

58332



**VİDEO DATA SIKIŞTIRMADA
ALT BAND KODLAMA
YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ
Mehmet Zübeyir ÜNLÜ
Yüksek Lisans Tezi
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
1997**

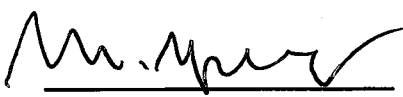
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VİDEO DATA SIKIŞTIRMADA ALT BAND KODLAMA YÖNTEMLERİNİN
İNCELENMESİ

Mehmet Zübeyir ÜNLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI


Bu tez 30/06/1997 tarihinde aşağıdaki juri tarafından 80./100 (Seksen..) not takdir edilerek Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Mümtaz YILMAZ



Prof. Dr. Abdurza ABİLOV



Yrd. Doç. Dr. Semih BİNGÖL

(Danışman)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**VIDEO DATA SIKIŞTIRMADA ALT BAND KODLAMA YÖNTEMLERİNİN
İNCELENMESİ**

Mehmet Zübeyir ÜNLÜ

Ankara Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Mümtaz YILMAZ

1997, Sayfa:83

Jüri : Prof.Dr. Mümtaz YILMAZ

Prof.Dr. Abdulrza ABILOV

Yrd.Doç.Dr. Semih BİNGÖL

Video ve görüntü sinyalleri çok büyük miktarda veri içerirler. Bu verilerin çok fazla olması özellikle iletim ve saklama aşamalarında çok büyük oranlarda data sıkıştırmasını gerekli kılar. Video ve görüntü sıkıştırmada kullanılan etkin yöntemlerden birisi olan alt band kodlama, kullanılan değişik yöntemler arasında önemli bir yer tutar. Bu yöntemler sinyalin sahip olduğu artıklıklardan faydalanarak sinyali sıkıştırırlar. Alt band kodlama artıklıklardan daha büyük oranlarda yararlanmaya imkan sağlar. Alt band kodlama tek başına etkin bir yöntem iken, diğer yöntemlerin daha verimli ve etkin bir çalışma yapmasına da imkan verir.

Bu çalışmada alt band kodlamanın özellikleri, kullandığı süzgeç öbeği, üstünlük ve dezavantajları incelenmiş, örnek görüntüler üzerine değişik kodlama yöntemleriyle beraber uygulanarak, etkinliği ve verimi değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Video kodlama, Alt band kodlama, Veri sıkıştırma,

Karesel ayna süzgeçleri, Darbe kod modülasyonu,

Farksal darbe kod modülasyonu, Ayrik kosinüs dönüşümü

ABSTRACT

Master's Thesis

**INVESTIGATION OF SUBBAND CODING METHODS IN VIDEO DATA
COMPRESSION**

Mehmet Zübeyir ÜNLÜ

Ankara University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electronics Engineering

Supervisor: Prof.Dr. Mümtaz YILMAZ

1997, Page:83

Jury : Prof.Dr. Mümtaz YILMAZ

Prof.Dr. Abdurza ABILOV

Asst.Prof. Semih BİNGÖL

Images and video signals contain a vast amount of data and because of this fact, data compression in large ratios need to be performed especially during transmission and storing of data. Subband coding, effective method used for compressing video and images plays an important role in comparison to other techniques. These methods utilize signal redundance to compress signals and subband coding makes use of these redundances greater amounts. While the utilization of subband coding alone is very effective, it also enables other methods to be more efficient and effective.

In this thesis, the features of subband coding, filter bank and advantages and disadvantages have been analyzed and the effectiveness and efficiency has been evaluated by using different coding techniques on images.

KEY WORDS: Video Coding, Subband Coding, Data Compression,
Quadrature Mirror Filters, Pulse Code Modulation,
Differential Pulse Code Modulation, Discrete Cosine Transform

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında video ve görüntü sinyallerinin düşük bit miktarlarında kodlanmasında kullanılan Alt Band Kodlama yöntemi incelenerek, deneysel sonuçları elde edilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmanın benzetim programı bilgisayar ortamında Matlab programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmalarım sırasında bana yardım ve desteklerini esirgemeyen sayın danışmanım Prof.Dr. Mümtaz YILMAZ'a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Ayrıca yardım ve desteklerini gördüğüm arkadaşlarım Araş.Gör.Oktay ÜRETEN ve Araş.Gör. H. Orkun ZORBA'ya, diğer mesai arkadaşlarıma ve aileme teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
KISALTMALAR DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	IX
1. GİRİŞ ..	1
2. ALT BAND KODLAMA TEKNİĞİ.....	3
3. ALT BAND KODLAMA YÖNTEMİ İÇİN DEĞİŞKEN HIZLI SAYISAL SÜZGEÇ YAPILARI	5
3.1. DEĞİŞKEN HIZLI SAYISAL İŞARET İŞLEME.....	5
3.1.1. ÖRNEK SEYRELTME (DECIMATION)	5
3.1.2. ARA DEĞERLEME (INTERPOLATION)	8
3.1.3. ÖRNEK SEYRELTİCİ VE ARA DEĞERLEYİCİNİN BİRLİKTE KULLANIMI, ÖRTÜŞME VE HAYALİ GÖRÜNTÜLER	10
3.2. KARESEL AYNA SÜZGEÇ ÖBEKLERİ (QMF-QUADRATURE MIRROR FILTERS)	13
3.2.1. TEK BOYUTLU QMF SÜZGEÇ ÖBEĞİ	14
3.2.2. İKİ BOYUTLU QMF SÜZGEÇ ÖBEĞİ	18
3.2.3. TEK BOYUTLU QMF'LERİN İKİ BOYUTLU İŞARETLERE UYGULANMASI	21
3.3. QMF'LERİN ÇOK FAZLI YAPIDA GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	22
3.3.1. ÖRNEK SEYRELTME İŞLEMİNİN ÇOK FAZLI YAPIDA UYGULANMASI	26
3.3.2. ARA DEĞERLEME İŞLEMİNİN ÇOK FAZLI YAPIDA UYGULANMASI	27
4. GÖRÜNTÜ SİNYALLERİNİN (IMAGE) ALT BAND KODLAMA YÖNTEMİYLE KODLANMASI (INTRAFRAME CODING).....	31
5. VİDEO SİNYALLERİNİN ALT BAND KODLAMA YÖNTEMİYLE KODLANMASI (INTERFRAME CODING)	33
5.1. HAREKET DENGELENMİŞ FARK GÖRÜNTÜSÜNÜN ALT BAND YÖNTEMİYLE KODLANMASI.....	33

5.2. ALT BANDLARINA AYRILMIŞ VİDEO ÇERÇEVELERİNİN, HAREKET KOMPENZASYONLU ÖNGÖRÜM YANILGILARININ KODLANMASI.....	35
6. ALT BAND KODLAMA İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	37
6.1. GÖRÜNTÜ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMA.....	40
6.1.1. ALT BAND GÖRÜNTÜLERİNİN PCM KODLAMA BENZETİMİ	41
6.1.2. ALT BAND GÖRÜNTÜLERİNİN DPCM KODLAMA BENZETİMİ	45
6.1.3. PCM VE DPCM PROGRAM BENZETİM SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	48
6.1.4. ALT BAND GÖRÜNTÜLERİNİN DCT KODLAMA BENZETİMİ	49
6.2. VİDEO İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMA.....	51
6.2.1. ALT BAND VİDEO GÖRÜNTÜLERİNİN PCM KODLAMA BENZETİMİ	51
6.2.2. ALT BAND VİDEO GÖRÜNTÜLERİNİN DPCM KODLAMA BENZETİMİ.....	55
6.2.3. PCM VE DPCM PROGRAM BENZETİM SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	58
6.2.4. ALT BAND VİDEO GÖRÜNTÜLERİNİN DCT KODLAMA BENZETİMİ	59
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	62
EKLER.....	66

KISALTMALAR DİZİNİ

SBC	Subband Coding (Alt Band Kodlama)
QMF	Quadrature Mirror Filters (Karesel Ayna Süzgeçleri)
PCM	Pulse Code Modulation (Darbe Kod Modülasyonu)
DPCM	Differential Pulse Code Modulation (Farksal Darbe Kod Mod.)
DCT	Discrete Cosine Transform (Ayrık Kosinüs Dönüşümü)
SNR	Signal to Noise Ratio (İşaret Gürültü Oranı)



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Genel, görüntü ve video verisi kodlama ve iletim blok diyagramı	2
Şekil 3.1. (a) Örnek seyreltme işlemi blok şeması (b,c,d) Sinyal grafikleri.....	5
Şekil 3.2. (a) Orjinal sinyal spektrumu (b) Ara sinyal spektrumu (c) Örnekseyreltilmiş sinyal spektrumu, ..	8
Şekil 3.3. (a) Ara değerlendirme işlemi blok şeması (b) Giriş sinyali (c) Aradeğerlenmiş sinyal	8
Şekil 3.4. (a) Giriş sinyal spektrumu (b) Ara değerlendirilmiş sinyal spektrumu	9
Şekil 3.5. (a) Örnek seyreltici ve ara değerlendirici sistem blok şeması	10
(b) Giriş sinyali (c) Örnek seyreltilmiş sinyal (d) Ara değerlendirilmiş sinyal	10
Şekil 3.6. Şekil 3.5'de verilen sinyallerin frekans spektrumları	11
Şekil 3.7. Eşdeğer yapılar	12
Şekil 3.8. Örnek seyreltme ve Ara değerlendirme sistemi.....	13
Şekil 3.9. Süzgeç spektrumları	13
(a) İdeal süzgeç spektrumu,	13
(b) Pratikte elde edilebilir süzgeç yapısı ($\pi/2$ civarında sinyalde kayıp oluşur.),.....	13
(c) Pratikte elde edilebilir süzgeç yapısı (Örtüşme etkisinin olduğu yapı)	13
Şekil 3.10. Tek boyutlu, iki kanallı QMF yapısı	14
Şekil 3.11. Tek boyutlu iki kanallı QMF sistemi sinyal spektrumları.....	15
Şekil 3.12. Sinyalin daha fazla alt banda ayrılabilirdiği ağaç yapısı şeması.....	18
Şekil 3.13. İki boyutlu sinyalin, frekans bölgesinde dört alt band ayrımı (L: Low, H: High).....	19
Şekil 3.14. İki boyutlu, iki kanallı QMF süzgeç öbeği	19
Şekil 3.15. İki boyutlu işaretin ayrılabilir süzgeç öbekleriyle alt bandlara ayrılma işlemi	22
Şekil 3.16. Alçak geçiren ve band geçiren süzgeç spektrumları	23
Şekil 3.17. Süzgeç öbeği frekans spektrumu	23
Şekil 3.18. M bandlı süzgeç öbeği.....	24
Şekil 3.19. Analiz süzgeç öbeğinin çok fazlı yapıda gerçekleştirilmesi.....	25
Şekil 3.20. Sentez süzgeç öbeği	26
Şekil 3.21. Örnek seyreltme işleminin çok fazlı yapıda gerçekleştirilmesi.....	27
Şekil 3.22. Çok fazlı yapıdaki sentez süzgeç öbeğinde örnek seyreltme işleminin gerçekleştirilmesi	27
Şekil 3.23. Aradeğerleme işleminin çok fazlı yapıda gerçekleştirilmesi	28
Şekil 3.24. Ara değerlendirme işleminin çok fazlı yapıda gerçekleştirilmesi	28
Şekil 3.25. Sentez süzgeç öbeğinin çok fazlı yapı ile gerçekleştirilmesi.....	29
Şekil 3.26. Çok fazlı yapıdaki sentez süzgeç öbeğinde aradeğerleme işleminin gerçekleştirilmesi	30
Şekil 4.1. Görüntü sinyali genel alt band kodlama algoritması.....	31
Şekil 4.2. Orjinal Lena görüntüsü ve dört alband çerçevesi [14]	31
Şekil 5.1. Hareket dengelenmiş fark sinyalinin alt band kodlanması	34
Şekil 5.2. (a) Claire video dizisi fark görüntüsü (b)Fark görüntüsü alt bandları (c)Yeniden elde edilen fark görüntüsü [14].....	34
Şekil 5.3. Alt bandlarına ayrılmış video çerçevelerinin hareket dengelemeli öngörüm yanılıgılarının kodlanması	35
Şekil 6.1. (a),(c).Tek boyutlu alçak geçiren band süzgeç transfer fonksiyonu (analiz, sentez)	38
(b),(d).Tek boyutlu yüksek geçiren band süzgeç transfer fonksiyonu (analiz, sentez).....	38
Şekil 6.2. İki boyutlu süzgeç transfer fonksiyonları (a).LL analiz (b).LH analiz (c).HL analiz (d) HH analiz (e).LL sentez (f).LH sentez (g).HL sentez (h) HH sentez.....	38
Şekil 6.3. (a).Sisteme uygulanan dürtü sinyali (b).Alçak geçiren analiz süzgeç çıkış sinyali (c).Alçak geçiren sentez süzgeç çıkış sinyali (d).Yüksek geçiren analiz süzgeç çıkış sinyali (e).Yüksek geçiren analiz süzgeç çıkış sinyali (f).Çıkışta yeniden elde edilen giriş sinyali	40
Şekil 6.4. Lena görüntüsü için elde edilen piksel seviye histogramları (a)Orjinal (b)LL (c)LH (d)HL (e)HH	42
Şekil 6.5. Eşik bölgesinin nicemlenmesi.....	43
Şekil 6.6.(a) Orjinal Lena Görüntüsü	44
(b) Alt bandlarına ayrılmadan nicemlenmiş ve PCM kodlanmış görüntü (5 bit/pixel)	44
(c) Alt bandlarına ayrılıp nicemlenmiş ve PCM kodlanmış görüntü (2.5 bit/pixel)	44
Şekil 6.7. Öngörüm sinyali belirleme işlemi	45
Şekil 6.8. Lena görüntüsü için elde edilen öngörüm yanılıgı sinyal seviyesi histogramları (a)Orjinal (b)LL (c)LH (d)HL (e)HH	46

Şekil 6.9. (a) Alt bandlarına ayrılmadan DPCM kodlanmış ve nicemlenmiş Lena görüntüsü (6 bit/pixel)	48
(b) Alt bandlarına ayrılmış, DPCM kodlanmış ve nicemlenmiş Lena görüntüsü (2.75 bit/pixel)	48
Şekil 6.10. (a) PCM kodlanmış Lena görüntüsü (5 bit/pixel) (b) DPCM kodlanmış Lena görüntüsü (6 bit/pixel) (c) LL bandı DPCM, diğer bandları PCM kodlanmış Lena görüntüsü (3.25 bit/pixel)	49
Şekil 6.11. Ağırlık alma uygulanmış DCT katsayısı grafikleri (Lena görüntüsü için)	50
(a) Orjinal sinyal (b) LL (c) LH (d) HL (e) HH	50
Şekil 6.12. Trevor 02-01 fark görüntüsü için elde edilen piksel seviye histogramları (a) orjinal (b) LL (c) LH (d) HL (e) HH	53
Şekil 6.13. (a) Orjinal Trevor21 görüntüsü (b) Orjinal Trevor22 görüntüsü (c) Trevor22-Trevor21 görüntü farkı (d) Alt bandlarına ayrılmadan PCM kodlanarak elde edilmiş görüntü farkı (5 bit/pixel) (e) Elde edilen görüntü farkı ile Trev21'in toplamı (f) Alt bandlarına ayrılarak PCM kodlanmış ve yeniden elde edilmiş görüntü farkı (2.25 bit/pixel) (g) Elde edilen görüntü farkı ile Trev21'in toplamı	55
Şekil 6.14. Trev 02-01 fark görüntüsü için elde edilen öngörüm yanılğı sinyal seviyesi histogramları	56
(a) Orjinal (b) LL (c) LH (d) HL (e) HH	56
Şekil 6.15. (a) Alt bandlarına ayrılmadan DPCM kodlanmış görüntü farkı (5 bit/pixel) (b) Elde edilen fark görüntüsü ile Trev21'in toplamı (c) Alt bandlarına ayrılarak DPCM kodlanan fark görüntüsü (1.5 bit/pixel) (d) Elde edilen fark görüntüsü ile Trev21'in toplamı	58
Şekil 6.16. (a) LL bandı DPCM, diğer bandları PCM kodlanmış fark görüntüsü (2 bit/pixel) (b) Elde edilen fark görüntüsü ile Trevor21'in toplamı	59
Şekil 6.17. Fark görüntüsü (Trevor02-01) orjinal ve alt band DCT katsayı grafikleri (a) Orjinal (b) LL (c) LH (d) HL (e) HH	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 6.1. Alçak geçiren band (Lowest band) süzgeç katsayıları.....	37
Çizelge 6.2. Alt bandlarına ayrılmamış görüntünün en küçük ve en büyük piksel değerleri.....	41
Çizelge 6.3. Alt bandlarına ayrılmış görüntünün en küçük ve en büyük piksel değerleri.....	41
Çizelge 6.4. Alt bandlarına ayrılmamış ve PCM kodlanmış görüntünün değişik nicemleme seviyelerindeki sinyal/gürültü oranları	43
Çizelge 6.5. Alt bandlarına ayrılmış ve PCM kodlanmış görüntünün değişik nicemleme seviyelerindeki sinyal/gürültü oranları	44
Çizelge 6.6. Alt bandlarına ayrılmamış, görüntü öngörüm yanılığ sinyallerinin en küçük ve en büyük piksel değerleri.....	45
Çizelge 6.7. Alt bandlarına ayrılmış, görüntü öngörüm yanılığ sinyallerinin en küçük ve en büyük piksel değerleri	46
Çizelge 6.8. Alt bandlarına ayrılmamış ve DPCM kodlanmış görüntünün değişik nicemleme seviyelerindeki sinyal/gürültü oranları	47
Çizelge 6.9. Alt bandlarına ayrılmış ve DPCM kodlanmış görüntünün değişik nicemleme seviyelerindeki sinyal/gürültü oranları	47
Çizelge 6.10. Alt bandlarına ayrılmış PCM ve DPCM kodlanmış görüntülerin bandlara göre sinyal/gürültü oranlarının karşılaştırılması.....	48
Çizelge 6.11. Ağırlık matrisi (W_{ij}).....	49
Çizelge 6.12. Alt bandlarına ayrılmamış fark görüntüsünün en küçük ve en büyük piksel değerleri	52
Çizelge 6.13. Alt bandlarına ayrılmış fark görüntüsünün en küçük ve en büyük piksel değerleri.....	52
Çizelge 6.14. Alt bandlarına ayrılmamış ve PCM kodlanmış fark görüntüsünün değişik nicemleme seviyelerindeki sinyal/gürültü oranları	53
Çizelge 6.15. Alt bandlarına ayrılmış ve PCM kodlanmış fark görüntüsünün değişik nicemleme seviyelerindeki sinyal/gürültü oranları	54
Çizelge 6.16. Alt bandlarına ayrılmamış, fark görüntüsü öngörüm yanılığ sinyallerinin en küçük ve en büyük piksel değerleri	55
Çizelge 6.17. Alt bandlarına ayrılmış, fark görüntüsü öngörüm yanılığ sinyallerinin en küçük ve en büyük piksel değerleri.....	55
Çizelge 6.19. Alt bandlarına ayrılmış ve DPCM kodlanmış fark görüntüsünün değişik nicemleme seviyelerindeki sinyal/gürültü oranları	57
Çizelge 6.20. Alt bandlarına ayrılmış PCM ve DPCM kodlanmış video görüntülerinin, bandlara göre sinyal/gürültü oranlarının karşılaştırılması	59
Çizelge 6.21. Çalışmada elde edilen sonuçlar.....	63

1. GİRİŞ

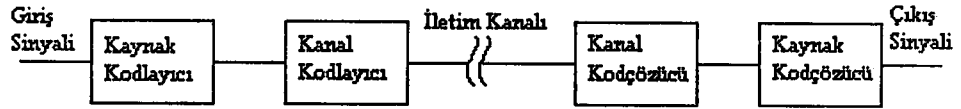
Sayısal sinyal işleme uygulamalarından olan görüntü ve video işareti işlemede temel amaç; sinyali verilen uygulamaya bağlı olarak yeterli kalite ve anlaşılabilirlik seviyesinde daha az bitle ifade etmektir. Bu işlem görüntü kaynağı, gösterme elemanı ve insan görme sisteminin sağladığı artıklıklardan (redundancy) faydalanılarak gerçekleştirilir ve kodlama olarak adlandırılır. Kodlama işleminin yapılmasını gerektiren temel etkenler;

- Sayısal görüntünün oluşturulması için gerekli bit miktarının yüksek olması,
- Verilerin depolanması ve iletimi için gerekli bit miktarının çok fazla olması,
- İletim kanalı ve depolama alanlarının kapasitelerinin sınırlı olması,
- İletimde harcanan sürenin pratikte uzun olmasıdır.

Görüntü ve video kodlama yöntemlerinin iletim ve depolama olmak üzere iki önemli uygulama sahası vardır. Sinyal; birincisinde iletim kanallarına uygun hale getirilmek, diğerinde ise depolama ortamlarında saklamak için sıkıştırılır. Birinci sahaya örnek olarak sayısal televizyon, video konferans, video telefon ve fax uygulamaları, ikinci sahaya örnek olarak da video dizilerinin, tıbbi görüntülerin, uzay çalışmalarında elde edilen görüntülerin v.b. saklanması ve depolanması verilebilir.

Bu tez çalışmasında görüntü ve video bilgisi sıkıştırmada, kodlama tekniklerinden birisi olan **alt band kodlama yöntemi** incelenmiştir. Alt band kodlama yöntemi artıklıklardan sıkıştırma amaçlı yararlanmaya imkan sağlar. Bu konuda 1970'li yıllardan başlayarak devam edegelen çalışmalar bugün de devam etmektedir. Uygulandığı ve araştırıldığı alanlara; renksiz ve renkli görüntüler, yüksek çözünürlüklü görüntüler, video telefon, video konferans sistemleri, tıbbi görüntüleme ve arşivleme sistemleri örnek olarak verilebilir.

Alt band kodlamada genel yaklaşım sinyalin frekans bölgesinde bandlara ayrılması ve her bir alt bandın kendi kodlayıcısına sahip olmasıdır. Bununla beraber bit oranının alt bandların özellikleriyle uyumlu olmasına çalışılır. Bu işlem gerçekleştirilirken bit atama algoritmasının geniş bir görüntü spektrumu için uygun olmasına dikkat edilmelidir.



Şekil 1. Genel, görüntü ve video verisi kodlama ve iletim blok diyagramı

Alt band kodlama yöntemi, görüntü ve video sıkıştırma genel algoritmasında kaynak kodlama gurubuna dahildir (Şekil 1). Kaynak kodlama yöntemleri kendi içerisinde tersinir olan ve olmayan şeklinde iki alt guruba ayrılabilir. Sıkıştırma işlemi bu gurupların her ikisinde de artıklıklardan faydalanılarak gerçekleştirilir. Tersinir olmayan kodlama yöntemleri, atılan artık bigilerin kod çözme sırasında alıcıda tümüyle elde edilmesine izin vermezken, tersinir kodlama yöntemlerinde vericideki bilgiler alıcıda aynen elde edilir. Alt band kodlama yöntemi bu guruplardan tersinir olmayan kodlama gurubuna dahildir. Ancak alt band kodlama sırasında kaybedilen artık bilgilerin, kod çözme aşamasında tümüyle elde edilememesi dezavantajı bir çok uygulamada kabul edilebilir limitler içerisinde.

