



TÜRKİYE BİLİMSEL VE
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

GÜVENLİK DIŞI UYGULAMALARDA
İMGE İÇİNE BİLGİ SAKLAMA

2003-264

PROJE NO : 101E007

Elektrik, Elektronik ve Enformatik Araştırma Grubu

Electric, Electronics and Informatics Research
Grant Committee

**GÜVENLİK DIŞI UYGULAMALARDA
İMGE İÇİNE BİLGİ SAKLAMA**

2003-264

PROJE NO : 101E007

DOÇ.DR. A. AYDIN ALATAN

Yük.Müh. Alper KOZ

Yük.Müh. Ersin ESEN

Yük.Müh. Ayhan YILMAZ

HAZİRAN 2003

ANKARA

Önsöz

“Güvenlik dışı uygulamalarda imge içine bilgi saklama” projesi son yıllarda kolayca üretilip, izinsiz kopyalanabilen sayısal çoğulortam verilerine ait iyelik haklarının korunması amacıyla ortaya çıkmış bilgi saklama ve görünmez damgalama yaklaşımlarına, güvenlik dışı uygulama alanlarındaki farklı kullanımlar ile yeni bir açılım getirmeyi hedeflemektedir.

Bu proje TÜBİTAK EEEAG tarafından (101E007) desteklenmektedir.

İçindekiler

ÖZ.....	4
ABSTRACT.....	5
1. GİRİŞ.....	6
2. BİLGİ SAKLAMA : GENEL BİLGİLER.....	9
2.1. Bilgi Saklamanın Kıstasları.....	9
2.2. Temel Yöntemler.....	10
2.2.1. Cox algoritması [4].....	10
2.2.2. Logaritmik-Kutupsal Eşleme (LKE) [5].....	12
2.2.3. Nicemleme İndeks Modülasyonu (NİM) [7].....	13
3. ÖNERİLEN BİLGİ SAKLAMA YÖNTEMLERİ.....	14
3.1. Odaklamaya Dayalı Bilgi Saklama.....	14
3.1.1. Önerilen Metod:.....	14
3.1.2. Deneysel sonuçlar.....	16
3.2. Zamansal Kontrast Duyarlılığına Dayalı Video Damgalama.....	18
3.2.1. Önerilen damgalama metodu:.....	19
3.2.2. Deneysel Sonuçlar:.....	21
3.3. Kafes kodlama nicemleme ile bilgi saklama.....	26
3.3.1 Kafes kodlama nicemleme.....	27
3.3.2. Önerilen Metod.....	27
3.3.3. Deneysel Sonuçlar.....	28
3.4.1 Pun Yönteminde [38] Damganın Oluşturulması.....	29
3.4.2. Pun Yönteminde [38] Damganın Eklenmesi.....	30
3.4.3. Pun Yönteminde [38] Damganın Belirlenmesi.....	30
3.4.4. Önerilen Yöntem.....	31
3.4.5. Önerilen Yöntemde Damganın Belirlenmesi.....	31
3.4.6. Deneysel Sonuçlar.....	32
4. ÖNERİLEN GÜVENLİK DIŞI BİLGİ SAKLAMA UYGULAMALARI.....	34
4.1. Bilgi Saklama kullanarak Zenginleştirilmiş Video İletimi.....	34
4.1.1. Yöntem.....	34
4.1.2. Deneysel Sonuçlar.....	35
4.2. Bilgi Saklama ile Dayanıklı Video İletimi.....	35
4.2.1. Önerilen Yöntem.....	36
4.2.2. Deneysel Sonuçlar.....	38
4.3. Bilgi Saklama ile Kodlama Standartlarının Performansını İyileştirme.....	39
4.3.1. Önerilen Metod.....	40
4.3.2. Deneysel sonuçlar.....	40
5. SONUÇLAR.....	43
YARARLANILAN KAYNAKLAR.....	46
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU.....	49

ÖZET

Çoğul ortam verilerinin sayısal ortamda yaratılıp, ardından kolayca kayıpsız çoğaltılıp izinsiz dağıtılabilmesi içerik sahiplerinin iyelik haklarını koruma amaçlı veri içine bilgi saklama ve damgalama teknolojilerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu teknolojilerin yalnızca içeriğin güvenliği dışında da farklı kullanım alanları olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada bilgi saklama için güvenlik dışı çeşitli kullanım alanları önerilip, incelenmiştir. Bu yeni alanların irdelenmesinden önce bilgi saklama konusunda 3 farklı yöntem geliştirilip, deneyler yardımıyla performansları test edilmiştir. Odaklamaya dayalı bilgi saklama insan görme sisteminin (İGS) bir görüntü üzerinde odaklandığı bir noktadan uzaklaştıkça, ayırım hassasiyetinin azalması özelliğini kullanan özgün bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımla, önceden belirlenen ilgi noktasından uzaktaki noktalara, aynı görsel bozumu yaratıp, literatürde sıkça kullanılan eşdeğer metodlara göre daha fazla mesaj enerjisi saklayarak daha yüksek bir sezim oranı elde edilebilmektedir. İGS özelliklerinden bir diğeri olan zamansal kontrast duyarlılıkları ise farklı frekansların insan gözündeki değişken duyarlılıklarını belirlemektedir. Bu duyarlılıkları dikkate alarak, zamansal frekansların içine İGS için görünmezliğin sınır değerinde enerji içeren mesaj saklanabilmektedir. Önerilen son özgün bilgi saklama metodu olan kafes kodlama nicemleme yöntemi bilgi saklanacak katsayıların çözümüde dizi olarak beraberce çözülmesi ve ataklara karşı daha iyi bir gürbüzlük sağlanabilmesine olanak tanır. Bunun için seçilmiş bir durum çizeneğine bağlı kalacak şekilde katsayılar ardışık bir şekilde nicemlenirken, gizlenecek mesaja göre çizenekte nicemlemeye başlanacak ilk durumun indeksi belirlenir. Deneysel sonuçlar bu özgün yaklaşımın benzer metodlara göre daha iyi bir performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

Güvenlik dışı uygulamalar düşünüldüğünde, bu çalışmada 3 yeni alan önerilmiştir. Bunlardan birincisi, görüntü içine görsel veriyi zenginleştirecek mümkün olduğunca yüksek kapasitede farklı tip verilerin saklanmasıdır. Bu yaklaşım kullanılarak verilerin tanınmasını, indekslenmesini ve aranmasını kolaylaştıracak bilgiler, değişik ortamlarda serbestçe dolaşan içerikle beraber kullanıcıya kaybolmadan ulaşabilecektir. Özgün bir uygulama ise gezgin kanallarda video iletimi sırasında oluşacak hataları daha iyi onarmak ve gizlemek için kodlama sırasında imge blokları ile ilgili özetleyici bilgilerin başka bloklara gizlenmesidir. Kaybolan bloğa ait görüntü koyulukları, o bloğa ait önceden saklanmış ayrıt yön bilgisi kullanılarak onarılabilir; hataya bağlı bit dizisindeki eş zamanlama kaybı başka bloğa gizlenmiş blok bit uzunluğu ile aşılabilir ve saklı hareket vektörleri kullanarak video kareleri arasında kayıp bloklar telafi edilebilir. Yapılan kapsamlı deneylerle bu yaklaşımın alıcıda daha iyi bir onarılmış görüntü performansı sağlayıp, gürbüz video kodlama için önemli bir açılım ortaya koyduğu anlaşılmıştır. Son bir uygulama olarak, yaygın kullanılan eski imge sıkıştırma standartlarının içlerine görüntü kalitesini arttıracak ve daha yüksek sıkıştırma performanslı yeni metodlarla kodlanmış "iyileştirici" bilgi saklanması önerilmiştir. Bilgi saklanan ve iyileştirilen katsayıların birbirlerinden ayrılmasını temel alan özgün metod deneylerle test edilmiş ve bilgi saklama ile hedeflenen görüntü kalite artışının elde edilemediği görülmüştür. Bunun temel sebebi olarak orijinal ve kodlu imge arasındaki fark imgesinin azalmış istatistiki artıklığının, yeni sıkıştırma yöntemleri ile kodlanması durumunda bile bilgi saklamanın yarattığı görsel kaybı telafi edememesi olduğu düşünülmüştür.

Bilgi saklama ve damgalama teknolojilerinin yakın zamanda güvenlik dışı farklı uygulamalar ile endüstrinin değişik ihtiyaçlarına daha fazla cevap vermesi beklenmektedir.

www.ozgurbilgi.com.tr, www.ozgurbilgi.com.tr

Anahtar Kelimeler : Bilgi saklama, damgalama, insan görme sistemi, gürbüz video iletimi

ABSTRACT

The ease of creation, perfect copying and illegal distribution of digital multimedia content has led the initiation of data hiding and watermarking technologies for protecting owner rights of the content. However, these technologies also have applications other than security-based content protection cases.

In this research, various applications of data hiding outside the scope of content protection area are proposed and analyzed. Before examining these new application areas, 3 novel data hiding methods are explained and tested by simulations. Foveated Image Watermarking is a novel approach based on the decreased sensitivity of human visual system (HVS), while moving away from the point of fixation. Compared to other similar methods in the literature, it is possible to obtain better detection performance by hiding more message energy to the points far away from a predetermined point of fixation. Another property of HVS, which is temporal contrast sensitivities, determines the discriminability of human eye for different temporal frequencies. Taking the sensitivity thresholds into account, it is possible to hide message energy to each temporal frequency, while the invisibility is slightly below the limits. The final proposed data hiding method is based on Trellis coded quantization, which decodes all image coefficients together and gives a better detection performance after typical attacks. In order to achieve this performance, the coefficients are quantized consecutively following a state diagram along an optimal trellis and the message to hide determines the index of the first state from which the encoding begins. Simulation results show a better performance for the proposed method compared to similar approaches in the literature.

In this research, 3 novel applications for non-security data hiding are also proposed. The enrichment of the content by hiding high capacity information is examined as a first application. While moving across different environment, any embedded information to identify, index and search for the content will reach the consumer together with the content. Another novel application is to hide summarizing information about the compressed image blocks into other regions to conceal errors due to noisy channel transmission. The intensities of a lost block can be better reconstructed by hiding edge information of the same block into other parts of the image; the synchronization loss can be avoided by embedding the number bits for encoding the same block into another block and hidden motion vector information can be used to reconstruct any lost block from the previous frame. After extensive simulations, it is shown that the proposed approach yields improved reconstruction quality at the receiver, leading to a promising path for the data hiding research. As a final application, it is proposed to hide enhancement information, which is embedded into the content after compression via high performance state-of-the-art compression methods. This data should improve the visual quality of a compressed image, which is encoded with one of the former popular compression standards. This novel approach, which basically divides the image coefficients into two groups for hiding data and enhancing the image quality, results with inferior simulation results and is unable to improve the quality of the given compression standard after hiding enhancement information. The reason for this undesired result should be due to the relatively small redundancy left in the difference image between the original and the coded image, which makes the signal very difficult to compress even with a state-of-the-art compression algorithm.

In the near future, data hiding and watermarking technologies are highly expected to solve many non-security problems of the industry.

Keywords: Data Hiding, watermarking, human visual system, robust video transmission

1. GİRİŞ

Sayısal verinin çoğalması ilgili yeni teknolojilere olan ihtiyacı beraberinde getirmektedir. Kayıpsız olarak sonsuz kere kopyalanabilen sayısal çoğulortam içeriklerinin izinsiz kullanım ve dağıtımı sonucunda, bu içeriklerin sahiplerinin iyelik haklarının zarar görmesi, bu hakları koruma amacıyla bilgi saklama (*data hiding*) ve damgalama (*watermarking*) teknolojilerinin doğuşuna sebep olmuştur. Çoğulortam verilerinin içerisine görünmeyen verilerin yerleştirilmesi olarak özetlenebilecek bu teknolojiler her geçen gün güvenlik dışı yeni uygulamalar içinde de yer almaya başlamıştır.

Bilgi saklama ve damgalama arasındaki temel fark saklanan bilginin içeriği ile ilişkilidir. Damgalama yalnızca iyelik haklarının korunması amacıyla içerik sahibi ile ilgili bilgileri veriye gömme işlemine verilen isimdir. Bu açıdan bakınca, bilgi saklama daha genel bir perspektif içinde, gerektiğinde içerikten tamamıyla bağımsız her tip mesaj ile görüntülerin içinden gizli bir haberleşme yapılmasıdır [1].

Bu projenin amacı bilgi saklama teknolojilerinin, yaygın olarak kullanılan iyelik hakları koruma gibi güvenlik amaçlı uygulamaları dışında, farklı kullanım alanlarının araştırılmasıdır. Bu amaçla çeşitli güvenlik dışı bilgi saklama uygulamaları incelenmiş ve önerilmiş, faydaları ortaya konmuştur. Bu amaçla, bilgi saklama konusunda daha etkili yöntemler geliştirilmeye çalışılmış ve bu yöntemleri kullanan yeni uygulamalar tasarlanıp, performansları ortaya konmuştur.

Literatürün büyük kısmının damgalama çevresinde içerik sahiplerinin iyelik haklarını koruyacak yöntemlere ayrılmış olması, bu çalışmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır. Damgalama araştırmaları yanında, damgalama yok etmeye çalışan atakların da ayrıntılı olarak araştırılması ve çok güçlü bilgi bozucu atakların varlığı güvenlik dışı bilgi saklama yöntemlerinin gerekliliğini bir kez daha ortaya çıkarmaktadır. Damgalama uygulamalarında daima bir "haklayıcı" yapacağı ataklarla gizli bilgiyi yok etmeye çalışırken, güvenlik dışı bilgi saklama uygulamalarında ise doğal yollardan veriyi etkileyen hata kaynakları dışında bir etki bulunmamaktadır [2].

Önerilen bilgi saklama yöntemlerinde incelenen temel parametreler bilgi saklamanın yarattığı (Tepe Sinyal Gürültü Oranı [TSGO] yardımıyla ölçülen) *görsel bozulma*, bu bozulmaya karşılık *saklanan bilgi miktarı* (bit sayısı) ve çeşitli atak ve işlemler sonucu saklanan bu bilgide meydana gelebilecek *hata oranı* olarak sayılabilir [1,2]. Önerilen uygulamalarda ise sistemlerin genel olarak başarısı, bilgi saklamaya bağlı görüntüdeki bozulmanın miktarı ve uygulamaya özel kıstaslar açısından saklanan bilginin faydasının ölçülmesi olarak düşünülebilir. Örnek vermek gerekirse, bilgi saklama ile daha gürbüz bir kodlama uygulamasının başarısı alıcıda kanal hatalarına bağlı görsel bozulmalardan sonra elde edilen geri çatılıp onarılan görüntünün kalitesi ile ölçülebilir.

Proje kapsamında daha etkili bilgi saklama metodlarına ulaşabilmek için 2 temel yaklaşım kullanılmıştır:

- İnsan görme sisteminin zaafalarının araştırılması
- Bilgi saklama için daha etkili nicemleme metodlarının belirlenmesi

İnsan görme sisteminin bilgi saklama açısından zaaf sayılabilecek özelliklerinden birisi olan *odaklama* bir imgeye bakılırken, imge üzerindeki odak noktasından uzaklaştıkça koyuluk değerleri arasındaki ayırım hassasiyetinin azalmasını ifade eder. Böylelikle, odak noktasından uzak noktalardaki imge elemanlarına (piksel) daha yüksek enerji içeren bilgiler saklanabilir. Bu durum benzer yaklaşımlara göre aynı görünmezlikle, daha iyi bir gürbüzlük ve düşük bir bit hata oranı sağlayabilir. İnsan görme sisteminin diğer bir özelliği ise zamansal değişik frekanslardaki ayırt edebilme hassasiyetinin birbirinden farklı olmasıdır. Böylelikle, farklı frekanslara gizlenecek sınır değerlerdeki mesaj bilgisi, bu zaafı dikkate almayan diğer metodlara göre performans artışı getirebilecektir.

Görüntü koyulukları veya bu koyulukların farklı uzaylara dönüştürülmesinden elde edilen katsayılarının belirli basamak değerlerine yuvarlanmasına karşılık gelen *nicemleme*, bilgi saklama için tercih edilen temel yaklaşımlardan biri sayılmaktadır. Literatürdeki nicemlemeye dayalı bilgi saklama metodlarının hemen hemen tamamı, elde edilen katsayıları birbirlerinden bağımsız olarak kodlamakta ve yine birbirlerinden bağımsız olarak değerlendirip, içlerindeki bilgileri ayrı ayrı çözmeye çalışmaktadır. Kafes kodlama nicemleme ismi verilen yaklaşım imge sıkıştırma için ortaya konmuş yeni bir yöntemdir. Bu yöntemin temeli birden çok katsayıyı belli bir yapısal sırayı takip ederek beraberce nicemleyip, çözme sırasında beraberce çözümlerken daha iyi bir hata performansı elde etmektir. Kafes kodlama nicemleme kullanarak bilgi saklamanın çeşitli ataklardan sonra benzer bir bozulmaya karşı daha gürbüz bir hata oranına sebep olması hedeflenmektedir.

Proje kapsamında güvenlik dışı uygulama olarak proje önerisinde de belirtildiği gibi 3 temel yaklaşım denenmiştir :

- İmge içerisine kendisi ile ilgili bilgilerin saklanması
- Video içerisine saklanacak bilgiler kullanarak daha gürbüz video iletiminin elde edilmesi
- İmge içine saklanacak bilgiler yardımıyla eski sıkıştırma standartlarına sadık kalınarak daha yüksek bir kalitenin elde edilmesi

İmge içerisine kendisi ile bilgilerin saklanması başlığı proje önerisinde verilen kapsamdan daha genel olarak değerlendirilip, görüntüye ait yalnızca piksel bilgisinin değil görüntü ile ilgili her tip sayısal bilginin gizlenmesi konusu araştırılmıştır. Bu kapsamda veriye ait görsel tanımlayıcılar içeren bir MPEG-7 dosyası ya da içinde farklı veri tipleri içeren HTML sayfaları imge içine saklanabilecektir. Bu alt problemin çözümünde kullanılan yöntem olarak yüksek kapasiteli ve düşük gürbüzlüğe sahip çeşitli bilgi saklama yöntemleri denenmiştir.

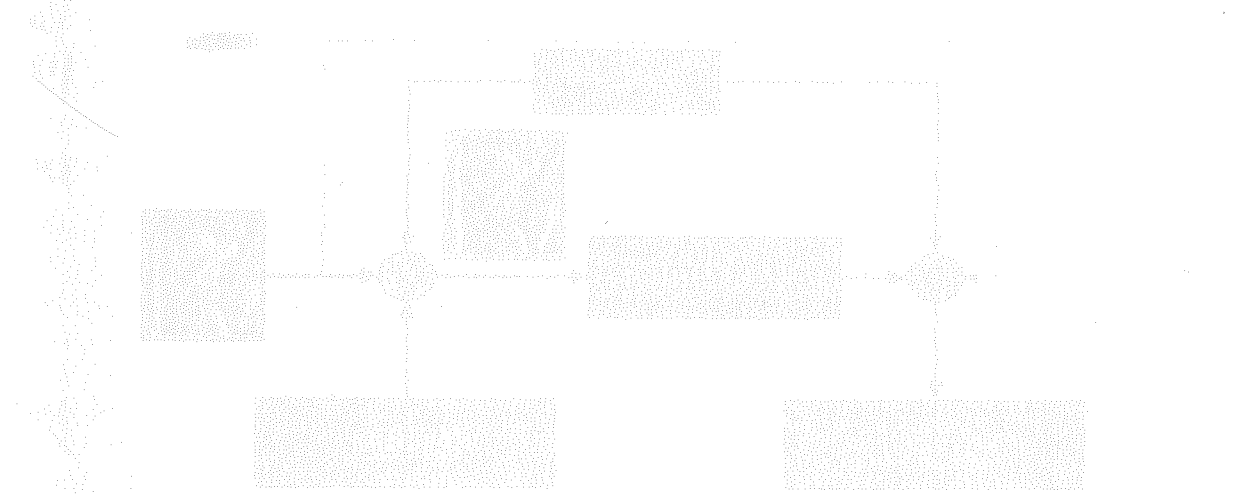
Video içine saklanacak bilgiler ile gürbüz video iletimi elde edilmesi problemi için kullanılan yöntem ise literatürdeki bu konudaki farklı çalışmalarını birleştirici tarzda olmuş ve bu konudaki ilk kapsamlı deneylerin yapılmasını sağlamıştır. Kayıp bloklara ait kenar bilgisi veya kayıp bloğa ait toplam bit uzunluğu gibi bilgilerin, kodlama sırasında elde edilen hareket vektörleri ile beraberce başka blokların içerisine saklanmasının, onarım sırasında alıcı sistemde daha yüksek bir görüntü kalite oranına sebep olduğu gözlenmiştir.

İmge içine saklanacak bilgiler yardımıyla eski sıkıştırma standartlarına sadık kalınarak daha yüksek bir kalitenin elde edilmesi oldukça zor bir problem olarak düşünülebilir. Temel yöntem,

orijinal ve eski bir standart ile kodlanmış görüntüler arasındaki fark imgesinin yeni nesil sıkıştırma yöntemleri ile kodlanması ve eski standart ile kodlanmış görüntünün içerisine saklanmasıdır. Böylelikle, eski standardı kullanan imge göstericiler için format değişimi yaşanmamasına karşın bu gizli bilgiyi kullanabilen göstericiler eski standart görüntüyü daha yüksek bir kalitede gösterebilecektir. Fark imgelerinin istatistiki özelliklerinin normal imgelere göre daha zor sıkıştırmaya neden olması, bu yaklaşımın önündeki temel problem olarak durmaktadır.

