



Assessment of the performance of low Bit-Depth representation based motion estimation methods on HEVC

Ramazan Duvar¹, Ayhan Küçükmanisa¹, Orhan Akbulut^{2*}, Asun Taşyapı Çelebi¹, Oğuzhan Urhan¹

¹Kocaeli University, Faculty of Engineering, Department of Electronic and Communication Engineering, Izmit-Kocaeli, 41380, Turkey

²Kocaeli University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Izmit-Kocaeli, 41380, Turkey

Highlights:

- Motion estimation approaches in High Efficiency Video Coding
- Low-bit depth based motion estimation approaches
- Sparse search based motion estimation

Keywords:

- Video coding
- Motion estimation
- Low bit representation

Article Info:

Research Article
Received: 18.12.2017
Accepted: 21.03.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.416537

Acknowledgement:

This study was supported by the Turkish Scientific and Technological Research Council (TUBITAK) under project no EEEAG/115E921.

Correspondence:

Author: Orhan Akbulut
e-mail: orhan.akbulut@kocaeli.edu.tr
phone: +90 262 303 3557

Graphical/Tabular Abstract

In this study, a detailed comparative analysis of low bit-depth based motion estimation approaches has been performed on the latest video coding standard HEVC. Thus, actual performance of these approaches has been revealed in a full encoder whereas open loop performance evaluations were carried out in the past mostly. It has also been investigated for the first time in the literature to integrate these approaches with the sparse search based methods on HEVC to further accelerate low bit depth representation based motion estimation approaches. As shown in Figure A, the encoder block diagram of HEVC is modified considering low bit transform of the input frames and reconstructed frames. Input and reconstructed frames having low bit resolution are then utilized at the motion estimation stage.

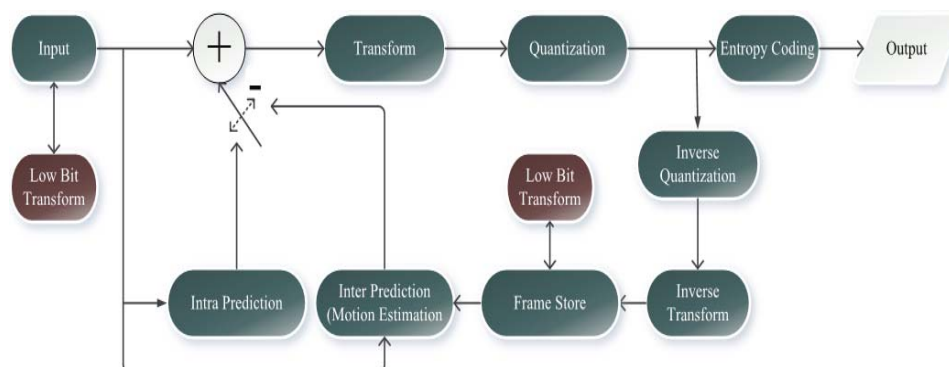


Figure A. Block-diagram of the proposed video encoder scheme

Purpose: The purpose of the research is to evaluate the performance of low bit-depth based motion estimation approaches on the latest state of the art video coding standard, HEVC.

Theory and Methods:

In video coding applications, input frames to be coded are generally represented by 8 bits per pixel or higher. Low-bit depth representation based methods aim to represent the input frames as lower bit resolution (e.g. binary images). These methods enable to use EX-OR Boolean operation instead of Minimum Absolute Difference (MAD) or Mean Square Error (MSE) in the block matching based motion estimation stage. Thus, they can be efficient in terms of hardware and parallel implementation. However, the performance of the motion estimation may decrease when these methods are integrated into the video coding. In this context, in this study, the performance of these methods under sparse-search and full-search are examined.

Results:

All methods applied in this study were performed on HEVC's reference software HM 16.7. Experimental results show that low-bit depth based methods somewhat compromise in terms of motion estimation performance. Secondly, it has been found that performance degradation will occur if the so-called TZS algorithm used in the HEVC reference software is directly combined with low-bit-depth images.

Conclusion:

The performance degradation of the low-bit representation methods in HEVC can be negligible under the full-search based motion estimation whereas the amount of this degradation may increase, especially in TZS, under the sparse search based motion estimation.



HEVC üzerinde düşük Bit-Derinliğine sahip hareket kestirim yöntemlerinin başarımlarının değerlendirilmesi

Ramazan Duvar¹, Ayhan Küçükmanisa¹, Orhan Akbulut^{2*}, Aysun Taşyapı Çelebi¹, Oğuzhan Urhan¹

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İzmit-Kocaeli, 41380, Türkiye

²Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İzmit-Kocaeli, 41380, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Yüksek verimli video kodlamada hareket kestirim yaklaşımları
- Düşük bit derinliğine sahip hareket kestirim yaklaşımları
- Seyrek arama temelli hareket kestirimi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 18.12.2017

Kabul: 21.03.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.416537

Anahtar Kelimeler:

Video kodlama,
hareket kestirimi,
düşük bit gösterimi

ÖZET

Bu çalışmada düşük bit derinliği gösterimi temelli hareket kestirimi yaklaşımlarının en güncel video kodlama standardı olan HEVC üzerinde detaylı bir karşılaştırmalı analiz gerçekleştirilmiştir. Böylelikle geçmişte çoğunlukla açık çevrim performans değerlendirmesine tabii tutulan bu yaklaşımların bir kodlayıcı içerisindeki gerçek performansı ortaya çıkarılmıştır. Bunun yanı sıra, düşük bit derinliği gösterimi temelli hareket kestirim yaklaşımlarının daha da hızlandırılması için seyrek arama yaklaşımları ile tümleştirerek HEVC üzerine uygulanması literatürde ilk kez incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda HEVC referans yazılımında kullanılan TZS isimli algoritmanın düşük-bit derinliğindeki görüntüler üzerinde kullanımı durumunda performans kaybı oluşacağı çıkarılmıştır.

Assessment of the performance of low Bit-Depth representation based motion estimation methods on HEVC

H I G H L I G H T S

- Motion estimation approaches in high efficiency video coding
- Low-bit depth based motion estimation approaches
- Sparse search based motion estimation

Article Info

Research Article

Received: 18.12.2017

Accepted: 21.03.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.416537

Keywords:

Video coding,
motion estimation,
low bit representation

ABSTRACT

In this study, a detailed comparative analysis of low bit-depth based motion estimation approaches has been performed on the latest video coding standard HEVC. Thus, actual performance of these approaches has been revealed in a full encoder whereas open loop performance evaluations were carried out in the past mostly. It has also been investigated for the first time in the literature to integrate these approaches with the sparse search based methods on HEVC to further accelerate low bit depth representation based motion estimation approaches. As a result of this work, it has been found that performance degradation will occur if the so-called TZS algorithm used in the HEVC reference software is directly combined with low-bit-depth images.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: ramazan.duvar@kocaeli.edu.tr, ayhan.kucukmanisa@kocaeli.edu.tr, orhan.akbulut@kocaeli.edu.tr, aysun.tasyapi@kocaeli.edu.tr, urhano@kocaeli.edu.tr / Tel: +90 262 303 3557

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde, akıllı telefon, tablet vb. tüketici elektroniği cihazları, güvenlik kameraları ve yüksek çözünürlüklü televizyonların yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu cihazlar ile video kaydetme ve aktarma işlemlerinin yapılabilmesi için gerçek zamanlı video kodlama uygulamalarına duyulan talep artmaktadır. Bu cihazlar ile etkin bir video kodlama gerçekleştirilmesi cihazlardaki güç tüketimi ve sınırlı hafıza ve işlem gibi kısıtlardan dolayı zorlu bir problem haline dönüşmektedir. Bu sebeple enerji ve kaynak kullanımı konusunda etkin çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Standart bir video kodlayıcıda hareket kestirimi (HK), kodlama süresinin yaklaşık %50-70'inden fazlasını haralayabilmektedir [1]. HK işleminin video kodlayıcılara getirdiği bu işlem yükünü ve kaynak kullanımını video kalitesinden ödün vermeden azaltmak için özellikle gerçek-zamanlı uygulamalarda kullanılacak daha düşük işlem yüküne sahip HK algoritmalarının kullanılması kaçınılmazdır.

Video kodlayıcılarda geleneksel olarak mutlak farkların toplamı (SAD) uyumlama ölçütü kullanan blok uyumlama temelli HK yaklaşımı kullanılmaktadır. Blok uyumlama yaklaşımında, imge çerçeveleri öncelikle birbirleriyle örtüşmeyen bloklara ayrılmaktadır. Sonrasında ise her bir blok, referans çerçevede önceden belirlenmiş bir arama penceresi içinde tüm aday noktalarda aranarak ilgili bloğa SAD ölçütüne göre en çok benzeyen blok bulunmaktadır. İlgili blok için arama penceresi içerisindeki bütün aday noktalarda arama yapıldığı için bu yaklaşım tam arama yaklaşımı olarak isimlendirilmektedir. Bu yaklaşımın en büyük dezavantajı ise yüksek miktarda işlem yüküne sahip olmasından dolayı gerçek zamanlı veya mobil uygulamalarda kullanılmasının mümkün olmamasıdır. Bu sebeple literatürde tam arama temelli HK'nin işlem yükünü azaltıp donanımsal olarak gerçekleşmesini de sağlayan farklı yaklaşımlar önerilmiştir.