Tez çalışmasında bir çeşit kaynak kodlama tekniği olarak uygulanan alt band kodlama yöntemi, değişik kaynak kodlama metodlarıyla beraber uygulanarak, tekniğin etkinliği ve verimi araştırılmış ve gerçekleştirilen benzetim programı sonuçları literatürde belirtilen yöntemlerle sınanmış ve elde edilen görüntüler birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Birinci bölümde, genel görüntü sıkıştırma metodları ve alt band kodlamanın bu metodlar içerisindeki yeri,

İkinci bölümde, altband kodlama yönteminin tarihsel geçmişi, tarifi ve uygulamaları hakkında bilgi,

Üçüncü bölümde, sistemde kullanılan değişken hızlı sayısal işaret işleme ve süzgeç yapıları,

Dördüncü ve beşinci bölümde, görüntü ve video sinyallerinin alt band yöntemiyle kodlanması hakkında teorik bilgiler,

Altıncı bölümde ise, gerçekleştirilen benzetim programı anlatılarak,

Sonuç bölümünde, alt band kodlamanın getirmiş olduğu avantajlar ve dezavantajlar karşılaştırılarak genel bir yorum yapılmıştır.

2. ALT BAND KODLAMA TEKNİĞİ

Alt band kodlama fikri ve uygulamalarının ortaya çıkışı 1950'li yıllara dayanmaktadır. 1956 yılında Kretzmer'in [1] ve 1959'da Schreiber'in [2] yapmış olduğu çalışmalar alt band kodlama için bir başlangıç olarak kabul edilebilir. Ancak bu çalışmaların pratik uygulamaları Esteban ve Galand'ın [3] QMF (Quadrature Mirror Filters) süzgeç öbekleri hakkında yapmış oldukları çalışmalardan sonra hız kazanmaya başlamıştır. Başlangıçta ses sinyalleri üzerinde uygulanan alt band kodlama yöntemi [4] Vetterli'nin [5] tek boyutlu QMF süzgeçleri, iki boyutlu QMF'lere uyarlamasıyla görüntü sinyallerine de uygulanmaya başlamıştır. Bu konuda ilk sayılabilecek çalışma Woods ve O'Neil [6], takip eden çalışma ise Gharavi ve Tabatabai [7] tarafından yapılmıştır. Alt band kodlama üzerinde sürdürülen çalışmalar halen ses, görüntü ve video sinyalleri üzerinde devam etmekte olup araştırmalar devam etmektedir.

Görüntü ve video kodlama uygulamalarındaki temel amaç, sinyal bileşenlerini kabul edilebilir bir bozulmayla daha az bitle kodlamak ve bu sayede sıkıştırma sağlamaktır. Bu amaca sinyaldeki artıklıkların (redundancy) giderilmesi yani sinyaldeki ilişkinin azaltılmasıyla ulaşılabilir. Kodlama yöntemlerinden birisi olan alt band kodlama sinyalin sahip olduğu bu artıklıklardan daha fazla oranda yararlanmaya imkan sağlar.

Yöntem giriş sinyal spektrumunun birbirinden bağımsız alt bandlara ayrıştırılması ve birbirinden bağımsız kodlanması esasına dayanır ve giriş sinyal spektrumunun, analiz süzgeç öbeğinde simetrik bir şekilde ikiye ayrılmasıyla gerçekleştirilir.

Her bir alt band sinyalinin band genişliği, orjinal sinyalin band genişliğinin yarısına eşit olduğundan her bir bant 2:1 oranında örnek seyreltmeye (decimation) tabi tutulur. Bu işlem sırasında süzgeç yapılarının ideal olmamasından kaynaklanan örtüşme (aliasing) etkileri ortaya çıkar. Bu etkilerin nasıl giderileceği ve süzgeçlerin nasıl tasarlanması gerektiği bölüm 3'te detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Örnek seyreltme uygulanan her bir alt band, orjinal sinyale oranla artıklıktan daha fazla yararlanma imkanı sağlar. Oluşturulan alt bandlar kendi istatistiksel özellikleri dikkate alınarak nicemlenir, kodlanır ve iletilirler. Uygulanabilecek niceme ve kodlama yöntemleri hakkında bilgi ilerleyen bölümlerde anlatılmıştır.

Alıcı tarafta elde edilen sinyaller dekodlandıktan sonra örnek seyreltmenin tersi bir işlem olan ara değeriştirler (interpolation). Bu işlem sırasında da frekans bölgesinde bir daralma ve istenmeyen hayali frekans görüntüleri (images) ortaya çıkar.

Sinyal, oluşan bu etkilerin ve örnek seyreltme sırasında ortaya çıkan örtüşme etkilerinin giderilmesi için analiz sügeçlerine bağımlı olarak tasarlanan sentez süzgeç öbeğinden geçirilerek toplanır ve orjinal sinyal elde edilmeye çalışılır.

Alt band kodlamanın sıkıştırırmaya getirdiğı katkı alt bandların kodlanması yani her bir alt banda bit atanması sırasında görülür. Yani her alt banda kendi istatistiksel özelliklerine uygun olarak farklı sayıda bit atanabilir ve bu işlem sıkıştırırmaya bir katkı sağlar. Ayrıca bir alt bandda oluşan hata sadece o bandı etkileyeceğinden genel bir bozulmaya yol açmayacaktır.



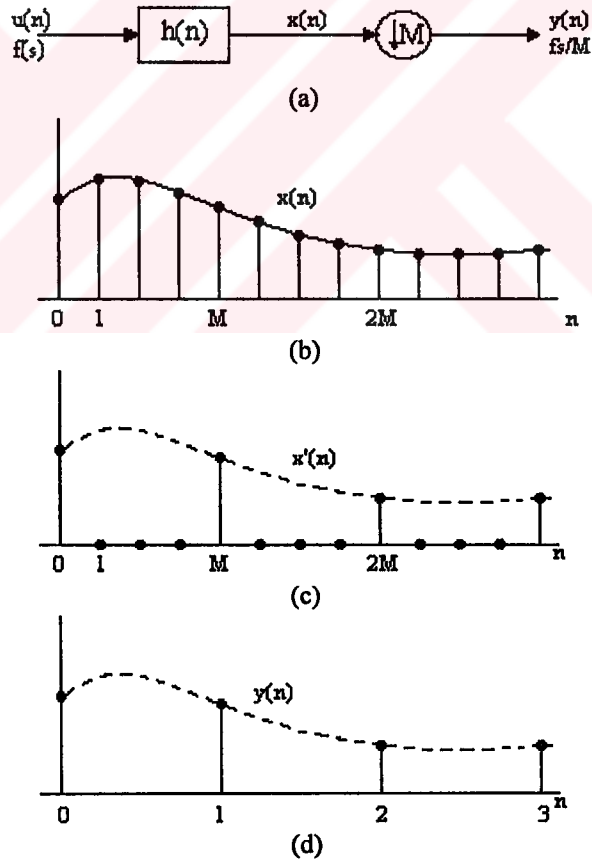
3. ALT BAND KODLAMA YÖNTEMİ İÇİN DEĞİŞKEN HIZLI SAYISAL SÜZGEÇ YAPILARI

3.1. DEĞİŞKEN HIZLI SAYISAL İŞARET İŞLEME

Sabit hızlı işaret işleme sistemlerinde tüm sinyaller için tek bir örnekleme oranı kullanılırken, değişken hızlı işaret işlemede farklı örnekleme oranları beraber kullanılır.

Bu sistemler sinyalin örnekleme hızını değiştirerek, sinyal üzerinde yapılacak işlemlerde hesap karmaşıklığını azaltma, iletim hızını artırma ve saklama alanlarında azalma gibi noktalarda fayda sağlarlar. Bu işlemler sabit hızlı sistemlerde kullanılan elemanlara ek olarak örnek seyreltici ve aradeğerleyici olarak adlandırılan elemanlarla gerçekleştirilirler.

3.1.1. ÖRNEK SEYRELTME (DECIMATION)



Şekil 3.1. (a) Örnek seyreltme işlemi blok şeması (b,c,d) Sinyal grafikleri

Örnek seyreltme, sinyalin örnekleme oranının M tamsayısı kadar azaltılmasıdır. Bu işlem tam band bir sinyalin ($x(n)$), süzgeçten geçirildikten sonra örneklerinin belli

bir oran ve periyodla seyreltilmesiyle gerçekleştirilir (Şekil 3.1(a)). Bir başka deyişle; yeniden oluşturulacak dizi için, $x(n)$ dizisindeki her M 'inci elemanın alınması ve zaman indisinin yeniden adlandırılması işlemlerini içerir (Şekil 3.1(b,c,d)).

Örnek seyreltme işleminin matematiksel analizi ve uygulama algoritması şu şekildedir:

$x'(n)$ olarak ifade edilen sinyal, örnek seyreltilmiş sinyal olan $y(n)$ 'in elde edilmesi için kullanılacak ara bir sinyal olsun ve $x(n)$ 'in her M inci elemanının aynen, diğer elemanlarının sıfır olarak alındığı diziyi gösterebilir (Şekil 3.1.(c)). Buna göre;

$$x'(n) = \begin{cases} x(n) & n=0, \pm M, \pm 2M \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (3.1)$$

$$y(n) = x(Mn) \text{ ve } y(n) = x'(Mn) \quad (3.2)$$

olarak ifade edilir.

$x'(n)$ sinyali, $x(n)$ giriş sinyali ve örnekleme fonksiyonunu ifade eden, M periyodlu $i(n)$ dürtü dizisinin çarpımı olarak yazılabilir.

$$x'(n) = i(n)x(n) = \left[\sum_{r=-\infty}^{\infty} \delta(n - rM) \right] x(n) \quad (3.3)$$

$i(n)$ 'in ayrık fourier serisindeki açılımı:

$$i(n) = \sum_r \delta(n - rM) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} e^{j\frac{2\pi}{M}nk} \quad (3.4)$$

olarak ifade edilebileceğinden, buradan;

$$x'(n) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} x(n) e^{j\frac{2\pi}{M}nk} \quad (3.5)$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifadenin Z dönüşümü alınır:

$$X'(z) = \frac{1}{M} \sum_k Z \{ x(n) (e^{j\frac{2\pi}{M}k})^n \} = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} X(z e^{-j\frac{2\pi}{M}k}) \quad (3.6)$$

eşitliği elde edilir.

$W = e^{-j2\pi/M}$ eşitliği kullanılarak,

$$X'(z) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} X(zW^k) \quad (3.7)$$

$(z=e^{j\omega})$ eşitliği kullanılarak da birim çember üzerindeki frekans tepkisi,

$$X'(e^{j\omega}) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} X(e^{j(\omega - \frac{2\pi k}{M})}) \quad (3.8)$$

eşitlikleri elde edilir.

Elde edilen bu ifade de görüldüğü gibi; $X'(e^{j\omega})$ sinyali, orjinal sinyal frekans tepkisi $X(e^{j\omega})$ nin, $\frac{2\pi}{M}$ aralıkla tekrar eden ayrık-zaman fourier dönüşümlerinin toplamına eşit olmaktadır.

Burada eşitlik 3.2'ye tekrar döner ve ifadeyi bu sonuçları da dikkate alarak düzenlersek:

$$Y(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x'(Mn)z^{-n} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x'(k)(z^{\frac{1}{M}})^{-k} \quad (3.9)$$

veya

$$Y(z) = X'(z^{\frac{1}{M}}) \quad (3.10)$$

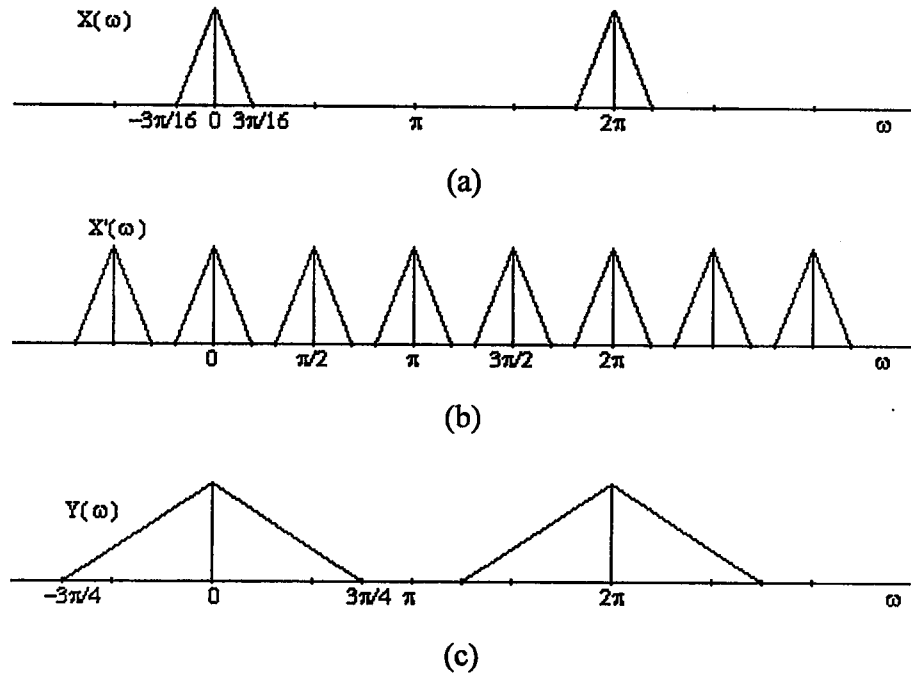
$$Y(e^{j\omega}) = X'(e^{j\frac{\omega}{M}}) \quad (3.11)$$

ifadelerini elde ederiz. Bu ifadeler $x'(n)$ sinyalinin zaman bölgesinde M kadar sıkıştırılmasını gösterirler. Tüm bu ifadeler ışığında giriş sinyali $x(n)$ ve çıkış sinyali $y(n)$ 'in frekans bölgesindeki ilişkileri şu şekilde ifade edilebilir:

$$Y(z) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} X(z^{1/M} W^k) \quad (3.12)$$

$$Y(e^{j\omega}) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} X(e^{j(\frac{\omega - 2\pi k}{M})}) \quad (3.13)$$

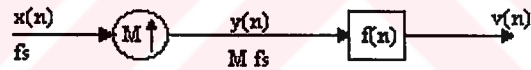
Bu ifadelerden de görüldüğü gibi zaman bölgesinde gerçekleştirilen örnek seyreltme işlemi, bir başka deyişle sinyalin daraltılması, frekans spektrumunun aynı oranda genişlemesine karşılık gelir (Şekil 3.2).



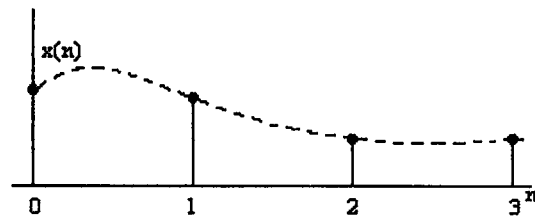
Şekil 3.2. (a) Orjinal sinyal spektrumu (b) Ara sinyal spektrumu (c) Örnekeyreltilmiş sinyal spektrumu

3.1.2. ARA DEĞERLEME (INTERPOLATION)

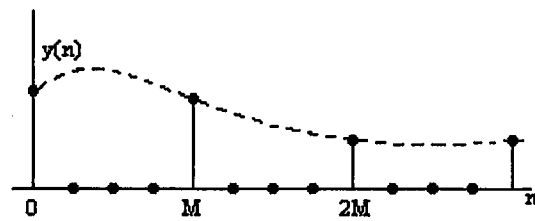
Sinyalin örnekleme oranının M tamsayısı kadar artırılması işlemine ara değerlendirme adı verilir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.3. (a) Ara değerlendirme işlemi blok şeması (b) Giriş sinyali (c) Aradeğerlenmiş sinyal

İşlem, bir ara değerleyici ve alçak geçiren bir süzgeç yardımıyla gerçekleştirilir ve

$$y(n) = \begin{cases} x(n/M) & n=0, \pm M, \pm 2M, \dots \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (3.14)$$

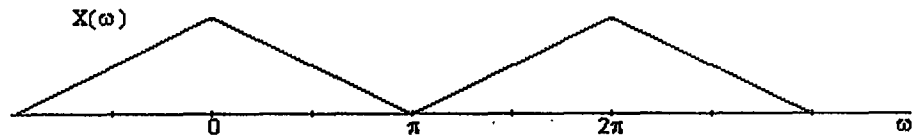
ifadesiyle tanımlanır (Şekil 3.3(a)). İşlemsel olarak sinyalin örnek değerleri arasına (M-1) adet sıfır yerleştirilmesi ve zaman bölgesinin yeniden indislenmesine karşılık gelir (Şekil 3.3(c)).

Ara değerlendirme işlemi sırasında iki ayrı oluşum ortaya çıkar. Bunlardan birincisi; zaman bölgesindeki genişlemenin frekans bölgesinde daralmaya sebep olması, diğeri ise; ara değerlendirilmiş sinyaldeki sıfırlardan $x(n)$ 'in örneklerine geçişlerin oluşturduğu yüksek frekans sinyalleri yani hayali görüntülerdir (images). Bu etkiler şu şekilde ifade edilirler:

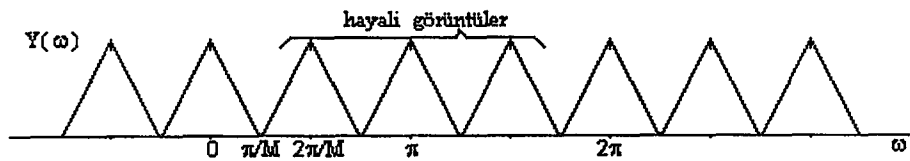
$$Y(z) = \sum_{-\infty}^{\infty} y(n)z^{-n} = \sum_{-\infty}^{\infty} x\left(\frac{n}{M}\right)z^{-n} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)(z^M)^{-k} \quad (3.15)$$

$$Y(z) = X(z^M), \quad Y(e^{j\omega}) = X(e^{jM\omega}) \quad (3.16)$$

Şekil 3.4(a)'da orjinal sinyal spektrumu, (b)'de ise $M=4$ ile ara değerlendirilmiş sinyal spektrumu ve oluşan hayali görüntüler görülmektedir. Spektrumlar incelendiğinde orjinal sinyal spektrumunda bir periyod 0 'dan 2π 'ye değişirken, ara değerlendirilmiş sinyalin bir periyodunun 0 'dan $2\pi/M$ 'e değişmekte olduğu ve periyodik olarak tekrar eden hayali görüntülerin oluştuğu görülebilir. Şekil 3.3.(a)'da görülen $f(n)$ süzgeci oluşan bu hayali görüntüleri ortadan kaldırmak için kullanılır.



(a)



(b)

Şekil 3.4. (a) Giriş sinyal spektrumu (b) Ara değerlendirilmiş sinyal spektrumu

3.1.3. ÖRNEK SEYRELTİCİ VE ARA DEĞERLEYİCİNİN BİRLİKTE KULLANIMI, ÖRTÜŞME VE HAYALİ GÖRÜNTÜLER

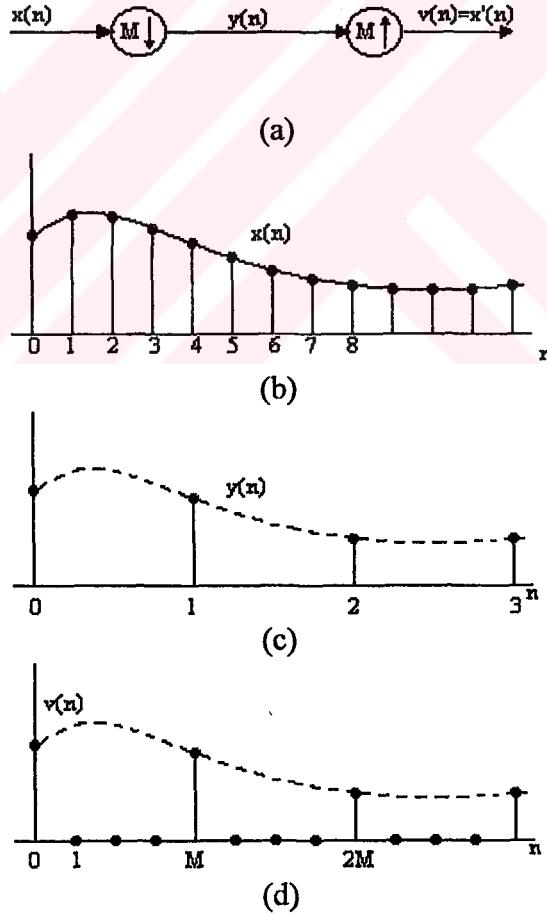
Şekil 3.1 ve 3.3'de gösterilen örnek seyreltme ve ara değerlendirme işlemleri zaman bölgesinde sırasıyla şu şekilde ifade edilebilirler:

$$y(n) = \sum_k h(Mn - k)u(k) \quad (3.17)$$

$$v(n) = \sum_k f(n - Mk)x(k) \quad (3.18)$$

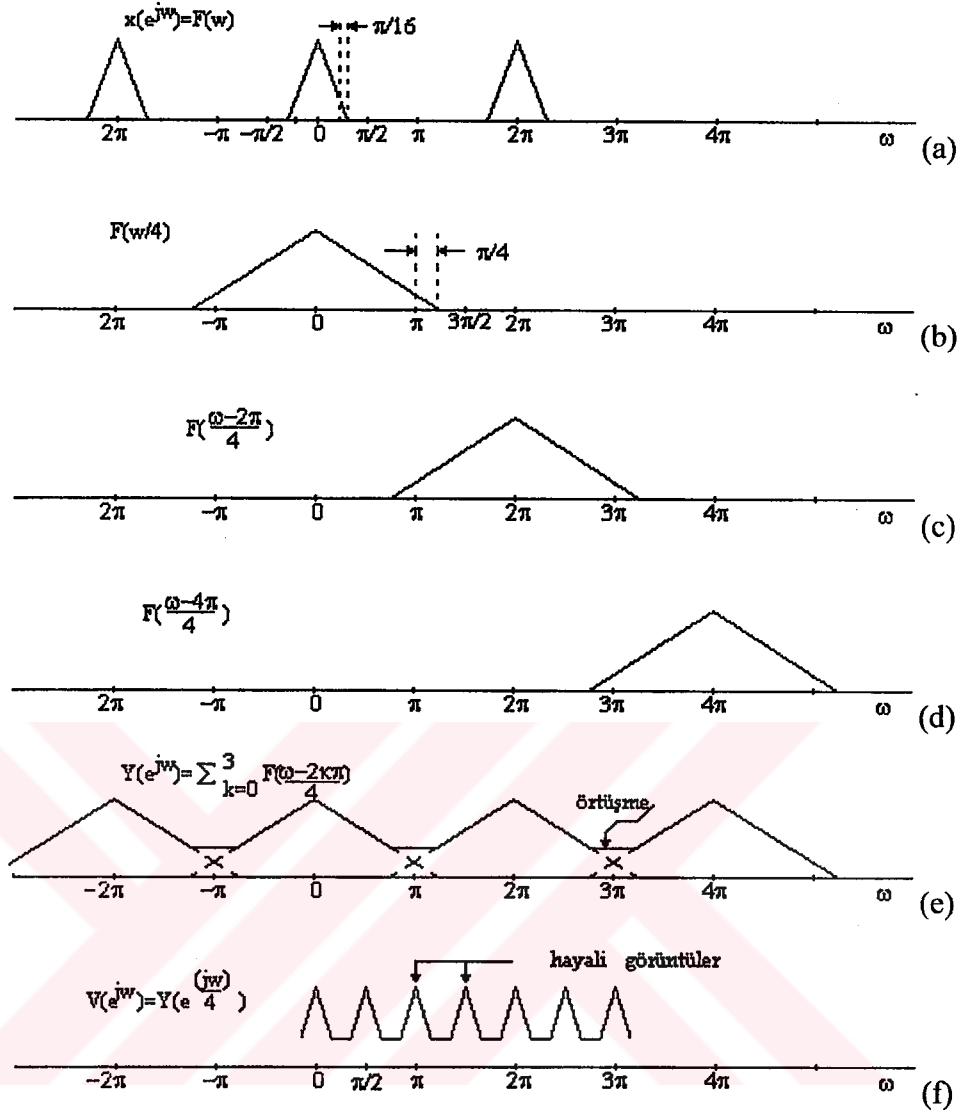
Örnek seyreltme ve ara değerlendirme işlemleri uygulandıkları sistemleri, zamanla değişen sistemlere dönüştürürler.