Bilgi Saklama ve insan görme sistemi ile ilgili temel kavramlar ve literatürdeki farklı yöntemler Bölüm 2' te anlatılmıştır. Geliştirilen özgün bilgi saklama ve damgalama yöntemleri Bölüm 0'te bulunabilir. Bölüm 4 önerilen güvenlik dışı uygulamaların detaylarını ve yapılan deneylerin sonuçlarını bulundurmaktadır. Son olarak Bölüm 5, bu araştırmanın sonuçlarını derleyip, çıkarımları ve deneyimleri ortaya koyacaktır.

Özetle, bu çalışmada, insan görme sistemi ile ilgili temel kavramlar ve literatürdeki farklı yöntemler Bölüm 2' te anlatılmıştır. Geliştirilen özgün bilgi saklama ve damgalama yöntemleri Bölüm 0'te bulunabilir. Bölüm 4 önerilen güvenlik dışı uygulamaların detaylarını ve yapılan deneylerin sonuçlarını bulundurmaktadır. Son olarak Bölüm 5, bu araştırmanın sonuçlarını derleyip, çıkarımları ve deneyimleri ortaya koyacaktır.



Şekil 1 Bilgi saklama ve çıkartma süreci

2.1. Bilgi Saklamanın Kısıtları

Bilgi saklamanın 4 temel kısıtı bulunmaktadır [10,11].

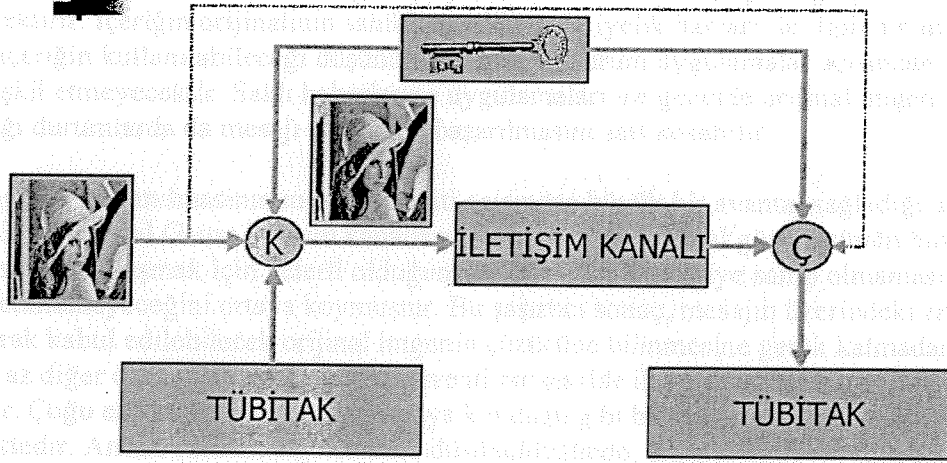
- Ortanercezlik
- Çözünürlük kapasitesi
- Çözünürlük
- Güvenlik

Özellikle bu kısıtlar arasında çözünürlük, ortanercezlik ve güvenlik kavramları, dijital bilgi saklama uygulamaları için en önemli kavramlardır. Çözünürlük kavramı, bir orijinal görüntüde bulunan bilgilerin saklanırken kaybolmamasına ve orijinal görüntüye yakın kalitede elde edilmesine bağlıdır. Ortanercezlik kavramı ise, bir orijinal görüntüde bulunan bilgilerin saklanırken kaybolmamasına ve orijinal görüntüye yakın kalitede elde edilmesine bağlıdır. Güvenlik kavramı ise, bir orijinal görüntüde bulunan bilgilerin saklanırken kaybolmamasına ve orijinal görüntüye yakın kalitede elde edilmesine bağlıdır.

2. BİLGİ SAKLAMA : GENEL BİLGİLER

İnsanoğlunun ilk çağlardan beri devam eden bilgi saklama uğraşı antik Yunanda gizli (*stegano*) yazı (*graphy*) olarak adlandırılmıştır. Kölelerin saçlarının kazınip, gizli mesajların kafaya kazınması ve kafadaki saçların uzaması ile mesajın saklanması gibi gizli mesajlaşma yöntemleri asırlar içinde gelişmiş ve çağımızda sayısal teknolojiler ve bilgisayar sistemleri ışığında daha kullanışlı bir hal almıştır.

Genel bir bilgi saklama şeması Şekil 1’de gösterilmiştir. Bu şemadan da anlaşılacağı gibi örnek olarak verilmiş Şekil 1’de bulunan “TÜBİTAK” mesajı en az bozulma yaratacak şekilde imge içine saklanıp, her tip mesaj bozma atağının veya işleminin olabileceği bir kanaldan geçirildikten sonra çözücüde tekrar elde edilmeye çalışılmaktadır. Orijinal imgenin çözücüde bulunması, çözme problemini kolaylaştırmakla beraber bazı uygulamalarda orijinal imge bulunamayabilmektedir. Güvenlikle ilgili uygulamalarda ise yalnızca kodlayıcı ve çözücüde bulunması zorunlu bir “anahtar” sayesinde saklama yöntemi ve saklanan mesajın güvenliği sağlanmaya çalışılmaktadır.



Şekil 1 : Bilgi Saklama Genel Şeması

2.1. Bilgi Saklamanın Kıstasları

Bilgi saklamanın 4 temel kıstası bulunmaktadır (4G) [1]:

- Görünmezlik
- Geniş saklama kapasitesi
- Gürbüzlük
- Güvenlik

Görünmezlik bu kıstaslar arasında olmazsa olmazı ifade etmektedir. Saklama kapasitesinin yüksek olması bilgi saklama uygulamaları için çok kritik olmakla birlikte damgalama uygulamaları için saklanan bilgi miktarı 1 bit olarak düşünülebilir (“damga var” ile “damga yok”). Verinin içerik sahibinden tüketiciye ulaşana kadar süreçte yaşayacağı tüm değişimlere karşı saklanan bilginin sağlamlığını ifade eden gürbüzlük ise bazı uygulamalar için çok gerekli olmayabilir. Örneğin,

sıkıştırılmış ve gürültüye karşı hassaslaşmış bir çoğulortam verisinin iletişim kanalında yaşayacağı hatalar içeriğin kendisini de kolayca bozabileceği için saklanan veri için ayrıca bir gürbüzlük beklemenin gereği bulunmamaktadır. Güvenlik kıstası da doğal olarak güvenlik temelli uygulamalar için önem kazanmaktadır.

2.2. Temel Yöntemler

Genel olarak, bilgi saklama yöntemleri çözücünde orijinal imgenin gerekliliği açısından iki temel sınıfa ayrılabilir [2]:

- Çözücünde orijinal imgeyi gerektiren yöntemler
- Çözücünde orijinal imgeyi gerektirmeyen (alındısız) yöntemler

İçerik sahibinin haklarını koruyan damgalama yöntemlerinin büyük çoğunluğu çözücünde orijinal imgeyi gerektirir. İçeriğin orijinalinin sahibinde olduğu ve iyelik hakları ile ilgili bir anlaşmazlık anında bu içeriğin kullanılabilmesi düşünülürken, bu durum uygulamalar açısından büyük bir problem teşkil etmeyecektir. Saklı haberleşme uygulamaları ise genelde orijinal imgenin bulunmadığı durumlarda da mesajı çözümenin başarılmasını şart koşabilir.

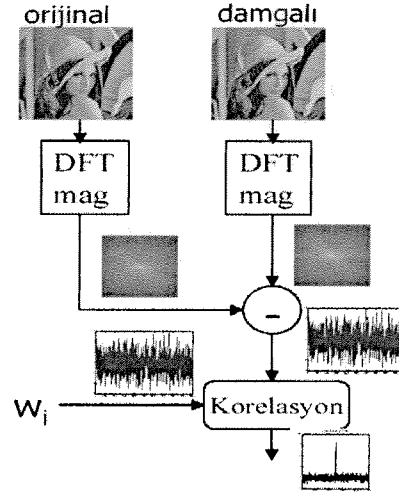
Orijinal imgenin kullanılmasının mesajın tespiti açısından büyük bir avantaj sağladığı düşünülse de, Costa [3] toplamsal Gauss iletişim kanalları için kodlayıcıda kanal gürültüsünün bilinmesinin kanal kapasitesine ulaşmak için yeterli olduğunu, çözücünün bu bilgiye sahip olmamasının kapasiteyi etkilemeyeceğini ortaya koymuştur. Bu şaşırtıcı sonuç, mesajın üzerindeki en büyük gürültü olarak kabul edilebilecek orijinal imgenin çözücünde bilinmesine gerek kalmadan da, mesajın en az diğer durumda olduğu kadar güvenli bir şekilde iletiminin sağlanabileceğini göstermiştir. Çoğu enformatik kuramının ortaya koyduğu gibi bu sonucun nasıl başarılacağı bilinmemektedir. Ancak varolan algoritmalar düşünülürken, orijinal imgeyi çözücünde kullanan metodların aynı görsel bozulmaya karşılık çok daha iyi bir gürbüzlük elde edebildiği görülmektedir.

2.2.1. Cox algoritması [4]

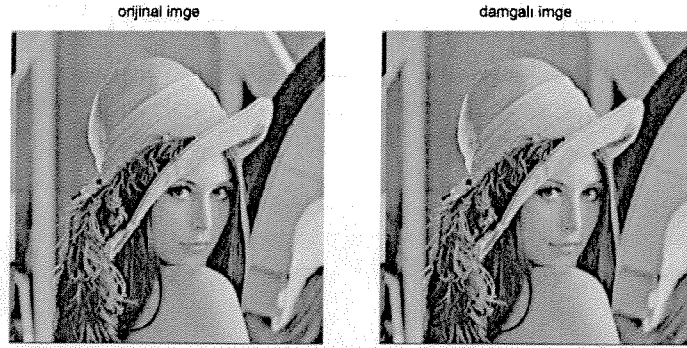
Damgalama yöntemleri içinde en çok kullanılan bu algoritma iletişim kuramındaki yayılı spektrum yaklaşımına dayanmaktadır. Ayrık Fourier Dönüşümü (AFD) ile ulaşılan frekans uzayındaki belli sayıdaki en "güçlü" frekansa mesajın eklenmesi ile ataklara karşı bir avantaj elde edilmiş olur. AFD sonucu elde edilen kompleks katsayıların, fazları yerine insan görme sistemi açısından daha az hassas olan büyüklük değerlerine saklanan damga, Gauss bir dağılımdan elde edildikten sonra belli bir katsayı ile çarpılıp katsayılar üzerine eklenir. Frekanslar arasında yüksek enerjili olanların tercih edilme sebebi tipik atakların görsel bozulma ile karşı karşıya kalmamak için bu tip frekanslarda daha az tahribat yapmaya çalışmasıdır.

Şekil 2'de çözücünde orijinal ve damgalı imgelerin AFD büyüklükleri arasında fark alındıktan sonra damga ile korelasyon yapılarak damganın sezimi gösterilmiştir. Korelasyon katsayısının 100 farklı damga arasında gizlenmiş damgaya ait sonucu Şekil 2'de çıkıntı olarak gözükmektedir. Sıfır

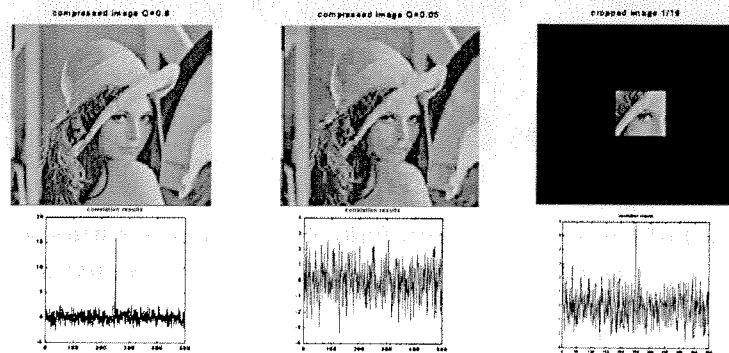
ortalama ve tekil standard sapmalı bir kaynaktan elde edilen damganın en büyük 1000 AFD katsayısına 0.1 ile çarpılma sonrası eklenmesi sonucu elde edilen imge Şekil 3 ve yöntemlerin JPEG kodlama ve kırılma performansları Şekil 4'te gösterilmiştir. Yüksek bozulma karşısında imgenin "değeri" kadar damga da zarar görebilmektedir.



Şekil 2 : Cox algoritması [3] ile damganın sezimi



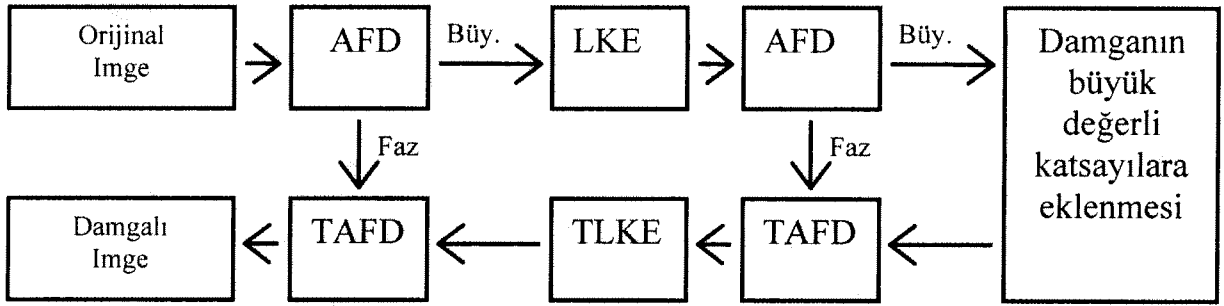
Şekil 3 : Cox algoritması [3] için orijinal ve damgalı imgeler



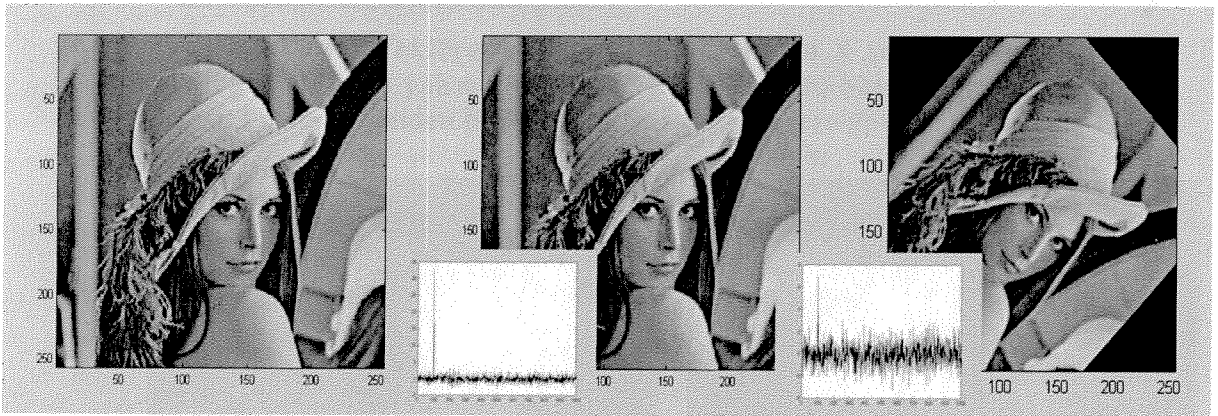
Şekil 4 : Cox algoritması [3] için JPEG kodlamaya ve kırılmaya dayanıklılık

2.2.2. Logaritmik-Kutupsal Eşleme (LKE) [5]

Damgalama atakları içinde en fazla bozucu etkinin dönme, öteleme ve boyut değiştirme sonucu elde edilmesine bağlı olarak bu ataklara karşı koyabilecek yöntemler geliştirilmeye çalışılmıştır. Ötelemelerle baş etmenin en kolay yolu AFD sonunda ortaya çıkan katsayıların faz bilgilerini ihmal edip, büyüklüklerine bakmaktır. Bu değerler (dairesel) ötelenmiş imgeler için orijinal ile aynı olmaktadır. Öteleme etkisinin olmadığı bu dönüşüm uzayında bilgi saklamak öteleme etkisinden kurtulmayı sağlamaktadır. Benzer bir şekilde 2-B imgeler için dönme etkisinin 2-B Fourier Dönüşümü üzerinde aynı oranda dönme olarak gözlenmesi nedeniyle, kutup koordinat sistemine çevrilmiş dönüşümün logaritmasının alınması, dönmeyi tekrar öteleme haline dönüştürecektir. Tekrar AFD alınıp, faz kullanılmazsa, son ulaşılan uzayda ötelenmiş, döndürülmüş ve boyutları değiştirilmiş bir imgenin orijinalinden farkı olmayacaktır. Böyle bir sistem Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil 6 orijinal imgeye karşılık küçültme ve dönme için başarıyla sezilmiş damgaları göstermektedir.



Şekil 5 : Logaritmik kutupsal eşleme ile damgalama

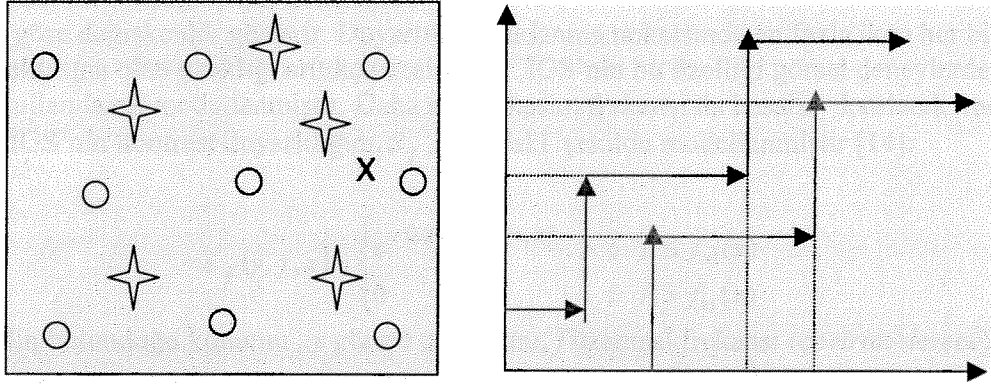


Şekil 6 : Logaritmik kutupsal eşleme. %5 küçültme ve 45 derece döndürme sonucu elde edilen saklanan damgaya ait korelasyon katsayısı

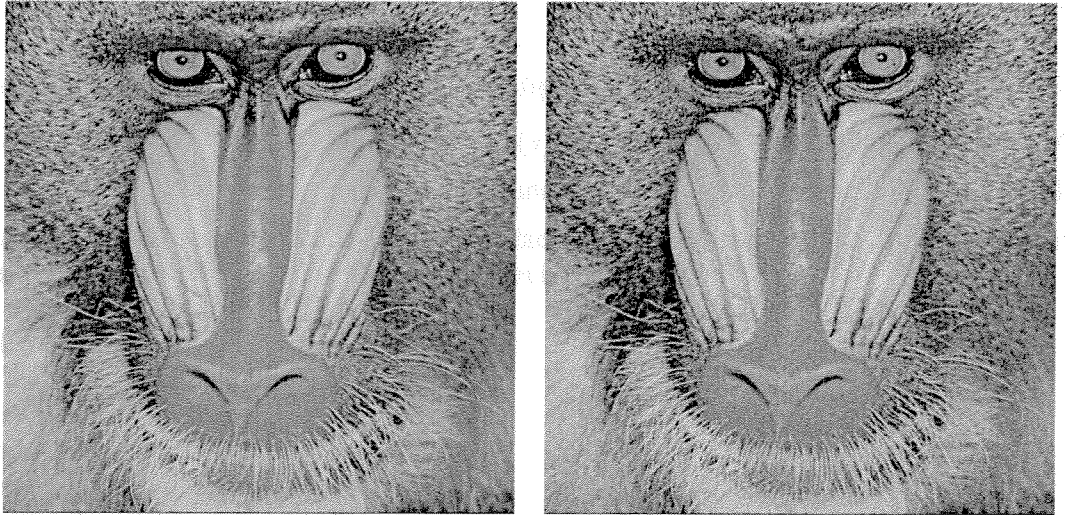
2.2.3. Nicemleme İndeks Modülasyonu (NİM) [7]

Yukarıda açıklanan metodların ikisi de çözücüde orijinal imgeye ihtiyaç duymaktadır. Orijinal imge olmadan damganın sezilebilmesi için damga üzerindeki gürültü olarak kabul edilen imgenin enerjisinin azaltılması gerekmektedir. Nicemleme kullanılarak bu etki azaltılabilir [6]. Bu yaklaşımdaki temel fark, farklı nicemleyicilerin imgede yaratacağı farklılıkların bilgi saklama açısından değerlendirilmesidir [7]. Şekil 7’de gösterilen vektörel ve skalar nicemleyiciler kullanarak girdi olarak kullanılan katsayılar mesajın değerine bağlı olarak farklı nicemleyiciler kullanılarak en yakın seviyelere yuvarlanır.

NİM kullanılarak bilgi saklama için kullanılan girdi değerleri içinde en yaygın olan AFD büyüklük katsayılarıdır. Genelde orta frekanslar arasından seçilecek katsayılar kullanılarak 64 bit saklanmış ve yazıcıdan bastırılıp, tarayıcıdan geri sayısallaştırılarak elde edilen imgenin içinden bilginin hatasız elde edilebildiği bir örnek Şekil 8 de gösterilmiştir.