1280×720 (HD) ve 1920 ×1080 (Tam HD) gibi yüksek çözünürlüklü videoların yaygın şekilde kullanımı ve hatta 4K, 8K gibi daha yüksek çözünürlüklü videoların bazı uygulamalarda kullanılmaya başlanması daha verimli video sıkıştırma yaklaşımlarının geliştirilmesini de gerekli kılmıştır. Artan görüntü çözünürlükleri sonucu veri kaydı için gerekli alanı azaltmak ve gerçek zamanlı iletişim durumunda daha az bant genişliği kullanmak amacıyla 2013 yılında Yüksek Verimli Video Kodlama (HEVC) standardı resmi olarak ilan edilmiştir. Bu yeni standart, aynı video kalitesi için literatürde var olan diğer video kodlama standartlarından daha fazla bit kazancı sağlamaktadır. Özellikle bir önceki standart olan H.264/AVC ile karşılaştırıldığında HEVC, video kalitesinden ödün vermeden sıkıştırma performansı bakımından %50 kadar daha iyi performans sağlamaktadır [2, 3]. HEVC kodlayıcı yapısı incelendiğinde standart video kodlayıcılara benzer şekilde en fazla işlem yükünün HK aşamasında olduğu gözlemlenmektedir. Bu sebeple de HEVC'de düşük işlem

yüküne sahip HK yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Aslında, güncel video kodlayıcıların kodlama sırasında tam arama temelli HK yerine kullandıkları hızlı HK yöntemleri bulunmaktadır. H.264/AVC'de bu amaçla, Gelişmiş Tahmini Bölgesel Arama (EPZS) [4] kullanılırken HEVC'de Test Bölgesi Araması (TZS) [5] algoritması kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar tam arama temelli HK ile karşılaştırıldığında hızlı olmalarına rağmen donanımsal gerçeklemeye uygun olmayan algoritmalarlardır.

Literatürde tam arama temelli HK'nin işlem yükünü ve güç tüketimini azaltmak için farklı yaklaşımlar önerilmiştir. Bu yaklaşımlardan birisi, tam aramada tüm aday noktalar için hareket vektörlerinin aranması yerine sadece önceden belirlenmiş bazı noktalarda arama yaparak arama noktası sayısını azaltan seyrek arama temelli HK yöntemleridir. Bu yaklaşıma örnek olarak üç-adımlı arama (TSS) [6], yeni üç adımlı arama (N3SS) [7], dört adımlı arama (4SS) [8], elmas biçimli arama (DS) [9] ve altıgenel arama (HS) [10] verilebilir.

HK işleminin hesaplama yükünü azaltmak için kullanılan diğer yaklaşımda ise, imgelerin 8-bit/piksel derinliğinde ifade edilmesi yerine daha düşük bit derinliğinde temsil edilerek işlem yükünün düşürülmesi hedeflemiştir. Bu yaklaşımlar, uyumlama kriterini hesaplarken SAD ölçütünü kullanmak yerine hesapsal olarak daha düşük karmaşıklığa sahip mantıksal özel-veya işlemi temelli donanımsal ve paralel gerçeklemeye uygun bir uyumlama ölçütü kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlarda, HK performansından bir miktar ödün verilerek, daha az donanımsal kaynak ve enerji harcanması mümkündür. Bu yaklaşımlardan bazıları bir-bit dönüşümü (1BT) [11], çarpmasız bir-bit dönüşümü (MF-1BT) [12] ve iki-bit dönüşümü (2BT) [13], kısıtlanmış bir-bit dönüşümü (C-1BT) [14], kesik Gray-kodlanmış bit-uzayı uyumlaması [15] ve son zamanlarda önerilen seçmeli Gri kodlama'dır [16, 17].

Bu makalede, Bölüm 2'de düşük bit derinliğine sahip yaklaşımlar detaylı olarak anlatılmıştır. Bölüm 3'te HEVC kodlayıcı yapısı ve TZS isimli HK algoritması anlatılmıştır. Bölüm 4'te düşük bit gösterim temelli hareket kestirim yöntemlerinin HEVC'ye uygulanmasına ve Bölüm 5'te ise deneysel sonuçlara yer verilmiştir.

2. DÜŞÜK BİT DERİNLİĞİNE SAHİP YAKLAŞIMLAR (LOW BIT DEPTH MOTION ESTIMATION APPROACHES)

Bu bölümde, literatürde düşük bit derinliği kullanarak HK yapan yaklaşımlardan ana hatlarıyla bahsedilmiştir.

2.1. 1BT Dönüşümü (One-Bit Transform)

1BT yaklaşımı [11], 8-bit çözünürlüğündeki imge çerçevelerini 1-bit derinliğindeki imge çerçevelerine dönüştürmektedir. Bu işlem için öncelikle Eş. 1'de verilen çekirdek ile imgeler evrişim yoluyla süzgeçlenmektedir.

2.4. Kısıtlanmış 1BT Dönüşümü (Constraint One-Bit Transform)

[14]'te önerilen kısıtlanmış bir-bit dönüşümü ((C-1BT)) temelli yöntemde de 2BT yöntemindeki gibi iki-bit uzayı kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemde ilk bit uzayı MF-1BT'de olduğu gibi oluşturulurken ikinci bit uzayı ise uyumlamaya katılacak pikselleri tespit etmek üzere Eş. 7'de verilen kısıt maskesi (CM) olarak adlandırılan orijinal ve süzgeçlenmiş çerçeve arasındaki mutlak farkı sabit bir eşik değeri D ile karşılaştırarak oluşturulmaktadır.

$$CM(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } |I(i, j) - I(i, j) * K_{MF-1BT}| \geq D \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (7)$$

CM, uyumlama aşamasında hesaba katılabilecek güvenilir piksellere karar vermek için kullanılır. CM'deki sıfır değerleri güvenilir olmayan piksellere karşılık gelir ve uyumlama aşamasında bu piksellerin kullanılmaması gerektiğini gösterir. Bu yöntem için önerilen kısıtlanmış uyumsuz nokta sayısı (CNNMP) uyumlama ölçütü ise;

$$CNNMP(m, n) = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} \{CM^t(i, j) \parallel CM^{t-1}(i + m, j + n)\} \odot \{B^t(i, j) \oplus B^{t-1}(i + m, j + n)\} \quad (8)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte \odot mantıksal ve işlemini göstermektedir. Bu yaklaşım 2BT ile karşılaştırıldığında hem dönüşüm aşamasında daha düşük işlem yüküne sahip olup hem de daha yüksek HK performansı sergilemektedir.

2.5. Kesik Gri Kodlama (Truncated Gray Coding)

[15]'de bit kesme tekniği temelli yeni bir HK yöntemi (T-GCBPM) ve bu yöntemin donanım mimarisi gösterilmiştir. Önerilen yaklaşımda 1BT, 2BT ve C-1BT yöntemlerine benzer şekilde imgedeki piksellerin 8 bit çözünürlüğü yerine daha az bit ile temsil edilerek HK yapılması önerilmektedir. Bu yaklaşımda piksellerin ikili karşılıklarını doğrudan kullanmak yerine Gri kodu karşılıklarının kullanılması ve Gri kodlarının da belli sayıdaki en düşük değerlikli bitlerin kesilmesi ile HK işlemi yapılmaktadır. Bu yöntemle imgeler ikilileştirildikten sonra uyumlama aşamasında kullanılan uyumlama ölçütü CM_{TGC} ise aşağıdaki eşitlikteki gibi hesaplanmaktadır (Eş. 9).

$$CM_{TGC}(m, n) = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{k=NTB}^{K-1} 2^{k-NTB} \times \left\{ \begin{matrix} g_k^c(i, j) \oplus \\ g_k^r(i + m, j + n) \end{matrix} \right\} \quad (9)$$

Burada k ilgili bit-uzayını, kesilen bit sayısını (NTB), ve g_k^c ve g_k^r o anki ve referans çerçeve için k . bit uzayı için Gri kodları göstermektedir. NTB, [15]'deki gibi 5 olarak ayarlandığından eşleme için üç bit düzlemi kullanılmaktadır.

2.6. Seçici Gri Kodlama (Selective Gray Coding)

[16-17]'deki çalışmada Seçici Gri (SG) kodlama temelli (SGC) 1-bit derinliğinde HK yöntemi önerilmiştir. Bu

yaklaşımda 1-bit düzlemini oluşturmak için Gri kodlanmış piksel değerlerinden oluşan en değerlikli 3 bit düzleminde (g_5, g_6, g_7) sırayla seçme yapılmaktadır. Şekil 1'de gösterilen bit düzlemi seçme işlemi hem referans blok hem de aday bloklar için gerçekleştirilmektedir.

g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5
g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6
g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7
g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5
g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6
g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7
g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5
g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6
g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7
g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5
g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6
g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7
g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5
g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6
g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7
g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5
g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6
g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7
g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5
g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6
g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7
g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5	g6	g7	g5

Şekil 1. SG temelli yöntemde bit düzlemlerinin seçilmesi (Bit plane selection in SGC method)

SG yöntemiyle oluşturulan 1-bitlik görüntü ile standart NNMP hesabı yapılarak hareket vektörleri tespit edilmektedir. Bu yaklaşım bir-bit kullanan (1BT, MF-1BT) HK yaklaşımlarına göre daha yüksek HK başarımı verirken iki-bit kullanan yaklaşımlar (C-1BT, 2BT) ile kıyaslandığında hemen hemen aynı performansı vermektedir.