Örnek seyreltici ve ara değerlendiricinin şekil 3.5'teki gibi birbirini takip ettiği durumlarda sistem analizi şu şekildedir:



Şekil 3.5. (a) Örnek seyreltici ve ara değerlendirici sistem blok şeması

(b) Giriş sinyali (c) Örnek seyreltilmiş sinyal (d) Ara değerlendirilmiş sinyal

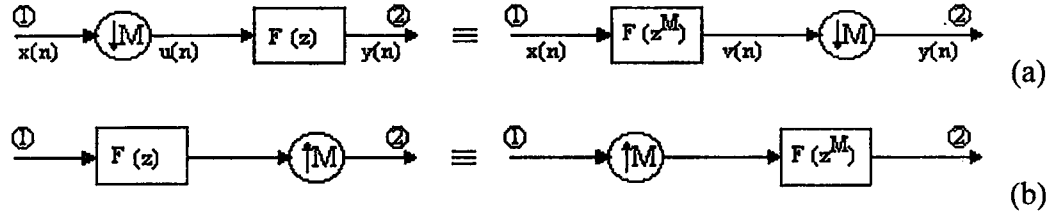


Şekil 3.6. Şekil 3.5'de verilen sinyallerin frekans spektrumları

Ara değerleyici çıkışını $v(n)$ ile gösterirsek, bu durumda,
$$V(z) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} X(zW^k) \quad (3.19)$$
 olarak ifade edilebilir. Şekil 3.5'de sistem blok şeması ve zaman bölgesi sinyalleri, Şekil 3.6'da ise sinyallerin frekans spektrumları görülmektedir. Şekil 3.6'da da görüldüğü gibi giriş sinyal spektrumu $M=4$ için $\frac{\pi}{M}$ 'den daha büyük band genişliğine sahiptir. Bu durum kullanılan süzgeçlerin ideal olmamasından kaynaklanır ve örtüşme etkisinin oluşmasına yol açar.

Denklem 3.13'de gösterilen terimlerden üç tanesi Şekil 3.6 b,c ve d'deki gibidir. Bunların dördünün toplamı yani örnekseyreltilmiş sinyal spektrumu ise Şekil 3.6(e)'deki gibidir. Şekilde frekans bantlarının üstüste gelmesiyle oluşan örtüşme etkileri açık bir şekilde görülmektedir. Şekil 3.6(f)'de ise ara değerlendirme sonucu ortaya çıkan frekans bölgesindeki daralma ve hayali görüntüler görülmektedir.

Eşdeğer Yapılar:



Şekil 3.7. Eşdeğer yapılar

Örnek seyreltme ve ara değerlendirme yapıları Şekil 3.7'de de görüldüğü gibi eşdeğer olarak yeniden elde edilebilirler. Bu işlem denklemlerin ve sistemin yeniden düzenlenmesiyle, tüm sistemin transfer fonksiyonu değişmeden kolaylıkla gerçekleştirilebilir.

Şekil 3.7.(a)'daki sistemin çıkış sinyali

$$Y(z) = F(z)U(z) = F(z) \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} X(z^{1/M} W^k) \quad (3.20)$$

şeklinde ifade edilir. Eğer yapı sağ taraftaki forma dönüştürülürse bu yapı için;

$$V(z) = F(z^M)X(z) \quad (3.21)$$

dir. $V(z)$ 'in örnekseyreltici çıkışındaki durumu; $\frac{1}{M} \sum_k V(z^{1/M} W^k)$ olduğundan;

$$\begin{aligned} \frac{1}{M} \sum_k V(z^{1/M} W^k) &= \frac{1}{M} \sum_k F[(z^{1/M} W^k)^M] X(z^{1/M} W^k) \\ &= \frac{1}{M} \sum_k F(z W^{kM}) X(z^{1/M} W^k) \\ &= \frac{1}{M} \sum_k F(z) X(z^{1/M} W^k) \end{aligned} \quad (3.22)$$

elde edilebilir. Görüldüğü gibi bu sonuç Şekil 3.7.(a)'da sol taraftaki sistem için elde edilen çıkışla aynıdır. Bu sonuç her iki yapının birbirine denk olduğunu gösterir. Aynı

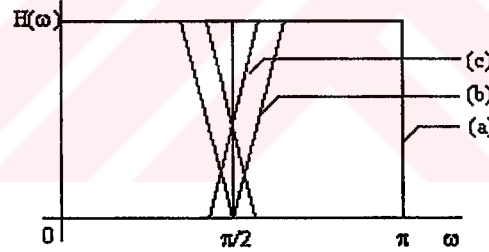
sonuçlar şekil 3.7.(b)'deki ara değerlendirme yapısı için de gösterilebilir. Elde edilen yeni yapılar sistemin çok fazlı olarak gerçekleştirilmesinde kullanılır.

3.2. KARESEL AYNA SÜZGEÇ ÖBEKLERİ (QMF-QUADRATURE MIRROR FILTERS)



Şekil 3.8. Örnek seyreltme ve Ara değerlendirme sistemi

Şekil 3.8'de görülen örnek seyreltme ve ara değerlendirme sisteminde, giriş sinyalinin çıkışta orjinal bir şekilde yeniden elde edilebilmesi için sistemin başında yer alan $h(n)$ 'in ideal bir süzgeç yapısına sahip olması gerekmektedir. Pratikte elde edilebilir süzgeçlerin sonlu uzunlukta bir geçiş bandına sahip oldukları dikkate alınır, mükemmel bir çıkışın elde edilemeyeceği açıktır. İdeal süzgeç yapısının pratikte gerçekleştirilememesi sonucu ortaya çıkan bu oluşum örtüşme adı verilen istenmeyen bir etkiye yol açar (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Süzgeç spektrumları

(a) İdeal süzgeç spektrumu,

(b) Pratikte elde edilebilir süzgeç yapısı ($\pi/2$ civarında sinyalde kayıp oluşur.),

(c) Pratikte elde edilebilir süzgeç yapısı (Örtüşme etkisinin olduğu yapı).

Ancak bu ve benzeri etkiler alt band kodlama sisteminde kullanılacak süzgeç yapısının uygun tasarımı ile ortadan kaldırılabilir. KareSEL Ayna Süzgeçleri (QMF - Quadrature Mirror Filters) adı verilen bu yapının tasarımı ve örtüşme etkisinin nasıl

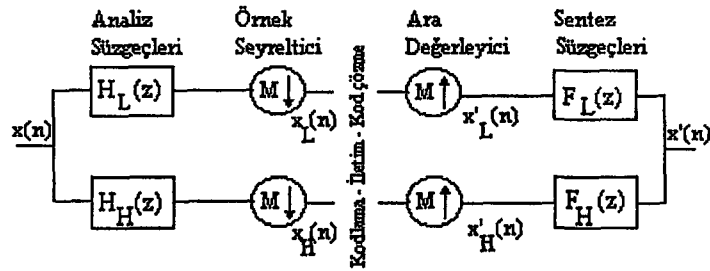
giderileceği, konunun daha iyi anlaşılabilmesi için önce bir boyutlu daha sonra da iki boyutlu sistem üzerinde anlatılacaktır.

3.2.1. TEK BOYUTLU QMF SÜZGEÇ ÖBEĞİ

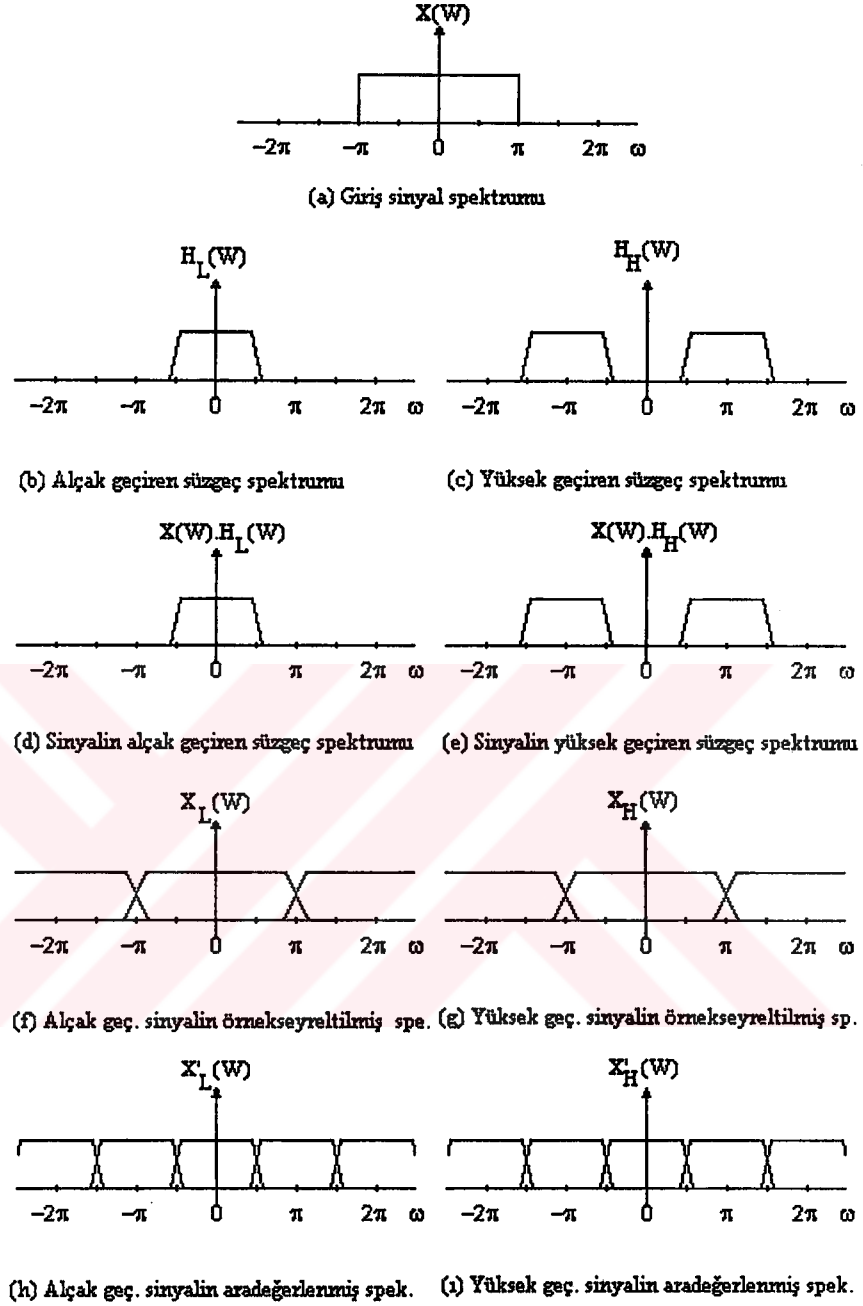
Sistem, giriş sinyal spektrumu band genişliğinin iki eşit parçaya ayrılması esasına dayanır. Bu işlem alçak geçiren ($h_l(n)$) ve yüksek geçiren ($h_h(n)$) olarak dizayn edilen süzgeçlerle gerçekleştirilir.

Elde edilen alt bandların band genişliği orjinal sinyalin band genişliğinin yarısına eşit olduğundan 2:1 oranında örnek seyreltilirler. Ancak alt bandların band genişliğinin, orjinal sinyal band genişliğinin tam yarısına eşit olması süzgeçlerin ideal olması durumunda geçerlidir. Pratikte kullanılan alçak ve yüksek geçiren süzgeç yapıları, orjinal sinyal band genişliğinin yarısına eşit olmadığından, bu durum sinyalin yeniden elde edilmesi sırasında örtüşme etkilerine yol açar (Şekil 3.11).

Sistemde analiz süzgeç öbeği adı verilen alçak ve yüksek geçiren süzgeçler ($H_L(z)$, $H_H(z)$) tarafından ikiye ayrılan giriş sinyali örnek seyreltildikten sonra kodlanır, iletilir ve alıcıda kod çözülür. Kod çözme işlemi takiben ara değerlendirme işlemine tabi tutulan sinyal sentez süzgeç öbeğinden geçirilerek toplanır ve orjinal sinyal elde edilmeye çalışılır. Ancak daha önce de bahsedildiği gibi çıkışta elde edilen bu sinyal örtüşme ve hayali görüntü etkilerini de içermektedir. Bu etkilerin giderilmesi Esteban ve Galand tarafından [3] tasarlanan, merkez frekansı $\omega = \frac{\pi}{2}$ radyan etrafında ayna simetrisi özelliği gösteren özel bir sınıf alçak ve yüksek geçiren süzgeç öbeği yardımıyla giderilebilir. Bu yapıya QMF süzgeç öbeği adı verilir. QMF için iki kanallı temel bir süzgeç yapısı şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Tek boyutlu, iki kanallı QMF yapısı



Şekil 3.11. Tek boyutlu iki kanallı QMF sistemi sinyal spektrumları

İstenmeyen etkilerin giderilmesi, süzgeç öbeği elemanlarının birbirine bağımlı tasarlanmasıyla mümkündür. Bu bağımlılığın nasıl olacağı ve sistemin matematiksel analizi şu şekildedir:

Giriş sinyali spektrumu $X(e^{j\omega})$ herhangi bir süzülme işlemine uğratılmadan önce $0 \longrightarrow \pi$ aralığında değişirken, alçak geçiren süzgeç $H_L(e^{j\omega})$ bu sinyalin $0 \longrightarrow \pi/2$ aralığını, yüksek geçiren süzgeç $H_H(e^{j\omega})$ ise $\pi/2 \longrightarrow \pi$ aralığını çıkışına aktarır. Dolayısıyla süzgeç çıkışları:

$$\text{Alçak geçiren kısım} \quad : X(e^{j\omega})H_L(e^{j\omega})$$

$$\text{Yüksek geçiren kısım} \quad : X(e^{j\omega})H_H(e^{j\omega}) \quad \text{olarak ifade edilir.}$$

Örnek seyreltici çıkışları ise;

$$X_L(e^{j\omega}) = (1/2) \left[X(e^{j\omega/2})H_L(e^{j\omega/2}) + X(e^{j(\omega/2+\pi)})H_L(e^{j(\omega/2+\pi)}) \right] \quad (3.23)$$

$$X_H(e^{j\omega}) = (1/2) \left[X(e^{j\omega/2})H_H(e^{j\omega/2}) + X(e^{j(\omega/2+\pi)})H_H(e^{j(\omega/2+\pi)}) \right] \quad (3.24)$$

olarak ifade edilebilir.

Elde edilen bu çıkışlar kodlanır, iletilir ve alıcıda kod çözülürler. Kod çözülen sinyallere alıcıda ara değerlendirme işlemi uygulanır. Kodlama, iletim ve kod çözümü sırasında sinyalde herhangi bir bozulma olmadığı varsayılırsa, ara değerlendirme işleminden sonra sentez süzgeç öbeğinden geçirilerek oluşturulan toplam sinyalin $x'(n)$ frekans bölgesindeki ifadesi:

$$\begin{aligned} X'(e^{j\omega}) = & (1/2) \left[X(e^{j\omega})H_L(e^{j\omega}) + X(e^{j(\omega+\pi)})H_L(e^{j(\omega+\pi)}) \right] F_L(e^{j\omega}) \\ & + (1/2) \left[X(e^{j\omega})H_H(e^{j\omega}) + X(e^{j(\omega+\pi)})H_H(e^{j(\omega+\pi)}) \right] F_H(e^{j\omega}) \end{aligned} \quad (3.25)$$

şeklinde elde edilir.

Bu ifadeyi düzenlersek;

$$\begin{aligned} X'(e^{j\omega}) = & (1/2)X(e^{j\omega}) \left[H_L(e^{j\omega})F_L(e^{j\omega}) + H_H(e^{j\omega})F_H(e^{j\omega}) \right] \\ & + (1/2)X(e^{j(\omega+\pi)}) \left[H_L(e^{j(\omega+\pi)})F_L(e^{j\omega}) + H_H(e^{j(\omega+\pi)})F_H(e^{j\omega}) \right] \end{aligned} \quad (3.26)$$

ifade de oluşan ikinci kısım istenmeyen örtüşme ve hayali görüntü etkilerinin görüldüğü kısımdır. Bu etkilerin yok olması için bu ifadenin sıfır olması gerektiği açıktır. Bu sonuca göre;

$$\left[H_L(e^{j(\omega+\pi)})F_L(e^{j\omega}) + H_H(e^{j(\omega+\pi)})F_H(e^{j\omega}) \right] = 0 \quad (3.27)$$

$$-\frac{H_L(e^{j(\omega+\pi)})}{H_H(e^{j(\omega+\pi)})} = \frac{F_H(e^{j\omega})}{F_L(e^{j\omega})} \Rightarrow \quad (3.28)$$

$$F_L(e^{j\omega}) = H_H(e^{j(\omega+\pi)}) \quad \text{ve} \quad F_H(e^{j\omega}) = -H_L(e^{j(\omega+\pi)}) \quad \text{eşitlikleri elde edilir.}$$

Ayrıca $H_H(e^{j\omega}) = H_L(e^{j(\omega+\pi)})$ olduğundan; tüm bu sonuçlar dikkate alınarak;

$$H_H(e^{j\omega}) = H_L(e^{j(\omega+\pi)}), F_L(e^{j\omega}) = H_L(e^{j\omega}), F_H(e^{j\omega}) = -H_H(e^{j\omega})$$

eşitlikleri elde edilir.

Eğer analiz ve sentez süzgeç öbekleri bu eşitlikler dikkate alınarak seçilirse örtüşme etkisi yok olur.

$X'(e^{j\omega})$ ifadesindeki bozulma terimleri yok edildiğinde QMF süzgeç öbeğinin transfer fonksiyonu ($T(e^{j\omega})$);

$$T(e^{j\omega}) = \frac{X'(e^{j\omega})}{X(e^{j\omega})} = \frac{1}{2} [H_L(e^{j\omega})F_L(e^{j\omega}) + H_H(e^{j\omega})F_H(e^{j\omega})] \quad (3.29)$$

olur. Böylece sistem doğrusal ve zamanla değişmeyen bir sisteme dönüşür. Bununla beraber,

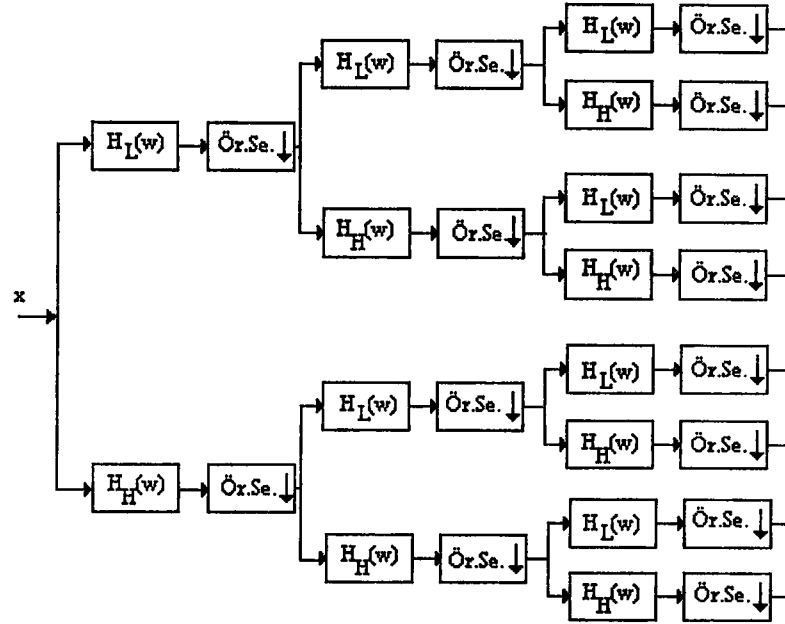
$$H_H(e^{j\omega}) = H_L(e^{j(\omega+\pi)})$$

olduğundan bu eşitlikler de dikkate alınarak sistem transfer fonksiyonu;

$$T(e^{j\omega}) = \frac{1}{2} [H_L^2(e^{j\omega}) - H_L^2(e^{j(\omega+\pi)})] \quad (3.30) \text{ elde edilir.}$$

Ayrıca fazda meydana gelebilecek bozulmayı önlemek için doğrusal fazlı süzgeçler kullanılır.

Bu bölümde iki bandlı olarak incelenen süzgeç öbeği, her bir alt bandın ağaç yapısında daha fazla alt banda ayrıştırılmasıyla geliştirilebilir (Şekil 3.12). Özellikle yüksek sıkıştırma amaçlı görüntü ve video kodlama uygulamaları için sinyalin (özellikle de düşük frekans bandlarının) daha fazla alt banda ayrımı sıkıştırmayı daha verimli kılar.



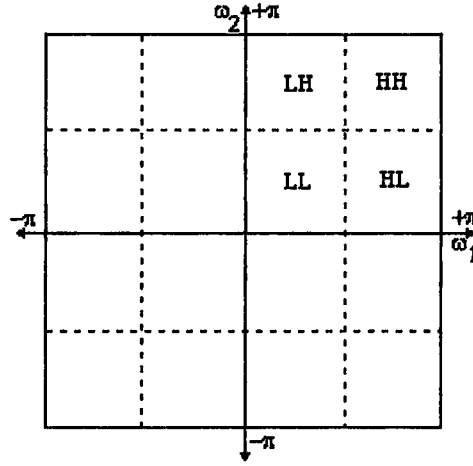
Şekil 3.12. Sinyalin daha fazla alt banda ayrılabilirdiği ağaç yapısı şeması

Sinyalin mükemmel bir şekilde yeniden elde edilebilmesi için analiz ve sentez süzgeçleri olarak kısa çekirdekli (kernel) süzgeçler kullanılır [13]. Ancak bu tür süzgeçler alt band sayısının düşük olduğu durumlarda kullanılabilirler. Bunun nedeni kısa çekirdekli süzgeç yapılarının çıkış tepkelerinin oldukça zayıf olmasıdır. Alt band sayısının fazla olması durumunda sinyal oldukça zayıflayacağından kısa çekirdekli süzgeçlerin bu tür yapılarda kullanılması tavsiye edilmemiştir. Yapılan çalışmalarda süzgeç dürtü tepkisi kalitesine dokunulmadan, örtüşme etkisini azaltıcı, kodlama verimini artırıcı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin bir çoğunda Johnston [9] tarafından geliştirilen uzun tap'lı yaklaşık mükemmel yeniden elde edilmiş süzgeç yapıları kullanılmıştır. Süzgeç uzunluğunun fazla olması donanım karmaşıklığı ve işlem miktarını arttırmakla birlikte bu tür yapılar yeniden oluşturma hatasını önemli ölçüde azaltırlar.

