabit eşik değeri (127) kullanılarak elde edilen ikili imge.....	25
Şekil 4.4: Farklı bit-oranlarındaki MAD ve bir-bit dönüşümü yöntemlerinin referans çerçeve sayısına göre nesnel başarımların değerleri	25
Şekil 4.5: Farklı bit-oranlarındaki MAD ve bir-bit dönüşümü yöntemlerinin sabit/değişken blok boyutlarına göre nesnel başarımların değerleri.	26
Şekil 4.6: Çarpmasız bir-bit dönüşümünde kullanılan çekirdek süzgecinin frekans yanıtı.....	27
Şekil 4.7: 299 çerçeveden oluşan “Foreman” dizisi için farklı bit oranlarındaki MAD ve MF1BT yöntemlerinin nesnel başarımların değerleri.....	29
Şekil 4.8: 299 çerçeveden oluşan “Mother and Daughter” dizisi için farklı bit oranlarındaki MAD ve MF1BT yöntemlerinin nesnel başarımların değerleri.....	29
Şekil 4.9: 299 çerçeveden oluşan “Carphone” dizisi için farklı bit oranlarındaki MAD ve MF1BT yöntemlerinin nesnel başarımların değerleri.	30
Şekil 4.10: 299 çerçeveden oluşan “Coastguard” dizisi için farklı bit oranlarındaki MAD ve MF1BT yöntemlerinin nesnel başarımların değerleri.	30

TABLolar DİZİNİ

Tablo 4.1: JM11.0 yazılımında kullanılan önemli parametrelerin değerleri.....	28
Tablo 4.2: Farklı bit oranlarında (25-150 kbps) MAD ve MF1BT hareket kestirimi yöntemleri için ortalama PSNR değerleri (dB).....	31
Tablo 4.3:Farklı bit oranlarında (175-300 kbps) MAD ve MF1BT hareket kestirimi yöntemleri için ortalama PSNR değerleri (dB).....	31

SİMGELER DİZİNİ

t	: Zaman
Y	: Renk uzayı ışıklılık bileşeni
k_r	: Renk uzayı ağırlıklandırma parametresi
F_n	: Giriş çerçevesi
F^{-1}	: İki boyutlu ters ayrık Fourier dönüşümü
F'_{n-1}	: Referans çerçevesi
D_n	: Artıklık bloğu
J	: Hız-bozulma maliyeti
R	: Bit miktarı
λ	: Lagrange çarpanı
I_F	: Süzgeçlenmiş imge
(m, n)	: Yer değiştirme vektörü
\oplus	: Özel-veya işlemi

KISALTMALAR

A.S.O	: Arbitrary Slice Ordering
C.A.B.A.C.	: Context Adaptive Binary Arithmetic Coding
C.A.V.L.C.	: Context Adaptive Variable Length Coding
C.I.F	: Common Interface Format
D.C.T	: Discrete Cosinus Transform
D.V.B	: Digital Video Broadcasting
D.V.D	: Digital Versatile Disk
F.I.R.	: Finite Impulse Response
F.M.O	: Flexible Macroblock Ordering
F.R.EXT	: Fidelity Range Extension
H.V.S	: Human Visual System
I.S.D.N	: Integrated Service Digital Network
M.S.E	: Mean Square Error
M.P.E.G	: Motion Pictures Experts Group
N.A.L.	: Network Abstraction Layer
P.S.N.R	: Peak Signal to Noise Ratio
R.S.	: Redundancy Slices
V.H.S	: Video Home System

BİR-BİT DÖNÜŞÜMÜ TEMELLİ BLOK HAREKET KESTİRİMLERİNİN H.264/AVC'YE UYGULANMASI

Orhan AKBULUT

Anahtar Kelimeler: Video Kodlama, H.264, Hareket Dengeleme, Hareket Kestirimi

Özet: Video sıkıştırma, birçok çoklu ortam uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır. Video kodlama standartlarının başarımı video kodlama sistemlerinin yapısına yeni özelliklerin eklenmesiyle her geçen gün artmaktadır. En yeni video kodlama standardı olan H.264, video kodlama sistemleri arasında en gelişmiş video kodlama algoritmalarına sahiptir. Bu yeni standart, aynı video kalitesi için literatürde var olan diğer video kodlama standartlarından daha fazla bit kazancı sağlamaktadır. Hareket kestirimi, video kodlama uygulamalarının en önemli unsurlarından birini oluşturmaktadır. Video kodlamada zamanın büyük bölümü hareket kestirimi kısmında harcanmaktadır. Bu tez kapsamında bir-bit dönüşümü ve çarpmasız bir-bit dönüşümü yoluyla hareket kestirimi yöntemlerinin H.264/AVC video kodlama standardındaki başarımı değerlendirilmiştir. Bu tezde, standart uyumlama yaklaşımlarına göre özellikle donanımsal olarak gerçekleştirilmesi durumunda çok daha hızlı ve düşük güç tüketimli bir uyumlama imkanı sağlayan çarpmasız bir-bit dönüşümünün, H.264/AVC video kodlamasında kullanılması durumunda oldukça düşük bir başarımla kayba yol açtığı gösterilmektedir.

IMPLEMENTATION OF ONE-BIT TRANSFORM BASED BLOCK MOTION ESTIMATION TO H.264/AVC

Orhan AKBULUT

Keywords: Video Coding, H.264, Motion Estimation, Motion Compensation

Abstract: Video compression plays an important role in several multimedia applications. The compression performance of the video coding standards increase by adding improved new algorithms to the video coding systems day by day. H.264, which is the newest video coding standard, is state of the art technology of video coding systems. This new video coding standard outperforms the other video coding systems in terms of saving total bit rate at the same video quality. Motion estimation is an also important key element of the video coding applications. Most of the coding time of the video is spent at the motion estimation part. In this thesis, the performances of one-bit transform and multiplication free one-bit transform based motion estimation in H.264/AVC is evaluated. It is shown that the multiplication free one-bit transform results in a minor performance decrease compared to conventional matching approaches, while it can provide significant speed and power savings particularly if implemented in hardware.

1. GİRİŞ

Sayısal haberleşme sistemlerinin analog sistemlere göre birçok avantajları bulunmaktadır. Bu avantajlardan bazıları; bozulmalardan daha az etkilenmesi, daha esnek olması ve işlenmesinin daha kolay olmasıdır. Dolayısıyla günümüzde video işaretleri sayısal olarak işlenmekte, depolanmakta ve iletilmektedir.

Yüksek bit hızı ihtiyacı ve verilerin hafıza birimlerinde (sabit bellek, çakmak bellek) saklanması her geçen gün önem kazanmaktadır. Ham video işaretlerinin depolanması için çok büyük bellek boyutları, iletilmesi için de çok yüksek veri hızları gerekmektedir. Televizyon kalitesindeki görüntülerin ancak birkaç dakikalık bölümünün DVD ortamında kaydedilebilmesi, depolama ortamlarının sıkıştırılmamış videolar için uygun olmadığını göstermektedir. Örneğin; analog bir PAL (Phase Alternation Lines) çerçevesi 400.000'den fazla resim bileşeni (picture element–pel) içermektedir. Yine PAL sisteminde çerçeve tazeleme hızınının 25 olduğu göz önüne alınırsa bir saniyelik görüntü için 11 milyondan fazla piksel iletilmesi gerekmektedir. Her bir pikselin üç temel renk bileşeni (kırmızı, yeşil, mavi) ile 8'er bit temsil edildiği durumda her bir piksel için 24 bit gerekmektedir. Bu durumda gerçek zamanlı görüntü iletimi için 253 Mbps'lik bir iletim hızına ihtiyaç duyulmaktadır. Sayısal görüntüde bilgi fazlalığından oluşan bu yüksek bant genişliği gereksinimi verilerin sıkıştırılmasını ön plana çıkarmaktadır. Benzer şekilde, video işaretlerinin internet üzerinden iletilmesi ve depolama ünitelerinde saklanması beraberinde bant genişliği ve güç tüketimi sorunlarını ortaya çıkarmaktadır.

Video işaretlerinin sınırlı bant genişliğinde verimli olarak iletilmesi ve hafıza ünitelerinde daha verimli saklanabilmesi için sıkıştırılması gerekmektedir. Video işaretleri çok fazla miktarda artıklık (redundancy) içermektedir. Artıklık, iletim ortamında gönderilmesine gerek olmayan veridir. Video işaretlerinde artıklık bilgisinin bulunup atılmasıyla sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmektedir.

Kayıpsız bir video sıkıştırma sisteminde istatistiksel artıklık kullanılmaktadır. Bu sayede orijinal video işareti alıcıda kayıpsız bir şekilde yeniden oluşturulabilir. Fakat kayıpsız sıkıştırma görüntü ve videonun sıkıştırılmasında tek başına yeterli olamamaktadır. Birçok video sıkıştırma sistemlerinin yapısında kayıplı sıkıştırma yöntemleri kullanılmaktadır. Kayıplı sıkıştırma yöntemi ile videonun yüksek oranda sıkıştırılması mümkündür. Bununla beraber kayıplı sıkıştırmanın özelliğinden dolayı sıkıştırılmış videonun çözülmesi sonrasında oluşan video ile orijinal video aynı olmamaktadır. Video sıkıştırmada kullanılan algoritmaların amacı, verimli bir sıkıştırma sağlarken aynı zamanda sıkıştırma etkisinden dolayı oluşan bozulma etkisini en aza indirmektir.

Görüntü ve video sıkıştırma uygulamaları birçok farklı sistemlerde 20 yılı aşkın bir süredir kullanılmaktadır. Sıkıştırma işleminde gelişmiş algoritmaların kullanılmasıyla videonun daha etkili bir şekilde kodlanması mümkündür.

Bölüm 2’de, video kodlamada sıkça kullanılan temel kavramlardan bahsedilmektedir. Kodlamada, özellikle kodlama öncesinde kullanılan renk uzayları işlemleri bu bölümde incelenmektedir. Bununla birlikte, video sıkıştırmada kullanılan nesnel kalite ölçütü yine bu bölümde anlatılmaktadır.

En yeni video kodlama standardı olarak bilinen H.264 video kodlama sistemi, genel özellikleri ile birlikte Bölüm 3’te anlatılmaktadır. Bu bölümde aynı zamanda H.264’ün kodlama yapısından bahsedilmektedir.

Bölüm 4’te video kodlamanın en önemli fonksiyonu olan hareket kestirimi konusu anlatılmaktadır. Literatürde var olan bir-bit bönüşümü ve çarpmasız bir-bit dönüşümü hareket kestirim yaklaşımlarının H.264/AVC video kodlama standardı üzerindeki başarımı bu bölümde değerlendirilmektedir.

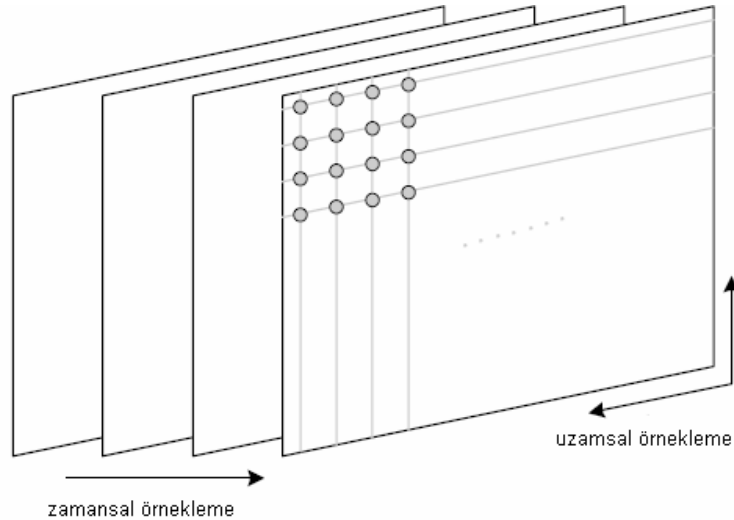
Sonuçlar ve yapılan çalışma ile ilgili öneriler Bölüm 5’te anlatılmaktadır.