Şekil 7 : (a) Vektörel nicemleyiciye girdi olan X sembolü, saklanacak bilgiye göre en yakın nicemleyici seviyesine, (b) Skalar nicemleyici için ise 2 nicemleyiciden birisinin belirleyeceği değere yuvarlanır.

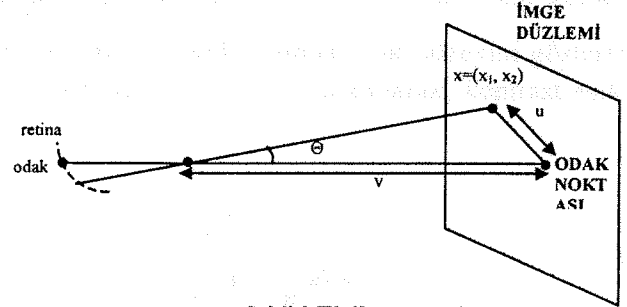


Şekil 8 (a) Orijinal ve (b) NİM kullanılarak 64 bit saklı imgeler. Saklı imge yazıcı ve tarayıcıdan geçirildikten sonra saklı bilgiler muhafaza edilebilmiştir.

3. ÖNERİLEN BİLGİ SAKLAMA YÖNTEMLERİ

3.1. Odaklamaya Dayalı Bilgi Saklama

Bu bölümde gözün odaklanma özelliğinin temelleri ve daha sonra da bu özellikten faydalanılarak önerilen görünmez damgalama metodu anlatılmaktadır. Önerilen metodun gürbüzlüğü bazı imge işleme uygulamalarından geçirilerek test edilip, daha önceki insan görme sistemine dayalı metotlarla önerilen metot karşılaştırılmıştır.



Şekil.9 Tipik geometri

İnsan Görme Sistemi'nin (İGS) kontrast duyarlılığı [11] her bir pikselin odak noktasına olan uzaklığına göre değişkenlik gösterir. Duyarlılık odaklanma noktasında en fazla iken her bir pikselin odak noktasına olan uzaklığı arttıkça azalır [13]. İGS'nin bu özelliği görsel deneylerden elde edilen bilgiler kullanılarak modellenmiştir. Daha sonra, kesim frekansı da hesaba katılarak model geliştirilmiş ve İGS'nin kontrast duyarlılığını, S_f , aşağıdaki şekilde modellenmiştir [14]:

$$S_f(v, f, x) = \begin{cases} e^{-0.0461 \cdot f \cdot e(v, x)} & ; f \leq f_m(x) \\ 0 & ; f > f_m(x) \end{cases} \quad (3.1)$$

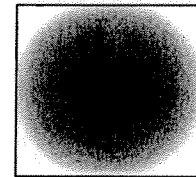
Burada x pikselin bulunduğu konumu, v görme uzaklığını, f uzamsal frekansı (çevirim/derece), $e(v, x)$ görme açısını (derece) (Şekil 9'da Θ 'ya karşılık gelir.) ve $f_m(x)$ belli bir piksel konumu, x , için kesim frekansını gösterir. Kesim frekansı üzerindeki frekansları göz çözemez ve aynı tonda görür. Eşitlik (3.1)'deki model aşağıdaki eşitlik kullanılarak, DWT uzayındaki herbir altbant için uyarlanabilir [8]:

$$S_f(v, f, x) = S_f(x, r \cdot 2^{-\lambda}, d_{\lambda, \Phi}(x)) ; x \in B_{\lambda, \Phi} \quad (3.2)$$

Burada r ekran çözünürlüğünü, λ dalgacık dönüşümünün ayrışma düzeyini, $B_{\lambda, \Phi}$ belirli bir altbanttaki, (λ, Φ) , dalgacık katsayıları kümesini, $d_{\lambda, \Phi}(x)$ ise $x \in B_{\lambda, \Phi}$ konumundaki bir pikselin odak noktasından normal piksel uzayındaki eşdeğer uzaklığını gösterir. Kontrast duyarlılığı, S_f , nicemleme düzeylerinin belirlenmesi için kullanılır [13]. Bu düzeyler kullanılarak yapılan nicemleme sonucu oluşan nicemleme hataları göz ile fark edilemeyecek seviyededir [12].

3.1.1. Önerilen Metod:

Görünmez damgalamada önemli bir prensip, konulan damganın çeşitli sinyal işleme operasyonlarına karşı daha gürbüz olabilmesi için, damganın imgenin İGS için önemli olan kısmına konmasıdır [9]. Buradaki uygulamada, göz için önemli olan kısmın odak noktası ve yakın çevresi



Şekil.10 Kontrast eşik ağırlık fonksiyonu

olması sebebiyle damganın büyük çoğunluğunun odak noktası çevresine konması gerekir. Diğer taraftan, odak noktasından uzaklaştıkça gözün farkedilebileceği kontrast eşik düzeyleri artar. Bu artıştan dolayı, damga imge içine enerjisi odak noktasından uzaklaştıkça artacak şekilde konmalıdır. Bu iki gerekçe, aşağıda ayrıntısı verilen yordamla sağlanmıştır. İGS'ye dayalı görünmez damgalama metotlarında önemli bir parametre, $T_{\lambda, \Phi}$ olup, dalgacık dönüşümündeki her bir altbant için görsel deneyler sonucunda belirlenmiş olan gözün farkedemeyeceği en büyük kontrast eşik düzeyini gösterir [8]. Önerilen metotta, öncelikle, eşitlik (3.1)'deki kontrast duyarlılığı, S_f , kullanılarak, kontrast eşik ağırlık fonksiyonu tanımlanır:

$$T_f(v, f, x) = \begin{cases} 1/S_f(v, f, x) & ; f \leq f_m(x) \\ 1/S_f(v, f, \bar{x}) & ; f > f_m(x), f_m(\bar{x}) = f \end{cases} \quad (3.3)$$

$T_f(v, f, x)$ fonksiyonu odak noktasında 1 değerini alır ve odak noktasından uzaklaştıkça değeri artar. Şekil 10' da $T_f(v, f, x)$ gösterilmiştir. Karanlık kesimler düşük değerleri gösterir. Daha sonra, $T_f(v, f, x)$, eşitlik (3.2)'ye benzer şekilde, dalgacık dönüşümündeki her bir altbant için uyarlanır:

$$T_f(v, f, x) = T_f(v, r, 2^{-\lambda}, d_{\lambda, \Theta}(x)) \quad ; x \in B_{\lambda, \Theta} \quad (3.4)$$

Son olarak, $T_{\lambda, \Phi}$ ile $T_f(v, f, x)$ çarpılarak, $T_{\lambda, \Phi}$ eşik düzeylerinin etkisi metoda dahil edilir:

$$T(v, r, 2^{-\lambda}, d_{\lambda, \Theta}(x)) = T_{\lambda, \Phi} T_f(v, r, 2^{-\lambda}, d_{\lambda, \Theta}(x)) \quad (3.5)$$

Önerilen metot, daha öncede belirtildiği gibi, İGS'ye dayalı damgalama metotlarının [9,10] damgayı imgeye koyma ve damgayı belirleme kısımlarıyla benzerdir. Farklılık ise, sabit kontrast eşik düzeyleri kullanma yerine, gözün odaklanma özelliğinden kaynaklanan konuma bağlı değişken kontrast eşik düzeyleri kullanılmasıdır. Metod aşağıdaki gibi özetlenebilir (Gösterimde kolaylık olması için $T(v, r, 2^{-\lambda}, d_{\lambda, \Theta}(x))$ yerine $t_{x, \lambda, \Phi}$ kullanılmıştır.):

1. İmgeyi 9-7 biorthogonal filtreler kullanarak dalgacık uzayında altbantlara ayırma.
2. Eşitlik 5'i kullanarak her bir altbant için $t_{x, \lambda, \Phi}$ 'nin hesaplanması.
3. Görünmez damganın aşağıdaki eşitlik kullanılarak imgeye konulması:

$$I_{x, \lambda, \Phi}^* = \begin{cases} I_{x, \lambda, \Phi} + t_{x, \lambda, \Phi} \cdot W_{x, \lambda, \Phi} & ; I_{x, \lambda, \Phi} > t_{x, \lambda, \Phi} \\ I_{x, \lambda, \Phi} & ; I_{x, \lambda, \Phi} \leq t_{x, \lambda, \Phi} \end{cases} \quad (3.6)$$

Burada $I_{x,\lambda,\Phi}$, x konumundaki dalgacık katsayısını, $I_{x,\lambda,\Phi}^*$ damgalanmış dalgacık katsayısını ve $w_{x,\lambda,\Phi}$ görünmez damga dizisini gösterir.

Eşitlik (3.6), odak noktası etrafında kontrast eşik düzeyi, $t_{x,\lambda,\Phi}$, daha düşük olduğu için daha fazla dalgacık katsayısının damgalanmasını netice verir. Diğer taraftan, kenarlara doğru gidildikçe $t_{x,\lambda,\Phi}$ arttığı için imgeye eklenen damga enerjisi de artacaktır.

3.1.2. Deneysel sonuçlar

Simulasyonlarda, kullanılan imgeler 512x512 boyutlarındadır. Tek bir odaklanma noktası (imgenin ortası) kabul edilip, görsel uzaklık imgenin genişliğinin 3.58 katı olarak alınmıştır. Görünmez damga ortalaması sıfır alınıp ve değişkesi bir olan Gauss dağılımdan elde edilmiştir. Şekil 11.(b)'de 'Lena' imgesi için damgalanmış imge gösterilmiştir. Asıl ve damgalanmış imgenin kenar ve orta kısımları Şekil 11.(c),(d),(e),(f)'de sırasıyla gösterilmiştir. Kenar kısımlarda oluşan bozulmalar kenarlarda eşik düzeylerinin artma sebebine bağlıdır. Buradaki ana nokta, odak noktasına bakan bir gözlemcinin kenar noktadaki bozulmaları fark edemeyeceğidir. Dolayısıyla, odak noktasına bakılması kabul edilerek, asıl ve damgalanmış imge görsel olarak eşit kabul edilebilir. Karşılaştırma için İGS'ye dayalı görünmez damgalama metotlarından biri [9] uygulanmıştır. Çizelge I, II ve III'de iki metot için sırasıyla kırpma, sıkıştırma ve Gauss gürültüsü ekleme uygulamalarına karşı gürbüzlük sonuçları gösterilmiştir. Sonuçlar daha önceki metodlara göre belirgin bir gelişme göstermektedir.

Kırpma	Algoritma	Lena	Harb	Pepp	Airf	Brid
¼	Önerilen	0.97	0.89	0.95	0.87	0.88
	IA-W [9]	0.65	0.55	0.54	0.56	0.50
1/16	Önerilen	0.69	0.64	0.77	0.54	0.61
	IA-W [9]	0.33	0.33	0.30	0.31	0.25

Çizelge I: Kırpma uygulaması için ilinti sonuçları

Lena İmgesi	Asıl ve damgalanmış imge arasındaki PSNR dB						
	14	17	20	25	31	37	40
Önerilen	0.30	0.47	0.56	0.78	0.92	0.98	0.99
IA-W [9]	0.19	0.31	0.40	0.63	0.79	0.83	0.96

Çizelge II: Gürültü ekleme için ilinti sonuçları.

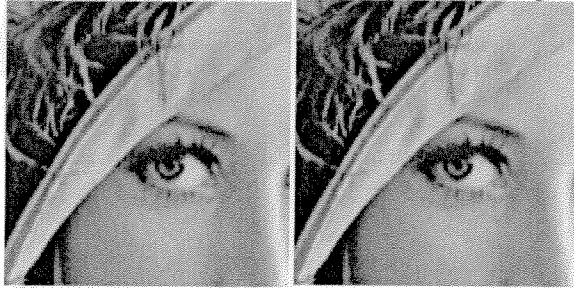
İmge	Algoritma	kalite faktörü Q					
		80	60	40	20	10	5
Lena	Önerilen	0.89	0.87	0.85	0.68	0.58	0.34
	IA-W [9]	0.70	0.66	0.62	0.50	0.30	0.16
Harb	Önerilen	0.98	0.97	0.93	0.82	0.55	0.30
	IA-W [9]	0.95	0.89	0.79	0.54	0.31	0.16
Pepp	Önerilen	0.98	0.97	0.95	0.84	0.58	0.30
	IA-W [9]	0.95	0.90	0.81	0.53	0.27	0.14
Airf	Önerilen	0.98	0.96	0.93	0.83	0.57	0.22
	IA-W [9]	0.94	0.88	0.78	0.55	0.32	0.19
Brid	Önerilen	0.98	0.97	0.95	0.86	0.66	0.35
	IA-W [9]	0.96	0.89	0.81	0.56	0.30	0.16

Çizelge III : JPEG sıkıştırma için ilinti sonuçları



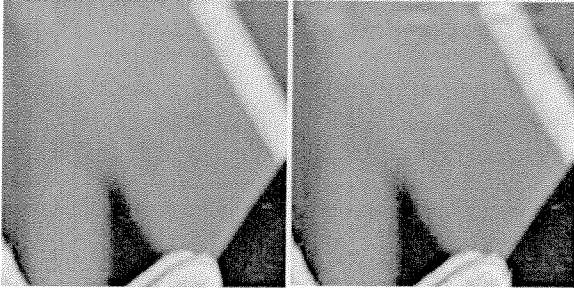
(a) Asıl imge

(b) Damgalanmış imge



(c) Odak ve etrafı (a için)

(d) odak ve etrafı (b için)



(e) kenar kısımlar (a için)

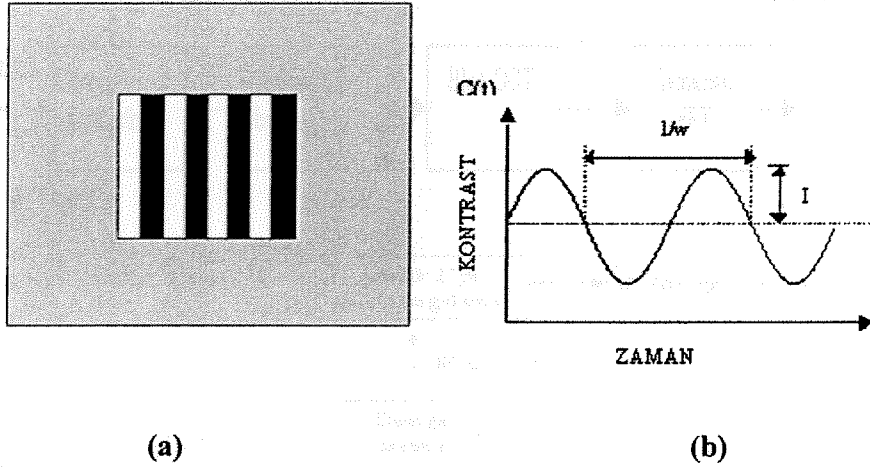
(f) kenar kısımlar (b için)

Şekil 11. Lena imgesi için sonuçlar

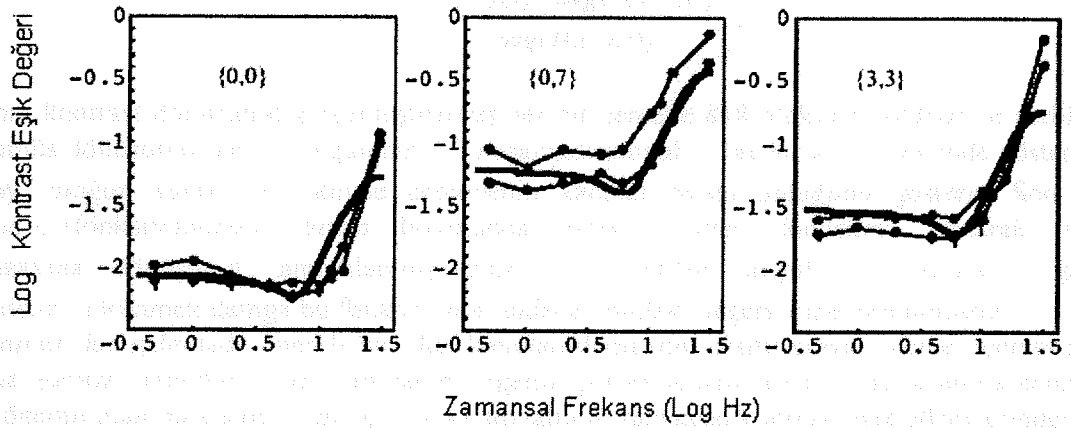
3.2. Zamansal Kontrast Duyarlılığına Dayalı Video Damgalama

Bu bölümde İnsan Görme Sistemi'nin (İGS) zamansal değişimlere duyarlılığına dayanan yeni bir video damgalama yöntemi anlatılacaktır. Literatürdeki video damgalama yöntemleri oldukça kısıtlı sayıda bulunmaktadır [16-18]. Bu yeni yöntem, zamansal kontrast eşik düzeylerini kullanarak, damganın nereye ve hangi büyüklükte konulacağını belirlemektedir. Yöntemin, toplamsal Gauss gürültüsüne, ITU H263+ video kodlamasına, video çerçevelerinin zamansal ortalamasını alma ve çerçeve düşürme gibi tipik ataklara karşı gürbüzlüğü gösterilmiştir.

Zamansal kontrast eşik düzeylerinin hesaplanması ile ilgili görsel deneylerin düzenlenmesi Şekil 12'de gösterilmiştir. Özetle, belli bir konumsal frekanstaki, (u,v) , görüntü (Şekil 12.(a)), belli bir zamansal frekanstaki, w , sinüzoidal bir sinyalle (Şekil 12.(b)) çarpılarak, deneklere zaman eksenindeki değişimleri farkedip farkedemedikleri sorulur. Olumsuz cevapların alınması durumunda sinüzoidal sinyalin genliği artırılarak aynı işlem tekrarlanır. Deneklerin 50 % oranında olumlu cevap verdiği durumdaki sinüzoidal sinyalin genliğinin sinyalin ortalamasına oranı zamansal kontrast eşik değerini verir [19]. Daha önceki çalışmalarda, farklı (u,v) ve w değerleri için deneyler tekrarlanarak, zamansal kontrast eşik düzeyleri belirlenmiş ve bu düzeyler $T(u,v,w)$ olarak gösterilmiştir [20]. Şekil 13'de eşik değerleri bazı (u,v) değerleri için w 'nın bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Bu düzeylerden daha küçük değişimleri İGS farkedemez. Diğer bir deyişle, bu eşik düzeyleri videoya konulacak damganın büyüklüğünü belirlemek amacıyla kullanılabilir.



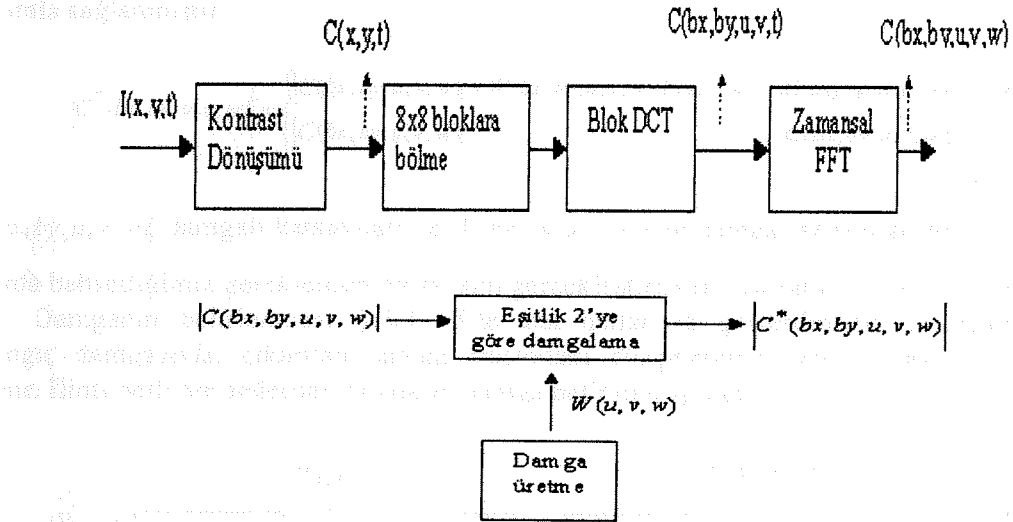
Şekil 12: (a)'daki görüntü, (b)'deki sinyalle çarpılır ve deneklere görüntüdeki zamansal değişimleri farketmeleri test edilir. Sinüs sinyalin genliği, zamansal değişimleri farkedilinceye kadar artırılır.



Şekil 13: Bazı DCT frekansları için ölçülen zamansal kontrast eşik düzeyleri [20].

3.2.1. Önerilen damgalama metodu:

Yöntemde ilk aşama videonun kamera çekimlerine ayrılmasıdır. Her bir kamera çekimi (shot) için, Şekil 14'de genel hatlarıyla verilen yordam uygulanır. Zamansal kontrast eşik düzeyleri (u, v, w) uzayında verildiğinden dolayı, video sinyalinde bu uzaya çevrilmesi gerekmektedir.



Şekil 14: Genel hatlarıyla damgalama yordamı.