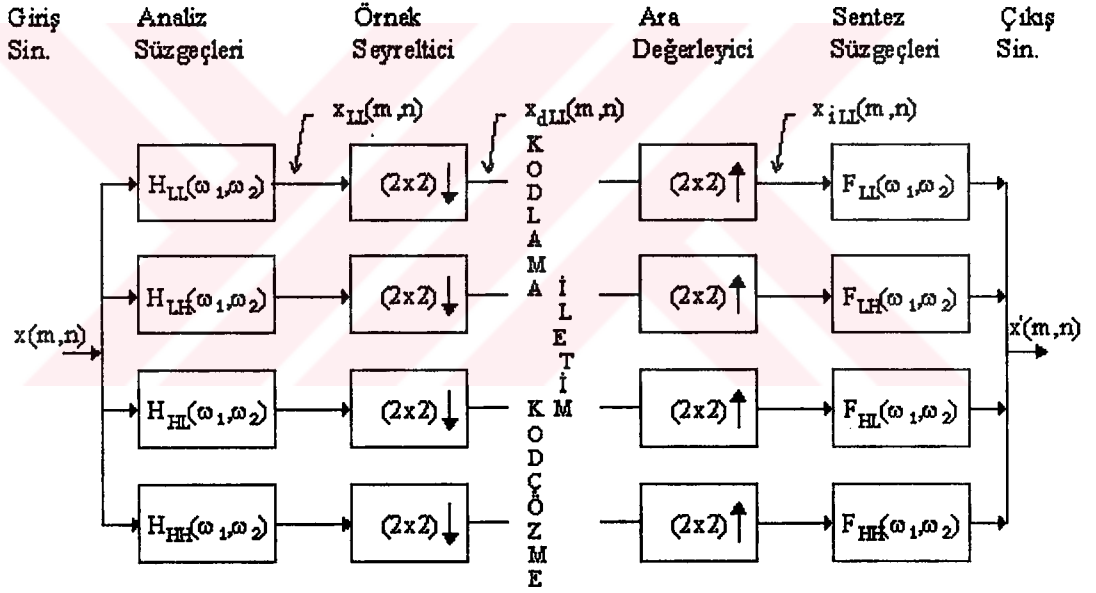
3.2.2. İKİ BOYUTLU QMF SÜZGEÇ ÖBEGİ

Bilindiği gibi görüntü sinyalleri uzamsal bölgede iki boyutu birden işgal ederler. Bu nedenle alt band kodlama yönteminin bu tür sinyallere uygulanabilmesi için süzgeç yapısının iki boyutta birden işlem yapması, yani sinyali her iki boyutta da alt bandlarına ayrabilmesi gerekir. Şekil 3.13'de iki boyutlu, dört alt bandlı bir sistem için

alt bandlara ayırım işlemi, şekil 3.14'de ise bu işlemin gerçekleştirildiği QMF yapısı görülmektedir.



Şekil 3.13. İki boyutlu sinyalin, frekans bölgesinde dört alt band ayırımı (L:Low, H: High).



Şekil 3.14. İki boyutlu, iki kanallı QMF süzgeç öbeği

Sistemin matematiksel analizi ve istenmeyen etkilerin giderilmesi ise şu şekildedir:

Süzgeçler her iki boyutta da $\omega = \frac{\pi}{2}$ etrafında simetrik olduklarından;

$$\begin{aligned} H_{LH}(\omega_1, \omega_2) &= H_{LL}(\omega_1, \omega_2 + \pi) \\ H_{HL}(\omega_1, \omega_2) &= H_{LL}(\omega_1 + \pi, \omega_2) \\ H_{HH}(\omega_1, \omega_2) &= H_{LL}(\omega_1 + \pi, \omega_2 + \pi) \end{aligned} \quad \text{dir.} \quad (3.31)$$

Giriş sinyali X ve örnek seyreltilmiş çıkışları X_{dij} arasındaki ilişki:

$$X_{dij}(w_1, w_2) = \frac{1}{4} \sum_{k=0}^1 \sum_{l=0}^1 H_{ij} \left(\frac{w_1 + k\pi}{2}, \frac{w_2 + l\pi}{2} \right) \cdot X \left(\frac{w_1 + k\pi}{2}, \frac{w_2 + l\pi}{2} \right) \quad (3.32)$$

şeklindedir. Elde edilen bu çıkış kodlanır, iletilir ve kod çözüldükten sonra ara değerleyiciden geçirilir ve sentez süzgeç öbeğinden geçirilerek toplanır. Çıkışta elde edilen sinyal;

$$X'(w_1, w_2) = \frac{1}{4} \sum_{k=0}^1 \sum_{l=0}^1 X(w_1 + k\pi, w_2 + l\pi) \cdot \left[\sum_{i,j=L}^H H_{ij}(w_1 + k\pi, w_2 + l\pi) \cdot F_{ij}(w_1, w_2) \right] \quad (3.33)$$

şeklindedir. Elde edilen bu çıkış istenen sinyal kısmı ve istenmeyen sinyal kısmının (örtüşme etkisinin oluşmasına neden olan kısım) toplamı olarak ifade edilebilir. Bu ifadede istenmeyen sinyal kısmı şu şekildedir:

$$\frac{1}{4} \sum_{k=0}^1 \sum_{l=0}^1 X(w_1 + k\pi, w_2 + l\pi) \cdot \left[\sum_{i,j=L}^H H_{ij}(w_1 + k\pi, w_2 + l\pi) \cdot F_{ij}(w_1, w_2) \right], (k,l) \neq (0,0) \text{ için} \quad (3.34)$$

Örtüşme etkisinin yok olması için bu ifade sıfır olmalıdır. Buradan;

$$\sum_{i,j=L}^H H_{ij}(w_1 + k\pi, w_2 + l\pi) \cdot F_{ij}(w_1, w_2) = 0, (k,l) \neq (0,0) \text{ için}, \quad (3.35)$$

Bu eşitlikten;

$$\begin{aligned} F_{LL}(w_1, w_2) &= 4 \cdot H_{LL}(w_1, w_2) \\ F_{LH}(w_1, w_2) &= -4 \cdot H_{LH}(w_1, w_2) \\ F_{HL}(w_1, w_2) &= -4 \cdot H_{HL}(w_1, w_2) \\ F_{HH}(w_1, w_2) &= 4 \cdot H_{HH}(w_1, w_2) \end{aligned} \quad (k,l)=(0,1) \text{ ve } (1,0) \text{ için}, \quad (3.36)$$

$$H_{LL}(w_1, w_2) \cdot H_{LL}(w_1 + \pi, w_2 + \pi) = H_{LL}(w_1, w_2 + \pi) \cdot H_{LL}(w_1 + \pi, w_2), (k,l)=(1,1) \text{ için} \quad (3.37)$$

eşitlikleri elde edilir. Eğer analiz ve sentez süzgeç öbekleri bu eşitlikler dikkate alınarak belirlenirse örtüşme etkisi ortadan kaldırılır.

Ayrıca fazda meydana gelebilecek bozulmaları önlemek için doğrusal fazlı süzgeçler kullanılır. Bu tür süzgeçler zaman bölgesinde simetrik veya antisimetrik yapıdadırlar. Yani süzgeçlerin $L \times L$ doğrusal fazlı FIR tip olarak seçilmesi durumunda ve L çift ise; $h_{ij}(m, n) = h_{ij}(L - 1 - m, L - 1 - n)$, $1 \leq m, n \leq (1/2)L - 1$ 'dir.

Bu durumda doğrusal faz faktörü çıkarılırsa genlik terimleri aşağıdaki şekilde oluşur.

$$|H_{LL}^2(w_1, w_2)| + |H_{LL}^2(w_1, w_2 + \pi)| + |H_{LL}^2(w_1 + \pi, w_2)| + |H_{LL}^2(w_1 + \pi, w_2 + \pi)| = 1 \quad (3.38)$$

Süzgeçler bu eşitliği sağlayacak şekilde oluşturulursa genlikte oluşacak bozulma da önlenmiş olur.

3.2.3. TEK BOYUTLU QMF'LERİN İKİ BOYUTLU İŞARETLERE UYGULANMASI

Bu ana kadar yapılan işlemlerden de görüldüğü gibi iki boyutlu QMF süzgeçlerin tasarım ve hesaplama zorluğu vardır. Bu nedenle iki boyutlu QMF süzgeçler yerine tek boyutlu QMF süzgeçler kullanılması yoluna gidilir. Bu işlem süzgeçlerin ayrılabilirlik özelliklerinden faydalanılarak gerçekleştirilir.

Bir boyutlu QMF çifti h_l ve h_h ;

$$h_l(n) = h_l(L-1-n), \quad 0 \leq n \leq \frac{L}{2} - 1$$

$$h_h(n) = (-1)^n h_l(n) \quad (3.39)$$

$$|H_L^2(w)| + |H_H^2(w)| = 1$$

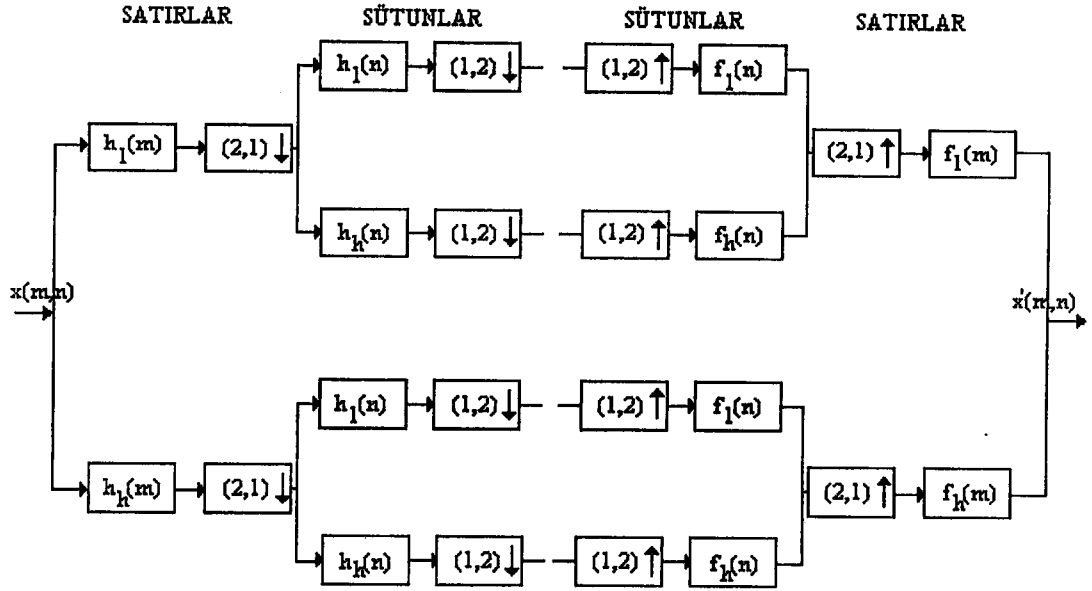
eşitliklerini sağlamalıdır.

İki boyutlu süzgeçler de ayrılabilir ise aşağıdaki eşitlikleri sağlarlar.

$$h_{ll}(m, n) = h_l(m) \cdot h_l(n) \quad (3.40)$$

$$H_{ij}(w_1, w_2) = H_i(w_1) \cdot H_j(w_2)$$

Bu eşitliklere göre oluşturulan bir boyutlu QMF süzgeç yapısı iki boyutlu işaretin önce bir boyutuna sonra diğer boyutuna uygulanır. Bunun için iki boyutlu işaretin satır ve sütunlarının ayrıştırılması gerekir. Bu yöntemin uygulandığı yapı şekil 3.15'de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. İki boyutlu işaretin ayrılabilir süzgeç öbekleriyle alt bandlara ayrılma işlemi

3.3. QMF'LERİN ÇOK FAZLI YAPIDA GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Dürtü tepkisi $h_0(n)$ olan sayısal bir süzgecin, transfer fonksiyonu;

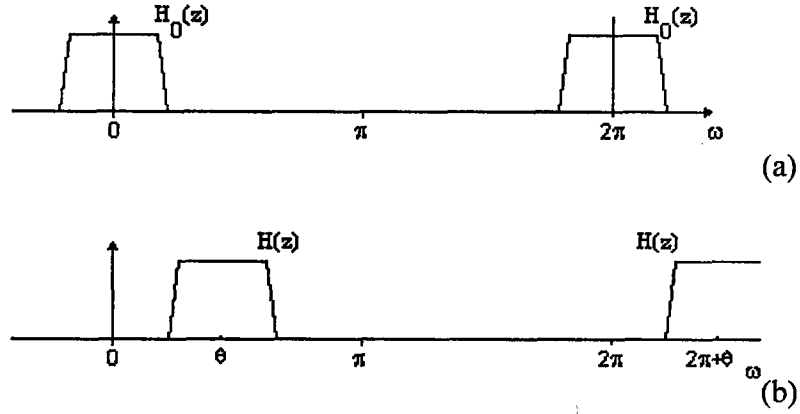
$$H_0(z) = \sum_{n=0}^{\infty} h_0(n) \cdot z^{-n} \quad (3.41)$$

şeklinde ifade edilir.

$|H_0(e^{j\omega})|$ şekil 3.16.(a)'da gösterilen bir yapıda ise ve $h_0(n)$, $e^{j\theta n}$ ile modüle edilirse bu durumda dürtü tepkisi,

$$H(e^{j\omega}) = \sum_{n=0}^{\infty} h_0(n) \cdot e^{j\theta n} \cdot e^{-j\omega n} = H_0(e^{j(\omega-\theta)}) \quad (3.42)$$

şeklinde yazılabilir. Yani $H(e^{j\omega})$, $H_0(e^{j\omega})$ 'nın θ kadar sağa kaydırılmış durumudur. Bu işlemle alçak geçiren yapı band geçiren yapıya dönüşür (Şekil 3.16.(b)).



Şekil 3.16. Alçak geçiren ve band geçiren süzgeç spektrumları

M herhangi bir tamsayı olmak üzere aşağıda verilen dürtü tepkesini dikkate alalım;

$$h_k(n) = h_0(n)W_M^{-kn} \quad k=0,1,2,3,4,\dots,M-1; \quad W_M = e^{-j2\pi/M} \quad (3.43)$$

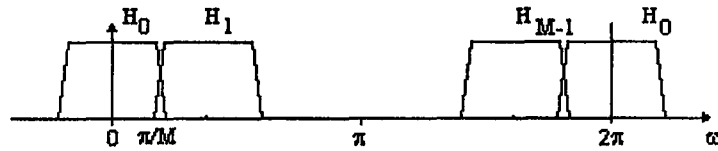
Her iki tarafın z dönüşümü alınırsa;

$$H_k(z) = \sum_{n=0}^{\infty} h_k(n) \cdot z^{-n} = \sum_{n=0}^{\infty} h_0(n) \cdot (zW_M^k)^{-n} = H_0(zW_M^k) \quad (3.44)$$

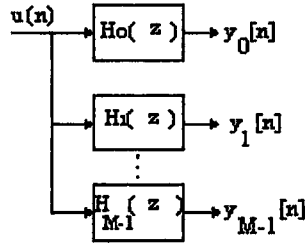
elde edilir. Frekans cevabı ise;

$$H_k(e^{j\omega}) = H_0(e^{j(\omega - \frac{2\pi k}{M})}), \quad k = 0,1,\dots,M-1 \quad (3.45) \text{ biçiminde elde edilir.}$$

Yani, $H_k(z)$ 'nin frekans cevabı, $H_0(e^{j\omega})$ 'nın $2\pi k/M$ kadar sağa kaydırılmış halidir (Şekil 3.17). Frekans spektrumları şekil 3.17'deki gibi olan M adet süzgecin aynı girişe bağlanmasıyla oluşan yapıya süzgeç öbeği adı verilir. Bu yapı şekil 3.18'de gösterilmiştir. Görülen süzgeç öbeği $[0,2\pi)$ aralığını M tane banda ayırır. Eğer süzgeçlerin genlik cevapları aynı ise yani, $|H_k(e^{j\omega})| = |H_0(e^{j(\omega - \frac{2\pi k}{M})})|$ ise bu yapı düzgün (uniform) süzgeç öbeği olarak adlandırılır.



Şekil 3.17. Süzgeç öbeği frekans spektrumu



Şekil 3.18. M bandlı süzgeç öbeği

İşlemsel olarak $H_0(z)$ süzgecinin gerçekleştirilmesi için saniyede R kez çarpma işlemi yapılıyor ise, M tane filtre için en az MR tane çarpma işlemi yapılır. Denklem (3.43)'de de görüldüğü gibi $h_k(n)$ ve $h_0(n)$ dürtü tepkelerinin katsayıları birbirleriyle ilişkilidir. Çok fazlı yapı (polyphase structure) bu ilişkiden yararlanarak süzgeç öbeğinin işlemsel etkinliğini arttırmada kullanılır. Sistemin analizi şu şekildedir:

$$H_k(z) = \sum_{n=0}^{\infty} h_0(n) W_M^{-kn} z^{-n} \text{ denklemini dikkate alırsak, ifadedeki } W_M^{-kn} \text{ terimi,}$$

M periyoduyla k'ya bağlı olarak tekrarlanmayı gösterir. Bu ifadeden yararlanarak ifade, aşağıdaki biçimde tekrar gruplandırılabilir.

$$\begin{aligned} H_k(z) = & h_0(0) + h_0(M) z^{-M} + h_0(2M) z^{-2M} + \dots \\ & z^{-1} W_M^{-k} (h_0(1) + h_0(M+1) z^{-M} + h_0(2M+1) z^{-2M} + \dots) \\ & z^{-2} W_M^{-2k} (h_0(2) + h_0(M+2) z^{-M} + h_0(2M+2) z^{-2M} + \dots) \\ & \vdots \\ & z^{-(M-1)} W_M^{-(M-1)k} (h_0(M-1) + h_0(2M-1) z^{-M} + \dots) \end{aligned} \quad (3.46)$$

Bu ifadeyi aşağıdaki şekilde düzenlersek;

$$H_k(z) = \sum_{\lambda=0}^{\infty} z^{-\lambda} W_M^{-\lambda k} G_{\lambda}(z^M) \quad (3.47)$$

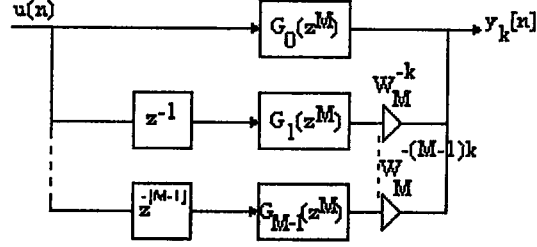
eşitliğini elde ederiz. İfadedeki $G_{\lambda}(z)$;

$$G_{\lambda}(z) = \sum_{n=0}^{\infty} g_{\lambda}(n) z^{-n} = \sum_{n=0}^{\infty} h_0(\lambda + nM) z^{-n}, \quad 0 < \lambda < M-1 \quad (3.48)$$

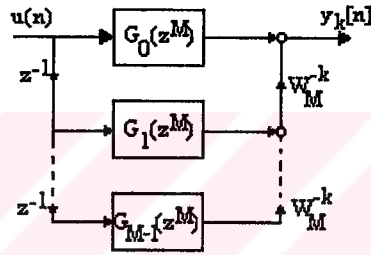
olarak tanımlanır. Bu ifadeden de görüleceği gibi $g_{\lambda}(n)$, $h_0(n)$ 'in M oranında örnek seyreltilmiş halidir ve M=4 için;

$$\begin{aligned}
 h_0(n) &: h_0(0) \quad h_0(1) \quad h_0(2) \quad h_0(3) \quad \dots \\
 g_0(n) &: h_0(0) \quad h_0(3) \quad h_0(6) \quad h_0(9) \quad \dots \\
 g_1(n) &: h_0(1) \quad h_0(4) \quad h_0(7) \quad h_0(10) \quad \dots \\
 g_2(n) &: h_0(2) \quad h_0(5) \quad h_0(8) \quad h_0(11) \quad \dots
 \end{aligned} \tag{3.49}$$

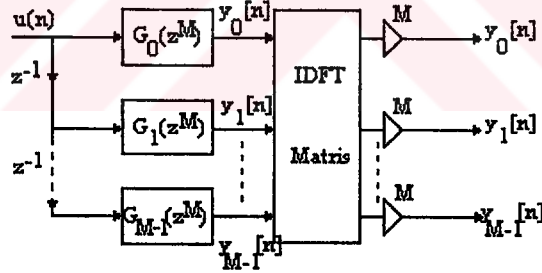
şeklinde dir.



(a)



(b)

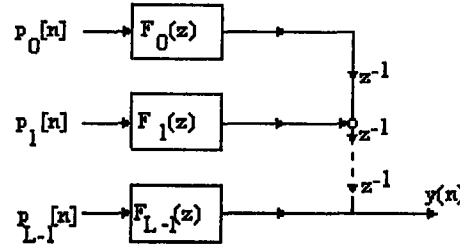


(c)

Şekil 3.19. Analiz süzgeç öbeğinin çok fazlı yapıda gerçekleştirilmesi

Denklem (3.47)'de görüldüğü gibi $H_k(z)$, transfer fonksiyonu M adet yeni transfer fonksiyonu ile elde edilebilmektedir. Şekilsel olarak bu işlem Şekil 3.19.(a)'daki gibidir. Şekilde görülen $G_\lambda(z)$ transfer fonksiyonları, $H_0(z)$ 'nin çok fazlı elemanları olarak adlandırılır. Böylece k , 0'dan $M-1$ 'e kadar değiştirilerek şekil 3.18'de görülen süzgeç öbeği çok fazlı olarak gerçekleştirilmiş olur (Şekil 3.19(c)). Şekil 3.17 ve şekil 3.19'de gösterildiği biçimde giriş işaretinin süzgeç öbekleri tarafından M adet banda ayrıldığı yapıya analiz süzgeç öbeği adı verilir. Bu işlemin tersini gerçekleştiren

yapı da sentez süzgeç öbeği olarak adlandırılır. Aşağıdaki şekilde L bantlı bir sentez süzgeç öbeği görülmektedir.