2. TEMEL KAVRAMLAR

2.1 Uzamsal ve Zamansal Örnekleme

Video kodlama, sayısal video işaretinin sıkıştırılması ve çözülmesi işlemidir. Sayısal video ise doğal görsel sahnelerinin uzamsal ve zamansal olarak örneklenip gösterilmesi işlemidir. Örnekleme işlemi sonrasında ya bir çerçeve ya da bir alan (field) oluşturulmaktadır.

Uzamsal örnekleme sonrasında durağan tek bir çerçeve oluşmaktadır. Oluşan çerçeve bilgisinde ise resim bileşenleri/piksel bulunmaktadır. Çerçeve bir başka ifadeyle anlamlı pikseller kümesidir. Zamansal örnekleme ise uzamsal örnekleme bileşenlerinin periyodik olarak tekrar etmesidir. Uzamsal örnekleme için t anındaki resmin örneklenmesi, zamansal örnekleme için ise farklı t anlarındaki resimlerin örneklenmesi tanımlanabilir. Zamansal-uzamsal örnekleme ile oluşturulan çerçeveler Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Video dizisinde uzamsal ve zamansal örnekleme

2.2 Renk Uzayları

Video kodlama uygulamalarında çerçeveleri oluşturan resim bileşenleri tek renkli (monochrome) veya renkli (colour) olabilmektedir. Tek renkli görüntülerde çerçevedeki her bir resim elemanı parlaklık veya ışıklılık (luminance or brightness) değeriyle ifade edilmektedir. Renkli görüntülerde ise her bir resim elemanı en az 3 renkle ifade edilmektedir. Genel amaçlı video uygulamalarında ışıklılık ve renk bileşenleri 8 bit ile gösterilmektedir. Bununla beraber bazı uygulamalarda (medikal, grafik uygulamaları gibi) bit derinliği (10–11–12 bit) artmaktadır.

Video uygulamalarında renklerin gösterilmesi için birçok farklı sistem önerilmiştir. Bunlardan her biri renk uzayı olarak bilinmektedir. Temel renk uzayları sırasıyla kırmızı/yeşil/mavi (red/gren/blue RGB), ışıklılık-renk bileşenleri (luminance/red chrominance/blue chrominance YCrCb) ve renk özü-doygunluk-ışıklılık (hue-saturation-intensity HSI) uzaylarıdır. HSI renk farklarının analitik analizi için kullanılmakta olup insanın görsel algılamasına (HVS) benzer bi yapıya sahiptir. Sayısal imgelerde ve video gösterimlerinde daha çok RGB ve YCrCb renk uzayları kullanılmaktadır.

2.2.1 RGB renk uzayı

RGB renk uzayında her bir renk değeri 8 bit ile temsil edilmektedir. Başka bir deyişle her bir piksel değeri toplam 24 bit ile gösterilmektedir. Kırmızı, yeşil ve mavi renklerin farklı oranlarda (2^{24} farklı renk tonu) biraraya gelmesiyle herhangi bir renk tonunu elde etmek mümkündür. Video kodlama uygulamalarında, bant genişliğinin ve hafıza birimlerinin daha verimli kullanılması için RGB renk uzayı formatı pek tercih edilmemektedir.

2.2.2 YCrCb renk uzayı

İnsan gözü ışıklılık bileşenlerine renk bileşenlerine göre daha çok duyarlıdır. RGB uzayında renk bileşenleri ile ışıklılık bileşenleri aynı çözünürlüğe sahiptir. YCrCb uzayında ise ışıklılık bileşenleri için kullanılan çözünürlük, renk bileşenleri için

kullanılan çözünürlükten daha fazladır. YCrCb renk uzayı, analog video sıkıştırma için kullanılan YUV renk uzayının ölçeklenmiş ve ofsetlenmiş halidir.

İmge işleme ve video kodlama uygulamalarında RGB uzayı yerine YCrCb uzayı kullanılmaktadır. Bunun nedeni, bant genişliğini ve hafıza birimlerini daha verimli kullanmak içindir. Video sıkıştırma işleminin ilk adımı video kodlama öncesinde RGB uzayından YCrCb uzayına geçilmesidir.

YCrCb uzayında Y yani ışıklılık bileşeni R , G ve B renk bileşenlerinin ağırlıklı ortalaması ile hesaplanmaktadır. Gerekli eşitlik denklem 2.1'de gösterilmektedir.

$$Y = k_r R + k_g G + k_b B \quad (2.1)$$

$$k_r + k_g + k_b = 1$$

k_r , burada ağırlıklandırma parametresi olarak bilinmektedir. ITU-R BT.601 standardına göre; $k_b=0.114$, $k_r=0.299$ olarak belirlenmiştir [1]. Renk bileşenleri her bir rengin (R,G,B) Y bileşeninden çıkarılmasıyla elde edilmektedir. Renk bileşenleri ve ışıklılık bileşenin RGB uzayından elde edilmesi, denklem 2.2'de gösterilmektedir. Denklem 2.3'te ise YCrCb uzayından RGB uzayına geçiş için gerekli olan dönüşüm matrisi verilmektedir. YCrCb renk uzayında Y , C_r ve C_b değerleri kaydedilmekte veya iletilmektedir.

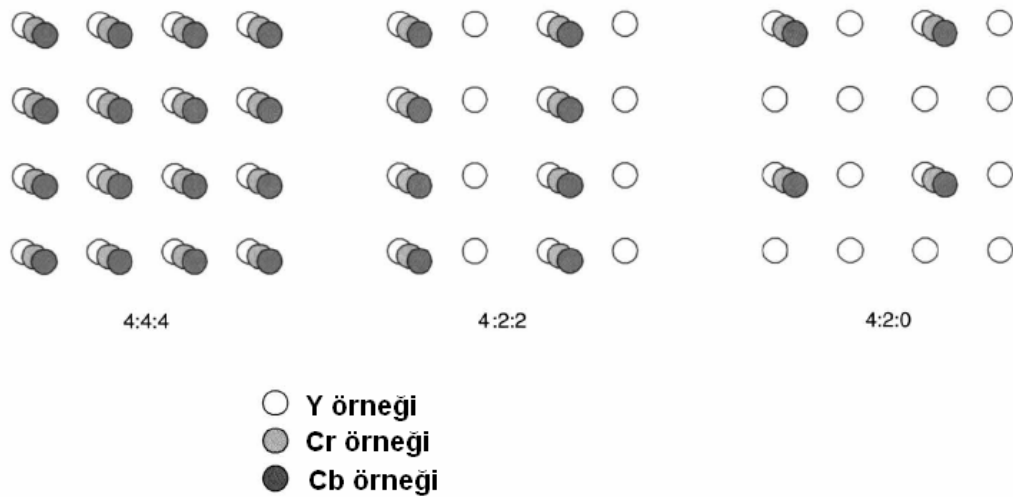
$$\begin{bmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.257 & 0.504 & 0.098 \\ -0.148 & -0.291 & 0.439 \\ 0.439 & -0.368 & -0.071 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.164 & 0.0 & 1.596 \\ 1.164 & -0.392 & -0.813 \\ 1.164 & 2.017 & 0.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y - 16 \\ C_b - 128 \\ C_r - 128 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Video uygulamalarında farklı YCrCb örnekleme formatları kullanılmaktadır. YCrCb 4:4:4 örnekleme formatında, her bir bileşen bulunmaktadır. Diğer bir ifadeyle

ışıklılık bileşeni ile renk bileşenleri aynı çözünürlük değerine sahiptirler. Bu örnekleme formatında herhangi bir kayıp olmamaktadır. 4:2:2 örnekleme formatında ise renk bileşenleri ışıklılık bileşeni ile aynı dikey çözünürlüğe sahiptirler. Fakat bu örnekleme formatında yatay çözünürlük yarıya inmektedir.

En çok tercih edilen örnekleme formatı olan 4:2:0 formatında ise hem yatayda hem de dikeyde alt örnekleme yapılmaktadır. Bu yöntemde C_r ve C_b bileşenlerinin yatay ve dikey çözünürlüğü, Y bileşenin çözünürlüğünün yarısı kadardır. Bu formatların dışında bir de 4:0:0 örnekleme formatı bulunmaktadır. Bu formatta sadece ışıklılık bileşenleri kullanılmaktadır. Herhangi bir renk bileşeni 4:0:0 formatında kodlanmamakta veya iletim ortamına verilmemektedir. YCrCb renk uzayında kullanılan örnekleme formatları Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2: YCrCb renk uzayında kullanılan renk formatları

4:4:4 örnekleme formatı video uygulamalarında çok fazla tercih edilmemektedir. 4:2:2 örnekleme formatı ise daha kaliteli görüntü elde etmek için video endüstrisinde genellikle kullanılmaktadır. 4:2:0 formatı ise video konferans, sayısal video gibi video uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

2.3 Nesnel Kalite Ölçütü

Video uygulamalarında video görüntüsünün kalitesi gerek kullanıcı açısından gerekse yapılan sıkıştırma/çözme işlemlerinin doğruluğu açısından önem taşımaktadır. Görsel kaliteyi ölçmek için öznel ve nesnel kalite ölçüm yöntemleri kullanılmaktadır. Öznel kalite ölçüm yöntemleri farklı video gösterimleri için farklı sonuçlar ortaya koymaktadır.

Video görüntüsünün kalitesini belirlemede öznel kalite ölçüm metrikleri yerine nesnel kalite ölçüm metrikleri kullanılmaktadır. En çok kullanılan metrik, tepe işaret gürültü oranıdır (PSNR). Bununla beraber, PSNR metriği tek başına video görüntü kalitesini yeterince iyi belirleyemez. Günümüzde görsel kalitenin daha iyi belirlenmesi için, PSNR metriği yerine farklı nesnel kalite ölçüm metriklerine yönelik çalışmalar devam etmektedir. dB cinsinden PSNR ifadesi denklem 2.4'te gösterilmektedir.

$$PSNR_{db} = 10 \log_{10} \left(\frac{(2^n - 1)^2}{MSE} \right) \quad (2.4)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{n_1} \sum_{n_2} [s(n_1, n_2, k) - s(n_1, n_2, k+1)]^2 \quad (2.5)$$

Denklem 2.4'te görüldüğü gibi PSNR ifadesi logaritma ve ortalama karesel hata olarak bilinen MSE (mean square error) parametresine bağlıdır. n ise imgedeki piksellerin kaç bit ile ifade edildiğini gösterir. MSE parametresi denklem 2.5'te gösterilmektedir. Denklem 2.5'te ifade edilen N , imgedeki toplam piksel sayısını göstermektedir. Şekil 2.3'te orijinal foreman çerçevesi ve alçak geçiren süzgeçle (AGS) süzgeçlenmiş foreman çerçevesi görülmekte, bu iki çerçeve arasındaki PSNR değeri verilmektedir.



(a)

(b)

Şekil 2.3: PSNR örnekleri (a) orijinal foreman çerçevesi (b) AGS ile süzgeçlenmiş foreman çerçevesi (PSNR = 32.74 dB)

3. H.264 VİDEO KODLAMA

3.1 Giriş

Uluslararası haberleşme birimine bağlı (international telecommunication union-ITU) Uluslararası Standartlar Örgütü (international standards organization-ISO) 1988 yılında Hareketli Resimler Uzmanları Grubu'nu kurmuştur (MPEG) [2]. 1990 yılında sayısal televizyon yayını göz önüne alınmadan, çoklu-ortam kaynaklarının sıkıştırılmış sayısal sunumunu ele almak amacıyla 1.5Mbps sabit bit hızı ve sürekli tarama (progressive scan) kullanan MPEG-1 standardı sunuldu ve 1992 yılında resmi olarak kabul edildi. MPEG-1 formatı kullanılarak 1.2Mbps ile sıkıştırılan ve açılan Ortak Arabirim Formatındaki (CIF) görüntü kalitesinin, Video Ev Sistemi (VHS) formatında kaydedilen analog videonun kalitesi ile aynı (veya VHS'den daha iyi) olduğu görülmüştür [3].