Her kamera çekimindeki video sinyali $I(x, y, t)$ olarak gösterilmiştir. (x, y) sırasıyla yatay ve dikey konumu, t ise zamanı gösterir. $I(x, y, t)$ sinyalinin ortalaması alınır ve bu değer sinyalden çıkarıldıktan sonra, sinyal bu değere bölünerek kontrast dönüşümü gerçekleştirilir:

$$C(x, y, t) = \frac{I(x, y, t) - \text{avg}(I(x, y, t))}{\text{avg}(I(x, y, t))} \quad (3.7)$$

Daha sonra kontrast dönüşümü gerçekleştirilmiş her bir çerçeve 8x8 bloklara bölünür ve her bir bloğa ayırık kosinüs dönüşümü (DCT) uygulanır. Bu aşamada sinyal $C(bx, by, u, v, t)$ şeklinde gösterilebilir. bx ve by , bloğun yatay ve dikeyde çerçevenin kaçınıcı bloğu olduğunu gösterir. Son olarak, $C(bx, by, u, v, t)$ fonksiyonunun zaman boyutunda ayırık Fourier dönüşümü alınarak, sinyalin (u, v, w) uzayına dönüşümü tamamlanmış olur. Elde edilen sinyal $C(bx, by, u, v, w)$ şeklinde gösterilmiştir. Görünmez damga bu fonksiyonun sadece mutlak değeri içine konulmuştur.

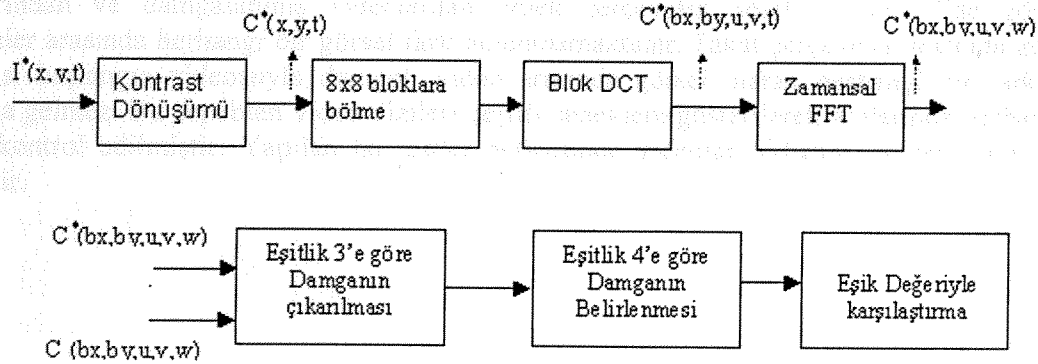
Görünmez damgalamada önemli bir ilke, konulan damganın çeşitli sinyal işleme operasyonlarına karşı daha gürbüz olabilmesi için, damganın imgenin görsel açıdan önemli olan kısmına konmasıdır. Videoda önemli olan bu kısım, $C(bx, by, u, v, w)$ sinyalinin, zamansal kontrast eşik düzeylerinden büyük olan katsayılarıdır. Eşik değerlerinden daha küçük olan katsayılar, İGS tarafından farkedilmediği için önemsiz olup, bu katsayılar büyük olasılıkla MPEG, ITU H263+ gibi kayıplı sıkıştırma uygulamalarında elenecektir.

Görünmez damgalamada bir diğer önemli nokta, görünmezlik ve gürbüzlük gerekleri arasındaki karşılıklı etkileşimdir. Bu gereklerden herhangi birisinden kazanç elde etmek, diğerinden kayıp vererek sonuçlanır. Konulan damganın görünmezliğinin etkilenmemesi için konulan damganın büyüklüğünün zamansal eşik düzeylerini geçmemesi gerekmektedir. Bu iki gerekçe aşağıda verilen yordamla sağlanmıştır:

$$|C^*(bx, by, u, v, w)| = \begin{cases} |C(bx, by, u, v, w)| + W(bx, by, u, v, w).T(u, v, w), & |C(bx, by, u, v, w)| \geq T(u, v, w) \\ |C(bx, by, u, v, w)|, & |C(bx, by, u, v, w)| < T(u, v, w) \end{cases} \quad (3.8)$$

$|C^*(bx, by, u, v, w)|$ damgalı katsayıları ve $W(bx, by, u, v, w)$ ise damga dizisini gösterir. Eşitliğin alt satırı, yukarda bahsettiğimiz gereklerden birincisini gerçekleştirirken, üst satırı ise ikinci gereği sağlar.

Damganın belirlenmesi Şekil 15'te ana hatlarıyla gösterilmiştir. Damganın belirlenmesi, başlangıç damgasıyla, çıkarılan damga arasındaki düzgelenmiş ilinti katsayısının hesaplanmasına dayanır. İlinti belli bir değerden büyükse, damga belirlenmiş olur.



Şekil 15 : Genel hatlarıyla damganın belirlenmesi.

Şekil 15'te $I^*(x, y, t)$ çeşitli sinyal operasyonlarından geçmiş olan video sinyalini gösterir. Amacımız bu sinyale gizlenmiş olan damganın belirlenmesidir. Damga (u, v, w) uzayında konulduğu için $I^*(x, y, t)$ sinyalinin de bu uzaya çevrilmesi gerekir. Dönüşüm sonucu elde edilen sinyal $C^*(bx, by, u, v, w)$ olarak gösterilmiştir. $C^*(bx, by, u, v, w)$ sinyalinden $C(bx, by, u, v, w)$ sinyali çıkarılır ve sonuç kontrast eşik değerine bölünür :

$$D(bx, by, u, v, w) = C^*(bx, by, u, v, w) - C(bx, by, u, v, w) \quad (3.9)$$

$$W^*(bx, by, u, v, w) = \frac{D(bx, by, u, v, w)}{T(u, v, w)}$$

$W^*(bx, by, u, v, w)$, çıkartılmış olan damga sinyaline karşılık gelir. Başlangıç damgasıyla, çıkartılan damga arasındaki düzelenmiş ilinti aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$w_1 = \frac{W(bx, by, u, v, w)}{|W(bx, by, u, v, w)|} \quad w_2 = \frac{W^*(bx, by, u, v, w)}{|W^*(bx, by, u, v, w)|} \quad (3.10)$$

$$p(w) = w_1 \cdot w_2 \quad (w_1 \text{ ve } w_2 \text{ 'nin iç çarpımı})$$

$$\text{ilinti} = \text{ortalama}(p(w)) \quad (\text{iç çarpımların ortalaması})$$

Eşitlikte görüldüğü üzere, damga dizileri büyüklüklerine bölünerek düzelenir, herbir zamansal frekans için düzelenmiş damgaların iç çarpımları hesaplanır ve en son olarak bu iç çarpımların ortalaması alınarak düzelenmiş ilinti hesaplanmış olur. Düzelenmiş ilinti, belli bir eşik düzeyiyle karşılaştırılarak damganın varlığına karar verilir.

3.2.2. Deneysel Sonuçlar:

Simülasyonlar sırasında kullanılan video *Coastguard* ve *Carphone* QCIF dizileridir. Dizilerin sadece ilk 60 çerçevesi damgalamada kullanılmıştır ve sadece Y bileşenleri damgalanmıştır. Başlangıç videolarından ve damgalanmış videolardan örnek çerçeveler Şekil 16 ve 17'de gösterilmiştir. Çerçeveler arasında herhangi bir görsel fark bulunmamaktadır. Fakat çerçeveler arasında görsel farkın olmaması başlangıç videosuyla damgalı video arasında görsel olarak herhangi bir fark olmaması anlamına gelmez. Bu sebepten video dizileri çeşitli deneklere gösterilerek aralarında herhangi bir fark olması kontrol edilmiştir. Yapılan bu testler neticesinde videolar birbirine görsel olarak eşit kabul edilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 16: (a) Orijinal ve (b) damgalı *Coastguard* dizisinden çerçeve örneği.



(a)

(b)

Şekil 17: (a) Orijinal ve (b) damgalı *Carphone* dizisinden çerçeve örneği.

Yöntemin toplamsal Gauss gürültüsü, ITU H263+ kodlaması, video çerçevelerinin zamansal ortalamasını alma ve çerçeve düşürme uygulamalarına karşı gürbüzlüğü test edilmiştir. Damga ekleme, ataktan geçirme ve damga belirleme işlemleri her defasında ayrı damgalar kullanarak 30 defa tekrarlanmıştır. Aynı zamanda damgalanmamış orijinal video da aynı işlemlerden geçirilerek düzelenmiş ilinti bulunmaya çalışılmıştır. İlinti katsayısının içerisinde damga bulunan videoda büyük, damga bulunmayan videoda ise küçük çıkacağı açıktır. Yapılan 30 tekrar eden deney sonunda, damga bulunan durumdaki ilintilerin en küçük değeri ve damga bulunmayan durumdaki ilintilerin en büyük değeri belirlenmiştir. Bu iki değer arasındaki farkın büyük olması, yöntemin o atağa karşı gürbüzlüğünü gösterir.

3.2.2.1. Yöntemin Toplamsal Gauss Gürültüsüne Karşı Gürbüzlüğü:

Metodun, İGS'nin zamansal değişimlere duyarlılığına bağlı kodlamalara karşı dayanıklılığını test etmek amacıyla, (u, v, w) uzayında, videoya Gauss gürültüsü, zamansal kontrast eşik değerleriyle çarpılarak eklenmiştir:

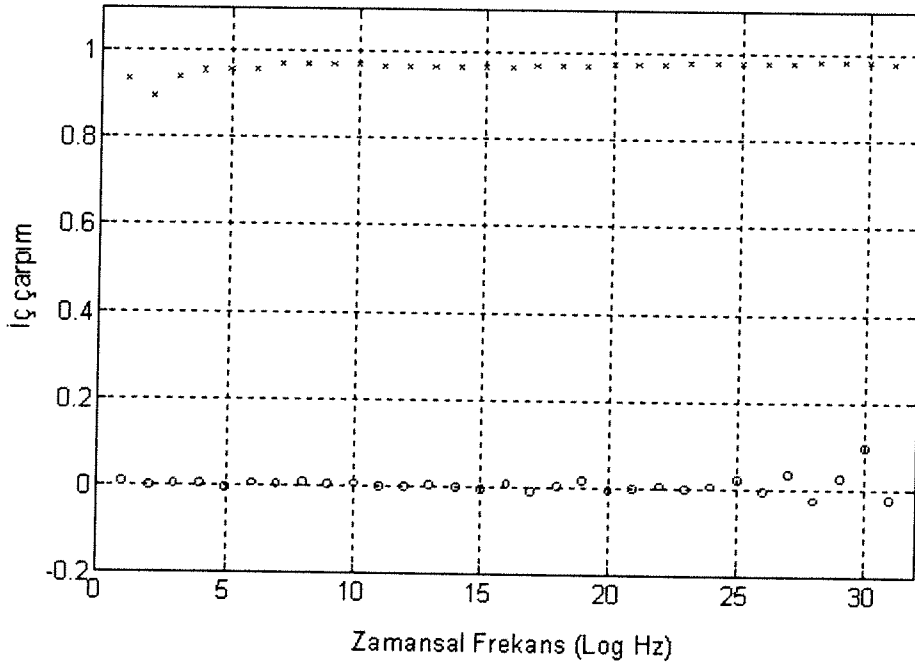
$$|NW(bx, by, u, v, w)| = |C^*(bx, by, u, v, w)| + N(bx, by, u, v, w).T(u, v, w)$$

$NW(bx, by, u, v, w)$ gürültü eklenmiş katsayıları, $N(bx, by, u, v, w)$ ise ortalaması 0, değişkesi 0.1 olan Gauss gürültü dizisini gösterir. Çizelge IV'de damgalanmış ve damgalanmamış (orijinal) videolar için ilinti sonuçları verilmiştir. Damgalı video durumundaki en küçük ilinti değeriyle, damgasız video için bulunan en büyük ilinti değerinin arasındaki büyük fark, yöntemin Gauss gürültüsüne karşı gürbüzlüğünü göstermiştir. Şekil 18'de iç çarpım sonuçları zamansal frekansa göre çizilmiştir.

Damgalı ve damgasız durumlar için çizilen iki grafiğin kesişmemesi ve aralarındaki farkın büyük olması gürbüzlük açısından gereklidir.

Çizelge IV: Gauss gürültü eklendikten sonra, damgalı ve damgasız videolar için ilinti sonuçları.

Video	PSNR (dB)	Damgalı video			Orijinal video		
		Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min
<i>Coast</i>	26.9	0.9721	0.9670	0.9648	0.0256	0.0049	-0.0164
<i>Carphone</i>	27.8	0.9822	0.9810	0.9776	0.0065	-0.0025	-0.0132



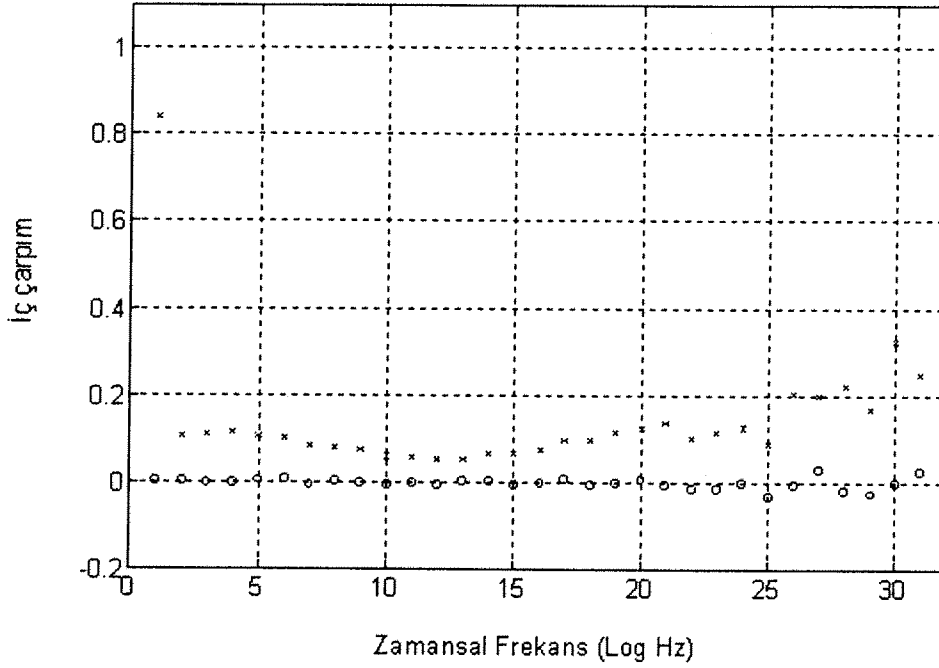
Şekil 18: *Coastguard* dizisi için Gauss gürültüsü sonrası, damgalı (x) ve damgasız videolar (o) için iç çarpım sonuçları.

3.2.2.2. Yöntemin ITU H263 + Kodlamasına Karşı Gürbüzlüğü :

Video damgalama için büyük olasılıkla uygulanabilecek ataklardan birisi, kayıplı sıkıştırma uygulamasıdır. Bu bağlamda yöntemin ITU H.263 + uygulamasına karşı gürbüzlüğü çeşitli bit hızlarında test edilmiş ve yöntemin 230-240 kbps sıkıştırma oranlarına kadar dayanıklı olduğu tesbit edilmiştir. Çizelge V'de damgalı ve damgasız videolar için ilinti sonuçları gösterilmiştir. Şekil 19'da ise iç çarpım sonuçları, herbir zamansal frekansa göre çizilmiştir. Şekil 19'daki dikkate değer bir nokta, iç çarpımın DC frekansı için çok büyükken, AC frekanslar için küçük değerlerde kalmasıdır. Bu sonuçtan, ITU H.263+ kodlamasının AC frekansları daha fazla bozduğu çıkarılabilir.

Çizelge V: ITU H263+ kodlamasından sonra, damgalı ve damgasız videolar için ilinti sonuçları.

Video	Bit rate (kbps)	PSNR (dB)	Damgalı video			Orijinal video		
			Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min
<i>Coast</i>	230	29.4	0.1796	0.1416	0.1291	0.0282	0.0084	0.0241
<i>Carphone</i>	246	34.5	0.2238	0.2093	0.1929	0.0094	0.0016	0.0098



Şekil 19: *Coastguard* dizisi için ITU H263+ kodlamasından (230-240 kbps) sonra, damgalı (x) ve damgasız videolar (o) için iç çarpım sonuçları.

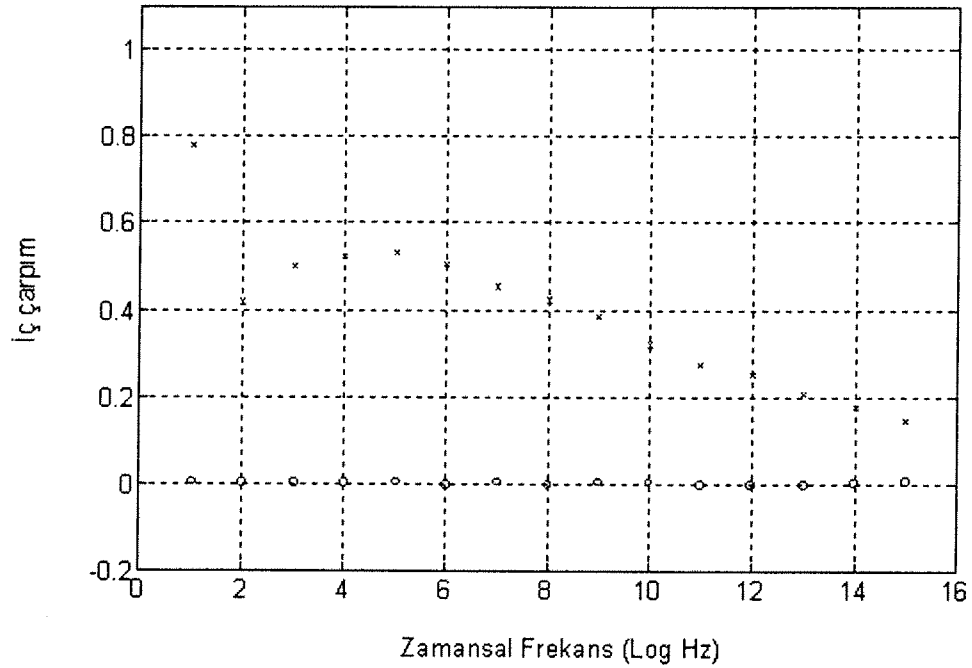
3.2.2.3. Çerçeve Düşürme ve Çerçevelerin Ortalamasını Alma Ataklarına Karşı Gürbüzlük:

Video için tipik ataklardan bazıları çerçeve düşürme ve çerçevelerin zaman ekseninde ortalamasını alma şeklinde olabilir. Çerçeve düşürme atağını test etmek amacıyla, videonun her iki çerçevesinden birisi eksiltildi. Bu atak için ilinti sonuçları Çizelge VI'de verilmiştir. Şekil 20'de ise iç çarpım sonuçları zamansal frekansa bağlı olarak çizilmiştir. Çerçevelerin ortalamasını alma atağında ise, her iki çerçeveden birisi düşürülmüş ve düşürülen çerçevenin yerine, komşu iki çerçevenin ortalaması konmuştur. Bu atak için ilinti sonuçları Çizelge VII'te verilmiştir. Şekil 21'de ise iç çarpım sonuçları zamansal frekansa bağlı olarak çizilmiştir. İlinti sonuçları bulunurken, bahsettiğimiz atakların daha çok yüksek frekansları bozması sebebiyle sadece düşük frekansların ortalaması alınmıştır. Bir başka deyişle, 60 çerçeve videoonun ilk 15 alçak frekansın ortalaması alınarak ilinti sonuçları bulunmuştur.

Zamansal frekans artıkça, ilinti sonuçlarındaki düşüş, bahsettiğimiz atakların daha çok yüksek frekansları bozması sebebindendir.

Çizelge VI: : Çerçeve düşürme atağına karşı, damgalı ve damgasız videolar için ilinti sonuçları.

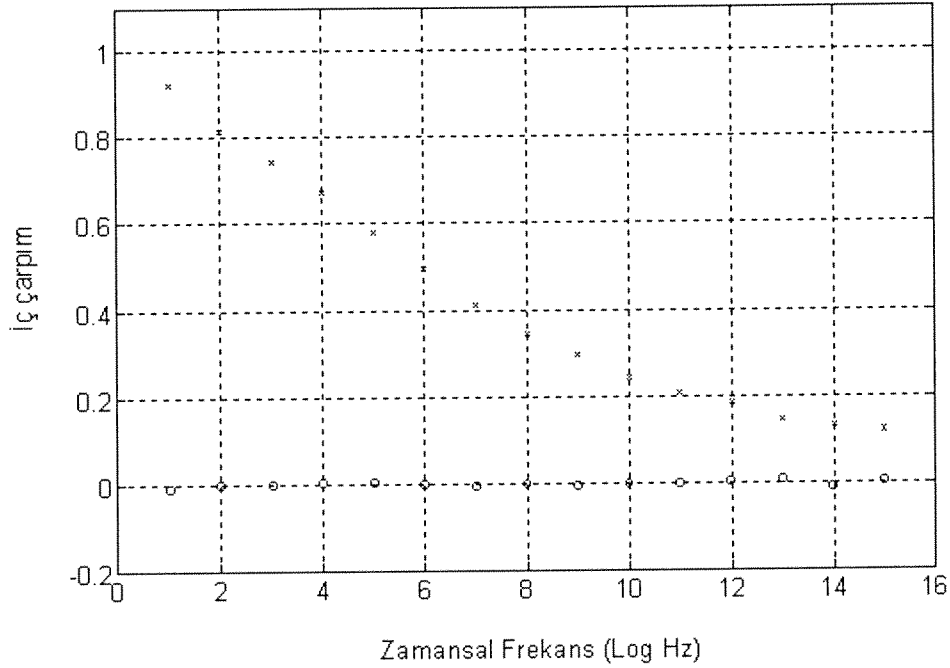
Video	Damgalı video			Orjinal video		
	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min
<i>Coast</i>	0.3983	0.3925	0.3863	0.0079	0.0011	-0.0072
<i>Carphone</i>	0.2410	0.2287	0.2105	0.0010	0.0014	-0.0084



Şekil 20: *Coastguard* dizisi için çerçeve düşürme operasyonundan sonra, damgalı (x ile gösterilmiştir) ve damgasız videolar (o ile gösterilmiştir) için iç çarpım sonuçları.