2.7. Diğer Yaklaşımlar (Other Approaches)

[18]'de iyileştirilmiş 2BT yöntemi temelli bir yaklaşım sunulmuş ve bu yaklaşımda uyumlama ölçütünün hesabında yapılan değişiklik ile HK başarımının artırılması hedeflenmiştir. [19]'da C-1BT yönteminde önerilen kısıt maskesine ağırlık faktörü eklenerek iki bit kullanan kısıt maskesi önerilmiş ve böylelikle toplamda üç bit uzayı kullanılarak HK başarımının artırılması hedeflenmiştir. [20]'de ikilileştirme aşamasında bulanık mantık kullanımı önerilmektedir. [21]'de, C-1BT tabanlı bir HK yöntemi sunulmaktadır. Bu yaklaşımda HK'nın başarımını arttırmak için daha geniş dinamik aralık sağlayan yeni bir NNMP ölçütü kullanılması önerilmektedir. Önerilen geliştirilmiş NNMP ölçütü ile standart NNMP kullanan HK yaklaşımlarının performansı arttırılmaktadır.

Düşük bit-gösterimi temelli yöntemlerin diğer hareket vektörü kestirimi hızlandırma yaklaşımları ile birlikte kullanımını da literatürde son zamanda ele alınmıştır. Örneğin, 1BT ve 2BT yaklaşımları için erken sonlandırma yaklaşımlarının kullanımı [22, 23]'te sunulmuştur. C-1BT yaklaşımının erken sonlandırma ve seyrek arama yaklaşımları ile birlikte kullanımını [24]'te ele alınmıştır. Düşük bit-gösterimi temelli yaklaşımlar için uyarlamalı arama bölgesi seçimi yapan çalışmalar da literatürde

mevcuttur [25-28, 29]'daki çalışmada ise video dizilerinde çoklu nesne hareketini kestirmek ve algılamak için kullanılabilir hızlı bir algoritma önerilmektedir.

3. HEVC HAREKET KESTİRİMİNE GENEL BİR BAKIŞ (OVERVIEW OF MOTION ESTIMATION IN HEVC)

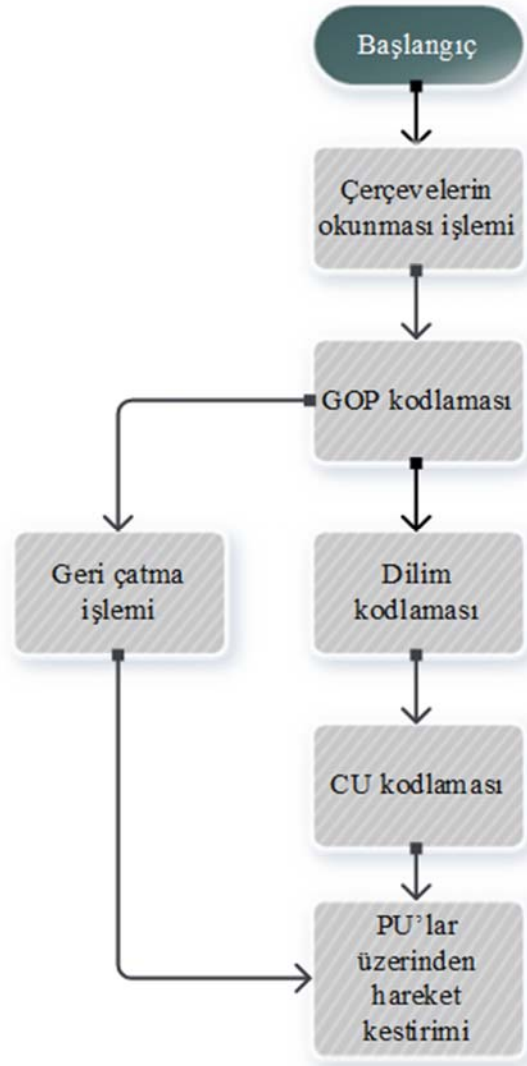
H.264/AVC standardında temel kodlama birimleri makro-blok olarak isimlendirilmekte ve boyutları ise en fazla 16×16 piksel olabilmektedir. 4K veya 8K gibi yüksek çözünürlüklü videoların daha verimli kodlanabilmesi için daha büyük blok boyutlarına ve daha esnek bir kodlama yapısına ihtiyaç duyulmuştur. HEVC'de bulunan HK işlemlerinin genel bir akış şeması Şekil 2'de verilmiştir.

Kodlama işlemleri için ilk olarak, orijinal çerçeveler alınarak görüntü grupları (GOP) oluşturulmaktadır. Bir sonraki aşama ise dilimlerin kodlanmasıdır. Dilim kodlaması içerisinde kodlama ağaç üniteleri (CTU) ve kodlama üniteleri (CU) oluşturulmakta ve HK işlemleri CU'ların kestirim üniteleri (PU) kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Artıklık kodlaması için ise dönüşüm üniteleri (TU) kullanılmaktadır. Bununla birlikte GOP yapılarının kodlanması sırasında geri çatılmış çerçeveler de referans olarak HK işlemlerine dahil edilmektedir.

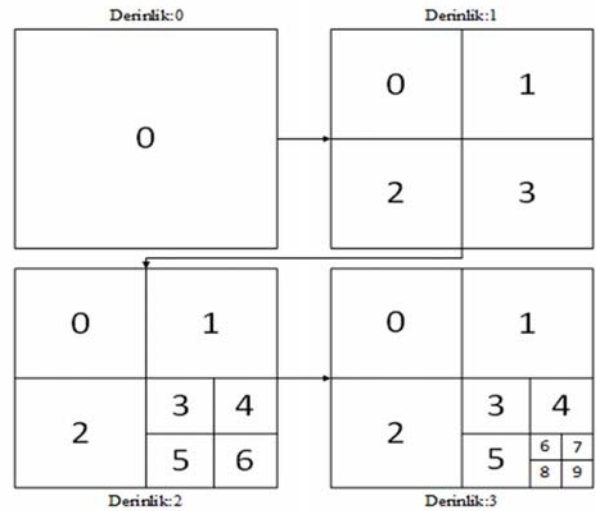
3.1. Ağaç Yapısı (Tree Unit)

HEVC'de çerçevelerin kodlanması aşamasında CTU isimli yapılar kullanılmıştır. CTU yapıları en fazla 64×64 piksel büyüklüğünde olabilmektedir. CTU'lar kendi içinde CU adı verilen birçok parçadan oluşabilmektedir. CU boyutları 64×64 pikselden başlayıp 8×8 piksele kadar düşebilmektedir. Bu durum CU'ların Şekil 3'te detaylı bir şekilde gösterildiği gibi 4 farklı derinlikte olabileceği anlamına gelmektedir. Şekil 3'ten de görüldüğü gibi derinliğin sıfır olarak kabul edildiği ilk aşamada CU boyutu CTU boyutuna eşit olarak alınmakta ve bu CU için çerçeveler arası kestirim ve çerçeve içi kestirim modları denenerek maliyet hesabı yapılmaktadır. Maliyet hesabı, kodlanacak bloğa ait hareket vektörü ve artıklık bilgisi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bir sonraki derinlik (derinlik 1) seviyesinde CTU dört eşit CU'ya bölünmekte ve bir önceki derinlikte (derinlik 0) yapılmış olan hesaplamalar bu seviyedeki her CU için tekrar gerçekleştirilmektedir. Sonraki derinlikler için de bu işlemler aynı şekilde gerçekleştirilerek maliyet hesabı yapılmakta ve bu hesapla birlikte oran-bozunum değerleri de dikkate alınarak ağaç yapısının nihai şekli verilmektedir. Bu işlemler HEVC'deki işlem yükünün önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Derinlik seviyesini azaltarak HEVC kodlayıcının hesapsal karmaşıklığını düşürmek mümkündür.

Maliyet hesabı işlemleri sonrasında çerçevenin ana iskeletini oluşturan CTU'lar farklı derinliklere sahip CU'lar içerebilir. Bu nedenle, kodlanacak her bir video çerçevesinde bulunan CTU'lar farklı bir ağaç yapısına sahip olabilir. Şekil 4'te CTU'ya ait örnek bir CU dağılımı ve buna ait ağaç yapısı verilmiştir.



Şekil 2. HEVC'deki hareket kestirimi akış şeması (Flowchart of motion estimation in HEVC)



Şekil 3. Örnek bir dörütlü-ağaç yapısı (A sample quad-tree unit)

CU'lar üzerinden HK işlemleri farklı kestirim üniteleri (PU) kullanılarak yapılmaktadır. HEVC'de kullanılan gelişmiş kestirim modları Şekil 5'te verilmiştir. Örneğin, $2N \times 2N$ boyutunda bir CU için PU boyutları $2N \times 2N$, $N \times N$, $N \times 2N$, $2N \times N$ vb. şeklinde olabileceği gibi asimetrik boyutlarda da olabilmektedir.