MPEG-1 [4] MPEG'in ilk standardı olup CD-ROM üzerinde video depolamak için geliştirilmiştir. Bu standartta kullanılan temel özellikler; ses sıkıştırma yöntemleri (MP3), blok temelli hareket dengelemesi, ayrık kosinüs dönüşümü (DCT) gibi yöntemlerdir

MPEG-2 [5], MPEG-1'deki video kalitesini arttırmak için 1994 yılında önerilmiştir. DVD'lerde kullanılan sıkıştırma formatıdır. Video kodlamada bu standardın getirmiş olduğu yeniliklerden bazıları; kalite kontrolü için farklı profil yapılarının kullanılması, 2Mbps-20Mbps arasında değişken bit oranının olması ve daha gelişmiş kodlama algoritmaları kullanılmasıdır. MPEG-2 sıkıştırma formatı, aynı zamanda Sayısal Video Yayınında (DVB-C, DVB-S, DVB-T) kullanılmaktadır.

MPEG grubu tarafından geliştirilen diğer bir video kodlama standardı ise MPEG-4 video kodlama tekniğidir. Bu format 'ISO/IEC 14496' ismi altında 1999 yılında uluslar arası standart olarak kabul edilmiştir [6]. 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. Başka bir ifadeyle; aynı nesnel başarım değerinde, 2 kat daha fazla video sıkıştırma başarımı elde edilmektedir. Örneğin, VHS kalitesinde MPEG-1 ile 1.2 Mbps bit hızında kodlanan bir video dizisi, aynı nesnel video kalitesinde MPEG-4 ile 500-700 kbps bit hızında kodlanabilmektedir. Son nesil video kodlama standartlarından olan MPEG-4 içerik temelli kodlama tekniği kullanılmaktadır. Bu kodlama tekniğinde video çerçevelerindeki her nesneye ilişkin doku ve hareket bilgisi ayrı bir katmanda kodlanmaktadır. Bu sıkıştırma formatı özellikle mobil uygulamaları için geliştirilmiş bir formattır.

ITU [7] tarafından standart olarak kabul edilen H.261 video sıkıştırma formatı Tümüleşik Hizmetler Sayısal Ağı (ISDN) üzerinden video konferansı için tasarlanmıştır. ISDN üzerinden gerçekleştirilen bu sistem için kullanılan bant genişliği 64Kbps ile 2Mbps arasındadır. H.261 standardında içsel (çerçeve içi) kip seçiminde ve aynı zamanda diğer çerçeveler için referans olarak kullanılan içsel çerçeve (Intra/I Frame) ile çerçeveler arası hareket tahmininde kullanılan P çerçevesi (Predictive/P Frame) kodlanmaktadır.

H.261'in sıkıştırma performansını artırmak için H.263 sıkıştırma formatı önerilmiştir [8]. Bu standart H.261 standardı ile karşılaştırıldığında aynı kalitedeki video için hemen hemen yarı yarıya bit kazancı sağlamaktadır. H.263 video kodlama tekniğinin H.261'den farklı olarak kullandığı özelliklerin biri; alt piksel hareket vektörlerini kullanmasıdır. Diğer bir özellik ise I ve P çerçevelerine ek olarak çift-yönlü hareket kestiriminde (bidirectional motion estimation) kullanılan B çerçevesinin bu standartta kullanılmasıdır.

En yeni video kodlama standardı olarak bilinen H.264 [9], resmi organizasyon olan ITU ve ISO standartlarının ortaklaşa geliştirdikleri bir kodlama standardıdır. Bu yeni video kodlama standardı, video kodlama algoritmalarına birçok yeni özellik katarak, önceki video sıkıştırma platformlarından (MPEG-4, H.263 vb.) daha iyi nesnel video başarımı sergilemektedir. Literatürde bu yeni standart için farklı isimler kullanılmaktadır. Bunlar;

- H.26L
- JVT (Joint Video Team) veya JVT CODEC (enCOder DECoder)
- JM2.x, JM3.x, JM4.x
- AVC (Advanced Video Codec)
- MPEG-4 Part 10 (resmi MPEG isimlendirmesi)
- H.264 (resmi ITU isimlendirmesi)

Gerçekleştirilen tez kapsamında resmi ITU isimlendirmesi olan H.264 notasyonu kullanılmaktadır.

3.2 H.264 Video Profilleri

H.264 video kodlama standardı, kullanıcılara 4 tip profil yapısı sunarak farklı video uygulama platformları için esneklik sağlamaktadır. Her bir profilin kendine ait işlevleri bulunmaktadır.

Taban profil (Baseline Profile) içsel-çerçeveler arası kodlamayı ve içerik uyarlamalı değişken uzunluklu entropi kodlamayı destekler (CAVLC). Çift yönlü hareket dengelemesinde kullanılan B çerçevesi bu profilde yer almamaktadır. Daha çok videonun iletimi sırasında ortaya çıkan veri kaybını önlemek için Esnek Makroblok Sıralaması (FMO) [10], Gelişigüzel Dilim Sıralaması (ASO) ve Artık dilim (RS) gibi farklı algoritmalar bu profile eklenmiştir. Bu algoritmalar hata esnekliği/hata gizleme (error resilience/error concealment) ismiyle anılmaktadır.

Ana Profil (Main Profile), B çerçeveleri kullanılarak çerçeveler arası kodlamayı, içerik temelli aritmetik kodlamayı (CABAC) kullanan entropi kodlamayı içermektedir. Bununla birlikte binişimli video (Interlace Video) özelliği bu profile dâhil edilmiştir.

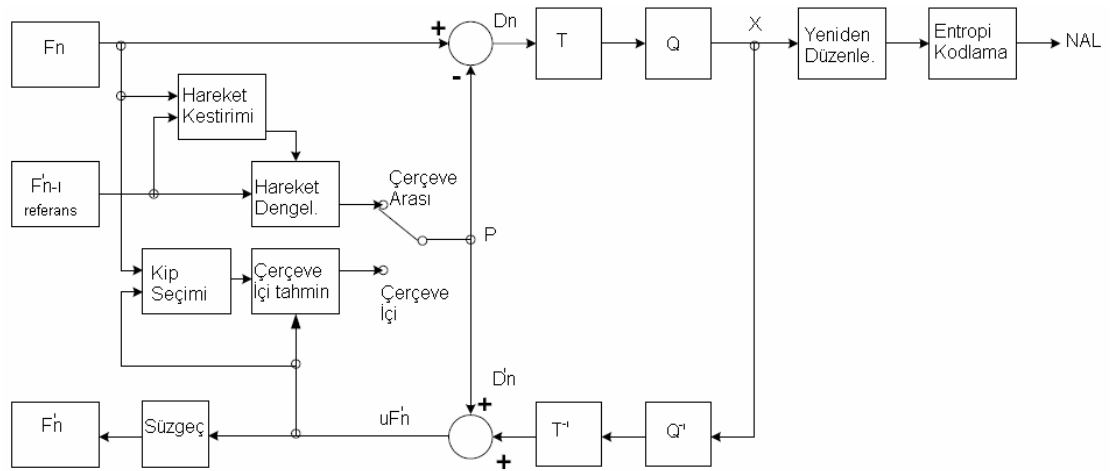
H.264 video kodlamasında kullanılan bir diğer profil ise Gelişmiş Profil (Extended Profile) yapısıdır. Bu profil, binişimli video özelliğini desteklememektedir. İletim ortamında meydana gelebilecek veri kaybını en aza indirmek için veri bölme (Data Partitioning) özelliği bu profile eklenmiştir. Gelişmiş Profil, Taban Profilin kullandığı tüm özellikleri desteklemektedir.

H.264 video kodlama standardı 2004 yılında yeni bir düzenlemeye gitmiştir [11]. Çalışma Aralığı Genişletmesi (Frest) ismiyle ortaya çıkan bu düzenleme ile birlikte kullanıcılara yeni bir profil daha sunulmaktadır. Yüksek Profil (High Profile) olarak isimlendirilen bu profil kendi içinde bölümlere ayrılmaktadır. Farklı YCrCb formatlarını desteklemesi (4:2:2, 4:4:4), 8x8 dönüşüm kodlamasını kullanması ve piksel başına kullanılan bit derinliğinin 12 bit/piksel değerine kadar çıkması yüksek profilin kullandığı temel özelliklerdendir. 12 bit/piksel özellikle medikal uygulamalarda kullanılmaktadır.

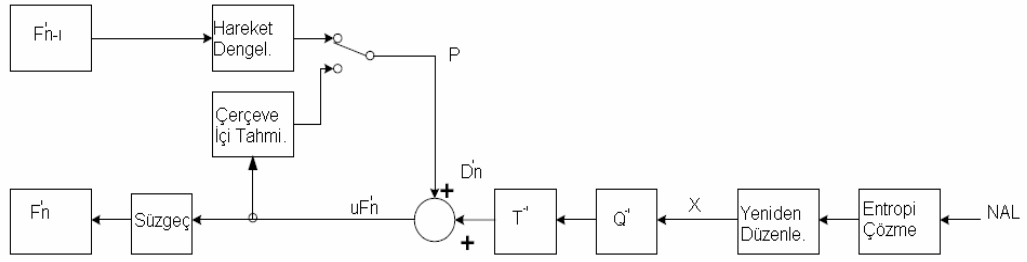
Taban Profil video konferansı ve kablosuz haberleşme alanlarında kullanılmaktadır. Ana Profilin uygulama alanları ise video depolama ve televizyon yayınlarıdır. Gelişmiş Profil ise duraksız çoğulortam iletimi uygulamalarında (streaming media applications) kullanışlıdır. Yüksek Profil ise özellikle yüksek çözünürlüklü televizyon yayınlarında (HDTV) kullanılmaktadır.

3.3 H.264 Video Kodlama Yapısı

Genel bir video kodlama sisteminde kodlama işlemi 2 aşamadan oluşmaktadır. Bunlardan biri kodlayıcı (encoder), diğeri ise kod çözücü (decoder) yapısıdır. Şekil 3.1’de H.264 video kodlama standardının kodlayıcı tarafı gösterilmektedir. Şekil 3.2’de ise kod çözücü bölümü gösterilmektedir.



Şekil 3.1: H.264 kodlayıcı yapısı [12].



Şekil 3.2: H.264 kod-çözücü yapısı [12].

H.264 kodlayıcı yapısı incelendiğinde F_n olarak isimlendirilen giriş çerçevesi (giriş çerçevesi sürekli tarama ile elde edilmiş çerçeve (frame) veya binişimli tarama ile elde edilmiş çerçeve (field) olabilir) makro bloklara ayrılır. Her bir makro blok çerçeve-içi veya çerçeveler arası kodlama yöntemi kullanılarak kodlanır. Tahmin bloğu (prediction, P) çerçeve-içi kodlamada o anki çerçeve içerisindeki kodlanmış, çözülmüş ve yeniden oluşturulmuş örnek değerlerinden oluşturulur. Tahmin bloğunun çerçeveler arası kodlama yapısı ile kodlanacak olması durumunda, bu bloğun uygun referans çerçevesi kullanılarak hareket-dengeleme tahmini ile oluşturulur. F'_{n-1} olarak ifade edilen referans çerçevesi (referans çerçevesi geçmiş veya gelecekteki çerçeveler olabilir) her zaman kodlanmış, yeniden oluşturulmuş ve süzgeçlenmiş bir yapıdadır. Artıklık bloğunu (D_n) oluşturmak için, tahmin bloğu ile kodlanacak o anki bloğun farkı alınır. Artıklık bloğu yani fark bloğu, uygun bir blok dönüşüm kodlaması kullanılarak frekans düzlemine dönüştürülür. Dönüşüm kodlaması sonrası ilgili blok nicemlenir. Nicemlenen dönüşüm katsayıları yeniden düzenlenir ve kayıpsız sıkıştırma özelliği olan entropi kodlama ile kodlanır. Entropi kodlanmış katsayılar, makro blok içindeki her bloğu çözmek için gerekli olan başlık bilgileri ile birlikte sıkıştırılmış bit dizinini oluşturur ve bu bit dizinleri iletim için veya depolamak için ağ soyutlama katmanına gönderilir (NAL). Video kodlama sistemlerinde daha fazla sıkıştırma için çerçevelerin referans olarak kullanılması diğer bir ifade ile çerçeveler arası kodlama gerekmektedir. Çerçevelerin referans olarak kullanılabilmesi için makro blok içindeki her bir bloğun çözülmesi ve yeniden oluşturulması gerekmektedir. Şekil 3.1'de X olarak gösterilen katsayılar yeniden ölçeklendirilir ve fark bloğunu (D'_n) oluşturmak için ters dönüşüm yapısına sokulur.