Çizelge VII: : Çerçevelerin zamansal ortalamasını alma atağına karşı, damgalı ve damgasız videolar için ilinti sonuçları.

Video	Damgalı video			Orjinal video		
	Max	Avg.	Min	Max	Avg.	Min
<i>Coast</i>	0.4295	0.4215	0.4127	0.0065	-0.0016	-0.0123
<i>Carphone</i>	0.2737	0.2624	0.2537	0.0114	0.0004	-0.0068



Şekil 21: *Coastguard* dizisi için çerçevelerin zamansal ortalamasını alma operasyonundan sonra, damgalı (x ile gösterilmiştir) ve damgasız videolar (o ile gösterilmiştir) için iççarpım sonuçları.

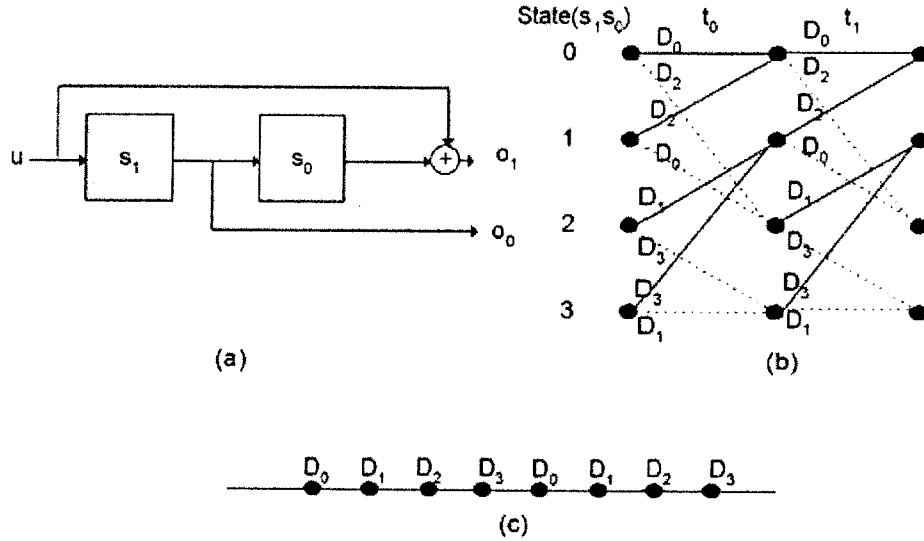
İGS'nin zamansal kontrast eşik değerlerine dayanan yeni bir video damgalama yöntemi önerilerek, yöntemin Gauss gürültüsüne, ITU H263 + kodlamasına (230-240 kbps bit hızına kadar), çerçeve düşürme ve çerçevelerin zamansal ortalamasını alma gibi ataklara karşı gürbüzlüğü gösterilmiştir. Yöntem videonun sadece Y bileşenine damga koymasına rağmen, kromatik bileşenlere de damga koyarak yöntemi geliştirmek mümkündür. Ayrıca, İGS'nin zamansal maskeleye prensibi kullanılarak da yeni bir yöntem geliştirilebilir. Zamansal maskeleye kullanılarak elde edilen zamansal kontrast eşik değerleri daha da artacaktır. Damgalamada, daha büyük eşik değerleri kullanılması durumunda da yöntem gürbüzlük açısından daha iyi sonuçlar verecektir.

3.3. Kafes kodlama nicemleme ile bilgi saklama

Çözücüde orijinal görüntü gerektirmeyen NİM benzeri yaklaşımlara [6,7] bir çok uygulamada gereksinim duyulmaktadır. Bilgi saklanacak katsayıların tek başlarına nicemlendiği durumlar için NİM en iyi sonucu vermektedir. NİM metodunun performansını artırmanın yolu bilgi saklama ve geri bilgiyi çıkarma safhasında katsayıların beraberce ele alınmasından geçmektedir. Kafes kodlama modülasyonu (KKM) [24] ve onun nicemlemeye uygulanmış hali olan kafes kodlama nicemlemesi (KKN) [23,25-27] bu amaç için uygun çözümler barındırmaktadır.

3.3.1 Kafes kodlama nicemleme

KKM yaklaşımının özünde modülasyon ve hata kontrol kodlamasını beraberce başarmak vardır. Bunun için modülasyon için kullanılan sinyal uzayı alt kümelere ayrılır ve evrişim kodlama ile bu alt uzayların seçimi gerçekleştirilir [24]. KKN aynı yaklaşımı nicemlenecek bir grup katsayının birbirlerinden bağımsız olarak değil, evrişim kodlama ile elde edilecek bir durum çizeneği yardımıyla kodlamasını hedefler [23]. Şekil 22'de bulunan sonlu durum makinesi kullanılarak Şekil 22 (b)'de bulunan durum çizeneği ve ona ait kafesler oluşturulur [25]. Şekil 22 (c)'de gösterilen eşit aralıklı nicemleyici içinde bulunan her bir dörtlü seviye seti $\{D_0, D_1, D_2, D_3\}$ içinde bir seviye, sonlu durum makinesinin 2 çıktı değeri olan $\{O_1, O_2\}$ 'in aldığı değerlere göre durum çizeneği içindeki bir ayrıta karşılık getirilir. Çizenek içindeki her seviye bir katsayının nicemlemesine karşılık gelir ve Viterbi algoritması [28] kullanarak kafesin belirlediği ayrıtları takip ederek katsayıların tamamı için en iyi nicemleme elde edilir.

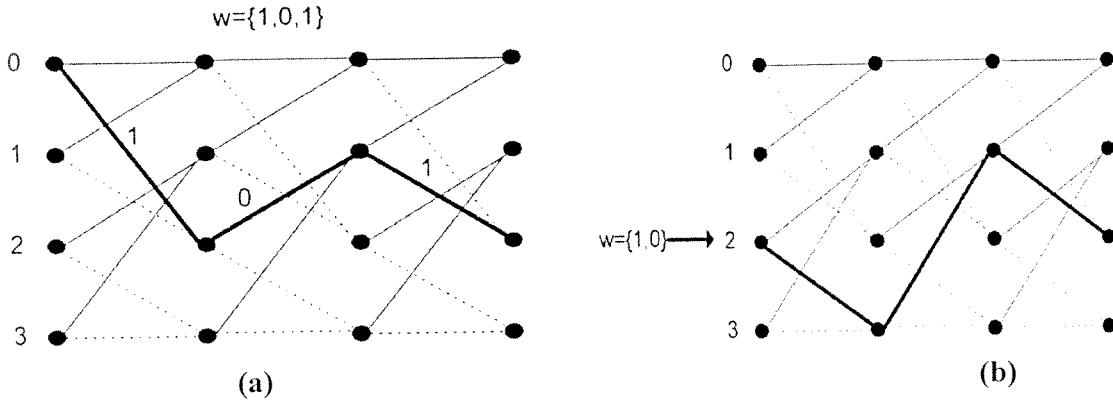


Şekil 22 (a) Sonlu durum makinesi (b) Karşılık gelen durum çizeneği ve (c) eşit aralıklı nicemleyici

3.3.2. Önerilen Metod

Bilgi saklama için KKN'nin kullanımı farklı yollardan olabilir [29]. Bunlardan en basiti, saklanacak bilginin Şekil 22 (a)'da girdi olarak gözükken u parametresi olarak sisteme verilmesi ve Şekil 23 (a)'da gösterildiği gibi ilk durumdan başlayıp, belirli bir hattı takip etmesini ve karşılık gelen nicemleyici seviyelerine zorlanması olarak düşünülebilir [31]. Çeşitli ataklardan geçen katsayıları saklanmış bilgiyi çıkarmak için aynı kafes üzerinde Viterbi algoritması ile en az farkı oluşturacak hat bulunur ve hattı oluşturan değerler kullanılarak bilgi elde edilir [30].

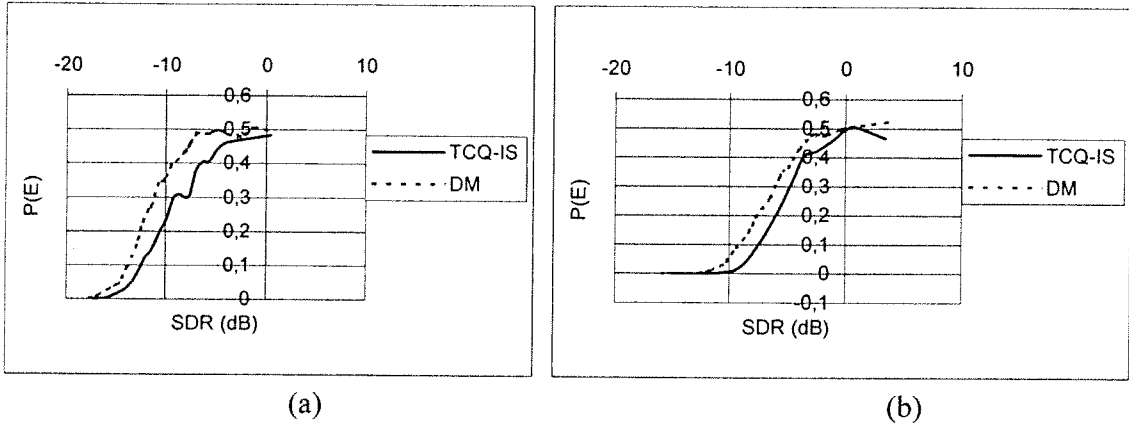
Önerilen yöntem KKM ve KKN yöntemlerinde ilk durum olarak kodlayıcı ve çözücüde ortak seçilen ilk durumun, durum 0 (S0)'dan farklı seçilmesine dayanır. Sonsuz dizilerde ilk durum seçiminin herhangi bir önemi olmasa da, sonlu dizilerde seçilen duruma bağlı olarak nicemleme performansı kısmen değişmekte, ancak daima Viterbi algoritması verilen ilk duruma göre en iyi nicemlemeyi oluşturmaktadır. Önerilen yöntem durum çizeninde var olan 2^N durum arasından, saklanacak N bit bilgiye göre kodlamaya başlanacak durumu belirler. Şekil 23 (b)'de gösterilen örnek için 2 bit (1,0) bilgisini saklama için 2^2 durum arasından S2 ilk durum olarak seçilir ve Viterbi algoritmasının belirleyeceği hat üzerinden nicemleme gerçekleştirilir. Çözücüde ise ataktan sonra eldeki tüm katsayılar bütün durumlardan başlayarak kodlanır ve en az hatayı döndüren ilk durum saklı bilgiye ulaşılmasını sağlar.



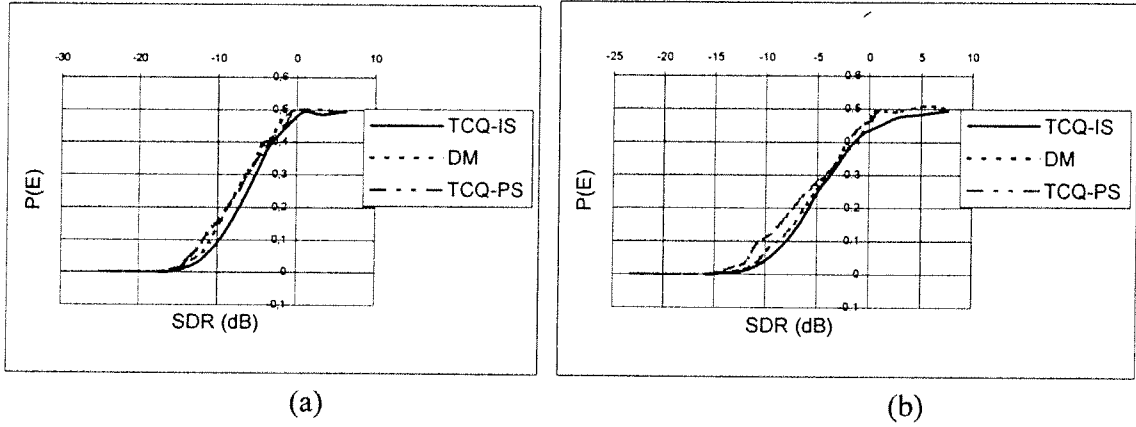
Şekil 23 : Kafes kodlama nicemleme ile bilgi saklama için 2 farklı yöntem (a) Saklanacak bilgi ile nicemleyi belirleyen hattın sabitlemesi (b) Nicemlenimini başlayacağı ilk durumun saklanacak bilgi ile seçilmesi

3.3.3. Deneysel Sonuçlar

Deneysel yardımıyla önerilen metodun NİM ve Şekil 23 (a)'da özetlenen metod [] ile karşılaştırılması yapılmaktadır. Deneysel bir örnek ve Gauss dağılıma sahip kaynaklar için metodların toplamsal Gauss ataklardan sonraki sezim performansları karşılaştırılmıştır. Şekil 24'de önerilen ve NİM metodlarının standart sapması 2.0 olan toplamsal Gauss atak sonrasında, farklı saklama enerjileri için ortalama bit hataları ($P(E)$) gösterilmiştir. Bu deneyde önerilen metod ile 10 katsayıya 2 bit bilgi saklanırken, eşit karşılaştırma yapabilmek için NİM ile kodlama sırasında aynı 2 bit bilgi 5 farklı katsayı çiftine saklanmış ve çözülme safhasında çoğunluk dikkate alınmıştır. Önerilen metod aynı bozunum enerjisi için NİM'e göre daha düşük hata oranına sebep olmaktadır. Şekil 25 ise 3 metodun birbirleriyle standart sapması 1.0 olan toplamsal Gauss atak sonrasında karşılaştırılması bulunmaktadır. Eşit karşılaştırma için 10 katsayı çifti çift kodlanmış, böylelikle KKN temelli iki metod da her çift katsayı içine 2 bit saklayabilmiştir. NİM ise 10 bit bilgiyi tüm katsayılar birer birer gömmüştür. Önerilen metod diğer iki metoda göre daha iyi performans sağlamaktadır.



Şekil 24 (a) Birörnek ve (b) Gauss dağılımlı kaynaklar için önerilen (TCQ-IS) ve NİM (DM) metodlarının toplamsal Gauss atak sonrasındaki ortalama hata oranları ($P(E)$)



Şekil 25 : (a) Birörnek ve (b) Gauss dağılımlı kaynaklar için önerilen (TCQ-IS), TCQ-PS [] ve NİM (DM) metodlarının toplamsal Gauss atak sonrasındaki ortalama hata oranları ($P(E)$)

3.4. Zamansal Kontrast Değerlerine Dayalı Alındısız Video Damgalaması:

Bu çalışmada, İnsan Görme Sistemi'nin (İGS) zamansal değişimlere duyarlılığına dayanan, damganın bulunması esnasında orjinal videonun kullanılmasını gerektirmeyen, yeni bir video damgalama yöntemi üzerinde çalışılmıştır. Önerilen yöntemde, daha önce literatürde yer almış, damganın bulunmasında orjinal videoyu gerektirmeyen bir yöntem temel alınmıştır (*Pun* Yöntemi) [38]. Önerilen yöntem anlatılmadan önce kısaca bu yönteme değinilecektir.

3.4.1 Pun Yönteminde [38] Damganın Oluşturulması

Pun yönteminde, orjinal video 16'lık çerçevelere bölünerek bloklara ayrılır ve her bir bloğun 3 boyutlu ayrık Fourier dönüşümü (AFD) alınır. Damga Fourier dönüşümünün mutlak değerine konular. Damganın üretilirken saklanacak mesajın ikili hale dönüştürülmesi gerekmektedir. Saklanacak mesaj,

$$b = (b_1, b_2, \dots, b_M)^T; b_i \in \{+1, -1\}$$

şeklinde gösterilirse, her bir bit, b_i , için v_i olarak ifade edilen bir m -dizisi üretilir. Videoya eklenecek damga, w , m -dizilerinin bitlerle çarpımlarının toplamıdır:

$$w = \sum_{i=1}^M b_i v_i = Gb \quad (3.11)$$

Bu dizileri için aşağıdaki ifade sağlanmaktadır.

$$\langle v_i, v_j \rangle = \begin{cases} N, & \text{if } i = j \\ -1, & \text{if } i \neq j \end{cases} \quad (3.12)$$

3.4.2. Pun Yönteminde [38] Damganın Eklenmesi

Damganın eklenmesi amacıyla, w dizisinin her bir elemanı için dönüşüm uzayında rasgele iki katsayı seçilir. Damga dizisi elemanının pozitif olması durumunda damga o eleman için seçilmiş olan katsayılarından birincisine, negatif olması durumunda ise mutlak değeri alınarak ikincisine eklenir:

$$\begin{aligned} F(u_1, v_1, z_1) &\rightarrow F(u_1, v_1, z_1) + w_i & w_i \geq 0 \\ F(u_2, v_2, z_2) &\rightarrow F(u_1, v_1, z_1) + |w_i| & w_i < 0 \end{aligned} \quad (3.13)$$

Eşitlik (3.13)'de (u,v,z) sırasıyla iki uzamsal ve bir zamansal boyutu göstermektedir. Rasgele belirlenen katsayılar, damgalamanın videoda görünür bir bozulmaya sebep olmaması için düşük zamansal ve konumsal frekanslardan seçilmemelidir. Aynı zamanda, metodun gürbüzlük açısından iyi sonuçlar vermesi amacıyla, damga yüksek zamansal ve konumsal frekanslara konulmamalıdır. Yüksek frekanslardaki katsayılar büyük bir olasılıkla herhangi bir sıkıştırma işleminde kaybolacaktır. Bu iki gereğin sonucu olarak, damganın konacağı katsayılar orta frekanslardan seçilmelidir.

3.4.3. Pun Yönteminde [38] Damganın Belirlenmesi

Damganın sezimi için bazı ataklardan ve işlemlerden geçmiş olan test videosunun, 16 çerçevelik bloklara ayrılarak, 3 boyutlu ayırık kosinüs dönüşümü (AKD) alınır. Damganın eklenmesi esnasında, her bir damga dizisi elemanı için seçilmiş olan iki katsayının farkları birer birer alınarak, yeni dizi, w' , oluşturulur. Elde edilen bu diziyi, orjinal damga dizisi ile çeşitli sinyal işlemlerinden kaynaklanan hatanın toplamı olarak ifade etmek mümkündür:

$$w' = w + e = \sum_{i=1}^M b_i v_i + e \quad (3.14)$$

Elde edilen w' dizisi ile, v_i , m -dizisinin iççarpımını aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$B'_j = \langle w', v_j \rangle = \sum_{i=1}^M b_i \langle v_i, v_j \rangle + \langle e, v_j \rangle \quad (3.15)$$

Eşitlik (3.13) yardımıyla, eşitlik (3.15) aşağıdaki şekilde ifade edilebilir :

$$B'_j = b_i N - (M - 1) + \langle e, v_j \rangle \quad (3.16)$$

Genel olarak M sayısı N 'den çok küçüktür. Ayrıca, e genelde ortalaması sıfır, normal dağılım olarak kabul edilmiş ve buna göre $\langle e, v_j \rangle$ iççarpım ifadesinin N sayısından çok küçük olacağı yargısına varılmıştır. Bu kabullerle, elde etmek istediğimiz bit bilgisi, eşitlik (3.16)'deki ifadenin işaretine bakılarak elde edilebilir.

$$b'_j = \text{sign}(B'_j) = \text{sign}(b'_j) = b_j \quad (3.17)$$

3.4.4. Önerilen Yöntem

Pun yöntemindeki önemli bir eksiklik, damganın videoya eklenirken herhangi bir katsayıyla çarpılmamasıdır. Başka bir deyişle, konulacak damganın büyüklüğünün kontrol edilebilir olmamasıdır. Videoya saklanacak mesajın çok uzun olması durumunda, mesajın bit olarak uzunluğunu ifade eden M sayısı çok büyük olacak, dolayısıyla damganın maksimum değeri büyüyecek ve belli bir sınırdan sonra konulan damga videoda görünür bozulmalara yol açacaktır. Bunun yanında, damganın büyüklüğünün küçük olması durumunda videoda gözle görülebilir bozulmalar meydana gelmemesine rağmen gürbüzlükten kaybedilebilecektir. Daha önceki çalışmalarda da belirtildiği üzere, bu iki ölçüt arasındaki karşılıklı ticareti sağlayan parametre, insan görme sisteminin görsel objedeki zamansal değişimlere duyarlılığını ifade eden zamansal kontrast eşik düzeyleridir, $T(u, v, w)$ [20].