Şekil 3.20. Sentez süzgeç öbeği

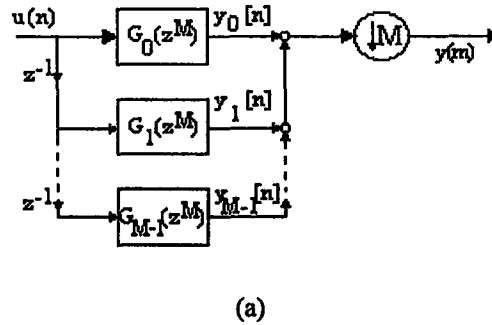
3.3.1. ÖRNEK SEYRELTME İŞLEMİNİN ÇOK FAZLI YAPIDA UYGULANMASI

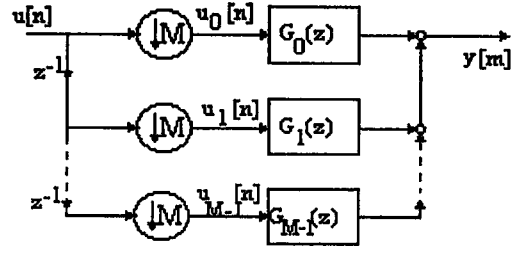
$H_0(z)$, π/M kesim frekanslı alçak geçiren bir süzgecin transfer fonksiyonu ise $H_0(z)$ çok fazlı yapıda aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$H_0(z) = \sum_{\lambda=0}^{M-1} z^{-\lambda} G_{\lambda}(z^M) \quad (3.50)$$

$H_0(z)$ süzgecinin çıkışına şekil 3.21.(a)'da görüldüğü gibi örnek seyreltme uygulanabilir. Şekilde de görüldüğü gibi süzgeç çıkışları, $y_0(n)$, $y_1(n)$, ..., $y_{M-1}(n)$ toplanmakta ve sinyal toplama işleminden sonra örnek seyreltilmektedir. Bu işlem tüm sistemin transfer fonksiyonu değişmeyecek şekilde şekil 3.21.(b)'de görüldüğü gibi de gerçekleştirilebilir. Bu yöntemde sinyal, süzgeçlerden önce örnek seyreltilmekte daha sonra $G_k(z)$ süzgeçlerinden geçirilerek toplanmaktadır.

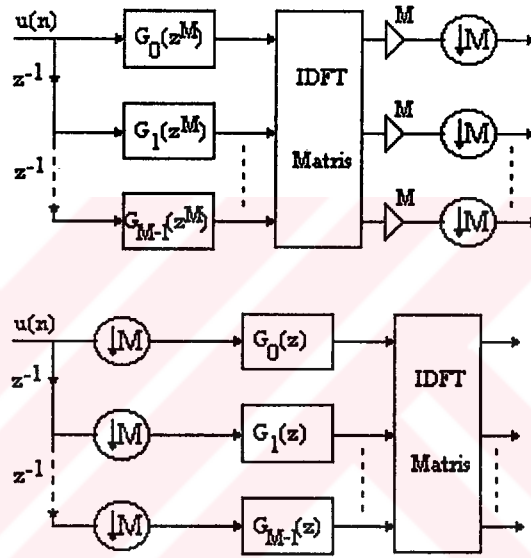
Bu aşamaya kadar tek bir süzgeç çıkışı için incelenen örnek seyreltme işlemi, şekil 3.19'deki süzgeç bankasının her $y_k(n)$ çıkışı için genelleştirilebilir (Şekil 3.22). Aşağıdaki şekilde M bantlı süzgeç öbeği için çok fazlı yapıda örnek seyreltme işlemi görülmektedir.





(b)

Şekil 3.21. Örnek seyreltme işleminin çok fazlı yapıda gerçekleştirilmesi



Şekil 3.22. Çok fazlı yapıdaki sentez süzgeç öbeğinde örnek seyreltme işleminin gerçekleştirilmesi

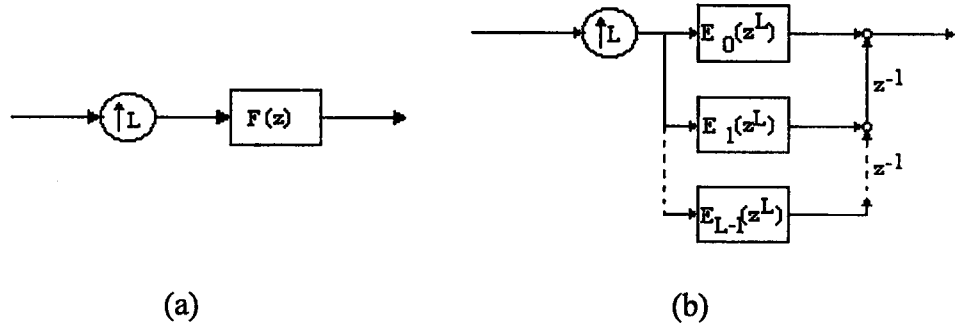
3.3.2. ARA DEĞERLEME İŞLEMİNİN ÇOK FAZLI YAPIDA UYGULANMASI

$F(z)$, şekil 3.23.(a)'da ki gibi bir ara değerlendirme süzgeci ise, $F(z)$ (3.50) ifadesine benzer şekilde L tane çok fazlı eleman $E_\lambda(z)$ cinsinden ifade edilebilir.

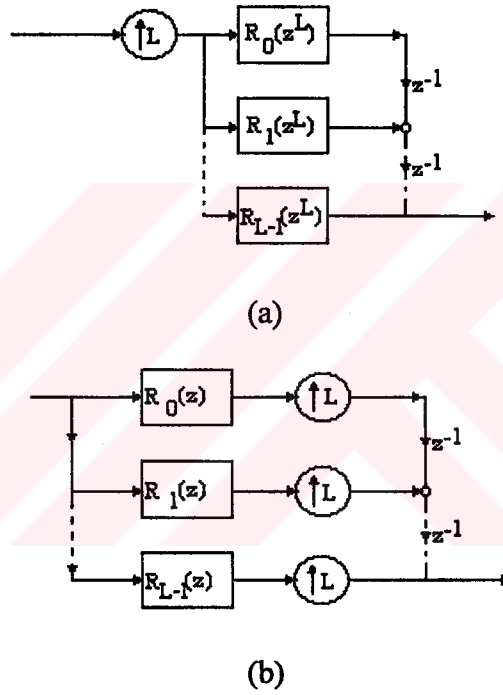
$$F(z) = \sum_{n=0}^{\infty} f(n)z^{-n} = \sum_{\lambda=0}^{L-1} z^{-\lambda} E_\lambda(z^L) \quad (3.51)$$

Burada; $E_\lambda(z) = \sum_{n=0}^{\infty} e_\lambda(n)z^{-n}$, $e_\lambda(n) = f(\lambda + nL)$ 'dir (3.52) (3.53). Aşağıdaki

şekil 3.23.(b)'de çok fazlı yapıda aradeğerleme işlemi gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Aradeğerleme işleminin çok fazlı yapıda gerçekleştirilmesi

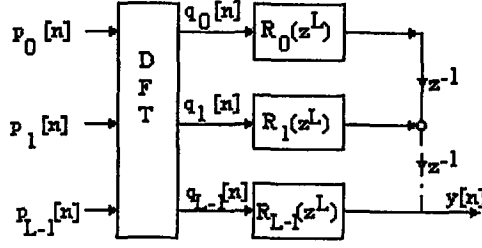


Şekil 3.24. Ara değerleme işleminin çok fazlı yapıda gerçekleştirilmesi

Örnek seyreltmede olduğu gibi aynı işlem, tüm sistemin transfer fonksiyonu değişmeyecek şekilde şekil 3.24.(b)'de görüldüğü gibi de gerçekleştirilebilir. Bu işlem için şekil 3.23.(b)'deki gecikme zincirini aşağıya doğru çizmek daha uygun olur. Bu nedenle $R_{\lambda}(z) = E_{L-1-\lambda}(z)$ (3.54) şeklinde bir fonksiyon tanımlarsak, bu durumda $F(z)$;

$$F(z) = \sum_{\lambda=0}^{L-1} R_{\lambda}(z^L) z^{-(L-1-\lambda)} \quad (3.55) \text{ olarak elde edilir.}$$

Tek bir band için gerçekleştirilen bu işlem sentez öbeği için genelleştirilebilir (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Sentez süzgeç öbeğinin çok fazlı yapı ile gerçekleştirilmesi

Şekil 3.25'de de görüldüğü gibi,

$$q_k(n) = \sum_{\lambda=0}^{L-1} P_\lambda(n) W_L^{\lambda k}$$

$$Y(z) = \sum_{k=0}^{L-1} z^{-(L-1-k)} R_k(z^L) Q_k(z)$$

$$= \sum_{k=0}^{L-1} z^{-(L-1-k)} R_k(z^L) \sum_{\lambda=0}^{L-1} P_\lambda(z) W_L^{\lambda k}$$

$$= \sum_{k=0}^{L-1} P_\lambda(z) \sum_{k=0}^{L-1} z^{-(L-1-k)} R_k(z^L) W_L^{\lambda k}$$

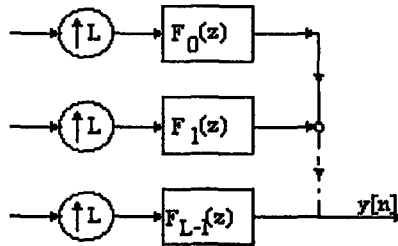
(3.56) (3.57)

olarak elde edilir. Sentez öbeğinin transfer fonksiyonları ise şu şekildedir:

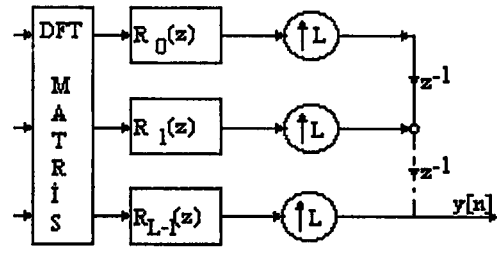
$$F_\lambda(z) = \sum_{k=0}^{L-1} z^{-(L-1-k)} R_k(z^L) W_L^{\lambda k}$$

(3.58)

Şekil 3.26'da ise sentez süzgeç öbeği ve ara değerleyicinin çok fazlı yapı kullanılarak elde edilen biçimi görmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.26. Çok fazlı yapıdaki sentez süzgeç öbeğinde aradeğerleme işleminin gerçekleştirilmesi

4. GÖRÜNTÜ SİNYALLERİNİN (IMAGE) ALT BAND KODLAMA YÖNTEMİYLE KODLANMASI (INTRAFRAME CODING)

Görüntü sinyalleri genelde güçlü bir alçak geçiren spektruma sahiptirler. Görüntü sinyallerinin sahip olduğu bu özellik, sinyalin kodlanması sırasında frekans bölgesinin tümü için eşit sayıda bit atanmasının sıkıştırma açısından verimli olmayacağını gösterir. Buna bağlı olarak, her bir frekans bandı için farklı kodlayıcı ve nicemleyicilerin kullanılabilirdiği ve her bir banda atanan bit sayısının o bandla uyumlu olduğu alt band kodlama yönteminin, görüntü sinyallerinin kodlanmasında oldukça verimli sonuçlar vereceği açıktır. Farklı alt band kodlayıcılarıyla optimum alt band kodlama algoritmasının gerçekleştirilebilmesi için alt bandların istatistiksel özelliklerinin bilinmesi gerekir. Genel bir görüntü sinyali alt band kodlama algoritması blok diyagramı şekildeki gibidir.



Şekil 4.1. Görüntü sinyali genel alt band kodlama algoritması

Şekilde görüldüğü gibi genel bir görüntü alt band kodlama algoritması, sinyalin analiz süzgeç öbekleriyle alt bandlarına ayrılması, örnek seyreltilmesi, kodlanması, iletilmesi, kod çözülüp ara değerlendirilmesi, süzgeç öbeklerinden geçirilerek orjinal sinyalin elde edilmesi aşamalarını içerir. Bu algoritmaya göre oluşturulmuş örnek bir görüntü şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Orjinal Lena görüntüsü ve dört alband çerçevesi [14]

Algoritmada sinyalin sıkıştırılmasına en büyük katkı alt bandlara farklı sayıda bit atanması ve her bir alt bandın özellikleri dikkate alınarak farklı yöntemlerle kodlanması sırasında görülür. Farklı yöntemlere örnek olarak PCM, DPCM, vektör nicemleme, Blok DCT gibi kodlama teknikleri verilebilir. Ancak bu yöntemlerden hangisinin hangi alt bandda kullanılacağı ve o alt banda atanan bit oranının ne olacağı alt bandların özellikleriyle alakalıdır. Bu yöntemlerin belirlenmesi konusunda yapılan çalışma bölüm 6.1'de anlatılmıştır.



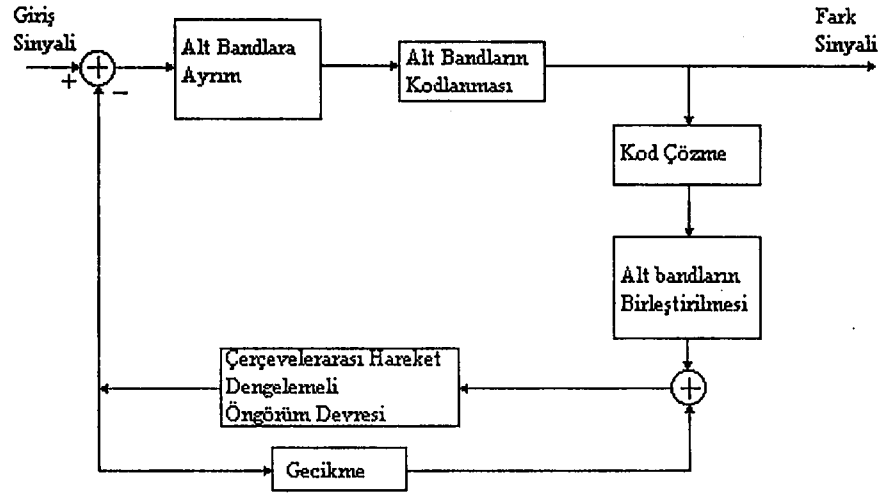
5. VIDEO SİNYALLERİNİN ALT BAND KODLAMA YÖNTEMİYLE KODLANMASI (INTERFRAME CODING)

Video sinyalleri birbirini takip eden görüntü çerçevelerinden (frame) oluşurlar. Birbirini takip eden çerçeveler arasında büyük benzerlikler ve istatistiki bağımlılıklar mevcuttur. Bu benzerlik ve bağımlılıklar büyük miktarda artıklık (redundancy) ifade ederler. Video kodlama uygulamalarındaki temel amaç, uzamsal (spatial) boyutta olduğu kadar zamansal boyutta da ortaya çıkan bu artıklıkları kaldırmak ve sıkıştırma sağlamaktır.

Zaman boyutundaki artıklıkları kaldırmak çerçevelerarası (interframe) kodlama teknikleri ile mümkündür. Bu tür kodlama tekniğinin yüksek sıkıştırma amaçlı video kodlama uygulamalarında kullanılan özel bir bölümüne ise hibrit kodlama adı verilmektedir. DPCM ve dönüşüm kodlamanın kombinasyonu olan hibrit kodlama, özellikle video konferans uygulamaları için oldukça verimli bir kodlama türü olarak kabul edilmektedir. Ancak bu kodlama türünün en büyük dezavantajı dönüşüm blokları dış hatlarının farkedilmesiyle oluşan görsel bozulmadır. Blok kenarlarında süreksizlik olarak gözlenen bu tip bozulmalar izleyiciler tarafından fark edilebilmektedir. Alt band kodlama yöntemi bu tip bozulmaları ortadan kaldırmakla birlikte, sıkıştırma verimliliği ve işlem karmaşıklığını azaltmak açısından avantajlar sunmaktadır[12]. Bununla beraber bu yöntem interframe kodlama tekniklerinin bir çoğu ile beraber kullanılabilen ve sıkıştırmaya katkı sağlamaktadır. Alt band kodlama yöntemi, interframe DPCM algoritmalarına değişik modellerde uygulanabilir. Bu modelleri temelde iki gruba ayırabiliriz.

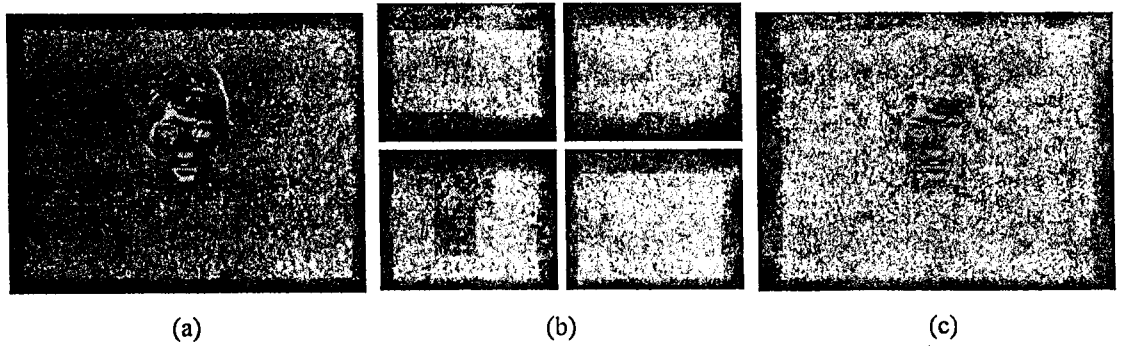
5.1. HAREKET DENGELENMİŞ FARK GÖRÜNTÜSÜNÜN ALT BAND YÖNTEMİYLE KODLANMASI

Bu model video dizisinde, hareket dengelenmesi yolu ile oluşturulmuş interframe öngörüm yanlışlarının alt bandlara ayrılıp, kodlanması işlemlerini içerir (Şekil 5.1.). Şekil 5.2'de ise bu algoritmaya benzer şekilde oluşturulmuş dört alt bandlı bir fark sinyali görülmektedir.



Şekil 5.1. Hareket dengelenmiş fark sinyalinin alt band kodlanması

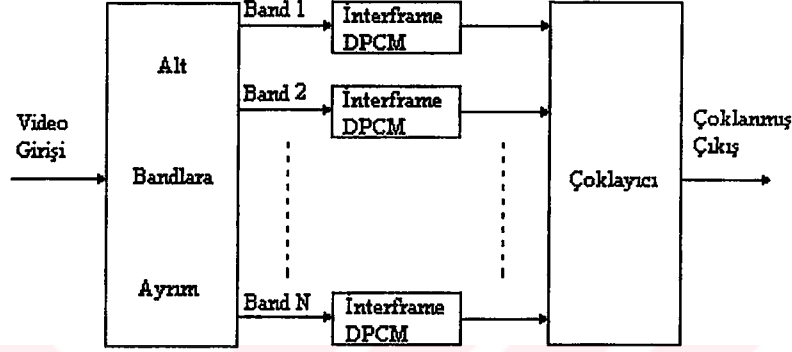
Yöntemde öngörüm yanılıgı sinyalinin her bir alt bandına DCT kodlama yönteminin uygulanması mümkündür [12]. Ancak işlem karmaşıklığı ve yükünün azaltılması düşünüldüğünde en düşük band dışındaki diğer bandlar için değişik kodlama yöntemleri de kullanılabilir. Bu işlem kod verimi açısından çok fazla bir kayıp getirmez. Bu yöntemlerin belirlenmesi hakkında yapılan çalışma ve sonuçların değerlendirilmesi bölüm 6.2’de anlatılmıştır.



Şekil 5.2. (a) Claire video dizisi fark görüntüsü (b) Fark görüntüsü alt bandları (c) Yeniden elde edilen fark görüntüsü [14]

5.2. ALT BANDLARINA AYRILMIŞ VIDEO ÇERÇEVELERİNİN, HAREKET KOMPENZASYONLU ÖNGÖRÜM YANILGILARININ KODLANMASI

Bu modelde; video dizisindeki her bir çerçeve, alt bandlarına ayrılır ve her bir alt banda kendi içerisinde hareket kompensasyonu işlemi uygulanır (Şekil 5.3.).



Şekil 5.3. Alt bandlarına ayrılmış video çerçevelerinin hareket dengelemeli öngörüm yanılgiilarının kodlanması

Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için alt band sayısı kadar görüntü belleğine ihtiyaç vardır. Yöntemde her bir alt band kendi tahmini yer değiştirmesini kullanabileceği gibi, yüksek frekans bandları en düşük bandın tahmini yer değiştirme bilgisini de kullanabilir. Bu işlem sayesinde yapılması gereken işlem miktarı büyük ölçüde azaltılır. Buna ek olarak; II. Modelde olduğu gibi her bir alt banda DCT tekniğinin uygulanmasına ve hatta her bir alt banda hareket kompensasyonu yapılmasına da gerek yoktur. Data sıkıştırma, görüntü kalitesi, işlem, donanım karmaşıklığı faktörleri dikkate alınarak DCT ve hareket kompensasyonu yöntemlerinin düşük bandlara uygulanmasının yeterli olacağı belirlenmiştir. Bu konuda yapılan incelemede en düşük bandın DCT veya DPCM, diğer bantların PCM ve Run Length kodlanması uygun bulunmuştur [12]. Ayrıca yüksek frekanslı bandların Run Length kodlanmasını daha verimli gerçekleştirmek için, sırasıyla;

- Yüksek frekanslı alt band çerçevelerinin bloklara ayrılması,
- Yatay bandın dikey kenar bilgilerini içerdiği dikkate alınarak, her bloğunun dikey taranması,

-Dikey bandın yatay kenar bilgilerini içerdđi dikkate alınarak, her bloğunun yatay taranması,

-Çapraz bandın ise çapraz kenar bilgilerini içerdđi dikkate alınarak zig-zag taranması;

önerilmektedir[12].



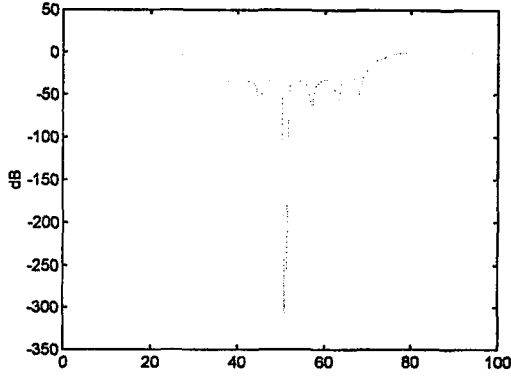
6. ALT BAND KODLAMA İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Görüntü ve video sinyallerinin alt band kodlama yöntemiyle kodlanması için gerçekleştirilen benzetim programı Matlab (Ver. 4.2.b) ortamında gerçekleştirilmiştir. Program editörü olarak Matlab'in seçilmesi, Matlab'in sinyal ve görüntü işleme ile ilgili araç kutularına (toolbox) sahip olması, kullanım kolaylığı ve matematiksel işlemlerin iki boyutlu sinyallere kolaylıkla uygulanabilmesinden kaynaklanmıştır.