Süzgeçlenmemiş bloğu yani orijinal bloğu yeniden oluşturmak için fark bloğuna P bloğu eklenir. $uF'_n = P + D'_n$. Blokluluk etkisini (blocking-artifacts) azaltmak için uF'_n çerçevesindeki her bir blok süzgeçleme işlemine sokulur ve F'_n referans çerçevesi oluşturulur.

H.264 kod çözücünün yapısı incelendiğinde, öncelikle sıkıştırılmış bit dizinleri ters-entropi ile çözülür ve yeniden düzenlenerek X katsayıları elde edilir. Bu katsayılar yeniden ölçeklendirilir ve ters dönüşüm yapısına uyarlanır. Ardından D'_n bloğu elde edilir. Bit dizinindeki başlık dosyaları kullanılarak tahmin bloğu P oluşturulur. Tahmin bloğu fark bloğu ile toplanıp süzgeçlenmemiş uF'_n çerçevesi elde edilir. Bu çerçevedeki bloklar çerçeve-içi kod çözme işlemine kullanılır. Çerçeveler arası kod-çözme işlemine ise uF'_n süzgeçlenerek F'_n yapısına dönüştürülür.

3.4 H.264 Video Kodlama Standardının Genel Özellikleri

3.4.1 Giriş

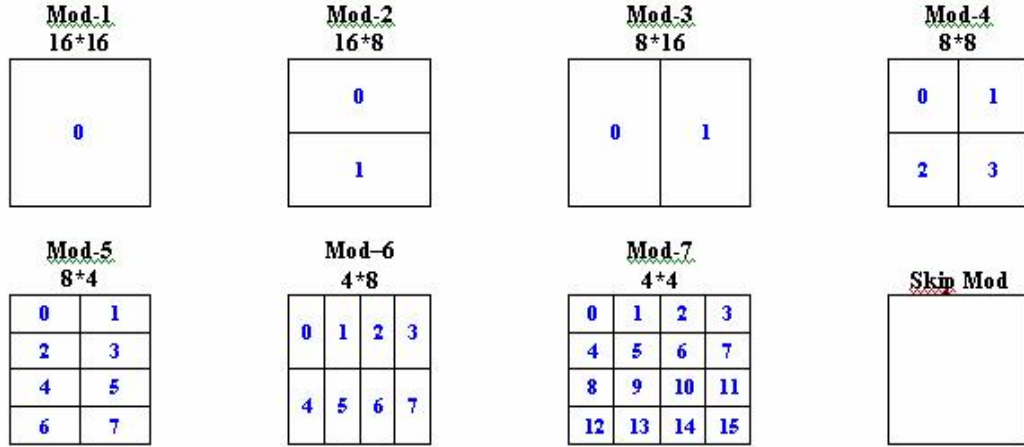
Önceki video kodlama standartlarında (MPEG-1, MPEG-2 MPEG-4, H.261, H.263) olduğu gibi H.264 video kodlama yapısında da hareket-dengelemesi, dönüşüm kodlaması, nicemleme, entropi kodlaması gibi temel fonksiyonlar bulunmaktadır.

Bu standardı diğer standartlardan ayıran en önemli özelliklerden biri de, kodlama yapısında bloklama önler süzgeç kullanılmasıdır. Kullanılan temel fonksiyonlar aynı olmasına rağmen, video kodlama başarımını arttırmak için çok farklı ve yerine göre çok karmaşık algoritmalar kodlama sistemine dâhil edilmiştir.

3.4.2 Değişken blok boyutlu hareket dengelemesi

H.264 video kodlama standardı farklı blok boyutları ve şekilleri için hareket dengelemesine olanak sağlamaktadır. Kullanılan blok boyutu minimum 4x4 büyüklüğünde olabilmektedir.

Değişken blok boyutlu hareket dengelemesinde her bir makro blok (16x16), 16x16, 16x8, 8x16 ve 8x8 blok boyutlarına bölünebilmektedir. 8x8 blok boyutu ise kendi içinde 8x4, 4x8 ve 4x4 alt-blok boyutlarına bölünebilmektedir. Şekil 3.3'te kullanılabilir tüm blok boyutları ve şekilleri gösterilmektedir. Hareket dengelemesinde her blok için ayrı hareket vektörleri kullanılmaktadır



Şekil 3.3: Hareket dengelemesinde kullanılan blok boyutları

Hareket dengelemesinde blok boyutunun seçimi video sıkıştırma performansını etkilemektedir. 16x16, 16x8, 8x16 gibi büyük blok boyutlarının seçilmesi halinde hareket vektörleri ve blok boyutunun tipi için kullanılacak bit miktarı azalmaktadır fakat fark bloğu (residual block) için kullanılacak dönüşüm katsayıları için çok fazla bit miktarı gerekmektedir. Diğer yandan, hareket dengelemesinde küçük boyutlu blokların seçilmesi halinde artıklık bilgisini iletmek için az miktarda bite ihtiyaç olacaktır, buna rağmen blok sayısının artması, hareket vektörleri ve blok tipleri için kullanılan bit miktarını arttıracaktır. Bundan dolayı uygun blok boyutunun seçilmesi video kodlama başarımının artmasında etkili olacaktır.

Hareket dengelemesinde en uygun blok boyutunu seçmek için hız-bozunum (RD-Rate Distortion) özelliği kullanılmaktadır. Lagrange metodu olarak bilinen bu yöntem denklem 3.1'de gösterilmektedir.

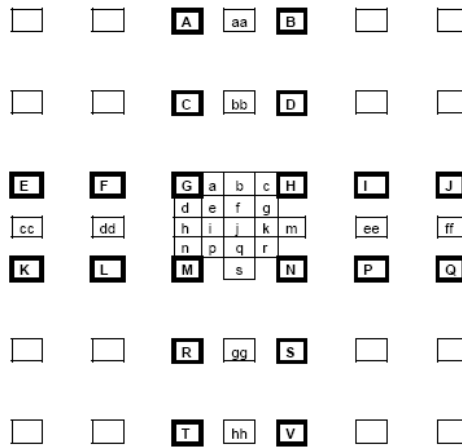
$$J = D + \lambda R \quad (3.1)$$

3.1 no'lu denklemde J hız-bozulma maliyetini, D bozulmayı, R ise kullanılacak blok boyutu için gerekli olan bit miktarını vermektedir. λ ise lagrange çarpanı olarak bilinmektedir. H.264 video kodlamasında D yani bozulma için yapılacak hesap, önceki standartlara göre daha basittir çünkü tamsayı dönüşüm kodlaması ve nicemleme kullanılmaktadır. Yine aynı şekilde R değeri, arama tabloları kullanılarak verimli bir şekilde hesaplanabilmektedir.

3.4.3 Alt-piksel doğrulukta hareket dengelemesi

En iyi video kodlama standardı olarak bilinen H.264 video kodlama yapısında yarım/çeyrek piksel hareket vektörü doğruluğunda hareket dengelemesi yapılmaktadır. Yarım piksel doğrulukta hareket dengelemesi için bulunan yeni piksel değerlerinin ara değerlendirilmesi ile çeyrek piksel doğrulukta hareket dengelemesi elde etmek mümkündür. Yeni piksel değerlerini oluşturmak için 6 elemanlı sonlu dürtü yanıtı (FIR) süzgeç yapısı kullanılmaktadır.

Alt piksel doğrulukta hareket dengelemesi ile video sıkıştırma başarımı daha da artmaktadır. Bununla beraber, kodlama yapısında bu özelliğin kullanılması, video kodlama işlemine ek yük getirmektedir. Yarım ve çeyrek piksel doğrulukta hareket dengelemesi için ara-piksel değerlerinin elde edilmesi Şekil 3.4'te gösterilmektedir.

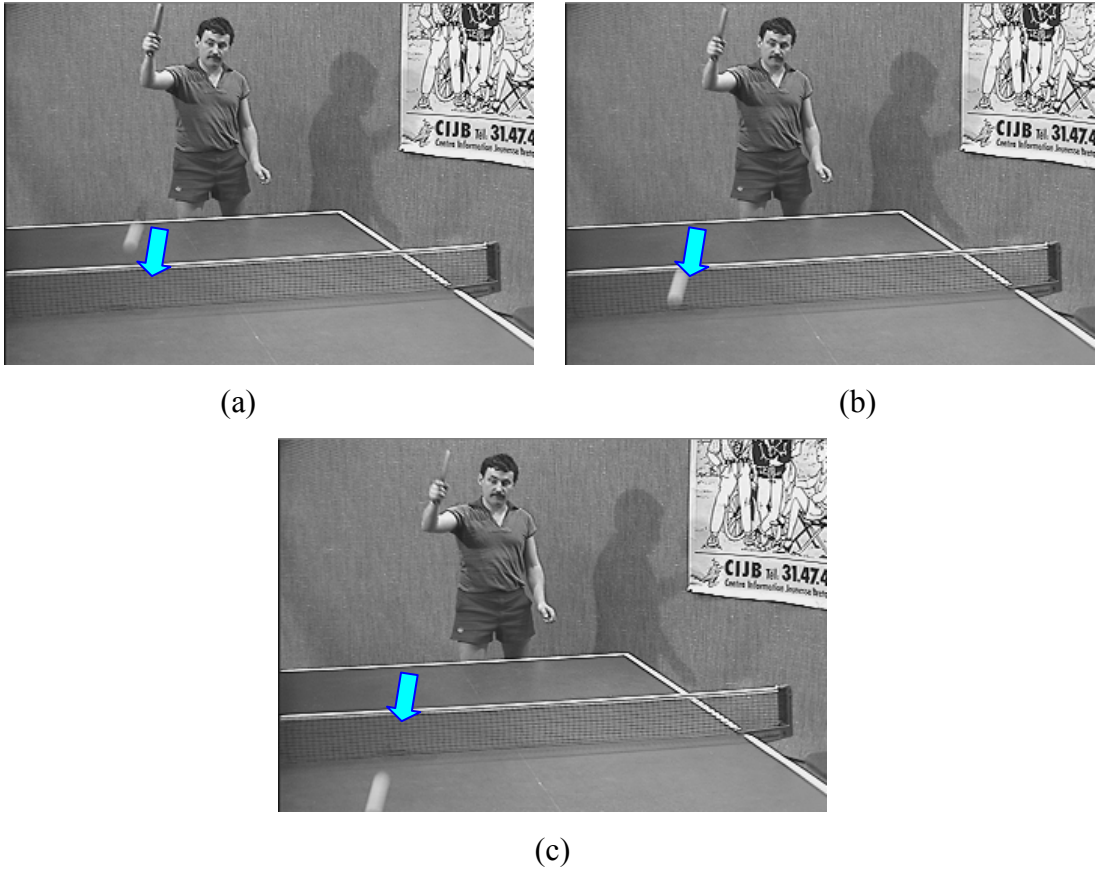


Şekil 3.4: Yarım ve çeyrek piksel doğrulukta hareket dengelemesi için ara-piksel değerlerinin elde edilmesi

3.4.4 Çoklu referans çerçeve seçimi

Daha önceki video kodlama sistemlerinde hareket dengelemesi için kullanılan referans çerçeve sayısı 1 iken, bu video kodlama standardı ile referans çerçeve sayısı arttırılmıştır. Çerçeve sayısının artması ile birlikte daha iyi hareket dengelemesi sağlanmaktadır. Dolayısıyla, daha iyi bir video kodlama başarımı elde edilmektedir. Çoklu referans çerçeve ile hareket dengelemesi, özellikle sahne geçişlerinde önemli bir performans artışı sağlamaktadır. Bununla beraber referans çerçevesinin artması, işlem yükünü bir hayli arttırmaktadır. Çoklu referans çerçeve kullanılmasının diğer bir dezavantajı bellek gereksinimini arttırmasıdır.