Önerilen yöntem için video 16 adet bloğa ayrılarak, herbir blok (u, v, w) uzayında ifade edilmiştir. $T(u, v, w)$ değerleri, yine *m-dizileri* kullanılarak elde edilen damga dizisi ile çarpılarak, (u, v, w) uzayında belirlenen katsayılarla, *Pun* yöntemine [38] benzer şekilde eklenmiştir:

$$\begin{aligned} F(u_1, v_1, z_1) &\rightarrow F(u_1, v_1, z_1) + w_i T(u_1, v_1, z_1) \quad w_i \geq 0 \\ F(u_2, v_2, z_2) &\rightarrow F(u_1, v_1, z_1) + |w_i| T(u_2, v_2, z_2) \quad w_i < 0 \end{aligned} \quad (3.18)$$

3.4.5. Önerilen Yöntemde Damganın Belirlenmesi

Çeşitli atak ve işlemlerden geçmiş olan test videosu, bloklara ayrılarak, herbir blok (u, v, w) uzayına çevirilir. Damganın eklenmesi durumunda, her bir damga dizisi elemanı için seçilmiş olan iki katsayının farkları alınarak, yeni bir dizi, w' , oluşturulur. Elde edilen bu diziyi, orjinal damganın, $T(u, v, w)$ değerlerinden oluşmuş \vec{T} vektörü ile eleman eleman çarpımı ile çeşitli sinyal işlemlerinden kaynaklanan hatanın toplamı olarak ifade etmek mümkündür:

$$w' = w * \vec{T} + e = \sum_{i=1}^M b_i v_i * \vec{T} + e \quad (3.19)$$

Damga dizisinin \vec{T} ile çarpımından dolayı *m-dizilerinin* iççarpım özelliklerinde herhangi bir değişme olmaması amacıyla, çözücü tarafında her bir *m-dizisi* ile \vec{T} vektörü arasında eleman eleman bölme yapıldıktan sonra w' dizisi ile iççarpım sonuçları hesaplanmıştır:

$$B'_j = \langle w', (v_j ./ \vec{T}) \rangle = \sum_{i=1}^M b_i \langle v_i, v_j \rangle + \langle e, (v_j ./ \vec{T}) \rangle \quad (3.20)$$

$$B'_j = b_j N - (M - 1) + \langle e, (v_j ./ \vec{T}) \rangle$$

Elde etmek istediğimiz bit bilgisi, eşitlik (3.20)'daki ifadenin işaretine bakılarak elde edilebilir.

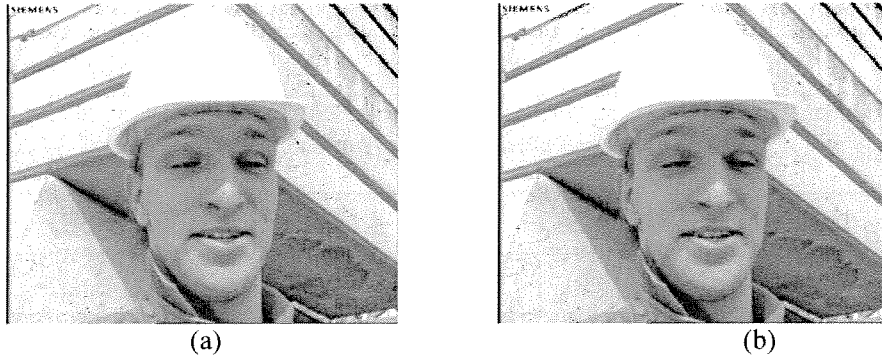
$$b'_j = \text{sign}(B'_j) = \text{sign}(b'_j) = b_j \quad (3.21)$$

3.4.6. Deneysel Sonuçlar

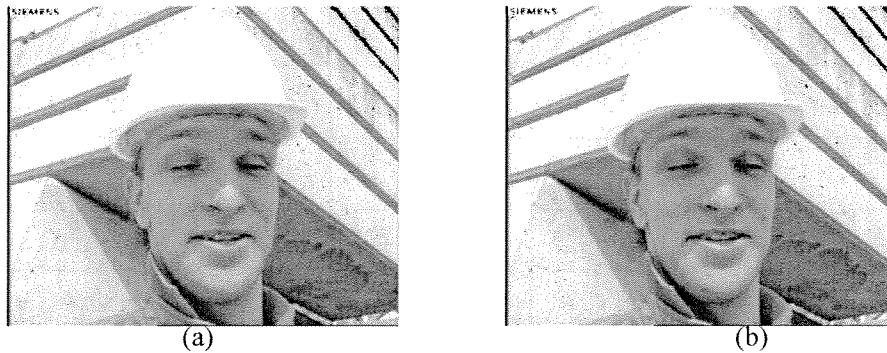
Simulasyonlarda *Foreman* CIF video dizisi kullanılmıştır. Orijinal ve damgalanmış videolardan örnek ereveseler Şekil 25 ve 26'de gösterilmiştir. ereveseler arasında herhangi bir görsel fark bulunmamaktadır. Ancak ereveseler arasında görsel farkın olmaması başlangıç videosuyla damgalı video arasında görsel olarak herhangi bir fark olmaması anlamına gelmemektedir. Bu nedenle videolar farklı deneklere gösterilip aralarında görsel fark için test yapılmıştır. Nesnel testler neticesinde videolar birbirine görsel olarak eşit kabul edilmiştir.

Yöntemlerin çeşitli bit hızlarındaki ITU H.263+ kodlamasına, video ereveselerinin zamansal ortalamasını alma ve ereve düşürme uygulamalarına karşı grbzliğ test edilmiştir. ereve düşürme atağında her iki çerçeveden birisi düşürülmüş, ereveselerin ortalamasını alma atağında ise her iki çerçevede bir düşürülen çerçevenin yerine bir önceki ve bir sonraki ereveselerin ortalaması konmuştur. Testlerde *Foreman* dizisinin ilk 192 erevesi kullanılmıştır. Her 16 erevelik bloğa 88 bitlik aynı mesaj saklanmıştır. Çizelge VIII ve IX'da Pun yöntemi ve izelge X'da de önerilen yöntem için herbir ataktan sonra saklanan 88 bit bilginin hangi oranda tekrar belirlenebildiği gösterilmiştir. Çizelge VIII'de ayrıca kodlayıcı ile kod çözücü arasında eşzamanlama olmadığı durumda mesaja ait kaç bit bilginin tekrar belirlenebildiği de gösterilmiştir. Çizelgelerde, herhangi bir atak olmadığı durumlarda da ne kadar bit bilginin sezilebildiği açıklanmıştır.

Elde edilen deneysel sonuçlardan ITU H.263+ kodlamasına karşı iki yöntemin de dayanıklı olmadığı görülmüştür. Özellikle, nerilen yöntemin herhangi bir atak olmaması durumunda bile bitlerin tamamını tekrar belirleyemediği görülmektedir. Özellikle yöntemlerde, hata kaynağı, e , ortalaması sifıra eşit normal bir dağılım olarak kabul edilmiş ve buna dayanarak $\langle e, v \rangle$ iççarpım ifadesinin N sayısından çok küçük olacağı kabul edilmiştir. Ancak, yapılan bu kabulün geçerli olmadığı durumlar da bir çok kere saptanmıştır. Yöntemlerin zellikle ITU H.263+ kodlamasına karşı dayanıksız olmasının nedeni, başlangıçtaki yalnız kabul olduğu kanısına varılmıştır. Rasgele seçilen katsayılar yerine ortalamaları sıfır olacak bir alt kümenin belirlenmesi daha yüksek performans elde edilmesini sağlayabilecektir.



Şekil 26: *Pun* yöntemi [38] için (a) orijinal (b) ve damgalı videodan ereve rnekleri. TSGO: 51.14 dB



Şekil 27: Önerilen yöntem için (a) orijinal (b) ve damgalı videodan ereve rnekleri. PSNR: 51.04 dB

BLOK SIRASI		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ATAK YOK		88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
Eşzamanlama	Shift=1	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	
	Shift=3	85	86	88	88	87	86	88	88	88	88	88	
	Shift=6	71	78	64	76	76	83	69	78	84	82	88	
	Shift=10	74	76	65	74	74	81	61	81	87	79	88	

Çizelge VIII: *Pun* yönteminin [38] eşzamanlama ve atak olmadığı durumlarda gürbüzlük sonuçları.

BLOK SIRASI		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ITU H.263+ KODLAMASI	Q=2 3343 kbps	88	87	87	88	84	88	87	82	88	86	88	88
	Q=4 1539 kbps	80	77	79	84	69	86	78	71	83	80	83	87
	Q=8 716 kbps	67	70	60	68	53	68	61	59	71	62	70	69
	Q=16 380 kbps	53	53	52	51	41	54	56	50	54	50	55	60
Çerçeve Ortalama		88	88	87	87	88	88	86	88	88	88	88	88
Çerçeve Düşürme		35	31	23	26	28	25	30	40	25	21	34	27

Çizelge IX: *Pun* yönteminin [38] ITU H.263+ kodlamasına, video çerçevelerinin zamansal ortalamasını alma ve çerçeve düşürme uygulamalarına karşı gürbüzlüğü

BLOK SIRASI		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ATAK YOK		88	85	83	83	83	78	83	81	85	85	88	88
ITU H.263+ KODLAMASI	Q=2 3351 kbps	79	73	70	75	72	62	71	71	79	76	78	83
	Q=4 1542 kbps	74	63	62	55	64	55	58	57	66	64	58	74
	Q=8 717 kbps	55	51	42	44	53	49	48	54	52	49	50	61
	Q=16 380 kbps	48	40	44	43	48	43	46	49	47	47	52	53
Çerçeve Ortalama		88	81	77	80	80	72	79	78	82	82	83	86
Çerçeve Düşürme		71	66	66	61	66	57	62	60	66	67	64	70

Çizelge X: Önerilen yönteminin ITU H.263+ kodlamasına, video çerçevelerinin zamansal ortalamasını alma ve çerçeve düşürme uygulamalarına karşı ve atak olmadığı durumdaki gürbüzlüğü.

4. ÖNERİLEN GÜVENLİK DIŞI BİLGİ SAKLAMA UYGULAMALARI

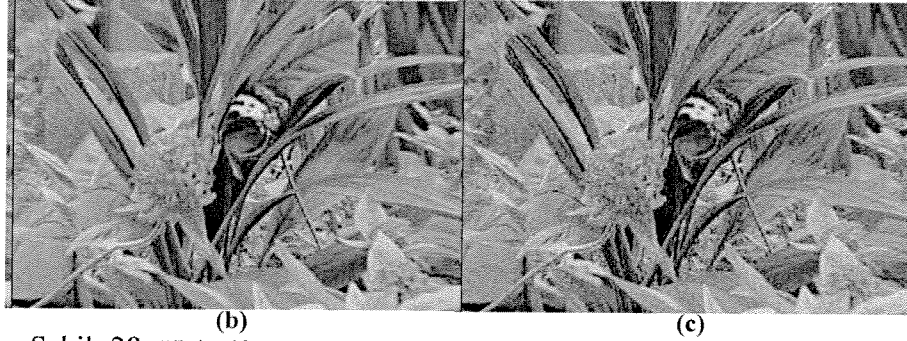
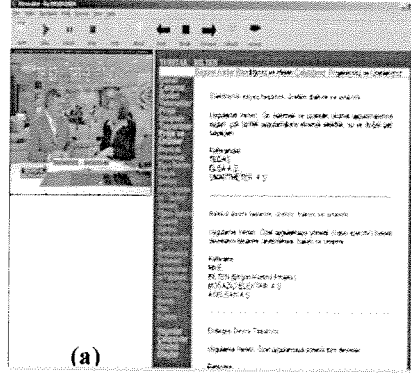
Bölüm 0’te anlatılan bilgi saklama yöntemlerini kullanan ve güvenlik uygulamaları dışında kabul edilebilecek 3 farklı sistem önerisi bu bölümde incelenecektir. Bu sistemlerden ilki sayısal videoların içine nicemleme indeks modülasyonu (NIM) kullanarak veri zenginleştiren bilgiler saklamayı hedeflemektedir. İkinci sistem ise belli bir standart kullanılarak kullanılmış ve gürültüğü kanallardan iletilmesi hedeflenen videoların, alıcıda onarımı kolaylaştıracak bilgiler sakalanarak gürbüzleştirilmesini başarmaya çalışmaktadır. Sonuncu sistem ise eski imge kodlama standartlarının hız-bozunum açısından zararlarını yeni imge standartları ile kapatmaya çalışan bir yaklaşımdır.

4.1. Bilgi Saklama kullanarak Zenginleştirilmiş Video İletimi

Video verisi içine “değerli bilgiler” koyarak, bu verinin farklı sistemler ve kullanıcılar arasındaki dolaşımını sırasında her noktaya video ile beraberce ulaşmasını sağlamanın sayısız yararları bulunmaktadır. Bilgi saklama teknolojisinin bu yaklaşımdaki en büyük avantajı ise video iletişim standardı bit dizi formatını hiç değiştirmemesi ve bu veriyi kullanamayacak orijinal alıcı/çözücü sistemlerinin bu uygulamaya bağlı hiç bir zarar görmemesini sağlayabilmektir. Bazı video kodlama standartlarında bu tip ekstra sayısal bir bilgiyi saklayabilecek bir bölüm bulunsa da (örneğin, MPEG-2 DSMCC), bir çok standard için bilgi saklama dışında bu veriyi videoya yapışık olarak iletebilecek başka bir çözüm bulunmamaktadır. Bu önemli uygulama çok kısa bir süre önce MPEG-21 standartlaşması içinde yeni bir bölüm olarak yer almaya başlamıştır (MPEG-21 Part 11: *Evaluation Methods for Persistent Association Technologies for Identification and Description of Digital Items*).

4.1.1. Yöntem

Daha önce açıklandığı gibi bilgi saklama yöntemleri, uygulamaya bağlı olarak 4 temel kıstastan (görünmezlik, gürbüzlük, geniş kapasite ve güvenlik) bazılarını sağlamayabilmektedir. Örneğin, internet üzerinde zenginleştirilmiş video iletimi için saklanan bilgi için görünmezlik ve geniş kapasite kıstasları hala önem içerirken, gürbüzlük ve güvenlik kıstaslarının bir gerekliliği kalmamaktadır. Bu sebeple, böyle bir uygulama için önceden belli bir formatla (örn. MPEG-1 veya MPEG-2) kodlanmış sayısal verinin bitdizisini geri çözmeden, Ayrık Kosinüs Dönüşümü (AKD) katsayılarının “tek-çift modülasyonu” [33] kullanılarak bilgi saklama gerçekleştirilebilir. Saklanacak ikili düzendeki bilginin 1 veya 0 olmasına bağlı olarak sıfırdan farklı tüm katsayılar tek veya çift sayıdaki en yakın nicemleme indeksi tarafından yuvarlanır.



Şekil 28 “Tek-çift modülasyonu” kullanarak MPEG-1 kodlanmış video içine HTML olarak web sayfası saklayabilen uygulama programı arayüzü. Bu uygulama programı kullanılarak (b) tipik bir kare ile gösterilmiş orijinal MPEG-1 video içine bilgi saklanması sonucu elde edilen (c) sonuç videodan karşılık gelen kare.

4.1.2. Deneysel Sonuçlar

Deneyler için hazırlanan uygulama yazılımı (Şekil 28 (a)) ile MPEG-1 formatında 1.2 Mbit/s bit hızı ile kodlanmış CIF boyutundaki videolardaki sıfırdan farklı AKD katsayılarına saklanan bilgi miktarı (bu uygulama için HTML sayfaları) yaklaşık 64 Kbit/s olmakta ve saklama sonucu oluşan görüntü kalitesi ise Şekil 28 (c)'de gösterilmektedir. Gerek zamansal, gerek uzamsal olarak görsel kayıp çok az düzeyde bulunmaktadır. Bozulmalara karşı gürbüzlük en alt düzeyde olmasına karşın, herhangi bir hata durumunda içeriğin de hemen çözülemez hale geleceği de unutulmamalıdır.

4.2. Bilgi Saklama ile Dayanıklı Video İletimi

Video sinyalinin telsiz bir kanaldan iletimi, görüntü kalitesini önemli ölçüde bozabilen hatalara neden olmaktadır. Hata düzeltme teknikleri üç ana grupta toplanabilir [32]; kodlayıcı ile kodçözücü arasında bir etkileşimden (sinyalin tekrar yayını gibi) yararlananlar, yayın alındıktan sonra kodçözücüde gerçekleştirilen işlemler ve kodlanırken sinyal üstünde fazladan bilgi bırakanlar. Hata düzeltme sırasında yararlı olacak bazı bilgileri görünmez bir şekilde saklayarak, bütün bu yaklaşımlar bir araya getirilebilir. Bu sayede bilgi saklama, yalnızca kodlayıcıdan kodçözücüye doğru, gizli bir kanal olmakla kalmayıp, aynı zamanda yayın sonrası işlemlerin yükünü de hafifletir.

Son dönemde hataya dayanıklı video iletimi, bilgi saklama için yeni bir uygulama alanı olmuştur. Saklanan bilginin günümüz sıkıştırma standartlarının bit katarlarında hiçbir ek bit hız gerektirmeden iletebilmesi ve böyle saklı bir bilgiden habersiz alıcıların da bu durumdan etkilenmemesi bu tip bir yöntemin çekici tarafları olarak durmaktadır.

4.2.1. Önerilen Yöntem

Önerilen yöntemde bilgi, DCT katsayılarına, tek-çift modülasyon tekniği [33] ile saklanmaktadır. Tek-çift işaretlemeye, "1" saklamak için katsayı tek sayıya, "0" saklamak için çift sayıya dönüştürülür. Bu teknik maksimum kapasite ve minimum dayanıklılık sağlayıp, önerilen yönteme uygundur. Önerilen hata düzeltme yöntemi, çerçeve içi ya da çerçeveler arası kodlanmış videolara göre değişiklik göstermektedir.

4.2.1.1. Çerçeve İçi Kodlanmış Videolar

Hataların iyi bir şekilde düzeltilebilmesi için önce hatanın yerinin tam olarak belirlenmesi (hatalı bloğun tespit edilmesi) gerekmektedir. Hatalı blok belirlendikten sonra, hatanın diğer bloklara yayılmasını önlemek için tekrar eşzamanlamanın sağlanması gereklidir. Hata düzeltme işlemini tamamlamak için son adım, hatalı bloğun koyuluk bilgilerinin onarılmasıdır.

Sonuç olarak, hataların başarılı bir şekilde düzeltilebilmesi için gerekli üç adım, hatayı tespit etme, eşzamanlamayı tekrar sağlama ve hatalı bloğun onarılmasıdır. Şekil 29'da çerçeve içi kodlanmış videolarda hataların düzeltilmesi sırasında kullanılan bilgiler özetlenmiştir.

Onarma

Çerçeve içi kodlanmış videolarda, onarılma işlemi için bloğun ayrıt yön bilgisi kullanılmaktadır. Ayrıt yönünde yapılan aradeğerleme, yaygın bir şekilde bilinen çiftdoğrusal aradeğerlemeden daha iyi sonuç vermektedir [34]. Ayrıt yönünü bir üst bloğa saklamadan önce, bloğun uzamsal türev büyüklükleri hesaplanarak bloğun ayrıt içerip içermediği kontrol edilir ve bu bilgi için 1 bit daha saklanır. Blok, kodçözücü tarafında bozuk olarak açıldığında bu bir bitlik bilgi, bloğun ayrıt yönünde aradeğerleme ile mi yoksa çiftdoğrusal aradeğerleme ile mi onarılacağını kodçözücüye belirtmektedir.

Aşırı Onarma

Bütün bit hataları bloğun görüntü kalitesini aynı ölçüde bozmamaktadır. Bloğun görüntü kalitesinin bozulmadığı durumlarda bloğu gereksiz yere onarmamak için, bloğun DCT katsayılarının en büyük 2 bitinin modula 2'ye göre toplanması ile elde edilen eşlik bitleri (*aşırı onarım bitleri*) kullanılır. Buradaki temel varsayım, blokta meydana gelen büyük çapta görsel bozulmaların, DCT katsayıların ilk iki bitlerini değiştireceğidir. Bir önceki bloğa saklanan bu iki bit, kodçözücü tarafında tekrar hesaplanarak karşılaştırılır ve sadece uyumsuzluk olduğu durumlarda hatalı blok onarılır.

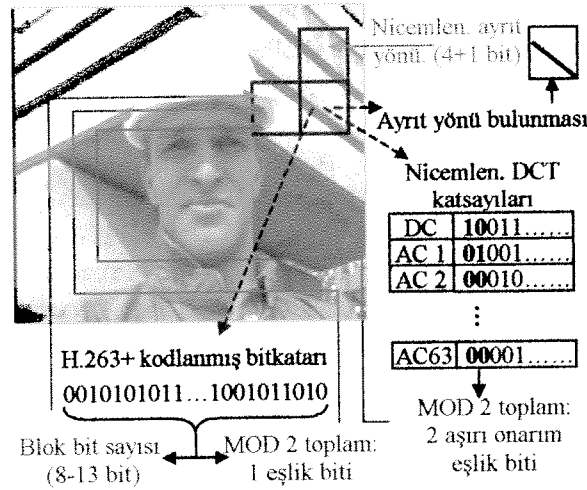
Eşzamanlama

Tekrar eşzamanlamanın sağlanması için bloğun bit sayısı kullanılmaktadır [35]. Bloğun kodlanmasıyla oluşan bitkatarının uzunluğu, ikili sayı sistemine çevrilip bir önceki bloğa saklanmaktadır. Bu sayıyı ifade etmek için gerekli olan bit sayısı deneyler ile 8-13 bit arası bulunmuştur. Bunun için hem kodlayıcıda hem de kodçözücüde, nicemleyici basamak boyuna bağlı bir başvuru çizelgesi oluşturulmuştur. Kodçözümü sırasında sistemin bir önceki blokta saklı olan bit uzunluğundan daha fazla bit çözmesi bu yolla engellenmiştir. Böylece hata olduğunda kodçözücü, bir önceki bloktan çıkarttığı bit uzunluğu ile o ana kadar çözdüğü bit sayısının farkı kadar bit atlayarak bir sonraki bloğun başlangıcına kadar gelir ve eşzamanlama sağlanmış olur.