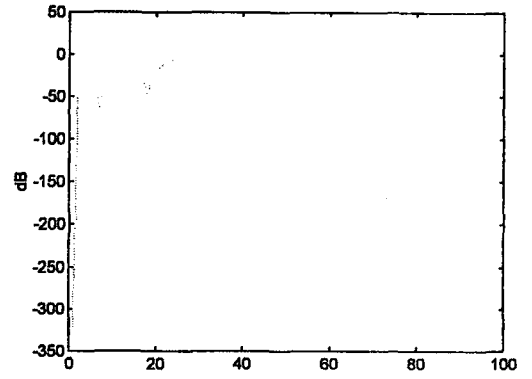
Sistemin temel elemanlarından olan QMF süzgeç öbeği, Johnston tarafından geliştirilen C-tipi yaklaşık yeniden elde edimli süzgeç katsayıları kullanılarak elde edilmiştir[14]. Bu katsayılar tek boyutlu alçak geçiren (Low) band için şu şekildedir:

Johnston C-Tip Süzgeç katsayıları 16-Tap
0.006525666
-0.02048751
0.00199115
0.04647684
-0.0262756
-0.0992955
0.1178666
0.4721122
0.4721122
0.1178666
-0.0992955
-0.0262756
0.04647684
0.00199115
-0.02048751
0.006525666

Çizelge 6.1. Alçak geçiren band (Lowest band) süzgeç katsayıları



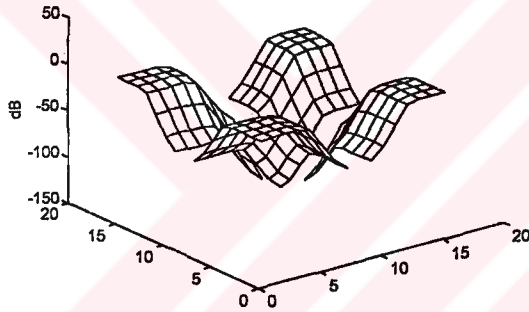
(a),(c)



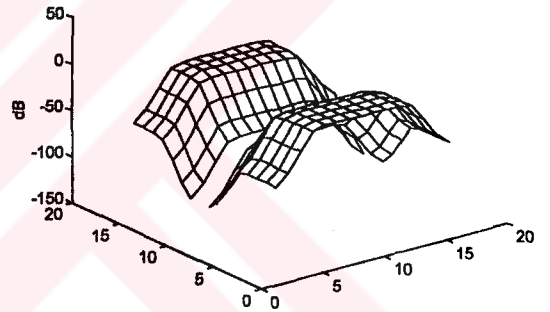
(b),(d)

Şekil 6.1. (a),(c).Tek boyutlu alçak geçiren band süzgeç transfer fonksiyonu (analiz, sentez)

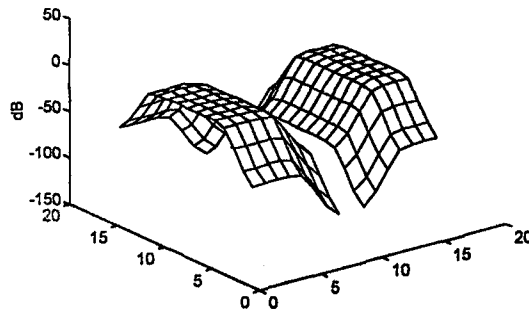
(b),(d).Tek boyutlu yüksek geçiren band süzgeç transfer fonksiyonu (analiz, sentez)



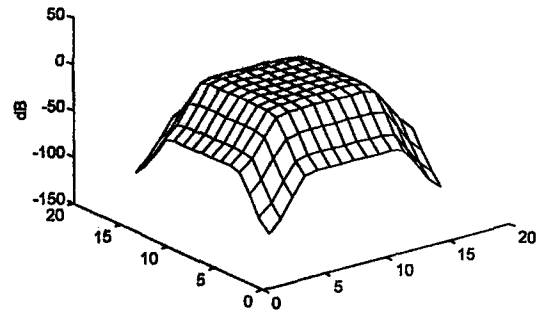
(a),(e)



(b),(f)



(c),(g)

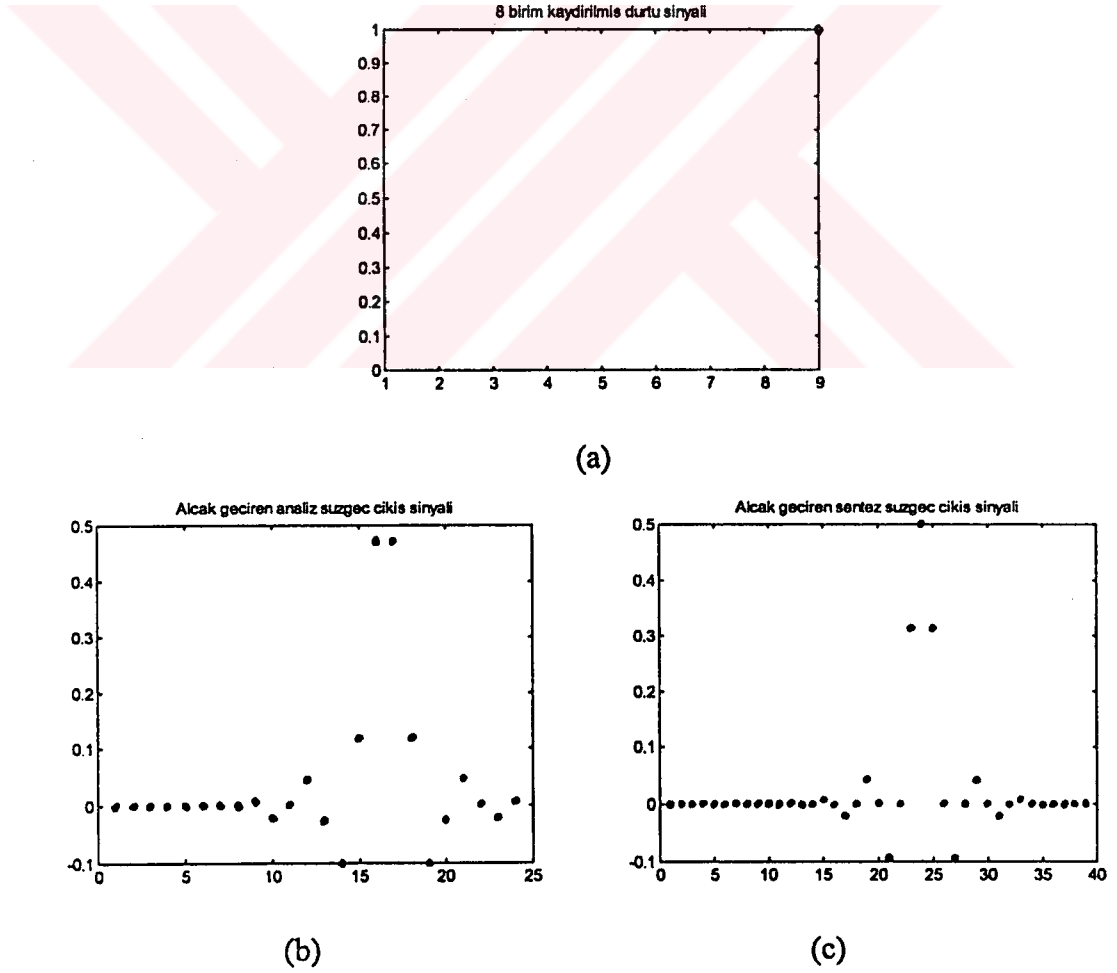


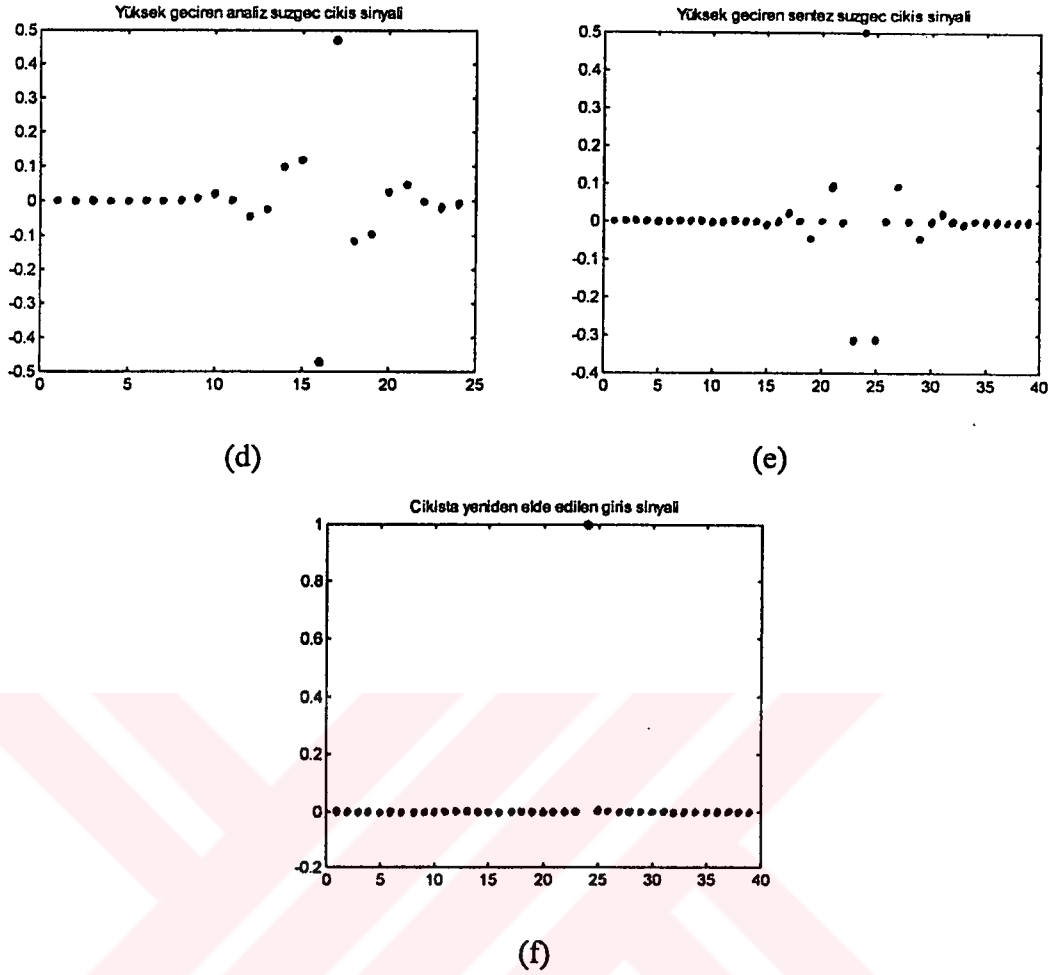
(d),(h)

Şekil 6.2. İki boyutlu süzgeç transfer fonksiyonları (a).LL analiz (b).LH analiz (c).HL analiz (d) HH analiz (e).LL sentez (f).LH sentez (g).HL sentez (h) HH sentez

Çalışmada, bu katsayılar ve $h_h(n) = (-1)^n h_l(n)$ denklemi yardımıyla diğer band (high band) katsayıları oluşturulmuş ve ardından da süzgeçlerin
$$\left\{ \begin{array}{l} h_{ll}(m, n) = h_l(m) \cdot h_l(n) \\ H_{jj}(w_1, w_2) = H_l(w_1) \cdot H_l(w_2) \end{array} \right\}$$
 ayrılabilirlik özellikleri kullanılarak iki boyutlu süzgeçler elde edilmiştir. Elde edilen süzgeç transfer fonksiyonları şekil 6.1 ve 6.2 deki gibidir.

Yapılan çalışmada öncelikle şekil 3.14'de görülen sistemin girişine şekil 6.3.(a)' da görülen dürtü sinyali uygulanmış ve sistemin transfer fonksiyonu test edilmiştir. Sistemin çıkışında ise şekil 6.3.(f)'de görülen dürtü tepkisi elde edilmiştir. Bu tepke sinyalinde de görüldüğü gibi; sistem, girişine uygulanan sinyali belli bir gecikme ile çıkışına vermektedir. Bu sonuç dikkate alınarak sistemin amaç için uygun olduğu belirlenmiştir.





Şekil 6.3. (a).Sisteme uygulanan dürtü sinyali (b).Alçak geçiren analiz süzgeç çıkış sinyali (c).Alçak geçiren sentez süzgeç çıkış sinyali (d).Yüksek geçiren analiz süzgeç çıkış sinyali (e).Yüksek geçiren analiz süzgeç çıkış sinyali (f).Çıkışta yeniden elde edilen giriş sinyali

6.1. GÖRÜNTÜ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMA

Dürtü tepkisi ve sistem transfer fonksiyonu şekil 6.3 deki gibi olan sisteme görüntü sinyallerinin alt band kodlama benzetimi için, dört ayrı görüntü (Lena, Trev01, Claire01, Miss01) uygulanmıştır. Analiz süzgeçlerinden geçirilerek dört alt banda ayrılan ve örnek seyreltilen bu görüntüler üzerinde yapılan incelemede en düşük bandın (LL) genel parlaklık bilgilerini, diğer bandların da sırasıyla dikey, yatay ve diyagonal kenar bilgilerini içerdiği tesbit edilmiştir. Bununla beraber her bir alt bandın öz ilişki fonksiyonları üzerinde yapılan incelemede de en düşük band görüntü elemanlarının, diğer band görüntü elemanlarına nazaran daha fazla ilişkili oldukları gözlenmiştir. Belirlenen bu özellik sonrası analiz süzgeçlerinden geçirilerek dört alt banda ayrılan görüntülere, örnek seyreltme işleminden sonra PCM, DPCM ve DCT kodlama

yöntemleri uygulanmıştır. Sonuçta uygulanan bu yöntemler karşılaştırılarak her bir alt band için optimum bir kodlama yöntemi tesbit edilmeye çalışılmış ve bulunan sonuçlar, alt bandlarına ayrılmadan aynı yöntemlerle kodlanmış görüntülerle karşılaştırılmıştır.

6.1.1. ALT BAND GÖRÜNTÜLERİNİN PCM KODLAMA BENZETİMİ

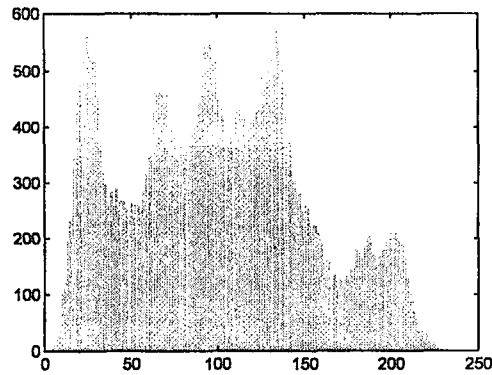
Alt bandlar PCM kodlama yöntemiyle kodlanmadan önce, orjinal ve her bir alt band görüntülerinin sahip olduğu en küçük ve en büyük piksel değerleri ve her bir alt banddaki piksel histogramları araştırılarak aşağıdaki tablo ve grafikler elde edilmiştir.

	Lena	Trev01	Claire01	Miss01
min	4	18	3	39
max	239	217	256	205

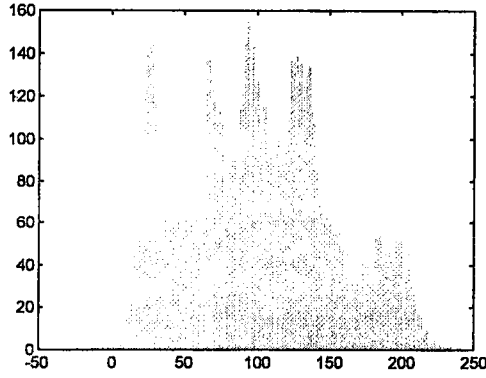
Çizelge 6.2. Alt bandlarına ayrılmamış görüntünün en küçük ve en büyük piksel değerleri

	Lena				Trev01				Claire01				Miss01			
	LL	LH	HL	HH	LL	LH	HL	HH	LL	LH	HL	HH	LL	LH	HL	HH
min	-14	-61	-40	-31	13	-22	-33	-13	-10	-43	-45	-10	37	-25	-29	-10
max	242	71	44	25	209	27	40	12	266	45	22	13	200	26	26	8

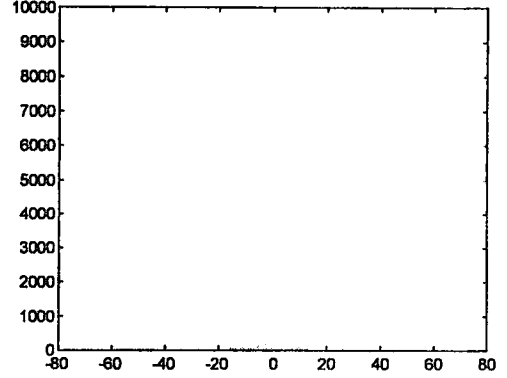
Çizelge 6.3. Alt bandlarına ayrılmış görüntünün en küçük ve en büyük piksel değerleri



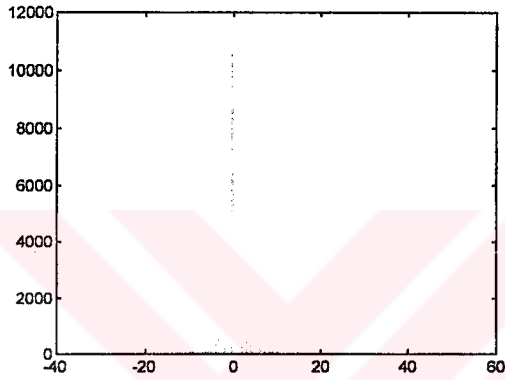
(a)



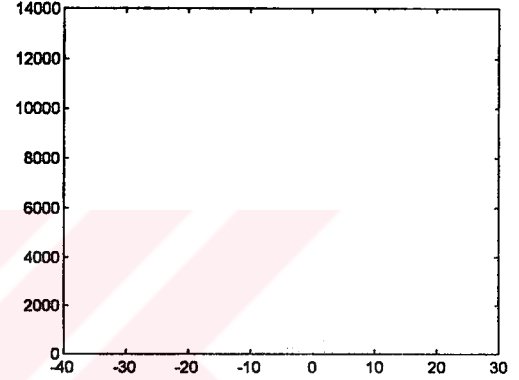
(b)



(c)



(d)



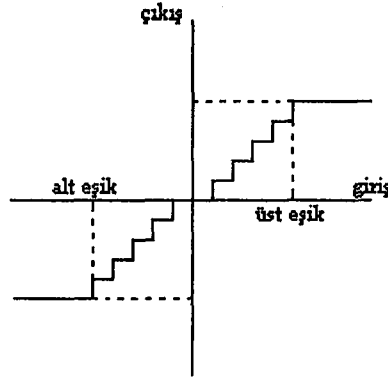
(e)

Şekil 6.4. Lena görüntüsü için elde edilen piksel seviye histogramları
(a)Orjinal (b)LL (c)LH (d)HL (e)HH

Bu tablo ve histogramlar incelendiğinde iki önemli sonuç çıkmaktadır. Bunlar;
-Görüntü alt bandları orjinalle oranla, daha dar piksel aralıklarına sahip olmakta ve bu aralıklar yüksek bandlarda daha da daralmaktadır.

-Alçak geçiren band (LL) dışındaki diğer bandlarda, aynı seviyeye sahip piksel değerleri sıfır etrafında yoğunlaşmakta, sıfırdan uzaklaştıkça hızlı bir şekilde azalmaktadır (Şekil 6.4.).

Bu sonuçlar dikkate alınarak her bir band için bir eşik seviyesi belirlenmiş ve seviyenin üstündeki değerler bu seviyeye eşitlenmiştir. Bu işlemden sonra belirlenen seviyenin (+) ve (-) değerleri arası doğrusal olarak nicemlenmiş ve kodlanmıştır (Şekil 6.5). Bu şekilde bir eşik belirleyerek, tanımlanan aralığın nicemlenmesi tüm aralığı nicemlemeye göre daha hassas nicemleme ve verimli bir kodlama sağlamıştır.



Şekil 6.5. Eşik bölgesinin nicemlenmesi

Sonuç olarak belirlenen eşik ve nicemleme seviyelerinde gerçekleştirilen kodlama sonucunda sinyal/gürültü (SNR) oranları aşağıdaki şekilde elde edilmiştir (Çizelge 6.4, 6.5). Sinyal/gürültü oranı hesaplamasında ise

$$SNR = -10 \cdot \log_{10} \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \frac{(x'(i,j) - x(i,j))^2}{m \cdot n \cdot 255^2} \text{ dB}$$

denklemi kullanılmıştır. Sonuç

olarak elde edilen örnek görüntüler ise şekil 6.6'daki gibidir.

Eşik	Nic. Sev.	Lena	Trev01	Claire01	Miss01
		SNR (dB)	SNR (dB)	SNR (dB)	SNR (dB)
256	128	51.12	50.71	51.67	51.12
256	64	46.39	46.55	46.84	46.45
256	32	40.72	40.95	41.24	40.18
256	16	34.83	33.31	35.03	35.48

Çizelge 6.4. Alt bandlarına ayrılmamış ve PCM kodlanmış görüntünün değişik nicemleme seviyelerindeki sinyal/gürültü oranları

Band	Lena						Trev01					
	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)
LL	256	128	52.87	256	64	46.89	256	128	52.73	256	64	46.97
LH	64	32	56.90	64	16	50.24	64	32	56.25	64	16	49.67
HL	32	16	57.76	32	8	51.43	32	16	59.46	32	8	53.04
HH	16	8	56.65	16	4	52.10	16	8	65.55	16	4	58.06
Top.			41.78			40.08			42.10			40.38

Band	Claire01						Miss01					
	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)
LL	256	128	51.78	256	64	46.55	256	128	52.93	256	64	46.91
LH	64	32	58.12	64	16	51.65	64	32	62.20	64	16	54.86
HL	32	16	58.50	32	8	54.12	32	16	62.50	32	8	55.33
HH	16	8	68.35	16	4	60.52	16	8	71.18	16	4	62.86
Top.			43.50			41.64			44.57			42.76

Çizelge 6.5. Alt bandlarına ayrılmış ve PCM kodlanmış görüntünün değişik niceme seviyelerindeki sinyal/gürültü oranları



(a)



(b)



(c)

Şekil 6.6. (a) Orjinal Lena Görüntüsü

(b) Alt bandlarına ayrılmadan nicelenmiş ve PCM kodlanmış görüntü (5 bit/pixel)

(c) Alt bandlarına ayrılıp nicelenmiş ve PCM kodlanmış görüntü (2.5 bit/pixel)

Çizelgeler incelendiğinde yüksek frekans bandlarının (LH, HL,HH) yüksek SNR seviyelerine sahip olduğu ve bu nedenle daha az bitle kodlanmalarının bozulmaya çok fazla bir etki getirmeyeceği belirlenmiştir. Bu sonuca bağlı olarak sadece alçak geçiren band hassas bir şekilde, diğer bandlar az sayıda bitlerle kodlanarak şekil 6.6.c'deki görüntü elde edilmiştir. Bu görüntü incelendiğinde subjektif bozulmanın da çok fazla olmadığı ve yeterli bir düzeyde olduğu tesbit edilmiştir.

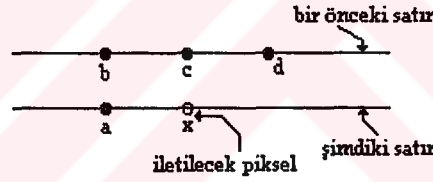
6.1.2. ALT BAND GÖRÜNTÜLERİNİN DPCM KODLAMA BENZETİMİ

DPCM kodlama yöntemi iletilecek sinyal bilgisinin daha az bitle kodlanmasına imkan verir. Bu yöntemde; iletilecek piksel bilgisi için daha önceki piksel değerlerinden bir öngörüm değeri oluşturulur. Bu değer o anki piksel değerinden çıkarılarak aradaki fark (öngörüm yanılığı) iletilir.