Çoklu referans çerçeve özelliğini kullanılarak daha iyi hareket dengelemesi elde edilmesi Şekil 3.5'te gösterilmektedir.



Şekil 3.5: Tenis dizisine ait çoklu referans çerçeve seçimi kullanımı: (a) 81. çerçeve (b) 82. çerçeve, (c) 83. çerçeve

Şekil 3.5'teki Tenis dizisine ait çerçeveler incelendiğinde, 83. çerçevedeki ok işleci ile gösterilen yer için hareket kestirimi/dengelemesi yapıldığında en iyi blok uyumunu 81. çerçevedeki ok işleci ile gösterilen yer verecektir. Bu sayede daha iyi bir hareket dengelemesi yapılacak ve etkili bir video sıkıştırma elde edilecektir.

3.4.5 Dönüşüm kodlaması performansı ve esnekliği

DCT dönüşüm kodlamada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun nedeni ise iyi bir enerji sıkıştırması ve veriler arasındaki korelasyonu azaltmasıdır. Hesapsal yükün az olması ve verinin içeriğine bağlı olmaması (iletim ortamına ek bir bilgi göndermemesi) DCT'nin video kodlamada tercih edilmesinin diğer bir nedenidir. 2 boyutlu DCT ve ters DCT hesaplamasında kullanılan formüller sırasıyla denklem 3.2 ve denklem 3.3'te verilmektedir.

$$S(k_1, k_2) = \sqrt{\frac{4}{N^2}} C(k_1) C(k_2) \sum_{n_1=0}^{N-1} \sum_{n_2=0}^{N-1} s(n_1, n_2) \cos\left(\frac{\pi(2n_1+1)k_1}{2N}\right) \cos\left(\frac{\pi(2n_2+1)k_2}{2N}\right) \quad (3.2)$$

$$k_1, k_2, n_1, n_2 = 0, 1, \dots, N-1, \quad C(k) = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & k=0 \\ 1 & k \neq 0 \end{cases}$$

$$s(k_1, k_2) = \sqrt{\frac{4}{N^2}} \sum_{n_1=0}^{N-1} \sum_{n_2=0}^{N-1} C(n_1) C(n_2) S(n_1, n_2) \cos\left(\frac{\pi(2k_1+1)n_1}{2N}\right) \cos\left(\frac{\pi(2k_2+1)n_2}{2N}\right) \quad (3.3)$$

$$k_1, k_2, n_1, n_2 = 0, 1, \dots, N-1, \quad C(n) = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & n=0 \\ 1 & n \neq 0 \end{cases}$$

Önceki video kodlama standartlarında, dönüşüm kodlaması 8x8 blok boyutlarında yapılırken, H264 standardı ile 8x8 blok boyutlu dönüşüm kodlamasına ek olarak tamsayılı 4x4 dönüşüm kodlaması kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu kodlama standardında çerçeve-içi makroblokların kodlamasında Hadamard dönüşüm kodlaması da kullanılmaktadır.

Blok boyutunun artması halinde daha iyi enerji sıkıştırması gerçekleştirilecek ve nicemlenmiş işaretle detayların daha fazla korunması sağlanmaktadır. Fakat bu

bloklar kullanıldığında geri dönüşüm sonrasında daha fazla blok örtüşmesi görülmektedir. Bununla birlikte hesapsal yük de artmaktadır. Dolayısıyla bloklar, hesapsal karmaşıklığın düşük olması ve durağan olmayan sinyallerin uyarlanabilmesi için yeterince düşük olmalıdır.

H.264 video kodlama standardında 4x4 dönüşüm kodlama yapısının kullanılmasından dolayı kodlanmış video çerçevelerini çözerken bloklar arası oluşabilecek blok örtüşmeleri azalmaktadır.

Tamsayılı dönüşüm kodlaması ile birlikte dönüşüm kodlaması daha hızlı yapılabilmektedir.

H.264 kodlama standardında kullanılan ileri yöndeki 4x4 boyutlu dönüşüm kodlamasının yapısı denklem 3.4'te gösterilmektedir.

$$Y = C_f X C_f^T \otimes E_f = \left(\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -2 & 2 & -1 \end{bmatrix} [X] \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & -1 & 2 \\ 1 & -2 & 1 & -1 \end{bmatrix} \right) \otimes \begin{bmatrix} a^2 & ab/2 & a^2 & ab/2 \\ ab/2 & b^2/4 & ab/2 & b^2/4 \\ a^2 & ab/2 & a^2 & ab/2 \\ ab/2 & b^2/4 & ab/2 & b^2/4 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

3.4 no'lu denklemde ifade edilen E_f , ölçekleme faktörüdür. \otimes işlemi ise; matriks çarpma işlemi yerine, skalar çarpma işlemi yapılacağını göstermektedir. X değişkeni ise, kodlanacak fark bloğunu göstermektedir. Ölçekleme faktöründe kullanılan değişkenlerin değeri denklem 3.5'te belirtilmektedir.

$$\begin{aligned} a &= 1/2 \\ b &= \sqrt{2/5} \\ d &= 1/2 \end{aligned} \quad (3.5)$$

3.4.6 Bloklama-önler süzgeç

H.264'te kullanılan diğler bir özellik bloklama önler süzgecin kullanılmasıdır. Video kodlamaya ek işlem yükü getirmesine rağmen, bu özelliğın kullanılmasıyla video kalitesinde önemli bir başarıım sağlanmaktadır.

Süzgeçleme işlemi, kodlayıcı ve kod-çözücü tarafında ters dönüşüm işlemi sonrasında yapılmaktadır. Süzgeçlenmiş makro-bloklar kodlayıcı tarafında hareket dengelemesinde kullanılmaktadır. Kod çözücü tarafında süzgeçleme işlemi sonrası elde edilen makro bloklar, doğrudan çıkış imgesi olarak kullanılmaktadır. Çerçeve içi kodlanmış makro bloklar süzgeçleme işlemine sokulurken, çerçeve-içi tahmin işlemi, süzgeçlenmemiş makro bloklar kullanılarak yapılmaktadır.

Süzgeçleme işlemi sonrasında blok kenarlarının yumuşatılmasıyla, yeniden oluşturulan imgenin görsel kalitesi artmaktadır. Bununla birlikte, süzgeçlenmiş makro bloklar kullanarak daha iyi hareket dengelemesi elde etmek mümkün olmaktadır. Süzgeçleme, makro bloktaki blokların yatay ve dikey kenarlarına uygulanmaktadır. Şekil 3.6'da bloklama-önler süzgecin yeniden oluşturulan imge üzerindeki etkisi gösterilmektedir.



(a)

(b)

Şekil 3.6: Bloklama-önler süzgecin yeniden oluşturulan imge üzerindeki etkisi:
(a) bloklama-önler süzgeç pasif (b) bloklama-önler süzgeç aktif

4. H.264 HAREKET KESTİRİMİ UYGULAMALARI

4.1 Giriş

Video kodlamada zamansal artıklığın giderilmesi için genellikle blok uyumlama (block matching) yaklaşımli hareket kestirim yöntemleri kullanılmaktadır. Blok uyumlama algoritmasında, imge çerçevesi birbirleriyle örtüşmeyen dikdörtgensel bloklara bölünmekte, sonrasında ise her bir blok bir önceki çerçevede önceden tanımlanmış bir arama penceresi içinde en iyi blok uyumunu verecek şekilde aranmaktadır.

Tam arama yaklaşımı hareket kestirim yöntemleri içinde en iyi blok uyumlama sonucunu veren yöntemdir. Bu yaklaşımda aranacak blok, arama penceresi içerisinde bütün olası noktalarda aranmaktadır. İlgili bloğun bütün noktalarda aranmasından dolayı tam arama yaklaşımının hesapsal yükü çok fazladır. Bundan dolayı literatürde tam arama yaklaşımına nazaran daha düşük işlem yüküne sahip birçok yöntem önerilmiştir [13-15]. Ancak bu yöntemler genelde video kodlama başarımını olumsuz yönde etkilemektedir.

Hızlı hareket kestirimi için önerilen yöntemler farklı iki sınıf altında gruplandırılabilir. Bunlardan ilki düşük işlem yükünü, arama noktalarının sayısını azaltarak gerçekleştiren yöntemlerdir. Yaygın olarak bilinen bu arama yöntemlerinden bazıları üç adımlı arama (3SS) [13], 2D logaritmik arama (2DLOG) [14], yeni üç adımlı aramadır (N3SS) [15].

Hesapsal karmaşıklığı azaltmak için kullanılan diğeri bir yöntem sınıfı ise düşük bit gösterimli imgeleri hareket kestiriminde kullanmaktadır. Düşük bit gösterimli imgelerin kullanılmasının nedeni, blok uyumlama ölçütünün daha hızlı hesaplanabilmesi içindir. Bu amaçla donanımsal olarak gerçekleştirilmesi basit olan özel veya (XOR) işlemi blok uyumlama ölçütü olarak kullanılmaktadır. Düşük bit

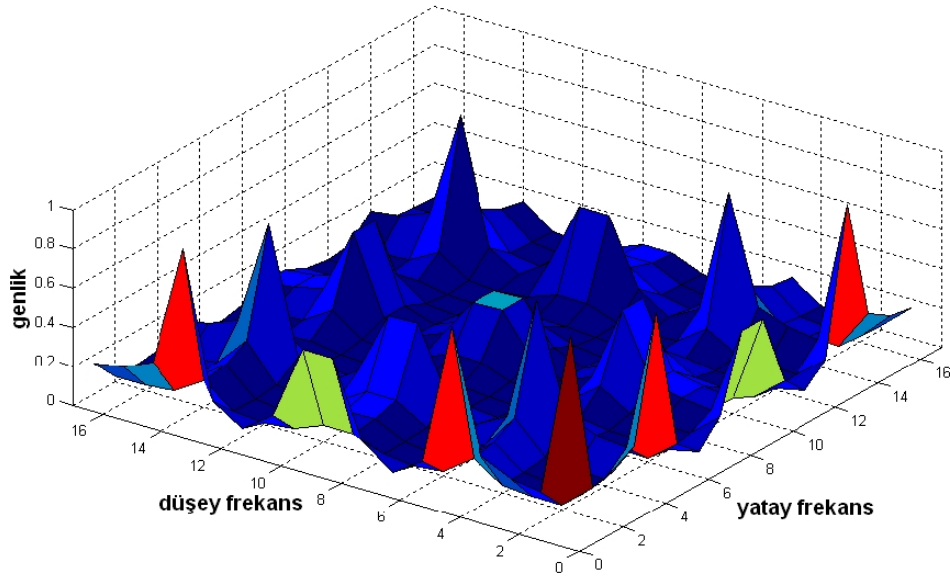
çözünürlüğünü kullanan yöntemlerden bazıları bir-bit dönüşümü (1BT) [16], çarpmasız bir-bit dönüşümü (MF-1BT) [17] ve iki-bit dönüşümüdür (2BT) [18]. 1BT dönüşümü 8-bit çözünürlüğündeki imge çerçevelerini bir bit derinliğindeki imge çerçevelerine dönüştürmektedir. [19]'de önerilen geliştirilmiş bir-bit dönüşümü (M1BT) yönteminde ise 1BT yöntemine ek olarak çoklu iki adımlı arama yaklaşımı (M2SS) da değerlendirilerek başarımlarının artırılması amaçlanmıştır. 2BT yaklaşımını hareket kestirim yönteminde yerel blokların ortalama ve değişim özellikleri dikkate alınarak daha iyi nesnel başarımlar elde edilmesi hedeflenmiştir.