Hatanın Sezimi

Hatanın sezimi için, bloğun bitkatarı uzunluğu ve ayrıt yön bilgisi alıcı tarafında tekrar hesaplanarak saklı olan bilgilerle karşılaştırılır. Bu karşılaştırma çoğu zaman yeterli olsa da, bloğun bit uzunluğunu ya da ayrıt yönünü değiştirmeyen hatalar tespit edilememektedir. Bu türden hatalar genelde görsel açıdan büyük bir problem oluşturmasa da bloğun içinde saklı olan bilgiyi bozmaktadırlar. Literatürdeki

çalışmalarda ihmal edilen bu durum bilgi saklama kullanarak hata sezimi yapan sistemlerde problem oluşturmaktadır. Bu problemi aşmak için bloğun bitkatarından elde edilen bir eşlik biti kullanılmaktadır. Karşılaştırma tutarlı bir sonuç verdiği zaman son olarak bu bit kontrol edilir.



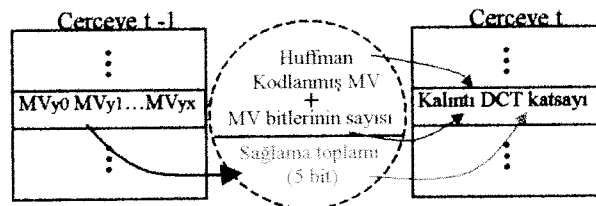
Şekil 29. Çerçeve içi kodlanmış videolar için bilgi saklama

4.2.1.2. Çerçeveler Arası Kodlanmış Videolar

Çerçeveler arası kodlanmış videolarda onarım işlemi için temel olarak devinim vektörleri (MV) kullanılmaktadır [36,37]. Video çerçevesinin bir satırındaki tüm blokların Huffman yöntemi ile kodlanmış devinim vektör bilgileri yan yana yazılarak oluşturulan bitkatarı, bir sonraki çerçevenin aynı satırındaki blokların devinim dengelenmiş kalıntı DCT katsayılarına saklanır (Şekil 30). Çerçeveler arası kodlanmış videolarda bloklar birden fazla şekilde kodlanabildiği için hatalı bloğun onarılabilmesi için bloğun kodlanma biçiminin de kodçözücü tarafından bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle, devinim vektörleriyle birlikte blokların kodlanma biçimleri de saklanmaktadır. Ayrıca devinim vektörlerinin değişken uzunluklu kodlanması sebebiyle, saklanacak bitkatarının uzunluğu da ikili sayı sisteminde saklanmaktadır.

Hatanın Sezimi

Çerçeveler arası kodlanmış videolardaki hatanın seziminde öncelik H.263+ kodçözücüsüne bırakılmıştır. Eğer H.263+ kodçözücüsü herhangi bir hata bulamazsa ikinci bir hata sezim yöntemi için her satırdaki blokların kalıntı DCT katsayılarında saklı olan devinim vektör bilgileri ile bir önceki çerçevenin aynı satırındaki blokların devinim vektör bilgileri karşılaştırılır. Ancak H.263+ kodçözücüsü tarafından yakalanamayan bazı hatalar DCT katsayılarını önemli ölçüde bozabilmekte ve katsayılarda saklı olan bilgiyi kullanılamaz hale getirebilmektedirler. Bu problemi çözmek için saklanacak olan bilginin yanı sıra beş sağlama toplamı biti daha saklanmaktadır (Şekil 30).



Şekil 30. Çerçeveler arası kodlanmış videolara bilgi saklama

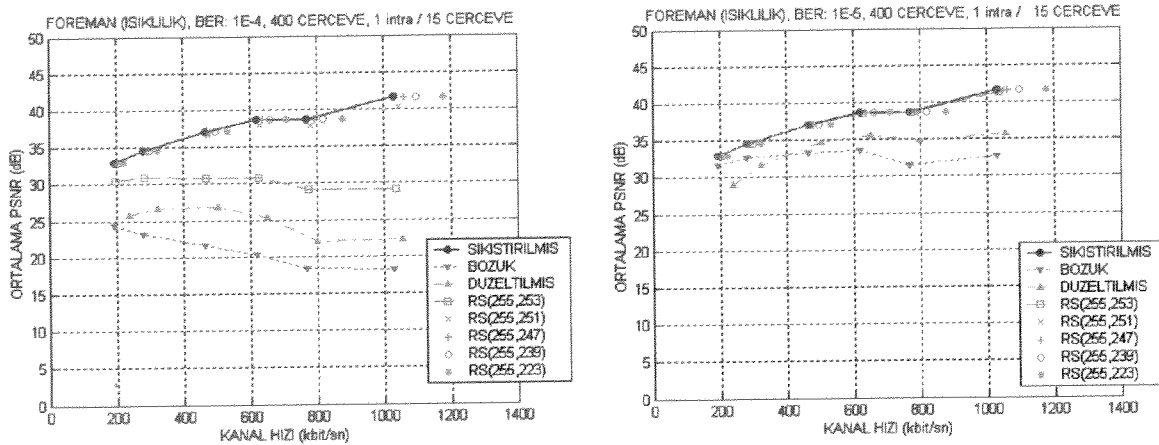
4.2.2. Deneysel Sonuçlar

Deneysel sırasında, çift bakışlı kanal, çeşitli bit hata oranlarında modellenmiştir. H.263+ kodlayıcı-kodçözücü kullanılarak, video sıkıştırılmış ve bu sırada bit katarının içine saklı bilgi gömülmüştür. Çift bakışlı kanaldan geçirildikten sonra oluşan hatalı bit katarı, saklı bilgi kullanarak hata düzeltebilecek şekilde değiştirilmiş H.263+ kodçözücü tarafından çözülür.

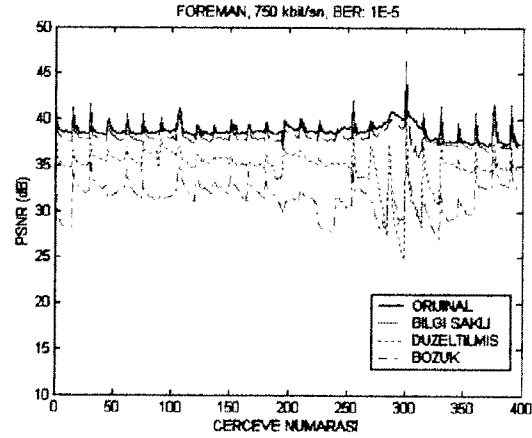
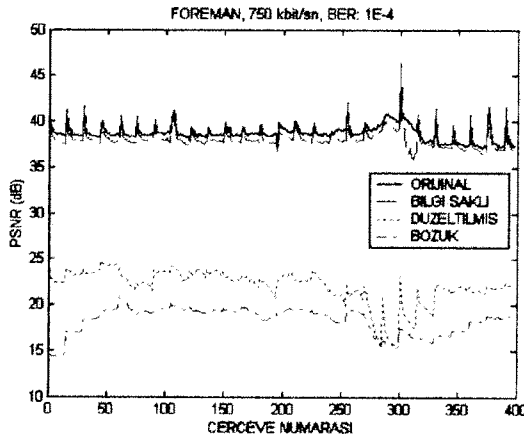
Deneysel *Foreman* ve *Carphone* dizileri kullanılmış ve bit katarı, rasgele hata oluşturan çift bakışlı kanaldan geçirilerek görüntü kalitesi, tepe sinyal gürültü oranı (TSGO) ile ölçülmüştür. Bu işlem 100 defa gerçekleştirilerek ortalama TSGO değerleri hesaplanmış ve bu değerler Çizelge XI ve XII'de gösterilmiştir. Bu çizelgelerde, sıkıştırmadan ve bilgi saklamadan sonraki TSGO değerleri ile bozuk ve düzeltilmiş videolar için ortalama PSNR değerleri 3 farklı bit hızı için gösterilmiştir. Bozuk videoların geri çatılması sırasında, temel H.263+ kod çözücüsünün hataya dayanıklılık özelliği kullanılmıştır. H.263+ kod çözücü, hatayı düzeltmek için kayıp bloğun yerine bir önceki çerçevenin aynı yerdeki bloğunu kopyalamaktadır.

Şekil 31 ve 32'te *Foreman* dizisi için 10^{-4} ve 10^{-5} bit hata oranlarında TSGO-çerçeve sayısı çizimleri gösterilmiştir. Önerilen sistem ayrıca altı değişik bit hızı için (255,253), (255,251), (255,247), (255, 239) ve (255, 223) Reed-Solomon kodlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar *Foreman* dizisi için 750 kbps hızında Şekil 33 ve 34'de 10^{-4} ve 10^{-5} bit hata oranlarında detaylı olarak verilmiştir.

Şekiller ve çizelgelerden de anlaşıldığı gibi önerilen yöntemin performansı yüksek bit hata oranlarında (10^{-4}) artmaktadır ve bu hata oranında temel kodlayıcı-kodçözücüye ortalama 4 dB'lik bir iyileştirme sağlamaktadır. Fakat RS kodlar önerilen yöntemden daha iyi sonuçlar vermektedir. Deneysel kullanılan bit hızları için, bilgi saklama tekniği görüntü kalitesinde yaklaşık 1 dB'lik kayba sebep olmaktadır. Kodlama bit hızı arttıkça önerilen yöntemin performansı da artmaktadır. Düşük bit hızlarında ve 10^{-5} bit hata oranında, bilgi saklama sonrasındaki TSGO değerlerinde oluşan azalmanın kaynağı yöntemin ihtiyaç fazlası koruma sağlamasıdır.



Şekil 31 *Foreman* dizisi için 10^{-4} ve 10^{-5} bit hata oranlarında TSGO-çerçeve sayısı



Şekil 32 750 kbps hızında kodlanmış *Foreman* dizisi için 10^{-4} ve 10^{-5} bit hata oranlarında TSGO

Ortalama PSNR (dB)	Bit hızı: 1 Mbit/sn			Bit hızı: 500 kbit/sn			Bit hızı: 200 kbit/sn			
	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	
Sıkıştırılmış	41.56	43.57	44.96	37.09	40.38	41.73	33.02	37.99	38.91	
Sıkıştırılmış + bilgi saklanmış	40.80	43.11	44.24	36.00	39.96	41.24	29.59	37.35	37.77	
BER: 1E-4	Bozuk	18.17	21.88	21.56	21.50	25.24	24.96	24.38	28.87	28.58
	Düzeltilmiş	22.30	29.81	29.67	26.86	34.87	35.49	25.74	33.00	33.23
BER: 1E-5	Bozuk	32.62	37.34	38.01	33.31	37.33	38.32	31.66	36.71	37.47
	Düzeltilmiş	35.80	40.49	41.34	34.76	39.59	40.81	29.07	36.54	36.92

Çizelge XI. Değişik bit-hızları ve bit-hata-oranlarındaki *Foreman* dizileri için ortalama PSNR değerleri

Ortalama PSNR (dB)	Bit hızı: 850 kbit/sn			Bit hızı: 400 kbit/sn			Bit hızı: 200 kbit/sn			
	Y	U	V	Y	U	V	Y	U	V	
Sıkıştırılmış	42.69	44.54	45.32	38.38	41.53	42.32	34.86	39.40	40.12	
Sıkıştırılmış + bilgi saklanmış	41.65	44.02	44.83	36.39	40.85	41.61	31.38	38.67	39.13	
BER: 1E-4	Bozuk	19.50	22.55	22.45	22.56	25.66	25.69	25.10	29.22	29.33
	Düzeltilmiş	24.10	31.02	30.89	27.69	35.79	35.58	26.56	33.23	32.95
BER: 1E-5	Bozuk	35.25	38.82	39.24	34.72	38.01	38.96	33.45	38.04	38.66
	Düzeltilmiş	36.43	40.63	40.98	35.27	40.40	41.23	30.69	37.75	38.00

Çizelge XII. Değişik bit-hızları ve bit-hata-oranlarındaki *Carphone* dizileri için ortalama PSNR değerleri

4.3. Bilgi Saklama ile Kodlama Standartlarının Performansını İyileştirme

Gelişen kodlama teknolojileri bir imgeyi aynı kalitede tutabilip, çok daha az yer kaplamasını sağlayabilmektedir. Bu başarımın ardındaki temel sebep yeni kodlama algoritmalarında kullanılan daha iyi enerji sıkıştırabilen dönüşümler ve dönüşüm katsayıları içindeki istatistiki artıklıktan daha rahat kurtulabilen entropi kodlayıcılarının kullanılmasıdır. Ancak günümüz imge kodlama standartlarının her yerde yaygın bir şekilde kullanılması, bu formatlara olan bağımlılığı bir zorunluluk haline getirmektedir. Bu noktadan hareket edilirse, eski kodlama standartlarının formatlarına sadık kalarak, yeni kodlama yöntemlerinin daha yüksek sıkıştırma performansları elde edilemeye çalışılabilir. Bunun için ihtiyaç duyulan teknoloji bilgi saklama olmaktadır.

Bilgi saklama ile performansı iyileştirme probleminde temel çıkış noktası bilgi saklama ve sıkıştırmanın birbirlerinin karşıtı olmasıdır. Sıkıştırma insan görme sisteminin zaafılarını kullanarak, gereksiz bilgilerden sıyrılmaya çalışırken, bilgi saklama ise sıkıştırma atakları tarafından göz ardı edilebilecek yerlere bilgi gömmeye uğraşır. Bu sebeple, optimal bir sıkıştırma algoritmasının gizlenmiş bütün bilgileri yok etmesi beklenir. Var olan kodlama algoritmalarının mükemmel olmaktan uzak olduğu herkes tarafından kabul görmekte ve yeni çıkan algoritmaların bu zaafıları kapatmakta olduğu bilinmektedir. İnsan gözünü aldatma konusunda eski kodlama metodlarından daha başarılı olması beklenen bilgi saklama yöntemleri, bozulmayı en az seviyede tutarak, ekstra bilgi saklanmasını sağlayabilecektir. Eğer saklanacak bu ekstra bilgi görüntünün bulunduğu kaliteyi arttıracak iyileştirme bilgisi olursa, hedeflenen noktaya ulaşmak mümkün olabilecektir.

Burada dikkat edilmesi gereken nokta imgenin bilgi saklanacak bölgeleri ile iyileştirme yapılacağı bölgelerinin birbirlerinden ayrılmasıdır. Aksi takdirde, elde edilen kodlama kalitesi ile orijinal görüntü arasındaki fark imgesinin kodlayıcıda gömülmesi ile çözücüde elde edilen geri çözülmüş fark imgesinin ekleneceği imge birbirlerine eş olmazlar. Bu ayırımı başarıyı katsayıların bir kısmının bilgi saklamada, diğer kısmının ise iyileştirme amacıyla kullanılmasıdır.

4.3.1. Önerilen Metod

Önerilen metod JPEG standardını bilgi saklama ile iyileştirmeyi hedeflemektedir. Bunun için JPEG2000 standardının temelini oluşturan dalgacık dönüşümü ve aritmetik kodlamasını kullanan SPIHT [] metodundan JPEG kodlu imge ve orijinal imge arasındaki farkı kodlamak için faydalanır.

Orijinal imge JPEG kodlandıktan sonra 8x8 AKD frekansları “dama tahtasına” benzer şekilde iki parçaya bölünürler (Şekil 33). Yalnızca parçalardan birindeki frekanslar (diğer frekans değerleri sıfır olarak varsayıp) kullanılarak elde edilen görüntü ile orijinal imge arasındaki fark görüntüsü SPIHT metodu ile kodlanır. Son olarak, elde edilen bit-dizisi ise NİM yöntemi ile diğer parçadaki katsayılar içine saklanır. Frekansların bilgi saklanmış olanları ve diğer frekans değerleri bir araya getirildiğinde içerisinde görüntü kalitesi iyileştirme bilgisi saklayan standard bir JPEG kodu elde edilmiş olmaktadır.

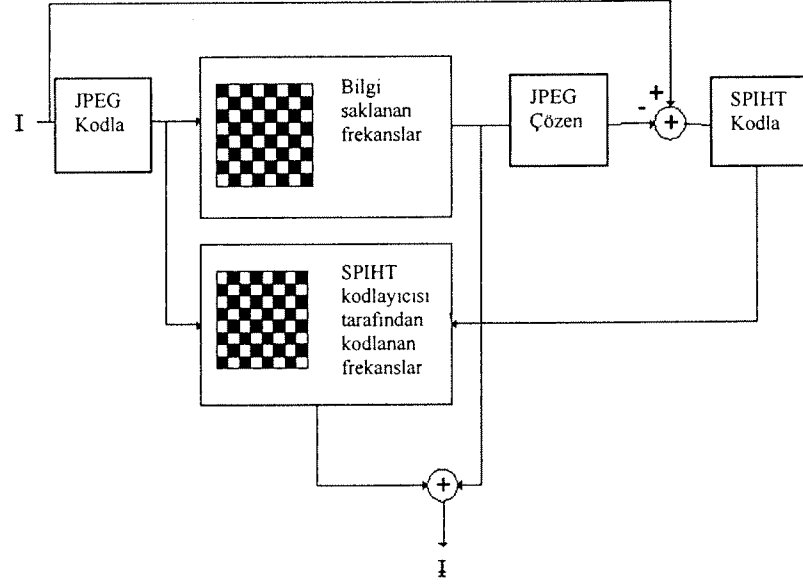
Elde edilen JPEG formatındaki imge bütün çözücüler tarafından problemsiz olarak açılabilen ve görüntüde ufak bir bozunumla elde edilebilmektedir. Saklı bilgiyi kullanabilecek bir çözücü ise önce JPEG içindeki AKD frekans değerlerine ulaşacak, ilgili parçanın içinden saklı SPIHT bit dizisini elde edecek, bu fark dizisini diğer parçadaki frekans değerlerini kullanarak elde edilecek imgenin üzerine ekleyerek daha iyi kalitede bir JPEG elde edebilecektir.

4.3.2. Deneysel sonuçlar

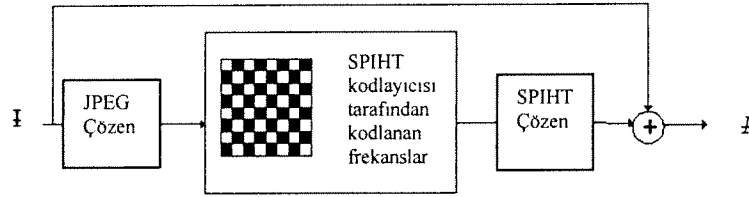
Önerilen Şekil 33'teki sistem deneyler ile test edilmiştir. Deneylerde 512x512 *Lena* imgesi JPEG kalite faktörü 50 ile kodlanmış (TSGO=31,66 dB) ve bu kalitenin üzerine çıkılması için Şekil 33'teki sistem yardımıyla iyileştirme dizisi yaratılmıştır. Şekil 34 deneysel sonuçların özetini göstermektedir. Hiç bilgi saklanmamış JPEG kodlu bir görüntüden, daha fazla bit saklayarak kaybedilen görüntü kalitesi ve saklanan bitlerdeki iyileştirme bilgisinin neden olduğu kazanç gözükmemektedir. Beklenenin aksine, bilgi saklamanın oluşturduğu kayıp, getirdiği kazançtan az olmaktadır. SPIHT metodu, daha iyi bir kodlama algoritması olsa bile, fark imgelerini sıkıştırmak için kullanıldığında, JPEG kadar etkili

olamamaktadır. NİM kullanılarak en az bozunma sağlayarak saklanan SPIHT bit dizisinin getirdiği kazanç, bilgi saklamaya göre yetersiz kalmaktadır.