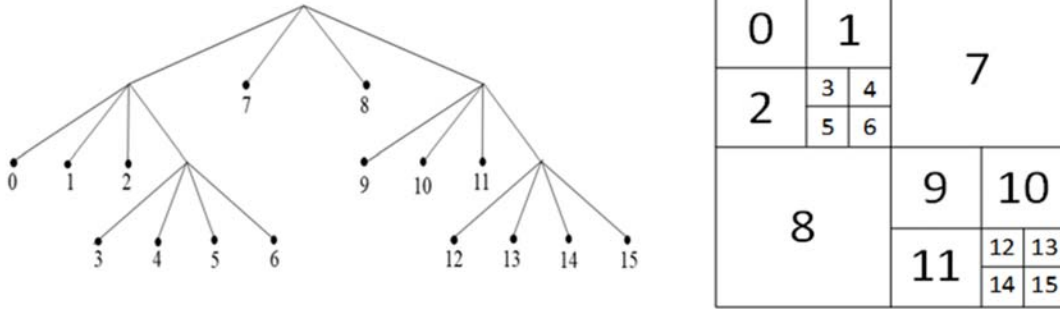
Ağaç yapısının ve PU yapılarının esnekliği, CU'larm çerçeve-içi kestirim, çerçeveler-arası kestirim ve dönüşüm kodlaması olmak üzere farklı amaçlar için kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede, bir önceki video kodlama standardı olan H.264/AVC'ye göre daha yüksek bir video kodlama başarımı sağlayan HEVC, özellikle yüksek çözünürlüklü videolarda daha önceki video kodlama standartlarına göre aynı görsel kaliteyi daha az bit tüketimi gerçekleştirerek sağlamaktadır.

3.2. Hareket Kestirimi (Motion Estimation)

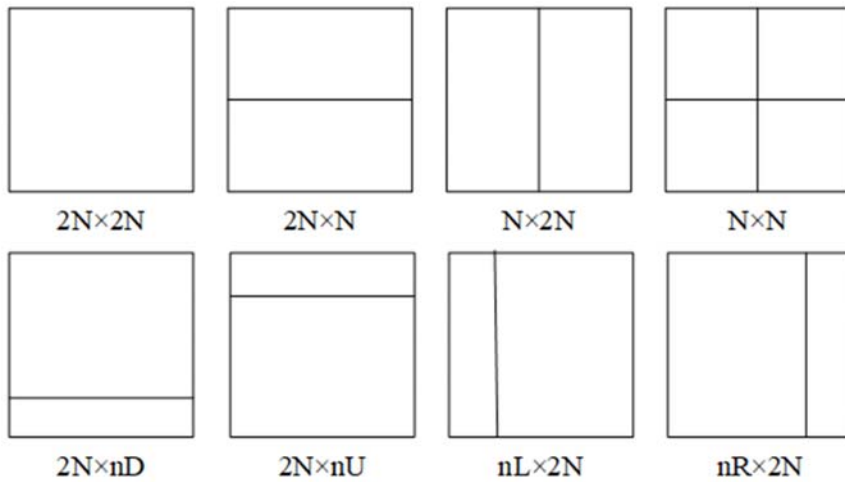
HEVC'de diğer video kodlayıcılarda olduğu gibi, HK işlemi için tam ve seyrek arama olmak üzere iki yaklaşım kullanılmaktadır. Seçilen yapılandırma parametrelerine (B ve P çerçeveleri) göre HK işlemleri için kullanılacak aday bloklar önceki ve/veya sonraki çerçevelerde aranabilmektedir. Tam arama yaklaşımı, önceki video kodlama standartlarındaki yapıya benzer şekilde HK

yapılacak blok için önceden belirlenmiş arama penceresi içinde her aday blok için blok uyumlama hesabı yapılarak en uygun aday bloğun bulunmasıdır. Artıklık kodlaması ve hareket vektörlerinin kodlanması için gereken bit miktarları göz önünde bulundurularak uygun hareket vektörüne karar verilmektedir. HEVC'de kullanılan TZS yaklaşımı elmas ve ızgara aramanın birleştirilmiş bir versiyonu olarak değerlendirilmekle birlikte, kodlama zamanını %90'a kadar azaltabilmektedir. TZS algoritmasının akış şeması Şekil 6'da verilmiştir.

TZS algoritmasında ilk olarak kodlama yapılacak blok için hareket vektörü hesaplanmış komşu blokların yardımıyla HK işlemine başlanacak olan nokta belirlenmektedir. Sonraki aşamada ise elmas veya kare örüntü kullanılarak uyumlama ölçütünün en uygun sonucu verdiği pozisyon tespit edilmektedir. TZS'de kullanılan elmas örüntüsü Şekil 7'de verilmiştir. Standart elmas arama örüntüsünden farklı olarak daha büyük ve aşamalı bir elmas yapısı kullanılmaktadır. Bu yapıdaki arama aralıkları 1 ile 64 arasında 2'nin kuvveti olacak şekilde belirlenmektedir. Şekil 7'de verilmiş olan rakamlar arama merkezine olan uzaklığı temsil etmekte ve arama işlemi iç içe geçmiş elmas örüntüler üzerinden gerçekleştirilmektedir. Uzaklığın artması ise bir sonraki tura geçildiği anlamına gelmektedir. Her turda belirli uzaklıkta kalan noktalarda uyumlama ölçütü

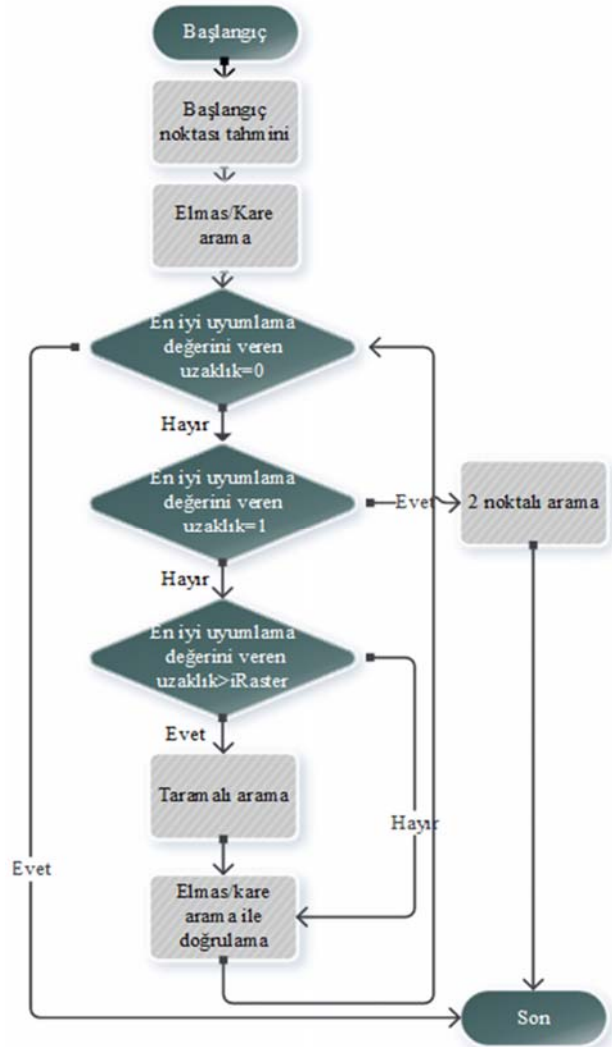


Şekil 4. Örnek bir CTU yapısı (A sample CTU structure)

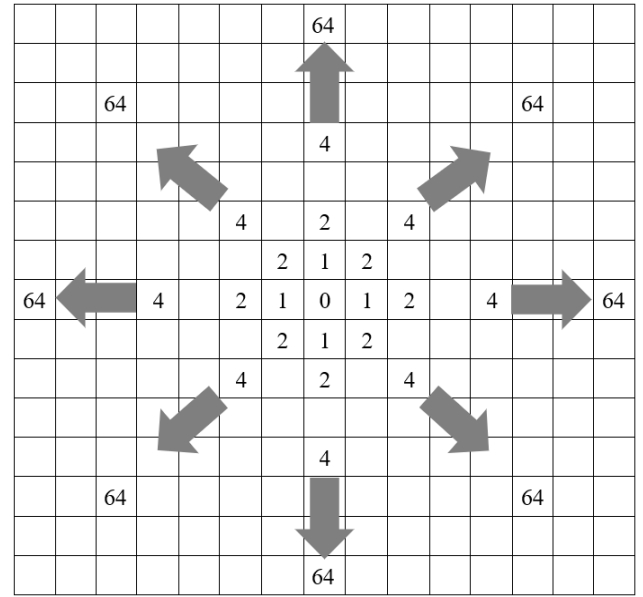


Şekil 5. PU'lar için kestirim modları (Prediction modes for PUs)

hesaplanmaktadır. İki tur sonunda en iyi uyumlama değerini veren nokta değişmiyorsa o konum o an için en iyi hareket vektörü olarak belirlenmekte ve arama örüntüsünün kontrol etmemiş olduğu iki nokta için de uyumlama ölçütü hesaplanarak karar verme işlemi gerçekleştirilmektedir. Fakat bu noktada bir istisna olarak elmas örüntüsünün yapısından dolayı eğer en iyi hareket vektörü 0 seçilmişse iki noktalı arama yapmaya gerek kalmamaktadır. Hesaplanmış olan en iyi hareket vektörü daha önceden belirlenmiş olan tarama eşik değerinden büyükse yerel bir minimum noktasına takılmamak için ızgara şeklinde taramalı bir yapıda belirli noktalar kontrol edilerek en iyi uyumlama değerini veren nokta belirlenmektedir. Izgara şeklindeki arama işleminde arama aralıkları tarama eşik değeri parametresi büyüklüğüdür. Izgara şeklindeki arama işleminde en iyi uyumlama değerini veren nokta belirlendikten sonra ise ilk aşamadaki elmas veya kare örüntü ile arama işlemlerine benzer olarak özinyeli bir şekilde en iyi uyumlama değerini veren son hareket vektörü hesaplanmaktadır.