Gerçekleştirilen DPCM benzetim programında şekil 6.7'de görülen öngörüm

algoritması ve $x' = 0.5 \cdot a + 0.125 \cdot b + 0.25 \cdot c + 0.125 \cdot d$ eşitlikleri kullanılmıştır (Şekil 6.7).

$$p_e = x' - x$$



Şekil 6.7. Öngörüm sinyali belirleme işlemi

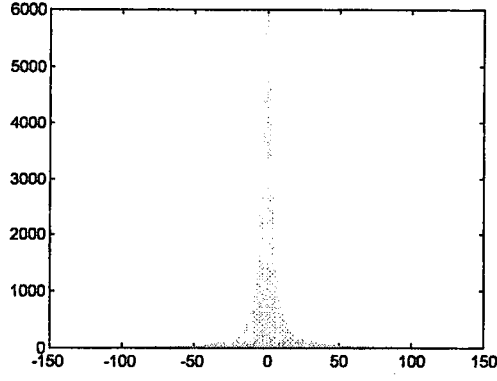
Bu algoritmanın uygulanması sonucunda orjinal görüntü ve her bir alt band için belirlenen öngörüm yanılığı sinyallerinin minimum ve maximum piksel değerleri ve piksel histogramları araştırılarak aşağıdaki tablo ve histogramlar elde edilmiştir.

	Lena	Trev 01	Claire 01	Miss 01
min.	-118	-55	-102	-54
max	102	90	109	56

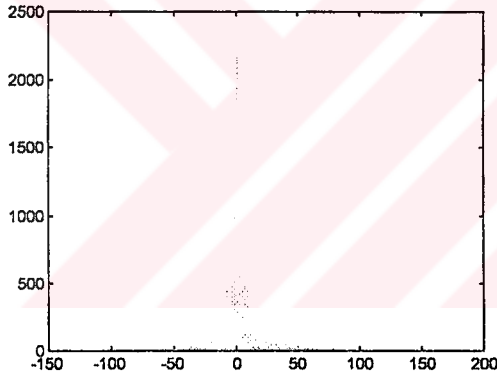
Çizelge 6.6. Alt bandlarına ayrılmamış, görüntü öngörüm yanılığı sinyallerinin en küçük ve en büyük piksel değerleri

	Lena				Trev 01				Claire 01				Miss 01			
	LL	LH	HL	HH	LL	LH	HL	HH	LL	LH	HL	HH	LL	LH	HL	HH
min	-137	-65	-43	-38	-68	-24	-42	-17	-136	-50	-34	-14	-71	-21	-27	-13
max	141	80	54	30	87	31	39	16	137	44	20	18	60	21	27	13

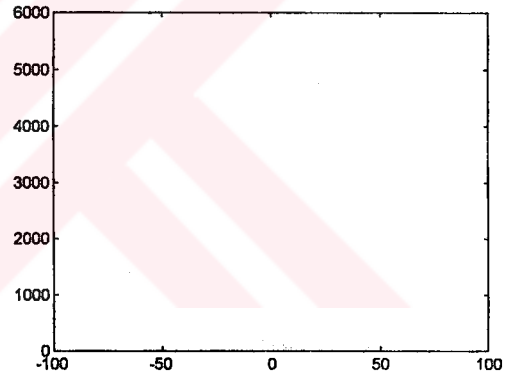
Çizelge 6.7. Alt bandlarına ayrılmış, görüntü öngörüm yanlıgı sinyallerinin en küçük ve en büyük piksel değerleri



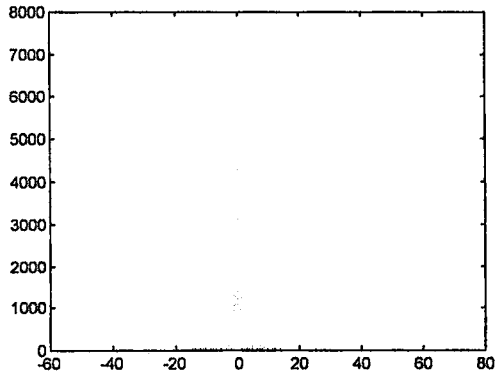
(a)



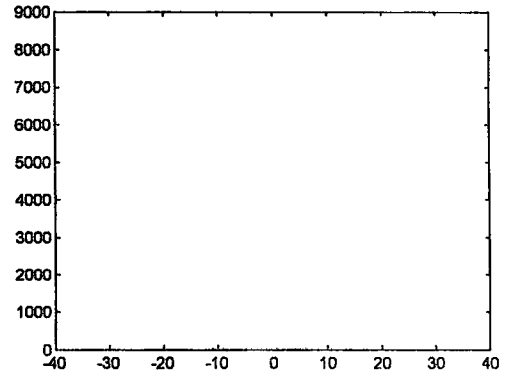
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 6.8. Lena görüntüsü için elde edilen öngörüm yanlıgı sinyal seviyesi histogramları
(a)Orjinal (b)LL (c)LH (d)HL (e)HH

Bu tablo ve histogramlar incelendiğinde PCM benzetim programında elde edilen sonuçlarla beraber, DPCM’de elde edilen yüksek bandlı sinyallerin, PCM’de elde edilenlere oranla sıfır etrafında daha fazla yoğunlaştıkları görülür. Bu sonuca göre DPCM sonrası yapılacak entropi kodlamalarında (Huffman, Run-Length v.b.) daha büyük miktarlarda sıkıştırma sağlanabilir. Bu sonuçlar dikkate alınarak alt bandların nicemlenmesi ve kodlanmasında tüm piksel aralığının (0-256) kullanılmasının gereksiz ve dezavantajlı olacağı düşünülerek, her alt band için eşik seviyeleri belirlenmiş ve bu seviye üzerindeki değerler eşik seviyesiyle eşitlenmiştir. Eşik seviyesi arasında kalan bölgeler ise doğrusal nicemlenerek kodlanmıştır.

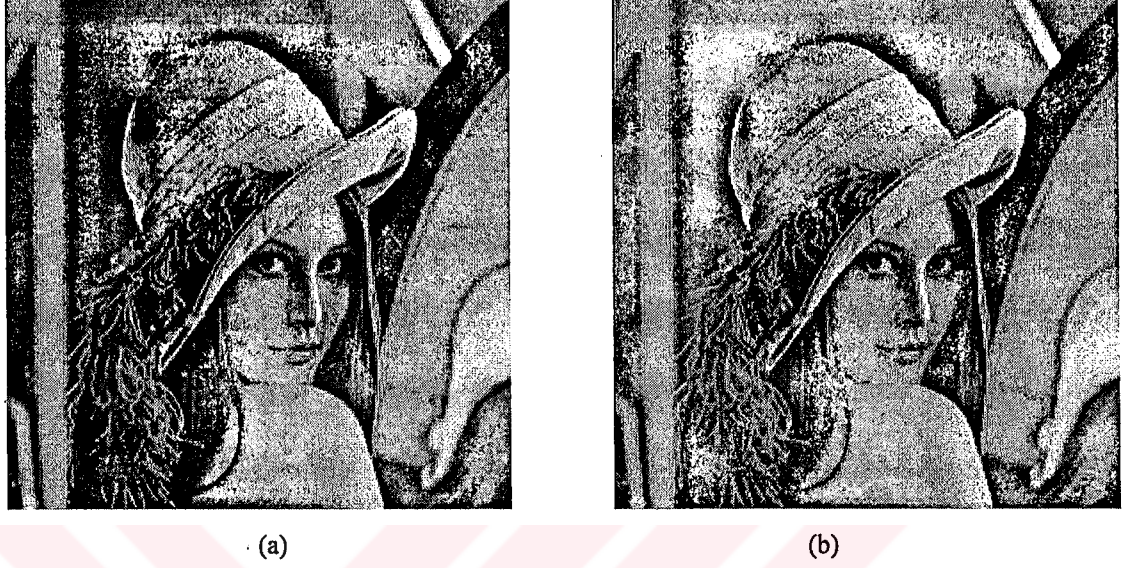
Eşik	Nic. Sev.	Lena	Trev01	Claire01	Miss01
		SNR (dB)	SNR (dB)	SNR (dB)	SNR (dB)
128	128	58.84	59.12	59.25	58.93
128	64	50.33	50.47	50.34	50.06
128	32	46.08	46.36	47.38	47.04
128	16	40.87	41.04	42.17	42.74
128	8	35.49	36.22	36.11	36.69

Çizelge 6.8. Alt bandlarına ayrılmamış ve DPCM kodlanmış görüntünün değişik nicemleme seviyelerindeki sinyal/gürültü oranları

Band	Lena						Trev01					
	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)
LL	128	128	55.40	128	64	49.56	128	128	55.91	128	64	49.51
LH	32	32	41.21	32	16	40.83	32	32	56.97	32	16	50.29
HL	32	16	49.90	32	8	47.25	32	16	50.38	32	8	48.32
HH	16	8	48.69	16	4	47.03	16	8	50.55	16	4	49.81
Top.			38.08			37.39			41.56			40.50
Band	Claire01						Miss01					
	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)
LL	128	128	55.73	128	64	49.29	128	128	55.86	128	64	49.14
LH	32	32	53.17	32	16	49.65	32	32	60.84	32	16	52.16
HL	32	16	48.53	32	8	48.20	32	16	53.87	32	8	50.74
HH	16	8	54.72	16	4	53.15	16	8	49.66	16	4	51.23
Top.			42.28			41.31			43.25			42.29

Çizelge 6.9. Alt bandlarına ayrılmış ve DPCM kodlanmış görüntünün değişik nicemleme seviyelerindeki sinyal/gürültü oranları

Sonuçta belirlenen eşik ve nicemeleme seviyelerinde gerçekleştirilen kodlama sonucunda sinyal/gürültü oranları ve görüntü çıktıları çizelge 6.8 ve 6.9'daki gibi elde edilmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak elde edilen görüntüler ise şekil 6.9'daki gibidir.



Şekil 6.9. (a) Alt bandlarına ayrılmadan DPCM kodlanmış ve nicemlenmiş Lena görüntüsü (6 bit/pixel)
(b) Alt bandlarına ayrılmış, DPCM kodlanmış ve nicemlenmiş Lena görüntüsü (2.75 bit/pixel)

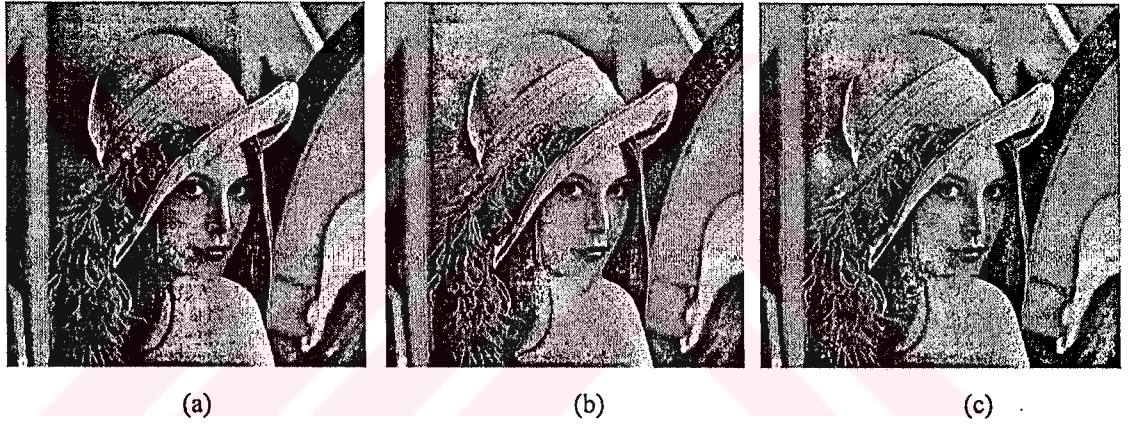
6.1.3. PCM VE DPCM PROGRAM BENZETİM SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bölüm 6.1.1. ve bölüm 6.1.2'de elde edilen sonuçlar çizelge 6.10'daki gibi birleştirilirse, aynı nicemeleme seviyesinde alçak geçiren band (LL) için DPCM kodlamanın daha iyi sonuç verdiği ($SNR_{LL} (DPCM) > SNR_{LL} (PCM)$), yüksek bandlar (LH, HL, HH) için ise DPCM kodlamanın o kadar verimli olmadığı ve bu bandlarda PCM kodlamanın kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Kodlama Türü	Lena					Trev 01				
	LL (dB)	LH (dB)	HL (dB)	HH (dB)	Toplam	LL (dB)	LH (dB)	HL (dB)	HH (dB)	Toplam
PCM	52.87	56.90	57.76	56.65	41.78	52.73	56.25	59.46	65.55	42.10
DPCM	55.40	41.21	49.90	48.69	38.08	55.91	56.97	50.38	50.55	41.56
Kodlama Türü	Claire 01					Miss 01				
	LL (dB)	LH (dB)	HL (dB)	HH (dB)	Toplam	LL (dB)	LH (dB)	HL (dB)	HH (dB)	Toplam
PCM	51.78	58.12	58.50	68.35	43.50	52.93	62.20	62.50	71.18	44.57
DPCM	55.73	53.17	48.53	54.72	42.28	55.86	60.84	53.87	49.66	43.45

Çizelge 6.10. Alt bandlarına ayrılmış PCM ve DPCM kodlanmış görüntülerin bandlara göre sinyal/gürültü oranlarının karşılaştırılması

Bununla beraber bölüm 6.1.1 ve bölüm 6.1.2’de elde edilen orjinal ve alt band görüntü çizelgelerinde de görüldüğü gibi; görüntüyü alt bandlarına ayırıp PCM veya DPCM kodlama, orjinal sinyali PCM veya DPCM kodlamaya göre sıkıştırmaya daha büyük oranda katkı sağlar. Bu durum çizelgelerin yaklaşık eşit SNR bilgilerinde görülmektedir. Ancak PCM veya DPCM kodlanmış görüntüler artıklıklardan tamamen arındırılmış değildir. Bu artıklıkların giderilmesi için uzunluk kodlama (Run-Length) veya Huffman kodlama yöntemleri uygulanabilir. Bu yöntemlerden Huffmann kodlamanın en düşük banda (LL), uzunluk kodlamanın diğer bandlara uygulanmasının gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu sonuca; en düşük bandın genel parlaklık bilgilerine, diğer bandların uzun sıfır dizileri ve az sayıda kenar bilgilerine sahip olması nedeni ile ulaşılmıştır. Şekil 6.10 da PCM ve DPCM kodlanmış orjinal görüntü ile en düşük bandı DPCM, diğer bandları PCM kodlanmış görüntü gösterilmektedir.



Şekil 6.10. (a) PCM kodlanmış Lena görüntüsü (5 bit/pixel) (b) DPCM kodlanmış Lena görüntüsü (6 bit/pixel) (c) LL bandı DPCM, diğer bandları PCM kodlanmış Lena görüntüsü (3.25 bit/pixel)

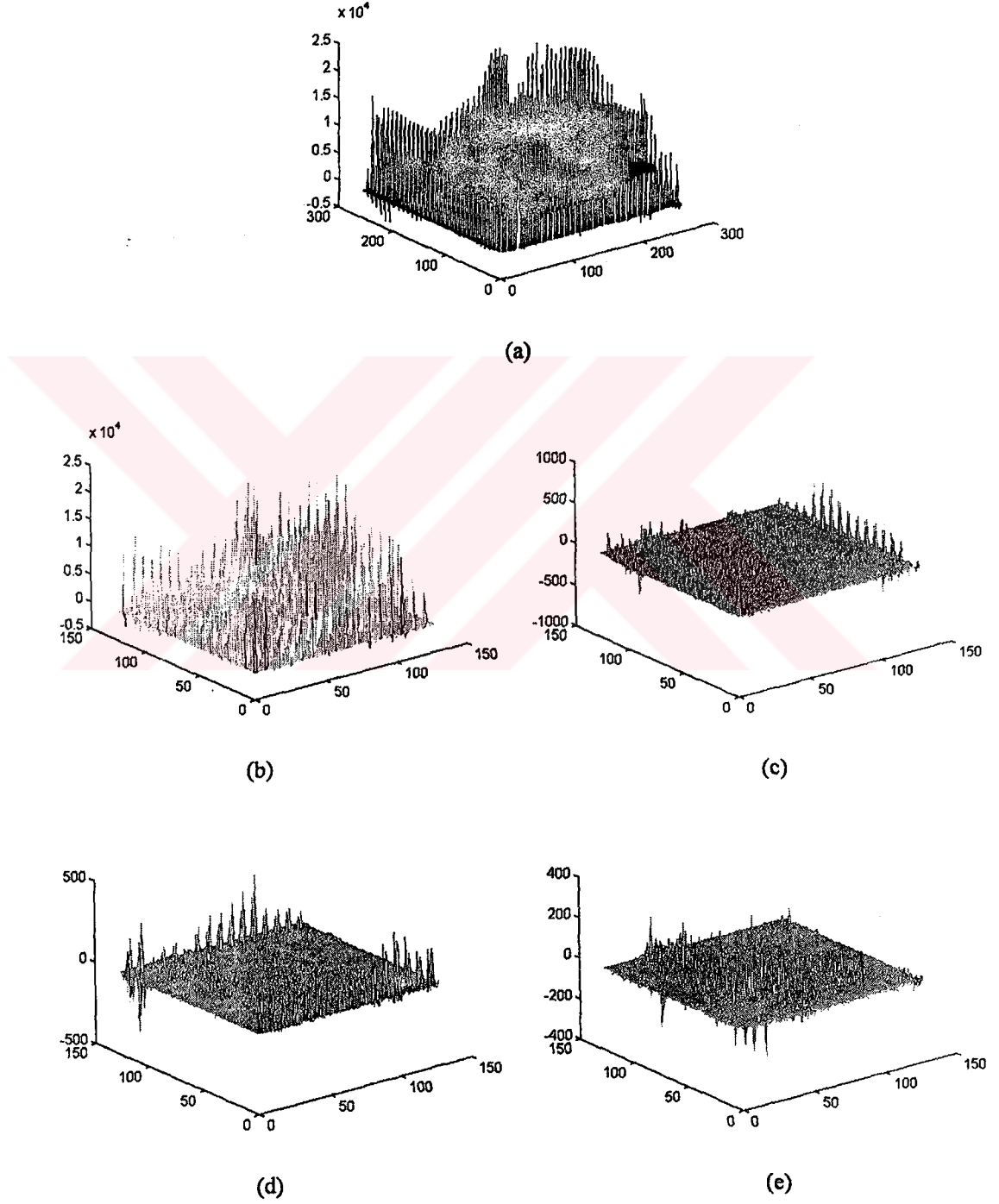
6.1.4. ALT BAND GÖRÜNTÜLERİNİN DCT KODLAMA BENZETİMİ

Bu yöntem uygulanırken alt bandların 8x8’lik bloklar halinde ayırık kosinüs dönüşümleri alınmış, elde edilen verilerin W_{ij} matrisi (çizelge 6.11) ile ağırlıkları alınarak yuvarlamaları gerçekleştirilmiştir.

1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5
0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4
0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4
0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3
0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2
0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.1
0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1
0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1

Çizelge 6.11. Ağırlık matrisi (W_{ij})

Ayrıca her bir band sırasıyla ($ak_{ll}=0.4$, $ak_{lh}=0.66$, $ak_{hl}=0.5$, $ak_{hh}=1$) aktivite katsayılarıyla çarpılarak ikinci bir ağırlık alma uygulanmıştır. Bu işlemler sonucunda elde edilen DCT katsayı grafikleri, orjinal ve alt band görüntüleri için aşağıdaki şekilde elde edilmiştir (Şekil 6.11.).



Şekil 6.11. Ağırlık alma uygulanmış DCT katsayısı grafikleri (Lena görüntüsü için)
(a) Orjinal sinyal (b) LL (c) LH (d) HL (e) HH

Elde edilen bu katsayılar zig-zag taranarak kodlanmış ve iletme hazır hale getirilmiştir. Alıcıda kod çözülüp ters zig-zag taranan görüntüler $1/ak$ aktivite katsayıları ve $1/w_{ij}$ matrisi ile çarpılmış ve ters ayırık kosinüs dönüşümleri alınarak orjinal giriş sinyali elde edilmeye çalışılmıştır.

Bu grafiklerde de görüldüğü gibi alt band DCT katsayıları (özellikle yüksek geçiren bandlar) orjinale oranla daha küçük genlikli DC ve AC katsayılarına sahiptirler. Bununla beraber yüksek bandlarda (LH, HL, HH) ortaya çıkan sıfır miktarı, orjinal sinyale oranla daha fazladır ve bu sayı yüksek frekanslara çıkıldıkça daha da artmaktadır. Bu yüksek frekanslı bandların kenar bilgileri ve büyük miktarda sıfır biti içermesinin bir sonucudur.

Tüm bu sonuçlar dikkate alınarak, orjinal ve alt band sinyali DCT katsayıları Huffmann kodlandığında; alt bandlarına ayrılarak DCT kodlanmış sinyal, orjinal sinyale oranla daha fazla sıkıştırılmış olur.

6.2. VIDEO İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSSEL ÇALIŞMA

Video sinyallerinde alt band kodlama yönteminin getireceği sonuçları incelemek amacıyla, görüntü sinyallerinin uygulanmış olduğu sisteme üç ayrı görüntü farkı (Trev 02-01, Claire 02-01, Miss 02-01) uygulanmıştır. Analiz süzgeçlerinden geçirilerek örnek seyreltilmiş görüntü farkı alt bandları üzerinde yapılan incelemede, görüntü sinyallerinde elde edilen sonuçlara benzer olarak; en düşük bandın genel parlaklık bilgilerini, diğer bandların ise sırasıyla dikey, yatay ve diyagonal kenar bilgilerini içerdiği gözlenmiştir. Bunun yanında alt bandlardaki ilişkinin, orjinale oranla daha da azaldığı tesbit edilmiştir. Bu özelliklerin belirlenmesinden sonra her bir alt banda PCM, DPCM ve DCT kodlama teknikleri uygulanarak her bir alt band için optimum bir kodlama yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır.

6.2.1. ALT BAND VIDEO GÖRÜNTÜLERİNİN PCM KODLAMA BENZETİMİ

Alt bandlar PCM kodlama yöntemiyle kodlanmadan önce, orjinal ve her bir alt band görüntü farklarının sahip olduğu en küçük ve en büyük piksel değerleri ve her bir

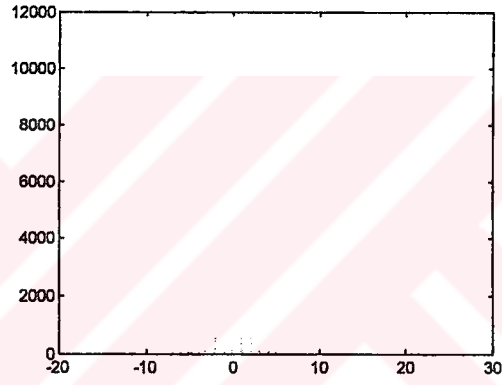
alt banttaki piksel histogramları araştırılarak aşağıdaki tablo ve grafikler elde edilmiştir.