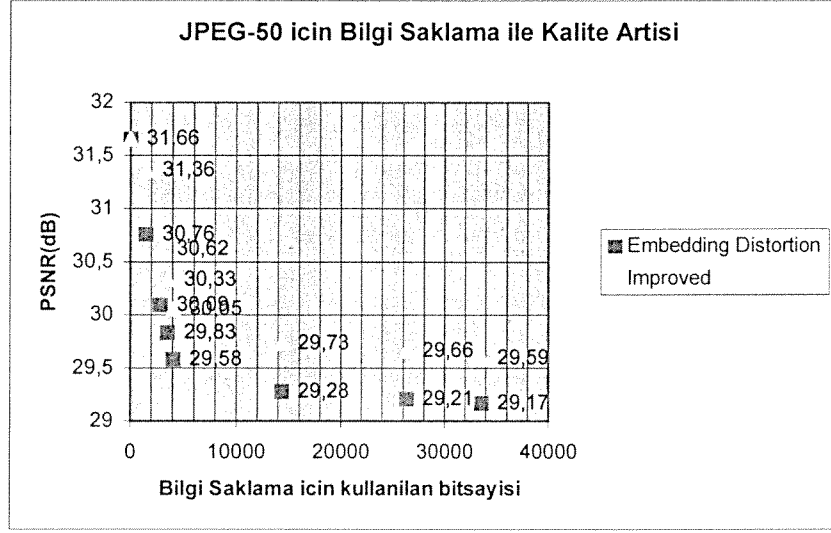
KODLAYICI



ÇÖZÜCÜ



Şekil 33 : Bilgi Saklama ile Görüntü Kalitesi arttırımı : Kodlayıcı ve çözücü (I : orijinal imge, I : JPEG formatında SPIHT kodlu bilgi saklı imge, I : Kalitesi arttırılan imge)



Şekil 34 : Bilgi Saklama ile Kalite Arttırma : JPEG-50 için saklanan bit sayısının sebep olduğu kayıp ve iyileştirme bilgisinin getirdiği kazanç

5. SONUÇLAR

18 ay boyunca devam eden “Güvenlik dışı uygulamalarda imge içine bilgi saklama” projesi sonunda yapılan katkılar ve elde edilen kazanımlar şu şekilde özetlenebilir :

- a. Bilgi saklama ve damgalama konusundaki kabul görmüş bir çok metod incelenmiş ve yapılan deneyler yardımıyla performansları gözlenmiştir. Bu gözlemlere göre,
 - o *Cox metodu* [4] bilgi saklama kıstasları açısından görünmezlik ve gürbüzlük konusunda oldukça başarılı bulunmuştur. Döndürme gibi ataklara karşı ise bir çok yöntem gibi çaresiz kalmaktadır.
 - o Döndürme, öteleme ve boyut değiştirme gibi güçlü ataklara karşı *Logaritmik-Kutupsal Eşleme yöntemi* [5] bir noktaya kadar iyi sonuçlar vermesine karşı, 3 atağın bir arada kullanılması durumunda problemler yaşamaktadır. Sürekli Fourier Dönüşümüne ait özelliklerin ayrık dönüşüm için aynen geçerli olmaması bu yaklaşımın performansını sınırladığı deneylerle gözlenmiştir.
 - o Orijinal imgenin ihtiyaç duyulmadığı alınsız uygulamalar için geliştirilmiş bir bilgi saklama metodu olan *nicemleme endeks modülasyonu* [6] benzer metodlar içinde en iyi performans gösteren bir yaklaşım olarak durmaktadır. Temel metodun [7] üzerine geliştirilmiş türevleri de düşünüldüğünde alınsız uygulamalar için en iyi çözüm olarak durmaktadır.
- b. İnsan görme sisteminin daha önce bilgi saklama alanında kullanılmamış özelliklerinden faydalanılarak bilgi saklama literatüründe önde gelen çeşitli çeşitli metodlara göre daha başarılı sayılabilecek 3 özgün metod (*Odaklamaya dayalı damgalama, zamansal kontrasta dayalı video damgalama ve zamansal kontrast değerleri kullanan alınsız video damgalama*) geliştirilmiştir.
 - o Önerilen odaklamaya dayalı damgalama metodu [40] imge üzerinde verilmiş bir odak noktasının uzağındaki noktalara daha fazla mesaj enerjisi saklayabildiği için literatürde öne çıkan benzer metodlara [9,10] göre, aynı görünmezlik seviyesi için, daha yüksek bir sezim performansı yakalamaktadır. Görsel olarak bozunumun aynı kabul edilmesi denekler ile test edilmiştir.
 - o Önerilen zamansal kontrasta dayalı video damgalama metodu [41,42], nesnel deneyler tarafından elde edilmiş zamansal kontrast değerleri yardımıyla görsel bozunum yaratmadan saklanabilecek en fazla mesaj enerjisini en değerli frekanslara yerleştirerek, hem görünmezlik, hem de gürbüzlük konusunda iyi bir performans elde etmeyi sağlamaktadır. Video damgalama konusunda İGS’yi dikkate alan metodların olmaması karşılaştırmalı deneyleri olanaksız kılmıştır.
 - o Önerilen zamansal kontrast değerleri kullanan alınsız video damgalama metodu İGS özelliklerini dikkate almamış diğer bir damgalama metodu [38] için bilinen kıstaslar açısından belirli ataklara karşı iyileştirme meydana getirmektedir. Metodların temel dayanağı olan bilgi saklamada kullanılan rasgele seçilmiş iki katsayı arasındaki farkın ortalamasının küçük olması varsayımının geçerli olmadığı durumlarda metodun performansı azalmaktadır.
- c. Bilgi saklama uygulamaları için temel yaklaşım olarak kabul gören nicemleme ile ilgili aynı görünmezliğe karşı daha yüksek gürbüzlük sağlayan özgün bir yöntem geliştirilmiştir (*Kafes kodlama nicemleme ile bilgi saklama*).

- Nicemleme indeks modülasyonu ve benzeri yaklaşımlarda her bir katsayının birbirlerinden bağımsız olarak kodlanması ve çözülmesinin getirdiği performans limitleyici etki, kafes kodlama nicemleme kullanılıp, katsayıların beraberce ele alınmasıyla önenebilir. Deneysel sonuçlar birörnek ve Gauss dağılıma sahip kaynaklar için önerilen kafes kodlama nicemleme temelli yaklaşımının [46] tipik ataklara karşı NİM ve benzer metodlara göre daha iyi bir sezim performansı yakaladığını göstermektedir.
- d. Yüksek kapasitede video içine bilgi saklayabilen, farklı uygulamalar için kullanılmaya hazır uygulama yazılımı geliştirmiştir.
 - MPEG-1 formatında kodlanmış tipik videolar (1.5 Mbits/s) için görünmezlik kıstasını sağlamasının yanında yaklaşık 64 Kbits/s civarı bir saklı kanalın oluşturulması çok değişik uygulamaları olanaklı kılmaktadır. Bir video içinde çok daha düşük kalite başka bir video yollanması gibi (örn. sayısal tek alıcılı TV ler için kullanıcı seçimli “resim-resim-içinde” uygulaması) yeni uygulamalar düşünülebilir. Her tip sayısal bilginin standartlara sadık kalınarak yollanması ve farklı ortamlarda veriyle beraberce hareket etmesi bu yöntemi çok farklı uygulamalar için çekici hale getirmektedir.
- e. Güvenlik dışı bilgi saklama uygulamaları arasında en umut veren uygulama olarak gözüken gürbüz video iletimi, başarıyla sonuçlanmıştır [43,44]. Oluşturulan kodlayıcı-çözücü uygulama yazılımı ile gürbüz video iletişimde bilgi saklamanın sağladığı tüm faydalar ilk kez kapsamlı deneylerle ortaya konmuştur [45]. Kodlama sonrası elde edilen bit dizileri üzerine uygulanan rasgele kanal hatalarına karşı çözücünün gösterdiği performans bu umut veren uygulama için gerçek performansı ortaya koymuştur.
 - Çözücü için ilgili video kodlama standardı dışında hiç bir ek yazılım gerektirmeyen durumlarda (örn. kanal hatası düzeltici kodları okuyarak bitleri düzeltebilecek ek bir çözme işleme yapılamıyorsa), önerilen yöntem kanal hatalarından doğan bozulmaları en aza indirmek için iyi bir çözüm olabilir.
 - Hata düzeltici kodlara karşı performansının düşük kalması bir noktadan sonra kaçınılmaz olmakla birlikte, önerilen metodun zayıf bir noktası olan “imge mi, yoksa imge ile ilgili bilgilerin saklandığı mesaj mı hatalardan zarar görmüş?” sorusuna verilmekte güçlük duyulan cevap, saklanan bilgilerin hata düzeltici kodlar kullanıldıktan sonra sağlamlaşması ile aşılabilmektedir. Bu durum ilk bakışta bir zaaf olarak gözüke de, hata düzeltici kodlar kullanıldığında standart uyumsuz bir duruma gelecek bir bit dizisi yerine, gezgin veya ağ ortamlarındaki farklı kanallardan sonra her tip çözücü tarafından problemsiz okunabilen, ama gerektiğinde gürbüzlük kazanabilen bir bit-dizisi çok daha fonksiyonel ve tercih sebebi olabilmektedir.
- f. Bilgi saklama teknolojilerini kullanarak eski sıkıştırma standartlarının aynı sıkıştırma oranı için daha yüksek görsel bir kalite oluşturması hedefi istenilen noktaya ulaşamamıştır.
 - Bu güç hedefe ulaşmak için kullanılabilecek 2 temel yaklaşımdan “geri çıkarılabilir bilgi saklama” yöntemleri, saklanacak bilgi için hala çok düşük kapasite sağlayabildiği için tercih edilmemiştir. Aksi takdirde, orijinal ile kodlu imgenin farkı olarak elde edilen saklanacak iyileştirici bilgi, kodlu imge içinde çözücüye ulaştıktan sonra çıkarılıp, kodlu imgeyi bilgi saklamanın getirdiği kalite kaybından kurtarıp, kodlu imge üzerine iyileştirici ek saklı

bilginin eklenmesi ile görüntü kalite artışı sağlanabilecekti. Ancak, geri çıkarılabilir bilgi saklama kapasitesinin hala çok düşük olması, bu kadar az bit ile kodlanan fark görüntüsünün herhangi önemli bir kalite artışı katkısı yapmasını engellemektedir.

- İkinci ve projede kullanılan yaklaşım ise saklanacak ve kalitesi arttırılacak görüntü eleman kümelerinin bölünerek ayrı ayrı kullanılması temeline dayanmaktadır. Böylelikle daha yüksek kapasiteli bilgi saklama yöntemlerini kullanmak mümkün olabilmektedir. İyileştirici bilgileri elde etme için orijinal katsayılar ile bilgi saklandıktan sonra değişecek katsayıları kullanmanın şart olduğu ve bunun pratikte mümkün olmadığı açıktır. İkiye bölünmüş katsayılar kullanan önerilen metodun istenilen performansı elde edememesindeki en yüksek sebep fark imge entropisinin çok düşük olması olarak düşünülmüştür.

İleriye dönük araştırma önerileri olarak

- Odaklamaya dayalı damgalama için odak noktasının bulunmasına yönelik araştırmaların yapılması metodun pratik uygulanabilirliğini arttıracaktır. Hareket eden nesnelerin merkezi, en parlak koyuluk değeri, insan yüzü gibi farklı odak noktası adayları psikogörsel araştırmacılar tarafından önerilmektedir.
- Başka araştırmacılar tarafından elde edilmiş İGS ye ait uzamsal veya zamansal kontrast eşik değerlerinin önerilen yöntemlerde kullanılması çeşitli problemler yaratmaktadır. Benzer deneylerin tekrarlanarak bu konuda birikim kazanılmasının daha başarılı bilgi saklama yöntemleri geliştirilmesi açısından da faydalı olacağı düşünülmektedir.
- Kafes kodlama nicemleye dayalı bilgi saklama yaklaşımının rassal kaynaklar için daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiş olmasına rağmen aynı metodların gerçek uygulamalarda kullanıldığında elde edilen performansın da incelenmesi gereklidir.
- Gürbüz video iletimi için hata çözücü kodların saklanan bilgiyi korumada kullanılması şart gözükmektedir. Aynı şekilde, önerilen yöntemin eşit olmayan koruma yaklaşımı ile ilişkisini araştırmak önerilebilir. Belli bilgileri saklamanın kuramsal olarak ortak kaynak-kanal kodlamasına eş değer olabileceği düşünülmektedir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- [1] J. Cox, M. L. Miller, and J. A. Bloom, *Digital Watermarking*, Academic Press, 2002.
- [2] F. A. P. Petitcolas, R. J. Anderson, and M. G. Kuhn, "Information hiding- a survey," *Proceedings of the IEEE*, vol. 87, no. 7, pp.1062-1078, July 1999. [3] Book 3
- [3] M. Costa, "Writing on dirty paper," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol.29, pp.439-441, May 1983.
- [4] J. Cox, J. Kilian, T.Leighton and T.Shamoon "Secure Spread Spectrum watermarking for multimedia" in *IEEE Trans. on Image Processing*, 6,12,1673-1687, (1997)
- [5] Joe J. K. Ó Ruanaidh and Thierry Pun, Rotation, scale and translation invariant spread spectrum digital image watermarking, *Signal Processing*, 66, 3, pp. 303-317, May 1998. (Special Issue on Copyright Protection and Control, B. Macq and I. Pitas, eds.)
- [6] B. Chen, *Design and Analysis of Digital Watermarking, Information Embedding, and Data Hiding Systems*, PhD. Dissertation, MIT, 2000.
- [7] B. Chen and G. W. Wornell, "Quantization index modulation: a class of provably good methods for digital watermarking and information embedding," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 47, no.4, May 2001.
- [8] Mitchell D. Swanson, Bin Zhu, Ahmed H.Tewfik, "Transparent Robust Image Watermarking" 1996 SPIE Conf. On visual Communications and Image Proc.
- [9] Raymond B. Wolfgang, Christine I. Podilchuk, and Edward J.Delp, " Perceptual Watermarks for digital images and video", *Proc. of the IEEE*, Vol.87, No.7, July 1999
- [10] Christine I. Podilchuk and Wenjun Zeng, "Image-adaptive watermarking using visual models", *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, Vol. 16, No.4, 1998
- [11] A.B Watson, "DCT quantization matrices visually optimized for individual images", in *Proc. SPIE Conf. Human vision, Visual Processing, and Digital Display IV*, Feb. 1993,vol 1913,pp.202-216
- [12] Watson, G. Yang, J. Solomon, J. Villasenor, "Visibility of wavelet quantization noise", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 6, no.8, pp 1164-1175, August, 1997
- [13] Wilson S. Geisler and Jeffrey S. Perry, " A real time foveated multiresolution system for low-bandwidth video communication." *SPIE proc.*, 1998
- [14] Zhou Wang, Alan C. Bovik "Embedded Foveation Image Coding", *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 10, No. 10, October 2001
- [15] G. E. Legge and J. M. Foley, "*Contrast Masking in Human Vision*", *J. Opt. Soc. Am.*, 70(12), PP. 1458-1471, 1980.
- [16] Bernd Girod, "The information theoretical significance of spatial and temporal masking in video signals", *SPIE Vol. 1077 Human Vision, Visual Processing and Digital Display*, 1989.
- [17] Mitchell D. Swanson, Mei Kobayashi, and Ahmed H. Tewfik, "Multimedia Data- Embedding and Watermarking Technologies", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 86, No. 6, June 1998.
- [18] Mitchell D. Swanson, Bin Zhu and Ahmed H. Tewfik, "Multiresolution Scene-Based Video Watermarking using perceptual Models", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 16, No. 4, May 1998.
- [19] Watson, A.B. (1986). *Temporal sensitivity*. In Boff, K., Kaufmann, L. & Thomas, J. (eds.), *Handbook of Human Perception and Performance*, 1, Chapter 6. New York: John Wiley and Sons.

- [20] Andrew B. Watson, James Hu, John F McGowan III, "DVQ: A Digital Video Quality Metric based on Human Vision", *Journal of Electronic Imaging*, 10(1), 20-29.
- [21] P. Moulin, "The role of information theory in watermarking and its application to image watermarking," invited paper, *Signal Processing*, vol. 81, no. 6, pp. 1121-1139, June 2001.
- [22] Sequeira, D. Kundur, "Communication and Information Theory in Watermarking: A Survey," *Multimedia Systems and Applications IV*, A. G. Tescher, B. Vasudev, and V. M. Bove, eds., Proc. SPIE (vol. 4518), pp. 216-227, Denver, Colorado, August 2001
- [23] M.W. Marcellin and T.R. Fischer, "Trellis coded quantization of memoryless and Gauss-Markov sources," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 38, pp. 82-93, January 1990.
- [24] G. Ungerboeck, "Channel coding with multilevel/phase signals," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol.28, pp.55-67, Jan. 1982.
- [25] D.S. Taubman and M.W. Marcellin, *JPEG2000: Image compression fundamentals, standards and practice*, Kluwer Academic Pub., 2002.
- [26] J.H. Kasner, M.W. Marcellin, and B.R. Hunt, "Universal trellis coded quantization," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 8, No. 12, pp. 1677-1687, December 1999.
- [27] H. Brunk and N. Farvardin, "Embedded trellis coded quantization," *Data Compression Conference*, pp. 93-102, 1998.
- [28] G. D. Forney, Jr., "The Viterbi algorithm," *Proc. IEEE*, vol. 61, pp.268-278, Mar. 1973.
- [29] J. Chou, S. Sandeep Pradhan, and K. Ramchandran, "On the duality between data hiding and distributed source coding," *Invited Paper, Proc. 33rd Annual Asilomar conference on Signals, Systems, and Computers*, Pacific Grove, CA, Nov. 1999.
- [30] J. Chou, S. Sandeep Pradhan, L. El Ghaoui, and K. Ramchandran, "A robust optimization solution to the data hiding problem using distributed source coding principles," *Proc. SPIE conference, San Jose, CA, Jan. 2000*.
- [31] S. S. Pradhan, J. Chou, and K. Ramchandran, "Duality between source coding and channel coding and its extension to the side information case," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 49, no.5, May2003.
- [32] Y. Wang ve Q.-F. Zhu, "Error control and concealment for video communication: A review," *Proc. of the IEEE*, cilt 86, no. 5, s. 974-997, May 1998.
- [33] M. Wu ve B. Liu, "Watermarking for image authentication," *ICIP'98*, cilt 2, s. 437-441.
- [34] P. Yin, B. Liu, ve H. H. Yu, "Error concealment using data hiding," *Proc. of ICASSP '01*, cilt 3, s. 1453-1456.
- [35] D. L. Robie ve R. M. Mersereau, "Video error correction using steganography" *Proc. of ICIP '01*, s.930-933.
- [36] J. Song ve K. J. R. Liu, "A data embedding scheme for H.263 compatible video coding," *IEEE Int Symp on Circuits and Systems*, cilt 4, s. 390-393, June 1999.
- [37] P. Yin, M. Wu, ve B. Liu, "A robust error resilient approach for MPEG video transmission over internet," *Visual Communication and Image Processing*, SPIE 2002, cilt 4671, s. 103-111, January 2002
- [38] F. Deguillaume, G. Csurka, J. O'Ruanaidh, T. Pun, "Robust 3D DFT Video Watermarking," *Proceedings of SPIE 3657, Security and Watermarking of Multimedia Content*
- [39] M. Ramkumar, A. N. Akansu and A. A. Alatan, "On the choice of transforms for data hiding in compressed video," *Proc. IEEE ICASSP '99*, Phoenix, 3049-3052, 1999.
- [40] A. Koz and A. A. Alatan, "Foveated Image Watermarking," *IEEE ICIP 2002*, Rochester, NY.

- [41] A. Koz and A. A. Alatan "Video Watermarking Using Temporal Sensitivities of Human Visual System," *Workshop on Transmitting, Processing and watermarking Multimedia Contents '2003*, Bordeaux, FRANCE.
- [42] A. Koz and A. A. Alatan, "Temporal Watermarking of Digital Video," *WIAMIS '2003*, London, UK.
- [43] A. Yilmaz and A. A. Alatan, "Data Hiding Aided Robust H.263+ Transmission," *Workshop on Transmitting, Processing and watermarking Multimedia Contents '2003*, Bordeaux, FRANCE.
- [44] A. Yilmaz, E. Esen and A. A. Alatan, "Combined Concealment, Synchronization, and Error Detection Using Data Hiding," *WIAMIS '2003*, London, UK.
- [45] A. Yilmaz and A. A. Alatan, "Error Concealment of Video Sequences by Data Hiding," *IEEE ICIP '2003*, Barcelona, SPAIN.
- [46] E. Esen, A. A. Alatan and M. Aşkar, "Trellis Coded Quantization for Data Hiding" *IEEE Eurocon '2003*, Ljubliana, SLOVENIA.

PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Kodu : 101E007

Proje Başlığı :

GÜVENLİK DIŞI UYGULAMALARDA İMGE İÇİNE BİLGİ SAKLAMA

Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar :

Doç.Dr. A. Aydın Alatan,

Yük.Müh. Alper Koz

Yük.Müh. Ersin Esen

Yük.Müh. Ayhan Yılmaz

Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi :

Orta Doğu Teknik Üniversitesi,
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Balgat 06531 Ankara

Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi :

-

Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri : 1 Eylül 2001 – 1 Mart 2003

Öz : (en çok 70 kelime)

Güvenlik dışı bilgi saklama uygulamaları olarak görsel verinin kendisi ile ilgili bilgiler saklanarak zenginleştirilmesi, gezgin kanallarda gürbüz video iletimi sırasında oluşan hataların saklı bilgiler yardımıyla onarılması ve eski kodlama standartlarının daha iyi görsel kalite sağlayabilmesi için iyileştirici bilgileri bitdizilerinin içine saklama yaklaşımları önerilmiş ve deneyler yardımıyla performansları gözlenmiştir. Bu uygulamalarda kullanılmak üzere insan görme sistemi özelliklerinden odaklama ve zamansal kontrast duyarlılıklarını dikkate alan üç özgün metod geliştirilmiş, kafes kodlama nicemleme kullanılan diğer bir özgün bilgi saklama metodu önerilerek, bütün metodların literatürdeki benzer yaklaşımlara göre daha iyi performansları deneyler yardımıyla gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler:

Bilgi saklama, damgalama, insan görme sistemi, gürbüz video iletimi

Projeden Kaynaklanan Yayınlar :

A. Koz and A. A. Alatan "Foveated Image Watermarking," *IEEE ICIP '2002*, Rochester, USA.

A. Koz and A. A. Alatan "Video Watermarking Using Temporal Sensitivities of Human Visual System," *Workshop on Transmitting, Processing and watermarking Multimedia Contents '2003*, Bordeaux, FRANCE.

A. Koz and A. A. Alatan, "Temporal Watermarking of Digital Video," *WIAMIS '2003*, London, UK.

A. Yılmaz and A. A. Alatan, "Data Hiding Aided Robust H.263+ Transmission," *Workshop on Transmitting, Processing and watermarking Multimedia Contents '2003*, Bordeaux, FRANCE.

A. Yılmaz, E. Esen and A. A. Alatan, "Combined Concealment, Synchronization, and Error Detection Using Data Hiding," *WIAMIS '2003*, London, UK.

A. Yılmaz and A. A. Alatan, "Error Concealment of Video Sequences by Data Hiding," *IEEE ICIP '2003*, Barcelona, SPAIN.

E. Esen, A. A. Alatan and M. Aşkar, "Trellis Coded Quantization for Data Hiding" *IEEE Eurocon '2003*, Ljubljana, SLOVENIA.

Bilim Dalı : Sinyal İşleme

Doçentlik B. Dalı Kodu :