Gerçekleştirilen tez kapsamında, bir-bit dönüşümünün H.264/AVC video kodlama standardı üzerindeki başarımların değerlendirilmesi yapılmıştır. Bununla beraber, 1BT yönteminde kullanılan kayan-noktalı aritmetik işlem yerine tamsayı aritmetik işleminin kullanılması öneren çarpmasız bir-bit dönüşümünün H.264/AVC video kodlama standardı üzerindeki başarımların değerlendirilmiştir. Elde edilen çarpmasız bir-bit dönüşümü sonuçlarından, uygulanan yöntemin JM11.0 yazılımında (Joint Model) [20] mutlak farkların toplamı (SAD- Sum Absolute Difference) uyumlama ölçütüne göre en fazla yaklaşık 0.5 dB daha düşük bir başarımlar gösterdiğini sergilemektedir. Ancak önerilen yöntemin işlem yükü, donanımsal olarak gerçekleştirilmesi durumunda SAD ölçütüne göre daha düşük olduğundan, önerilen yöntem sınırlı işlem gücü ve sınırlı güç tüketimi gibi kısıtlamaları bulunan mobil uygulamalar için daha uygundur.

4.2 Bir-Bit Dönüşümü

1BT yaklaşımında gri tonlu 8 bitlik imge çerçeveleri denklem 4.1'de verilen çekirdek (kernel) ifadesi kullanılarak süzgeçlenmektedir. Kullanılan çekirdek çoklu bant geçiren bir süzgeç yapısına sahiptir. Bu süzgecin frekans yanıtı Şekil 4.1'de gösterilmektedir.

$$K(i, j) = \begin{cases} 1/25, & \text{if } i, j \in [1,4,8,12,16] \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (4.1)$$

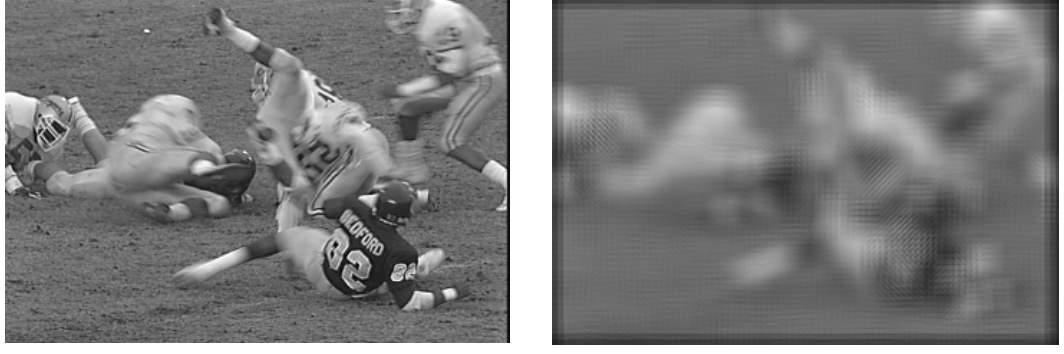


Şekil 4.1: 1BT yaklaşımında kullanılan çekirdek süzgecinin frekans yanıtı

İmge çerçevesi denklem 4.1’de verilen çekirdek ile süzgeçleme işleminden geçirildikten sonra denklem 4.2’de verilen karşılaştırma ifadesi ile sadece “0” ve “1” değerlerinden oluşan ikili imgeye dönüştürülmektedir.

$$B(i, j) = \begin{cases} 1, & I(i, j) \geq I_F(i, j) \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (4.2)$$

I_F çerçevesi, I imge çerçevesinin çekirdek matrisi ile konvolüsyonu sonucunda elde edilmektedir. Şekil 4.2’de orijinal “Football” dizisinden alınmış bir imge, bu imgenin çekirdek matrisi ile konvolüsyonu sonucunda elde edilen I_F imgesi ve orijinal imge kullanılarak bir bit dönüşümü sonrasında elde edilen ikili imge gösterilmektedir.



(a)

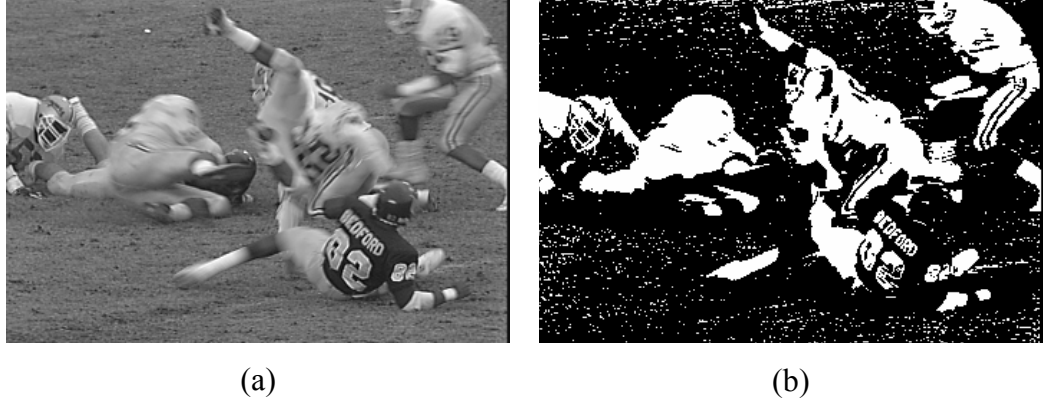
(b)



(c)

Şekil 4.2: (a) orijinal football imgesi, (b) çekirdek matrisi ile konvolusyon sonrasında elde edilen imge I_F imgesi, (c) bir-bit dönüşümü sonrasında elde edilen ikili imge

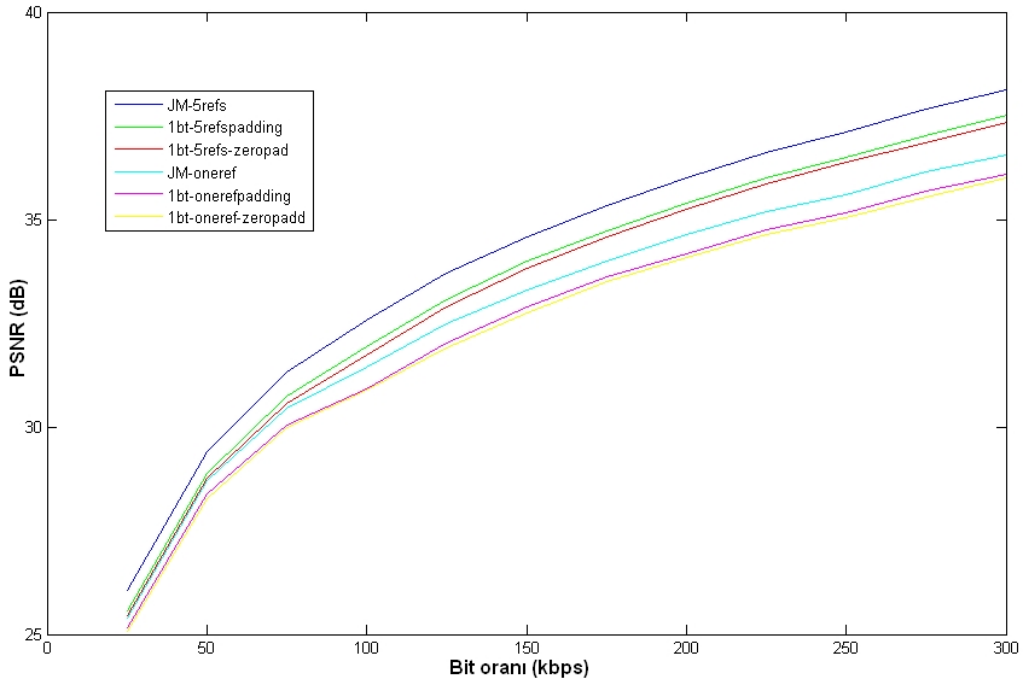
Şekil 4.2 (c)'de gösterilen ikili imge incelendiğinde, detayların oldukça iyi korunduğu gözlemlenmektedir. Bunun nedeni, kernel süzgecinin ikili imgenin elde edilmesi sırasında uyarlamalı eşik özelliği göstermesidir. Diğer bir ifadeyle, ikili imgeye dönüştürülecek olan orijinal imge üzerinde, sabit bir eşik değeri yerine değişken bir eşik değeri kullanılmaktadır. İkili imge, sabit eşik değeri kullanılarak elde edildiğinde ise detaylar kaybolmaktadır. Bu durum video kodlama başarımını düşürmektedir. Şekil 4.3'te orijinal "Football" dizisinden alınmış bir imge ile bu imgenin sabit bir eşik değeri (127) ile eşiklenmesi sonucu elde edilen ikili imge gösterilmektedir.



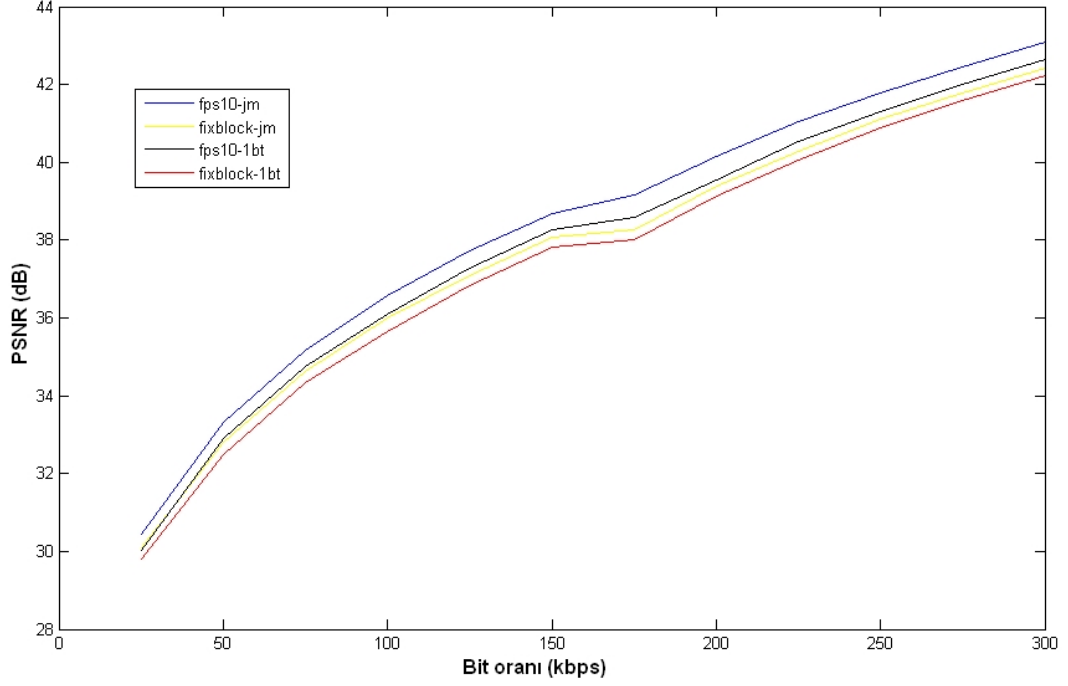
Şekil 4.3: (a) orijinal football imgesi, (b) sabit eşik değeri (127) kullanılarak elde edilen ikili imge

4.2.1 Deneysel sonuçlar

1BT yaklaşımının video kodlama başarımını değerlendirmek için H.264/AVC video kodlama standardının referans yazılımı olan JM11.0 kullanılmıştır. Şekil 4.4'te farklı bit-oranlarındaki MAD ve bir-bit dönüşümü yöntemlerinin referans çerçeve sayısına göre nesnel başarımların değerleri, Şekil 4.5'te ise farklı bit-oranlarındaki bu iki yöntemin sabit/değişken blok boyutlarına göre nesnel başarımların değerleri gösterilmektedir



Şekil 4.4: Farklı bit-oranlarındaki MAD ve bir-bit dönüşümü yöntemlerinin referans çerçeve sayısına göre nesnel başarımların değerleri



Şekil 4.5: Farklı bit-oranlarındaki MAD ve bir-bit dönüşümü yöntemlerinin sabit/değişken blok boyutlarına göre nesnel başarımları.