Şekil 6. TZS algoritmasının akış şeması (Flowchart of TZS algorithm)



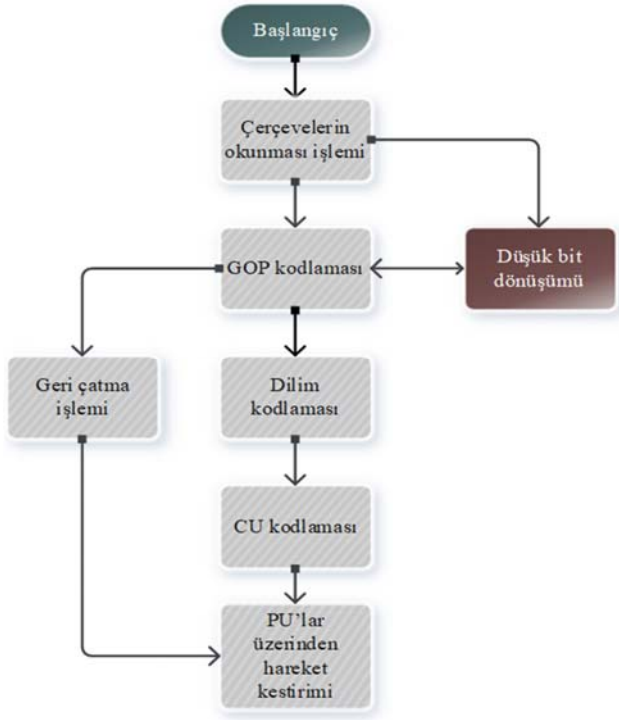
Şekil 7. HEVC’de TZS için kullanılan elmas örüntü (Diamond pattern of TZS in HEVC)

4. DÜŞÜK BİT GÖSTERİM TEMELLİ HAREKET KESTİRİM YÖNTEMLERİNİN HEVC’YE UYGULANMASI

(IMPLEMENTATION OF LOW BIT REPRESENTATION BASED MOTION ESTIMATION TO HEVC)

Bu çalışmada düşük bit gösterim temelli yöntemlerin HEVC üzerindeki başarımını değerlendirmek için HEVC referans yazılımı olan HM16.7 kullanılmıştır. Referans yazılımda hâlihazırda 8-bit derinliğinde pikseller üzerinden çalışan tam arama yaklaşımı ve seyrek arama yaklaşımı olan TZS gerçeklemleri mevcuttur. Düşük bit temelli HK yöntemlerinin başarımını değerlendirmek için referans yazılımda bazı değişiklikler yapılmıştır. Öncelikle 1BT, C-1BT ve SG dönüşümü temelli tam arama yaklaşımli yöntemler referans yazılıma ayrı ayrı entegre edilmiştir. Bunlarla birlikte TZS, TSS, HS, DS seyrek arama yöntemleri de 1BT temelli görüntü çerçeveleri üzerinden referans yazılımda gerçekleştirilmiştir. Şekil 2’de verilen referans yazılımın akış şeması üzerinden yazılımsal değişiklikler yapılarak Şekil 8’de verildiği gibi yeni bir akış şeması elde edilmiştir. Bu akış şemasının referans yazılımın akış şemasına göre temel farkı, şekilde farklı renk ile gösterilen dönüşüm işleminin eklenmesidir. Bu işlem, orijinal çerçevelerin okunması ve geri çatılmış olan çerçevelerin oluşturulması sırasında yapılmaktadır. Referans yazılımda bulunan ve 8 bit düzleminde gerçekleştirilen GOP, çerçeve, dilim, CTU ve CU gibi yapılar seçilen yöntemle göre (1BT, C-1BT, SG) düşük bit düzleminde de oluşturulmuştur. HK işlemleri için oluşturulan bu yeni yapılar kullanılmıştır. Ayrıca C-1BT yöntemi için kısıt maskesi, SG yöntemi için hangi bit düzlemlerinin seçileceğini gösteren maske yapısı da düşük bit derinliğinde benzer şekilde oluşturulmuştur.

HEVC’de her bir PU bölümü için HK hesabı Eş. 10’da verilen maliyet hesabına göre yapılmaktadır.



Şekil 8. HEVC’deki düşük bit gösterim temelli hareket kestiriminin akış şeması
(Flowchart of the low bit representation based motion estimation in HEVC)

$$J = \arg \min(D + \lambda \times R) \quad (10)$$

Bu eşitlikte J maliyete, D bozunuma, λ uyumlama çarpanına, R ise hareket vektörünü iletmek için gerekli olan bit miktarına karşılık gelmektedir. λ katsayısı, nicemleme değerine göre belirlenmekte olup, bit harcama maliyetinin bozunum maliyeti cinsinden ifade edilmesinde kullanılmaktadır. λ katsayısı hakkında daha detaylı bilgi almak için [30]’a bakılabilir.

Eşitlik 10’a göre en uygun maliyet hesabı sadece referans blok ile aday bloğun arasındaki mutlak farka karşılık gelen bozunum maliyeti ile değil, aynı zamanda referans blok ile aday bloğun arasındaki konum farkına karşılık gelen hareket vektörü için harcanan maliyete bağlı olmaktadır. Bozunum hesabında blok uyumlama ölçütü için SAD kullanılmaktadır. Düşük bit gösterimi temelli HK işlemlerinde ise PU’lar için blok uyumlama ölçütü olarak SAD yerine özel veya işlemi kullanan NNMP ölçütünden yararlanılmıştır. NNMP ölçütü ile hesaplanan bozunum değerleri SAD ölçütü ile hesaplanan bozunum değerlerine göre düşük olmaktadır. Bu durumda maliyet hesabının NNMP kriterine göre ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada NNMP ölçütü ile hesaplanan bozunum değerleri, deneysel çalışmalardan elde edilen uygun bir katsayıyla ölçeklendirilmiştir.

5. DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

Bu çalışmada düşük bit gösterim temelli yöntemlerin başarımlarının değerlendirmek için iki aşamalı bir deneysel

yaklaşım kullanılmıştır. İlk aşamada, düşük bit temelli yöntemlerin HEVC üzerindeki HK başarımı tam arama yaklaşımı kullanılarak incelenmiş, sonraki aşamada ise seyrek aramaya dayalı düşük bit temelli yöntemlerin HEVC üzerindeki başarımı irdelenmiştir.

Düşük bit gösterim temelli yöntemlerin başarımlarının analizinde, Tablo 1’de verilen farklı çözünürlük değerlerine ve çerçeve sayısına sahip görüntü dizileri kullanılmıştır. Bu çalışmada uygulanan tüm yöntemler HEVC’nin referans yazılımı olan HM 16.7 üzerinde gerçekleştirilmiştir. HM 16.7’de tüm yöntemler için kullanılan önemli yapılandırma parametreleri Tablo 2’de verilmiştir. Yöntemlerin nicel başarımlarını değerlendirmek için 22, 27, 32, 37 olmak üzere farklı nicemleme parametre (QP) değeri kullanılmıştır. İmge sıkıştırma da kullanıldığı gibi video sıkıştırma da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Referans blok ile en iyi aday blok arasındaki fark bilgisi dönüşüm kodlamasına sokulmakta, dönüşüm kodlamasından elde edilen dönüşüm katsayıları QP değerine bölünmektedir. QP değerinin büyük olması durumunda, dönüşüm katsayılarının birçoğunun sıfır olmaktadır. Bu durum, video kalitesinin düşmesine fakat sıkıştırma oranının artmasına neden olmaktadır. Diğer yandan, QP değerinin küçük olması durumunda birçok dönüşüm katsayısının değeri değişmemektedir. Bu sayede düşük sıkıştırma oranlarında daha iyi video kalitesi elde etmek mümkündür.

Bu kısımda verilen deneysel sonuçlar 2.90 GHz 12 çekirdekli Xeon işlemci, 48 GB RAM özelliklerine sahip bir sistem ile elde edilmiştir.

5.1. Düşük Bit Gösterim Temelli Yaklaşımların HEVC Üzerindeki Tam Arama Hareket Kestirim Başarımı (Full Search Motion Estimation Performance on HEVC by Low-Bit Display-Based Approaches)

Bu bölümde, düşük bit temelli 1BT, C-1BT ve SG yöntemlerinin HEVC üzerindeki başarımlarını değerlendirilmiş ve hareket vektörleri tam arama yaklaşımıyla elde edilmiştir.

1BT, C-1BT ve SG’nin “Kimono”, “ParkScene” ve “PeopleOnStreet” dizileri için video kodlama başarımları Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5’te sırasıyla verilmiştir. Başarım ölçütleri PSNR açısından değerlendirildiğinde, düşük bit gösterim temelli yöntemler birbirine yakın performans sergilemekte olup SG yöntemi diğer yöntemlere (1BT ve C-1BT) göre nispeten daha iyi bir başarımlarını vermektedir. Ayrıca bu yöntemlerin tam arama yaklaşımına göre performans kaybı da kabul edilebilir düzeydedir. Başarım ölçütleri bit-oran açısından değerlendirildiğinde düşük bit gösterim temelli yöntemler tam arama yaklaşımına göre daha fazla miktarda veri kodlama gereksinimi duymaktadır. Diğer yandan, SG yöntemi diğer yöntemlere (1BT ve C-1BT) göre daha fazla bit kazancı sağlamaktadır.

Şekil 9’da sırasıyla “Kimono”, “ParkScene” ve “PeopleOnStreet” dizileri için 1BT, C-1BT ve SG yöntemlerinin HEVC üzerindeki oran-bozunum grafikleri

Tablo 1. Performans değerlendirilmesinde kullanılan görüntü dizileri ve özellikleri (Parameters of image sequences)

Video Dizileri	Çözünürlük	Çerçeve Sayısı	Özellikler
Kimono	1920×1080	240	Orta yerel hareket, zengin içerik
ParkScene	1920×1080	240	Orta yerel hareket, zengin içerik
PeopleOnStreet	2560×1560	96	Orta yerel hareket, zengin içerik

Tablo 2. Temel yapılandırma parametreleri (Primary configuration parameters)

Yapılandırma Tipi	low_delay_main
Çerçeve Tipi	B
Arama Yöntemi	Tam Arama / Seyrek Arama
Arama Aralığı	64
Bit Oran Kontrolü	Kapalı
QP	22, 27, 32, 37

Tablo 3. Farklı QP'lerde düşük bit temelli hareket kestirim yöntemlerinin Kimono dizisi için ortalama PSNR (dB) ve bit-oran değerleri (Average PSNR (dB) and bitrate values of low bit based motion estimation methods for Kimono sequence under different QPs)

QP	1BT		C-1BT		Seçmeli Gri (SG)		Tam Arama (SAD)	
	PSNR	Bit Oranı	PSNR	Bit Oranı	PSNR	Bit Oranı	PSNR	Bit Oranı
22	41,63	5328,36	41,64	5318,40	41,67	5242,73	41,68	5201,74
27	39,61	2436,49	39,61	2436,80	39,65	2415,99	39,66	2400,80
32	37,09	1163,24	37,09	1164,06	37,11	1156,82	37,13	1151,06
37	34,49	568,53	34,50	569,00	34,52	564,89	34,54	562,79

Tablo 4. Farklı QP'lerde düşük bit temelli hareket kestirim yöntemlerinin ParkScene dizisi için ortalama PSNR (dB) ve bit-oran değerleri (Average PSNR (dB) and bitrate values of low bit based motion estimation methods for ParkScene sequence under different QPs)

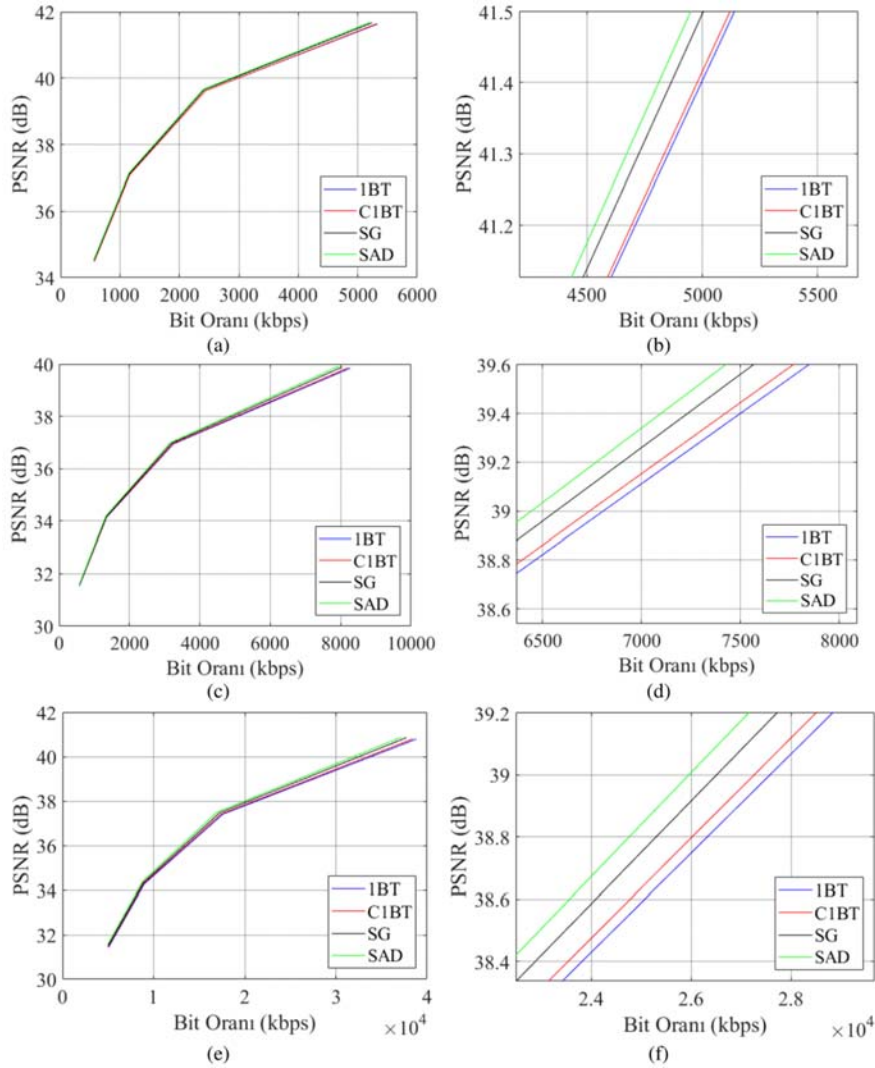
QP	1BT		C-1BT		Seçmeli Gri (SG)		Tam Arama (SAD)	
	PSNR	Bit Oranı	PSNR	Bit Oranı	PSNR	Bit Oranı	PSNR	Bit Oranı
22	39,84	8269,98	39,86	8210,96	39,89	8046,6	39,92	7949,17
27	36,95	3247,61	36,96	3232,56	36,97	3192,8	37,00	3163,33
32	34,15	1354,60	34,16	1351,86	34,17	1341,0	34,19	1332,39
37	31,55	582,05	31,56	580,55	31,57	577,2	31,59	574,59

Tablo 5. Farklı QP'lerde düşük bit temelli hareket kestirim yöntemlerinin PeopleOnStreet dizisi için ortalama PSNR (dB) ve bit-oran değerleri (Average PSNR (dB) and bitrate values of low bit based motion estimation methods for PeopleOnStreet sequence under different QPs)

QP	1 BT		C1BT		Seçmeli Gri (SG)		Tam Arama (SAD)	
	PSNR	Bit Oranı	PSNR	Bit Oranı	PSNR	Bit Oranı	PSNR	Bit Oranı
22	40,79	38813,9	40,80	38431,4	40,85	37722,9	40,86	37097,8
27	37,41	17601,9	37,42	17422,4	37,47	17251,7	37,49	16937,8
32	34,27	8968,5	34,29	8905,5	34,34	8880,9	34,38	8770,1
37	31,43	5038,8	31,47	5021,1	31,51	5012,0	31,56	4974,8

gösterilmiştir. Her bir dizi için, tam arama yaklaşımı dâhil bütün yöntemler tüm bit değerlerinde birbirlerine yakın görsel kalite gösterdikleri anlaşılmaktadır. Oran-bozunum grafiklerine yakından bakıldığında, 1BT, C-1BT ve SG yöntemlerinin tam arama (SAD) yaklaşımına göre aynı bit değerlerinde daha düşük görsel kaliteye sahip oldukları görülmektedir. Diğer yandan, SG yöntemi, 1BT ve C-1BT'ye göre aynı bit değerlerinde daha yüksek bir görsel kaliteye sahiptir. Benzer şekilde, 1BT ve C-1BT yöntemleri aynı görsel kalite altında, SG yöntemine göre daha fazla bit harcamaktadır.

Tam arama temelli 1BT, C-1BT ve SG yöntemlerinin Q=27 için çalışma süreleri saat bazında Tablo 6'da verilmiştir. Tablo 6'ya göre tüm diziler için, C-1BT yönteminin işlemsel yükü diğer yöntemlere göre daha fazladır. Bunun temel nedeni, C-1BT yönteminde kısıtlama maskesinin kullanılması ve buna bağlı olarak kullanılan XOR tabanlı uyumlama ölçütünün daha fazla karşılaştırma işlemi yapmasıdır. Bununla birlikte, 1BT temelli hareket kestiriminin işlemsel yükü standart SAD yöntemi ile karşılaştırıldığında nispeten değişmemektedir. Bunun temel nedenlerinden biri ise her iki durum içinde işlemcinin



Şekil 9. Düşük bit temelli hareket kestirim yöntemlerinin oran-bozunum performansı a) Kimono dizisi b) Kimono dizisi yakından görünüm c) ParkScene dizisi d) ParkScene dizisi yakından görünüm e) PeopleOnStreet dizisi f) PeopleOnStreet dizisi yakından görünüm (Performance of low bit based motion estimation methods (a) Kimono sequence (b) Zooming to the Kimono sequence (c) ParkScene sequence (d) Zooming to the ParkScene sequence (e) PeopleOnStreet sequence (f) Zooming to the PeopleOnStreet sequence)

ALU'sunda her seferde tek piksele ilişkin uyumlama hesabının yapılmasıdır. SG yöntemi ise düşük bit derinliğine geçiş işlemini daha etkin yaptığında diğer yöntemlere göre daha hızlı çalışmaktadır.

5.2. 1BT Temelli Hareket Kestirim Yaklaşımlarının HEVC Üzerindeki Seyrek Arama Hareket Kestirim Başarımı
(Sparse Search Motion Estimation Performance on HEVC By 1BT Based Motion Estimation Approaches)

Bu bölümde, düşük bit gösterim temelli HK yöntemlerinden 1BT'nin farklı seyrek arama yaklaşımları ile birlikte HEVC üzerindeki başarımı değerlendirilmiştir. Tam arama yaklaşımında düşük bit gösterim temelli yöntemlerin HEVC üzerindeki başarımları birbirine yakın olduğu için seyrek arama temelli yöntemlerin başarımlarının değerlendirilmesinde düşük bit düzlemine geçmek için en temel yöntemlerden olan 1BT temelli yaklaşım tercih edilmiştir.