Video kodlamada, referans çerçeve sayısı artırılarak değerlendirilen 1BT yaklaşımının MAD yaklaşımına göre daha iyi başarımları sergilediği Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Benzer şekilde, değişken blok boyutlu 1BT yaklaşımının, sabit blok boyutlu MAD yaklaşımına göre daha iyi başarımları sunduğu Şekil 4.5'te gösterilmektedir.

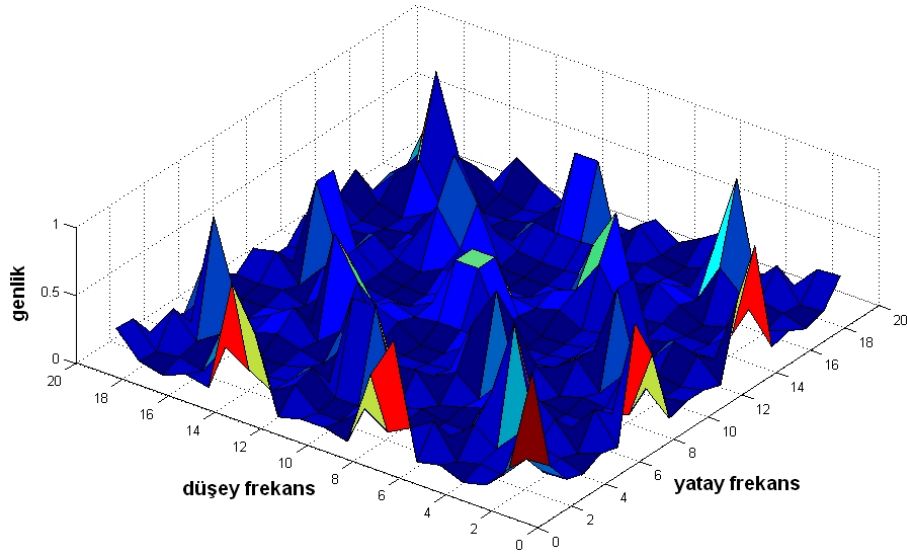
4.3 Çarpmasız Bir-Bit Dönüşümü

Bir-bit dönüşümde kullanılan ve denklem 4.1'de ifade edilen çekirdek ifadesinde normalizasyon işlemi için 25 değerinin olmasından dolayı kayan-noktalı aritmetik işlemlerinin kullanılması gerekmektedir. Kayan-noktalı aritmetik işlemleri donanımsal olarak gerçekleştirmek tamsayı aritmetik işlemlere göre daha zordur. Bununla birlikte hedeflenen başarımların yanı sıra güç tüketimi kayan-noktalı aritmetik işlemler ile artmaktadır.

Bir-bit dönüşümde yer alan çekirdek ifadesinde normalizasyon işlemi için kullanılan normalizasyon katsayısı 2'nin kuvveti şeklinde değildir. [17]'de önerilen yöntemde

çekirdek süzgecinin normalizasyon katsayısı 2'nin kuvveti olacak şekilde ayarlanmış, aynı zamanda çekirdek süzgecinin yapısı da değiştirilmiştir. Yeni oluşturulan süzgecin yapısı elmas şeklindedir. MF-1BT yönteminde kullanılan çekirdek süzgeci denklem 4.3'te gösterilmektedir. Bu çekirdek süzgecinin frekans yanıtı ise Şekil 4.6'da gösterilmektedir.

$$K = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$



Şekil 4.6: Çarpmasız bir-bit dönüşümünde kullanılan çekirdek süzgecinin frekans yanıtı

MF-1BT'de ifade edildiği gibi süzgeçleme işlemi için piksel başına düşen hesapsal yük 16 toplama ve 1 kaydırma işlemidir. MF-1BT'de kullanılan blok uyumlama ölçütü olan uyumsuz piksel sayısı (NNMP- Number of Non-Matching Pixels) denklem 4.4'te verilmektedir.

$$NNMP(m, n) = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} \{B^t(i, j) \oplus B^{t-1}(i+m, j+n)\} \quad (4.4)$$

$$-s \leq m, n \leq s-1$$

Denklem 4.4'te (m, n) yer değiştirme vektörünü, s arama aralığını, \oplus ise özel veya (EX-OR) işlemine göstermektedir. MF-1BT'de kullanılan uyumlama ölçütü, H.264/AVC uygulamasında kullanılırken kip seçiminde hareket kestirim maliyetini dengelemek için bir ölçekleme katsayı ile çarpılmaktadır. Bu çalışmada ölçekleme katsayısının değeri yapılan denemeler sonucu 40 olarak belirlenmiştir.

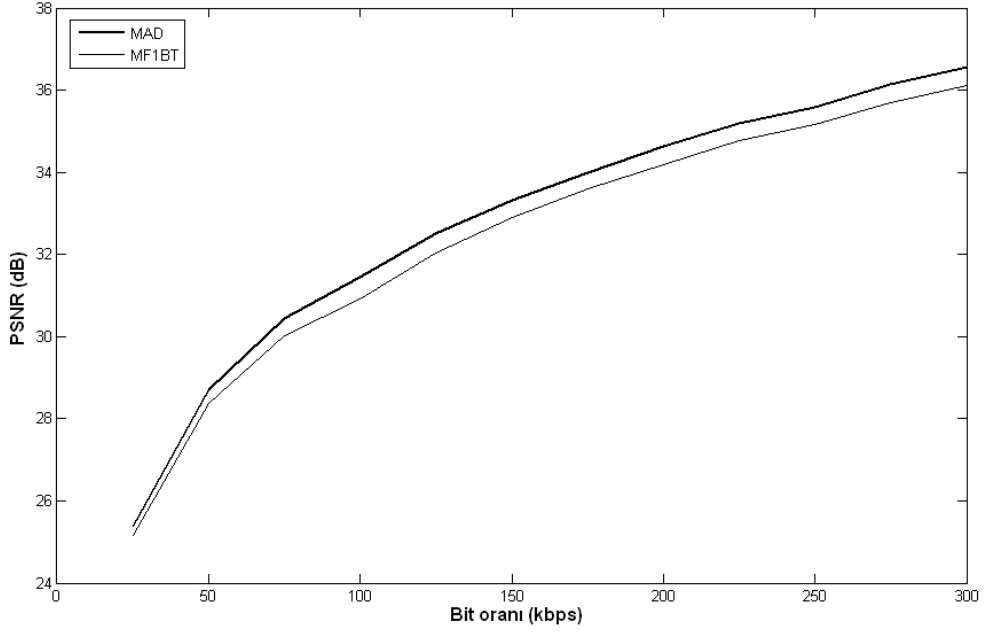
4.3.1 Deneysel sonuçlar

MF-1BT yönteminin video kodlama başarımını değerlendirmek için H.264/AVC video kodlama standardının referans yazılımı olan JM11.0 kullanılmıştır. Yazılımda kullanılan yapılandırma ayarlarından önemlileri Tablo 4.1'de verilmektedir.

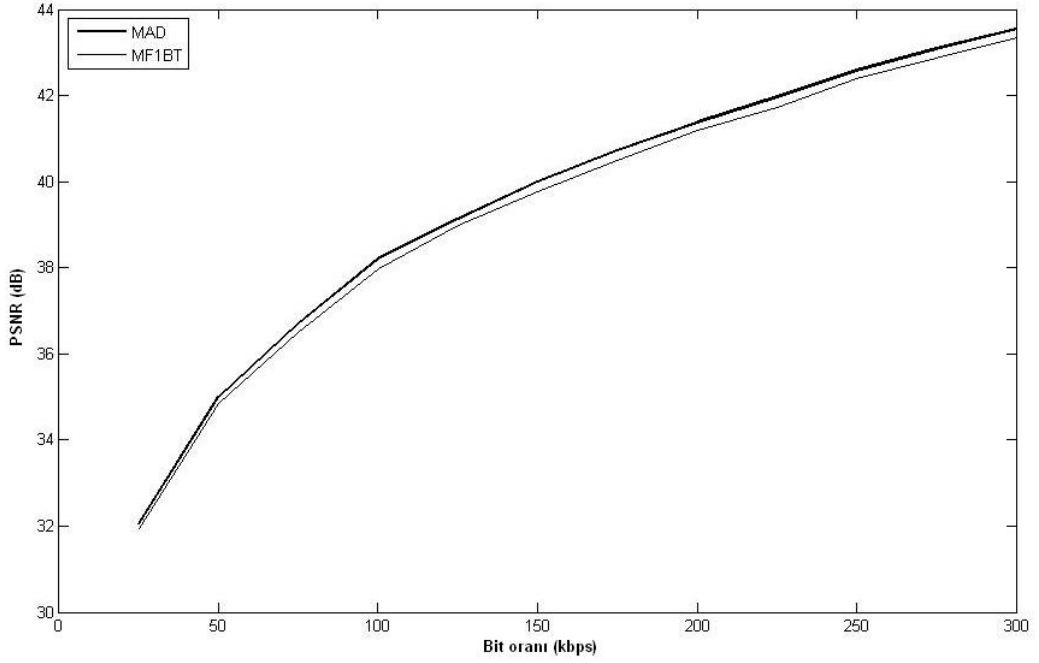
Tablo 4.1: JM11.0 yazılımında kullanılan önemli parametrelerin değerleri

ProfileIDC	77 (Main Profile)
Intra Period	5
DisableSubPelME	1 (on)
NumberReferenceFrames	1
NumberBframes	1
RDOptimization	1
RateControlEnable	1 (Enable)
UseFME	0

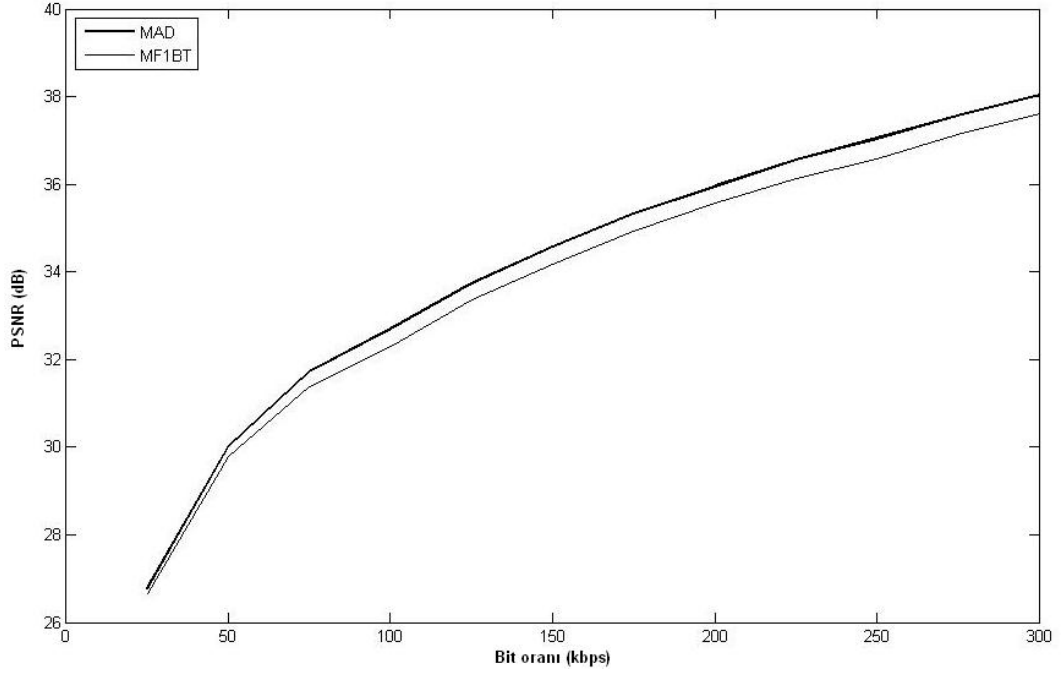
şekil 4.7, şekil 4.8, şekil 4.9 ve şekil 4.10'da farklı görüntü dizileri "Foreman, Mother and Daughter, Carphone, Coastguard" kullanılarak farklı bit oranlarında MAD ve MF-1BT yöntemleri için, nesnel başarımları değerlendirmede kullanılan en büyük işaret gürültü oranı (PSNR- Peak Signal to Noise Ratio) sonuçları verilmektedir. Standart uyumlama ölçütü (MAD) ile MF-1BT yöntemi arasındaki fark en fazla 0.5 dB kadar olmaktadır.