Tablo 6. Tam arama temelli 1BT, C1BT ve SG yöntemlerinin HEVC üzerindeki çalışma zamanları (saat) (QP = 27) (Runtime of full search based 1BT, C1BT and SG methods on HEVC (hour))

	1BT	C-1BT	SG	Tam Arama (SAD)
Kimono	172,72	227,13	167,36	171,54
ParkScene	170,47	234,90	171,22	171,21
PeopleOnStreet	153,29	201,15	148,39	152,92

Tablo 7, Tablo 8 ve Tablo 9'da farklı görüntü dizileri için 22, 27, 32, 37 QP parametreleri altında TZS (8 bit) ve TZS (1BT), HS (1BT), TSS (1BT) ve DS (1BT) yöntemlerinin ortalama tepe işaret gürültü oran (PSNR) desibel (dB) değerleri verilmiştir. TZS (8 bit), TZS seyrek arama algoritmasının standart 8 bit/piksel çözünürlüğüne sahip görüntü çerçeveleri üzerinden gerçekleştirilmesine karşılık gelmektedir. Diğer seyrek arama algoritmaları ise düşük bit gösterim temelli 1BT yöntemiyle gerçekleştirilmesine

Tablo 7. Farklı QP’lerde bir bit temelli hareket kestirim yöntemlerinin Kimono dizisi için ortalama PSNR (dB) ve bit-oran değerleri (Average PSNR (dB) and bitrate values of one bit based motion estimation methods for Kimono sequence under different QPs)

QP	DS (1BT)		TSS (1BT)		HS (1BT)		TZS (1BT)		TZS (8-bit)	
	PSNR	Bit Oranı	PSNR	Bit Oranı	PSNR	Bit Oranı	PSNR	Bit Oranı	PSNR	Bit Oranı
22	41,63	5372,59	41,63	5398,21	41,63	5398,41	41,60	5845,67	41,68	5201,64
27	39,61	2472,93	39,60	2486,69	39,60	2489,47	39,51	2726,72	39,66	2403,08
32	37,06	1189,62	37,04	1200,27	37,04	1199,97	36,90	1310,86	37,13	1151,58
37	34,43	583,07	34,41	589,42	34,41	589,93	34,26	635,76	34,53	563,18

Tablo 8. Farklı QP’lerde bir bit temelli hareket kestirim yöntemlerinin ParkScene dizisi için ortalama PSNR (dB) ve bit-oran değerleri (Average PSNR (dB) and bitrate values of one bit based motion estimation methods for ParkScene sequence under different QPs)

QP	DS (1BT)		TSS (1BT)		HS (1BT)		TZS (1BT)		TZS (8-bit)	
	PSNR	Bit Oranı	PSNR	Bit Oranı	PSNR	Bit Oranı	PSNR	Bit Oranı	PSNR	Bit Oranı
22	39,85	8270,49	39,85	8272,03	39,85	8274,01	39,85	8233,49	39,91	7961,37
27	36,94	3266,42	36,94	3269,17	36,94	3269,22	36,95	3552,52	36,99	3166,94
32	34,13	1373,40	34,13	1373,53	34,13	1375,51	34,14	1367,35	34,19	1334,90
37	31,52	595,87	31,52	595,32	31,52	595,55	31,52	593,49	31,58	575,86

Tablo 9. Farklı QP’lerde bir bit temelli hareket kestirim yöntemlerinin PeopleOnStreet dizisi için ortalama PSNR (dB) ve bit-oran değerleri

(Average PSNR (dB) and bitrate values of one bit based motion estimation methods for PeopleOnStreet sequence under different QPs)

QP	DS (1BT)		TSS (1BT)		HS (1BT)		TZS (1BT)		TZS (8-bit)	
	PSNR	Bit Oranı	PSNR	Bit Oranı	PSNR	Bit Oranı	PSNR	Bit Oranı	PSNR	Bit Oranı
22	40,80	39175,36	40,80	39240,21	40,80	39239,05	40,80	38739,7	40,86	37242,9
27	37,42	18101,95	37,42	18121,94	37,41	18130,49	37,42	17883,6	37,48	17036,4
32	34,21	9372,10	34,21	9383,09	34,21	9379,53	34,22	9289,4	34,35	8818,8
37	31,28	5297,06	31,28	5290,13	31,28	5133,18	31,30	5262,3	31,52	4989,1

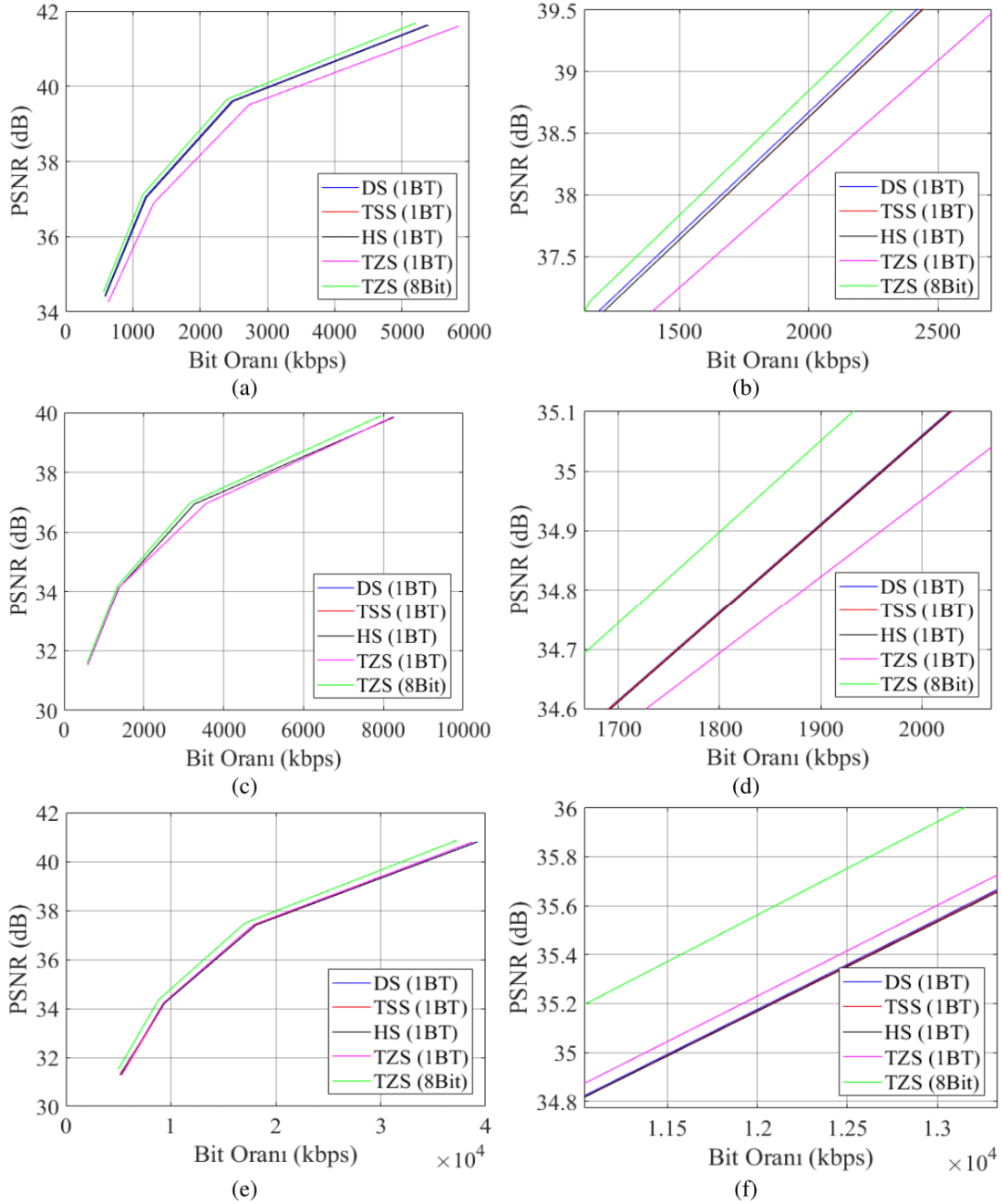
karşılık gelmektedir. Tablolardan görüleceği gibi, TZS (1BT) yöntemi, TZS (8 bit) yöntemine göre gerek PSNR gerekse harcanan bit miktarı açısından daha düşük performans sergilemektedir. Performans kaybının miktarı kullanılan görüntü dizisine bağlı olarak değişmektedir. Görüntü dizisinin içeriğine göre hareket vektörleri büyük genlikli olabilmektedir. TZS algoritması, kendisine en çok benzeyen hedef bloğu önce yakın bölgede, gerekirse uzak bölgede aramaktadır. Bu gibi durumlarda 1BT üzerinden TZS kullanılması PSNR açısından başarıyı düşürmektedir. Bunun temel nedeni, TZS’nin 1BT ile birlikte kullanıldığı durumda yakın bölgede hareket vektörü bulamaması durumunda satır tarama moduna geçmesi nedeniyle yerel bir minimuma takılması olarak değerlendirilmektedir. Diğer yandan, 1BT temelli seyrek arama yöntemlerinin ortalama PSNR (dB) değerleri genel olarak birbirine yakın olmaktadır. Şekil 10’da sırasıyla “Kimono”, “ParkScene” ve “PeopleOnStreet” dizileri için DS (1BT), TSS (1BT), HS (1BT) TZS (1BT) ve TZS (8 bit) yöntemlerinin HEVC üzerindeki oran-bozunum başarımları gösterilmiştir. Oran-bozunum grafiklerine yakından bakıldığında, 1BT temelli seyrek arama yöntemlerinde, TZS (8 bit)’e göre belirgin bir performans kaybı gözlemlenmektedir. Performans kaybı, görüntü dizisinin içeriğine bağlı olarak yaklaşık 0.2 dB’ye kadar çıkabilmektedir. Diğer yandan, 1BT temelli seyrek

arama yöntemleri genel olarak aynı bit değerlerinde birbirlerine yakın performans göstermektedir. Bu bilgiler ışığında düşük bit derinliği temelli yöntemlerin TZS ile uyumlu çalışmadığı ve bu yöntemlere özgü daha etkin seyrek arama yaklaşımları araştırılabileceği değerlendirilmektedir.