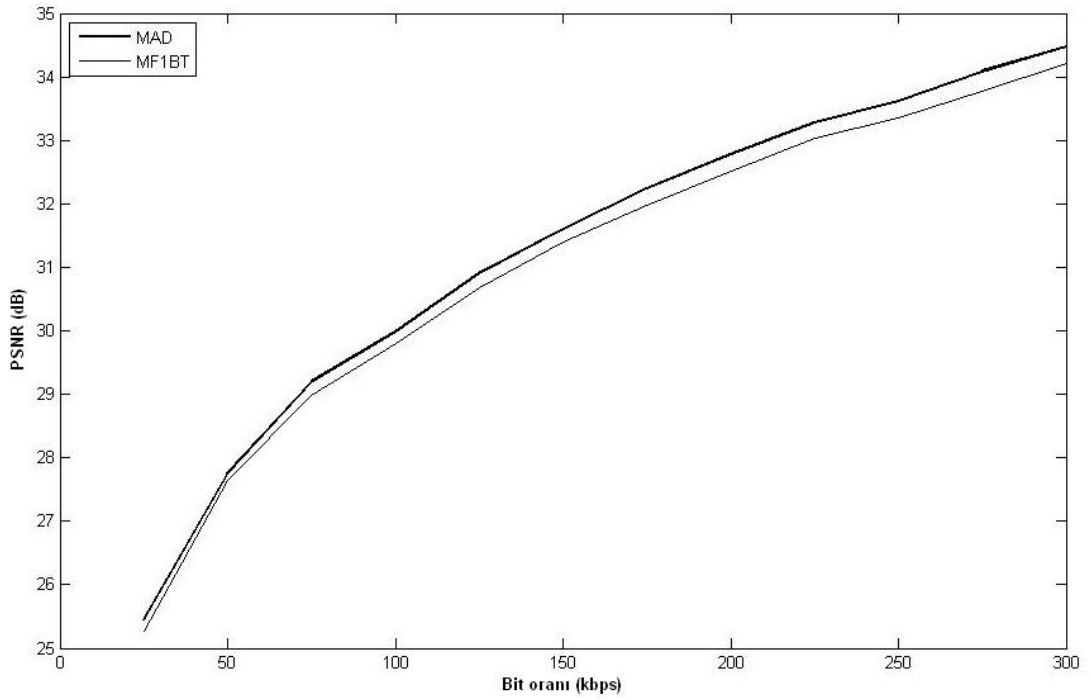
Şekil 4.7: 299 çerçeveden oluşan “Foreman” dizisi için farklı bit oranlarındaki MAD ve MF1BT yöntemlerinin nesnel başarımların değerleri.



Şekil 4.8: 299 çerçeveden oluşan “Mother and Daughter” dizisi için farklı bit oranlarındaki MAD ve MF1BT yöntemlerinin nesnel başarımların değerleri.



Şekil 4.9: 299 çerçeveden oluşan “Carphone” dizisi için farklı bit oranlarındaki MAD ve MF1BT yöntemlerinin nesnel başarımlar değerleri.



Şekil 4.10: 299 çerçeveden oluşan “Coastguard” dizisi için farklı bit oranlarındaki MAD ve MF1BT yöntemlerinin nesnel başarımlar değerleri.

Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'te ise farklı bit oranlarında MAD ve MF-1BT hareket kestirim yöntemleri için ortalama PSNR değerleri verilmektedir. Önerilen yöntemin özellikle hareketin az olduğu "Container" dizisi için elde ettiği başarımla, MAD blok uyumlama ölçütünün elde ettiği başarımına oldukça yakındır.

Tablo 4.2: Farklı bit oranlarında (25-150 kbps) MAD ve MF1BT hareket kestirimi yöntemleri için ortalama PSNR değerleri (dB)

ORTALAMA PSNR DEĞERLERİ (dB)							
Bit Oranı (kbps)		25	50	75	100	125	150
Foreman	MAD	25.38	28.72	30.45	31.44	32.50	33.31
	MF-1BT	25.16	28.38	30.03	30.93	32.03	32.90
Mother and Daughter	MAD	32.04	34.99	36.69	38.22	39.15	40.01
	MF-1BT	31.93	34.85	36.49	37.98	38.98	39.77
Carphone	MAD	26.78	30.02	31.72	32.70	33.75	34.59
	MF-1BT	26.67	29.79	31.39	32.30	33.36	34.17
Coastguard	MAD	25.44	27.75	29.20	29.98	30.90	31.61
	MF-1BT	25.27	27.65	28.99	29.80	30.67	31.40
Container	MAD	28.04	31.75	34.13	35.91	37.24	38.38
	MF-1BT	27.99	31.74	34.06	35.85	37.23	38.35

Tablo 4.3: Farklı bit oranlarında (175-300 kbps) MAD ve MF1BT hareket kestirimi yöntemleri için ortalama PSNR değerleri (dB)

ORTALAMA PSNR DEĞERLERİ (dB)							
Bit Oranı (kbps)		175	200	225	250	275	300
Foreman	MAD	33.99	34.63	35.18	35.59	36.14	36.56
	MF-1BT	33.61	34.18	34.76	35.16	35.69	36.10
Mother and Daughter	MAD	40.74	41.38	41.97	42.58	43.08	43.55
	MF-1BT	40.50	41.18	41.72	42.39	42.88	43.35
Carphone	MAD	35.33	35.95	36.55	37.04	37.56	38.03
	MF-1BT	34.94	35.56	36.13	36.58	37.13	37.62
Coastguard	MAD	32.25	32.79	33.28	33.62	34.09	34.48
	MF-1BT	31.97	32.52	33.03	33.35	33.78	34.21
Container	MAD	39.30	40.08	40.77	41.40	41.99	42.53
	MF-1BT	39.26	40.03	40.74	41.37	41.95	42.49

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen tez kapsamında 1BT hareket kestirimi yaklaşımı ve MF-1BT hareket kestirimi yaklaşımının H.264/AVC video kodlama standardı üzerindeki başarımları değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlardan da görüleceği gibi gerek 1BT yaklaşımının başarımları, gerekse MF-1BT yaklaşımının başarımları standart MAD yaklaşımının başarımlarına oldukça yakındır. Özellikle MF-1BT yaklaşımı, donanımsal olarak oldukça etkin bir şekilde gerçekleştirilebileceğinden, bu yöntem mobil uygulamalar için oldukça elverişlidir.

Alt-piksel doğrulukta 1BT ve MF-1BT hareket kestirimi yaklaşımlarının H.264/AVC video kodlama standardı üzerindeki başarımları değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Recommendation ITU-R BT.601–5, “Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide-screen 16:9 aspect ratios”, *ITU-T*, (1995)
- [2] <http://www.chiariglione.org/mpeg/>(**Ziyaret Tarihi: 4 Mayıs 2007**)
- [3] Tekalp, A.M., “Digital Video Processing ”, *Prentice Hall Pres*, (1995)
- [4] ISO/IEC 11172, “Generic coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1.5Mbits/s”, *ISO*, Kasım, 1993
- [5] ISO/IEC 13818, “Generic coding of moving pictures and associated audio information”, *ISO*, Kasım, 1994
- [6] <http://www.chiariglione.org/mpeg/standards/mpeg-4/mpeg-4/>(**Ziyaret Tarihi: 4 Mayıs 2007**)
- [7] ITU-T Recommendation H.261, “Video Codec for Audiovisual Services at px64kb/s”, *ITU-T*, (1993)
- [8] ITU-T Recommendation H.263, “Video Codec for very Low Bitrate Communication”, *ITU-T*, (1996)
- [9] Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG, "Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification (ITU-T Rec. H.264/ISO/IEC 14496-10 AVC)", *JVT-G050*, Mart, 2003
- [10] P. Lampert, W. De Neve, Y. Dhondt, R. Van de Walle, “Flexible macroblock ordering in H.264/AVC”, *J. Vis Commun. Image R.*, 17, 358-375, (2006)
- [11] G. J. Sullivan, P. Topiwala, A.Luthra, “The H.264/AVC Advanced Video Coding Standard: Overview and Introduction to the Fidelity Range Extensions”, *SPIE Conference on Applications of Digital Image Processing XXVII*, Ağustos, 2004
- [12] Iain E.G. Richardson, “H.264 and MPEG-4 Video Compression”, *UK: Wiley & Sons*, 2003
- [13] T. Koga, K. Iinuma, A. Hirano, Y. Iijima, and T. Ishiguro, “Motion-Compensated Interframe Coding for Video Conferencing”, *Proc. of Nat. Telecommun. Conference*, G5.3.1–5.3.5, (1981)
- [14] J. R. Jain, A. K. Jain, “Displacement Measurement and Its Application in Interframe Image Coding”, *IEEE Trans. Communication*, 29, 1799–1808, Aralık, (1981)

- [15] R. Li, B. Zeng, M. L. Liou, "A New Three-Step Search Algorithm for Block Motion Estimation", *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 4(4), 438–442, (1994)
- [16] B. Natarajan, V. Bhaskaran, K. Konstantinides, "Low-Complexity Block-Based Motion Estimation via One-Bit Transforms", *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 7(4), 702–706, (1997)
- [17] S. Ertürk "Multiplication-Free One-Bit Transform for Low-Complexity Block-Based Motion Estimation", *IEEE Signal Processing Letters*, 14(2), 109-112, (2007)
- [18] A. Ertürk, S. Ertürk, "Two Bit Transform for Binary Block Motion Estimation", *IEEE Trans. On Circuits and Systems for Video Technology*, 15(7), 938-946, (2005)
- [19] P. H. W. Wong, O. C. Au, "Modified One-Bit Transform for Motion Estimation", *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technology*, 9(7), 1020-1024, (1999)
- [20] http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/old_jm/(**Ziyaret Tarihi: 10 Şubat 2007**)

KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER

1. Orhan AKBULUT, Oğuzhan URHAN, Sarp ERTÜRK, “Frekans Eğriltme Temelli İyileştirilmiş Blok Hareket Kestirimi”, *XV IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, Haziran 2007, Eskişehir
2. Orhan AKBULUT, Oğuzhan URHAN, Sarp ERTÜRK, “Çarpmasız Bir-Bit Dönüşümü Temelli Blok Hareket Kestiriminin H.264/AVC’ye Uygulanması”, *XV IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, Haziran 2007, Eskişehir
3. Orhan AKBULUT, Oğuzhan URHAN, Sarp ERTÜRK, “Fast Sub-Pixel Motion Estimation by means of One-Bit Transform”, *Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*, Kasım 2006, İstanbul.
4. Orhan AKBULUT, Oğuzhan URHAN, Sarp ERTÜRK, “Alt Piksel Doğrulukta Hızlı Hareket Kestirimi için Bir-Bit Dönüşümünün Kullanılması”, *XIV IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, Nisan 2006, Antalya.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Kütahya'nın Gediz ilçesinde doğdu. İlköğrenimini 1 Eylül İlköğretim Okulu'nda, orta ve lise öğrenimini ise Gediz Mustafa Necip Alayeli Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2001 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'ne başladıktan sonra 2005 yılında mezun oldu. 2005 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisansa başladı. 2007 yılında mezun olma durumundadır.