1BT temelli seyrek arama yaklaşımlarının Q=27 için HEVC üzerindeki çalışma süreleri saat bazında Tablo 10’da verilmiştir. Bu aşamada deneysel sonuçlar 2.30 GHz dört çekirdekli işlemci ve 16 GB RAM özelliklerine sahip bir sistem ile elde edilmiştir. Tablodan görüleceği gibi, TZS (1BT) ve TZS (8-bit) seyrek arama yöntemlerinin çalışma süreleri birbirine yakın olmakla birlikte, diğer seyrek arama yöntemlerine göre daha düşük değerlerdedir.

Tablo 10. 1BT temelli seyrek arama yöntemlerinin HEVC üzerindeki çalışma süreleri (saat) (QP = 27) (Runtime of 1BT based sparse search methods on HEVC (hour))

	DS (1BT)	TSS (1BT)	HS (1BT)	TZS (1BT)	TZS (8-bit)
Kimono	7,71	5,47	5,89	5,20	5,35
ParkScene	8,16	7,76	7,32	5,25	5,06
PeopleOnStreet	7,18	6,35	6,63	4,96	5,04



Şekil 10. 1BT temelli seyrek arama yöntemlerinin oran-bozunum performansı a) Kimono dizisi b) Kimono dizisi yakından görünüm c) ParkScene dizisi d) ParkScene dizisi yakından görünüm e) PeopleOnStreet dizisi f) PeopleOnStreet dizisi yakından görünüm

(Performance evaluation of low bit based motion estimation methods on HEVC (a) Kimono sequence (b) Zooming to the Kimono sequence (c) ParkScene sequence (d) Zooming to the ParkScene sequence (e) PeopleOnStreet sequence (f) Zooming to the PeopleOnStreet sequence)

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada düşük bit-derinliği gösterimi temelli hareket kestirim yaklaşımlarının en güncel video kodlama standardı olan HEVC üzerine etkin şekilde uygulanması üzerine çalışılmıştır. Yapılan gerçekleştirme ve deneyler düşük bit-derinliği gösterimi temelli yaklaşımların hareket kestirim performansından bir miktar ödün vermeye neden olduğunu göstermiştir. Diğer yandan, düşük bit-derinliğine sahip bazı

hareket kestirim yaklaşımlarının kodlama süresi açısından tam arama temelli yöntemden hızlı, bazılarının ise yavaş kalabildiği ortaya çıkarılmıştır. Bu farklılığın temel nedeni ise uyumlama ölçütünün hesapsal karmaşıklığıdır. Donanımsal olarak etkin şekilde gerçekleştirilebilen uyumlama ölçütlerin yazılımsal olarak etkin çalıştırılmaması söz konusu olabilmektedir. Bu aşamada düşük bit-derinliği temelli yöntemlerin yazılımsal gerçeklemede tek komut çoklu veri (SIMD) yapısının kullanılabileceği

değerlendirilmektedir. Öte yandan, düşük bit derinliği gösterimi temelli hareket kestirim yaklaşımlarının seyrek arama temelli yaklaşımlar ile tümleştirilmesi durumunda da TZS gibi yaklaşımların etkin sonuç vermediği tespit edilmiştir. Bu noktada düşük bit derinliği gösterimi temelli yaklaşımlara uygun seyrek arama yöntemlerinin geliştirilebileceği değerlendirilmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknoloji Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından EEEAG/115E921 nolu araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. He Z.-L., Tsui C.-Y., Chan K.-K., Liou M. L., Low-Power VLSI design for motion estimation using adaptive pixel truncation, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 10 (5), 669–678, 2000.
2. Wiegand T., Ohm J. R., Sullivan G. J., Han W.-J., Joshi R., Tan T. K., Ugur K., Special section on the joint call for proposals on High Efficiency Video Coding (HEVC) standardization, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 20 (12), 1661–1666, 2010.
3. Sullivan G. J., Ohm J. R., Han W.-J., Wiegand T., Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) standard, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 22 (12), 1648–1667, 2012.
4. Tourapis A. M., Enhanced predictive zonal search for single and multiple frame motion estimation, *Visual Communications and Image Processing* 4671, 1069-1079, 2002.
5. Tang X., Dai S., Cai C., An analysis of TZ search algorithm in JMVC, *International Conference on Green Circuits and Systems (ICGCS)*, 516-520, 2010.
6. Koga T., Linuma K., Hirano A., Lijima Y., Ishiguro T., Motion compensated interframe coding for video conferencing, *National Telecommunication Conference Proceedings*, G5.3.1-5.3.5, 1981.
7. R. Li, B. Zeng, M. Liou, A new three-step search algorithm for block motion estimation, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 4 (4), 438–442, 1994.
8. Po L.-M., Ma W.-C., A novel four-step search algorithm for fast block motion estimation, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 6 (3), 313-317, 1996.
9. Zhu S., Ma K. K., A new diamond search algorithm for fast block-matching motion estimation, *IEEE Transactions on Image Processing*, 9 (2), 287-290, 2000.
10. Zhu C., Lin X., Chau L.-P., Hexagon-based search pattern for fast block motion estimation, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 12 (5), 349-355, 2002.
11. Natarajan B., Bhaskaran V., Konstantinides K., Low-complexity block-based motion estimation via one-bit transforms, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 7 (4), 702-706, 1997.
12. Ertürk A., Ertürk S., Two bit transform for binary block motion estimation, *IEEE Transactions On Circuits and Systems for Video Technology*, 15 (7), 938-946, 2005.
13. Ertürk S., Multiplication-free one-bit transform for low-complexity block-based motion estimation, *IEEE Signal Processing Letters*, 14 (2), 109-112, 2007.
14. Urhan O., Ertürk S., Constrained one-bit transform for low-complexity block motion estimation, *IEEE Transactions On Circuits and Systems for Video Technology*, 17 (4), 478-482, 2007.
15. Çelebi A., Akbulut O., Urhan O., Ertürk S., Truncated gray-coded bit-plane matching based motion estimation and its hardware architecture, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 55 (3), 1530-1536, 2009.
16. Yavuz, S., Çelebi, A., Aslam, M., Urhan, O., Selective Gray-Coded Bit-Plane Based Low Complexity Motion Estimation and its Hardware Architecture, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 62 (1), 76-84, 2016.
17. Aslam M., Çelebi A., Efficient hardware architecture for selective gray coded bit plane based low complexity motion estimation, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (1), 69-78, 2017.
18. Choi, C., Jeong, J., Enhanced two-bit transform based motion estimation via extension of matching criterion, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 56 (3), 1883-1889, 2010.
19. Güllü M. K, Weighted constrained one-bit transform based fast block motion estimation, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 57 (2), 751-755, 2011.
20. Song C.-M., Guo Y., Wang X.-H, Liu D., Fuzzy quantization based bit transform for low bit-resolution motion estimation, *Signal Processing: Image Communication*, 28 (10), 1435-1447, 2013.
21. Lee S., Jeon, G., Jeong, G., Fast motion estimation based on enhanced constrained one-bit transform, *Electronics Letters*, 50 (10), 746–748, 2014.
22. Lee H., Jeong J., Early termination scheme for binary block motion estimation, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 53 (4), 1682-1686, 2007.
23. Lee H., Jin S., Jeong J., Early termination algorithm for 2bt block motion estimation, *Electronics Letters*, 45 (8), 403-405, 2009.
24. Urhan O., Constrained one-bit transform based motion estimation using predictive hexagonal pattern, *Journal of Electronic Imaging*, 16 (3), 033019, 2007.
25. Urhan O., Constrained one-bit transform based fast block motion estimation using adaptive search range, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 56 (3), 1868–1871, 2010.
26. Kim I., Kim J., Jeon G., Jeong J., Low-complexity block-based motion estimation algorithm using adaptive search range adjustment, *Optical Engineering*, 51 (6), 067010, 2012.

27. Urhan O., Truncated gray-coding based fast block motion estimation, *Journal of Electronic Imaging*, 22 (2), 023018, 2013.
28. Kim I., Jeong J., Binary block motion estimation using an adaptive search range adjustment technique, *Journal of Automation and Control Engineering*, 2(4), 376-380, 2014.
29. Telatar Z., Fast motion estimation in video sequences by edge detection, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 24 (2), 245-255, 2009.
30. https://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/svn_HEVCSoftware/trunk/doc/software-manual.pdf