	Trev 02-01	Claire 02-01	Miss 02-01
min.	-40	-56	-25
max.	43	51	23

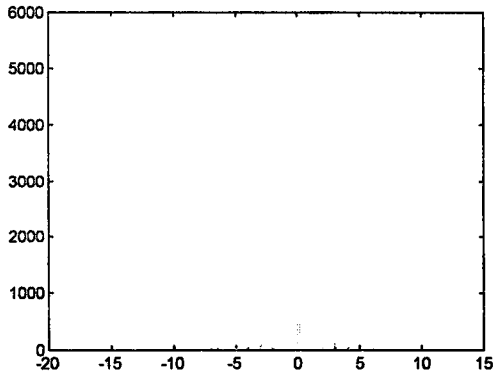
Çizelge 6.12. Alt bantlarına ayrılmamış fark görüntüsünün en küçük ve en büyük piksel değerleri

	Trev 02-01				Claire 02-01				Miss 02-01			
	LL	LH	HL	HH	LL	LH	HL	HH	LL	LH	HL	HH
min	-19	-9	-27	-9	-36	-10	-35	-7	-15	-9	-10	-5
max	15	7	26	7	40	11	47	7	11	7	15	8

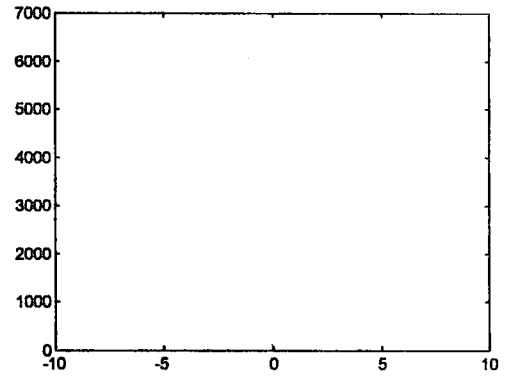
Çizelge 6.13. Alt bantlarına ayrılmış fark görüntüsünün en küçük ve en büyük piksel değerleri



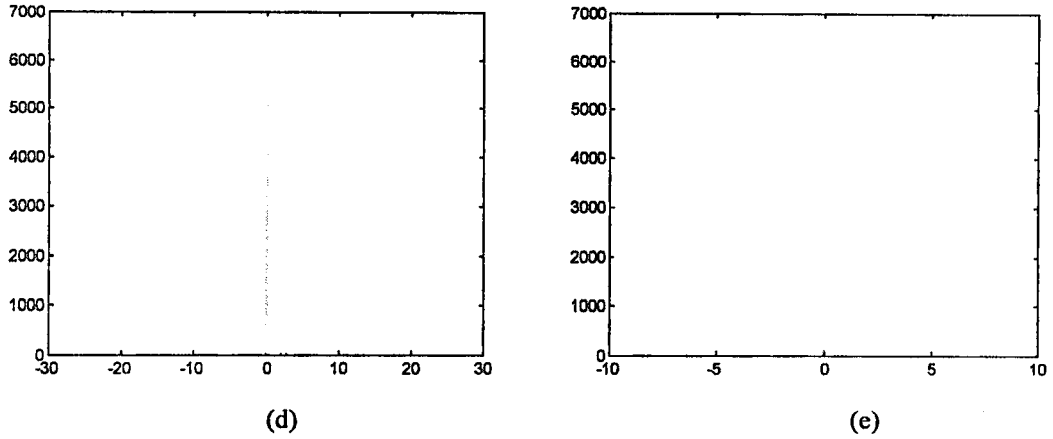
(a)



(b)



(c)



Şekil 6.12. Trevor 02-01 fark görüntüsü için elde edilen piksel seviye histogramları (a) orjinal (b)LL (c)LH (d)HL (e)HH

Bu tablo ve histogramlar incelenerek aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

-Görüntü farkı sinyalleri beklendiği gibi büyük miktarda sıfır dizilerine sahiptir.

-Alt bandlarına ayrılmış fark sinyallerinde sıfır miktarı daha da artmaktadır.

-Alt bandlar orjinale oranla daha dar piksel aralıklarına sahiptirler ve bu aralıklar yüksek bandlarda daha da daralmaktadır.

Bu özellikler dikkate alınarak fark sinyali alt bandlarının PCM yöntemiyle kodlanması için bir eşik seviyesi belirlenmiş, bu seviyenin üstündeki değerler eşikle eşitlenmiş ve seviyenin (+) ve (-) değerleri arasında kalan bölge doğrusal olarak nicemlenmiş ve kodlanmıştır (şekil 6.5). Bu şekilde bir eşik belirleyerek, tanımlanan aralığın nicemlenmesi tüm aralığı nicemlemeye göre daha hassas nicemleme ve verimli bir kodlama sağlamıştır. Bu işlemler sonucunda elde edilen sonuçlar çizelge 6.14 ve 15'te verilmiştir.

Eşik	Nic. Sev.	Trev 02-01	Claire 02-01	Miss 02-01
		SNR (dB)	SNR (dB)	SNR (dB)
64	32	51.90	52.26	51.17
64	16	49.13	50.26	47.72
64	8	46.40	47.63	45.58
64	4	43.86	44.09	43.44
64	2	42.18	40.58	41.60

Çizelge 6.14. Alt bandlarına ayrılmamış ve PCM kodlanmış fark görüntüsünün değişik nicemleme seviyelerindeki sinyal/gürültü oranları

Trev 02-01							Claire 02-01					
Band	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)
LL	32	16	62.91	32	8	56.32	32	16	61.13	32	8	56.13
LH	16	8	68.16	16	4	60.58	16	8	67.60	16	4	60.77
HL	32	16	67.45	32	8	60.25	32	16	61.23	32	8	58.50
HH	8	4	74.59	8	2	66.06	8	4	72.59	8	2	64.40
Top.			47.66			46.86			48.69			47.74
Miss 02-01												
Band	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)						
LL	32	16	63.07	32	8	56.06						
LH	16	8	67.95	16	4	60.60						
HL	32	16	69.09	32	8	61.66						
HH	8	4	73.93	8	2	67.45						
Top.			46.48			45.87						

Çizelge 6.15. Alt bandlarına ayrılmış ve PCM kodlanmış fark görüntüsünün değişik nicemleme seviyelerindeki sinyal/gürültü oranları

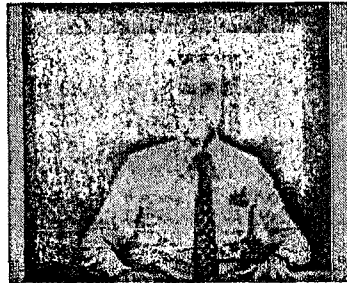
Bu sonuçlara bağlı olarak elde edilen görüntüler şekil 6.13'deki gibidir.

Çizelge 6.15 incelendiğinde yüksek frekanslı bandların, az bitle kodlanmalarına rağmen SNR seviyelerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuca bağlı olarak bu bandlara atanan bit miktarının daha da azaltılabileceği sonucuna varılmıştır. Alçak geçiren (LL) band da ise nicemlemenin daha hassas yapılması gerekmektedir.

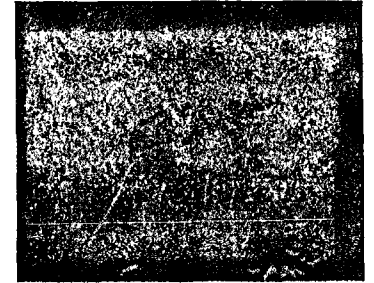
Tüm bu sonuçlar dikkate alınarak, en düşük bandı daha fazla bitle, diğer bantları daha az bitle PCM kodlanmış fark görüntüsü ile, alt bandlarına ayrılmadan PCM kodlanmış görüntü arasında yapılan karşılaştırmada, alt band kodlamanın sıkıştırma açısından daha verimli olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.13). Şekil 6.13 (e) ve (g)'de görüldüğü gibi görsel olarak ortaya çıkan bozulmalar da rahatsız edici boyutta değildir.



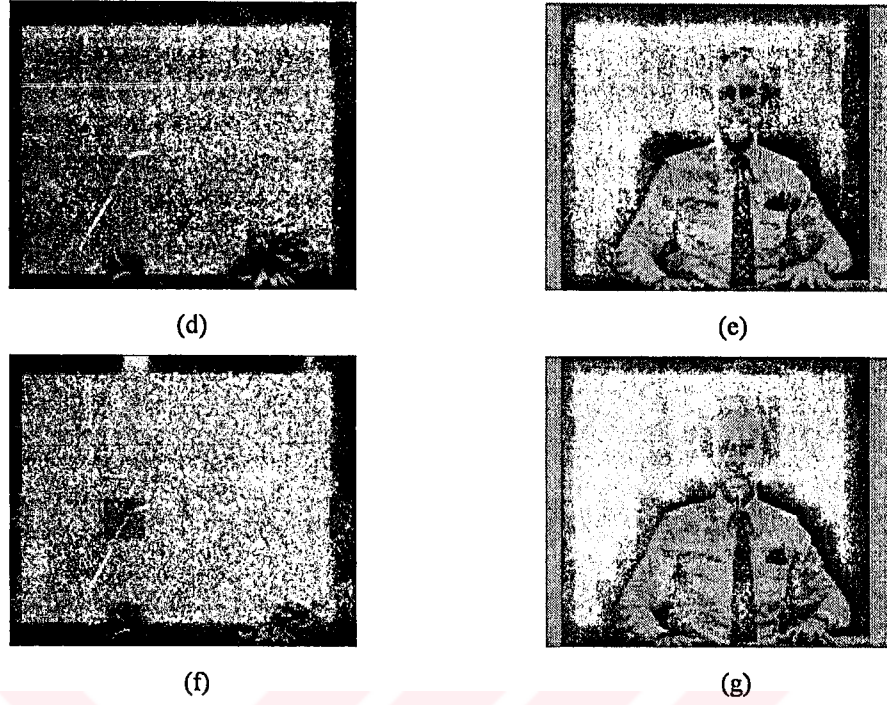
(a)



(b)



(c)



Şekil 6.13. (a) Orjinal Trevor21 görüntüsü (b) Orjinal Trevor22 görüntüsü
 (c) Trevor22-Trevor21 görüntü farkı
 (d) Alt bandlarına ayrılmadan PCM kodlanarak elde edilmiş görüntü farkı (5 bit/pixel)
 (e) Elde edilen görüntü farkı ile Trev21'in toplamı
 (f) Alt bandlarına ayrılarak PCM kodlanmış ve yeniden elde edilmiş görüntü farkı (2.25 bit/pixel)
 (g) Elde edilen görüntü farkı ile Trev21'in toplamı

6.2.2. ALT BAND VIDEO GÖRÜNTÜLERİNİN DPCM KODLAMA BENZETİMİ

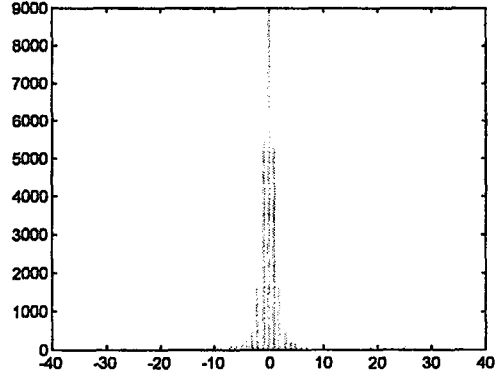
Fark görüntüsü alt bandlarının DPCM metoduyla kodlanması için bölüm 6.1.2'de anlatılan öngörüm algoritması ve eşitlikler kullanılmıştır. Bu algoritmanın uygulanması sonucu, orjinal ve her bir alt band öngörüm yanığı sinyali için elde edilen en küçük ve en büyük piksel değerleri ve piksel histogramları aşağıdaki gibidir.

	Trev 02-01	Claire 02-01	Miss 02-01
min.	-38	-46	-24
max.	40	59	27

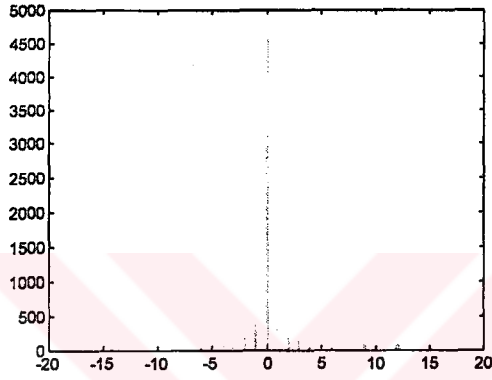
Çizelge 6.16. Alt bandlarına ayrılmamış, fark görüntüsü öngörüm yanığı sinyallerinin en küçük ve en büyük piksel değerleri

	Trev 02-01				Claire 02-01				Miss 02-01			
	LL	LH	HL	HH	LL	LH	HL	HH	LL	LH	HL	HH
min	-20	-12	-22	-10	-48	-13	-29	-10	-13	-11	-11	-10
max	13	11	20	9	42	13	38	9	14	13	13	9

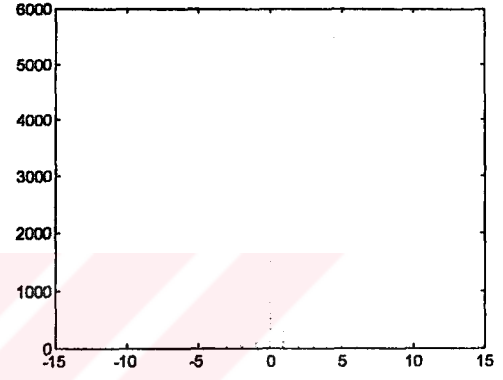
Çizelge 6.17. Alt bandlarına ayrılmış, fark görüntüsü öngörüm yanığı sinyallerinin en küçük ve en büyük piksel değerleri



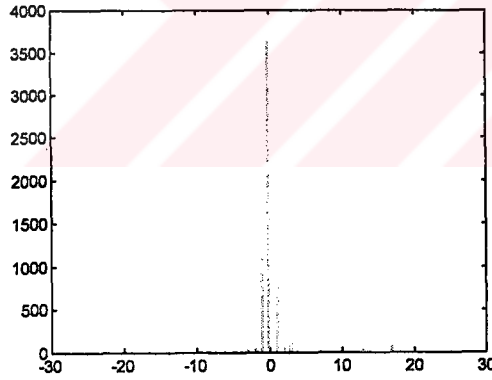
(a)



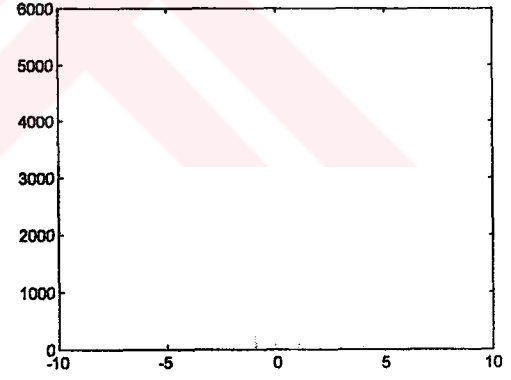
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 6.14. Trev 02-01 fark görüntüsü için elde edilen öngörüm yanılı sinyel seviyesi histogramları
(a)Orjinal (b)LL (c)LH (d)HL (e)HH

Bu tablo ve histogramlar incelenerek aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

-DPCM'de elde edilen sinyaller, PCM'e göre sıfır etrafında daha fazla yoğunlaşmaktadır.

-Alt band piksel aralıkları orjinale oranla daha da dardır.

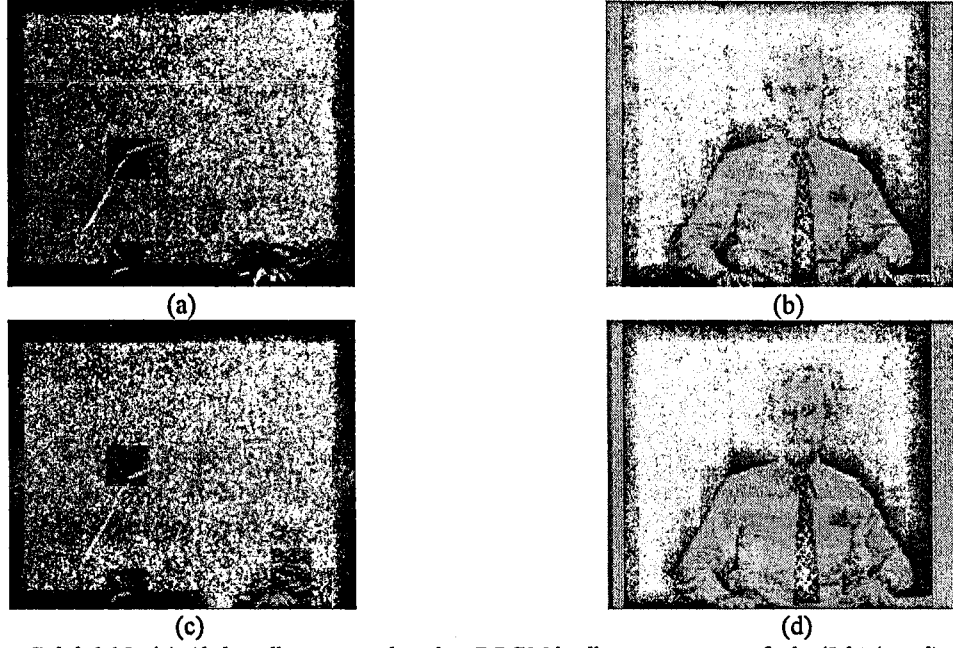
Bu sonuçlara göre DPCM sonrası yapılacak Huffman veya uzunluk kodlamasının, PCM sonrası yapılacak kodlamaya göre daha da verimli olacağı tesbit edilmiştir. Bu sonuçlara göre belirlenen eşik seviyelerinde gerçekleştirilen kodlamaya göre aşağıdaki sonuç ve görüntüler elde edilmiştir.

Eşik	Nic. Sev.	Trev 02-01	Claire 02-01	Miss 02-01
		SNR (dB)	SNR (dB)	SNR (dB)
64	64	59.40	59.44	58.93
64	32	49.97	49.94	50.06
64	16	47.59	48.74	46.63
64	8	44.91	46.65	44.47
64	4	39.89	37.75	39.94
64	2	32.26	32.80	38.77

Çizelge 6.18. Alt bandlarına ayrılmamış ve DPCM kodlanmış fark görüntüsünün değişik nicemleme seviyelerindeki sinyal/gürültü oranları

Band	Trev 02-01						Claire 02-01					
	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)
LL	16	16	61.60	16	8	52.98	16	16	45.41	16	8	44.49
LH	16	8	54.18	16	4	50.40	16	8	54.29	16	4	52.92
HL	32	16	49.78	32	8	48.09	32	16	55.68	32	8	51.21
HH	8	4	55.01	8	2	50.56	8	4	51.86	8	2	51.73
Top.			44.71			42.60			42.89			41.85
Band	Miss 02-01											
	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)	Eşik	Nic. Sev.	SNR (dB)						
LL	16	16	62.80	16	8	51.05						
LH	16	8	54.36	16	4	50.95						
HL	32	16	55.04	32	8	53.36						
HH	8	4	50.95	8	2	47.84						
Top.			44.33			42.34						

Çizelge 6.19. Alt bandlarına ayrılmış ve DPCM kodlanmış fark görüntüsünün değişik nicemleme seviyelerindeki sinyal/gürültü oranları



Şekil 6.15. (a) Alt bandlarına ayrılmadan DPCM kodlanmış görüntü farkı (5 bit/pixel)
 (b) Elde edilen fark görüntüsü ile Trev21'in toplamı
 (c) Alt bandlarına ayrılarak DPCM kodlanan fark görüntüsü (1.5 bit/pixel)
 (d) Elde edilen fark görüntüsü ile Trev21'in toplamı

6.2.3. PCM VE DPCM PROGRAM BENZETİM SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bölüm 6.2.1 ve 6.2.2'de elde edilen sonuçlar çizelge 6.20'de görüldüğü gibi birleştirilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

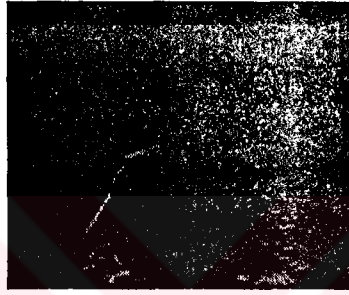
-Çalışmanın başlangıcında görüntü (image) sinyallerinde olduğu gibi fark görüntüsünün en düşük bandı için de DPCM'in SNR açısından avantajlı olacağı beklenmesine rağmen, PCM'in daha az bozulmaya yol açtığı tesbit edilmiştir. Bu sonuca fark sinyali alt band piksellerinin çok az ilişkili olmaları ve öngörüm belirleme algoritmasının fark sinyallerinde verimli bir öngörüm yapamaması neden olmaktadır.

-DPCM kodlamanın bozulma açısından bir miktar dezavantajlı olmasına rağmen, DPCM kodlama sonrası yapılacak uzunluk kodlama, PCM sonrası yapılacak uzunluk kodlamaya göre daha verimli olacaktır.

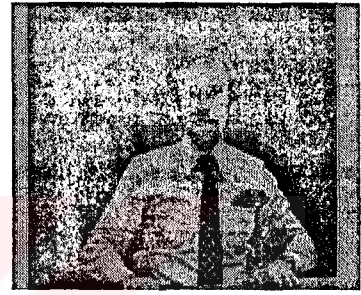
Bu sonuçlar dikkate alınarak görüntü sinyallerinde olduğu gibi fark sinyallerinde de en düşük band için DPCM, diğer bandlar için PCM metodunun uygulanmasının, hem sıkıştırma açısından hem de bozulma açısından verimli sonuçlar vereceği belirlenmiştir. Bu sonuçların uygulaması olarak gerçekleştirilen görüntüler şekil 6.16'daki gibidir.

Kodlama Türü	Trev 02-01					Claire 02-01				
	LL (dB)	LH (dB)	HL (dB)	HH (dB)	Toplam	LL (dB)	LH (dB)	HL (dB)	HH (dB)	Toplam
PCM	62.91	68.16	67.45	74.59	47.66	61.13	67.60	61.23	72.59	48.69
DPCM	61.60	54.18	49.78	55.01	44.71	45.41	54.29	55.68	51.86	42.89
	Miss 02-01									
	LL (dB)	LH (dB)	HL (dB)	HH (dB)	Toplam					
PCM	63.07	67.95	69.09	73.93	46.48					
DPCM	62.80	54.36	55.04	50.95	44.33					

Çizelge 6.20. Alt bandlarına ayrılmış PCM ve DPCM kodlanmış video görüntülerinin, bandlara göre sinyal/gürültü oranlarının karşılaştırılması



(a)



(b)

Şekil 6.16. (a) LL bandı DPCM, diğer bandları PCM kodlanmış fark görüntüsü (2 bit/pixel)
(b) Elde edilen fark görüntüsü ile Trevor21'in toplamı

6.2.4. ALT BAND VIDEO GÖRÜNTÜLERİNİN DCT KODLAMA BENZETİMİ

Görüntü fark sinyalleri ve alt bandlarının kodlanmasında ayrık kosinüs dönüşüm kodlamasının etkilerini incelemek amacıyla görüntü sinyallerinde olduğu gibi alt bandların 8x8'lik bloklar halinde ayrık kosinüs dönüşümleri alınmış, elde edilen verilerin W_{ij} matrisi (çizelge 6.11) ile ağırlıkları alınarak yuvarlamaları gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca her bir band sırasıyla ($ak_{ll}=0.4$, $ak_{lh}=0.66$, $ak_{hl}=0.5$, $ak_{hh}=1$) aktivite katsayılarıyla çarpılarak ikinci bir ağırlık alma uygulanmıştır. Bu işlemler sonucunda elde edilen DCT katsayı grafikleri, orjinal ve alt band görüntüleri için şekil 6.17'deki gibi elde edilmiştir.

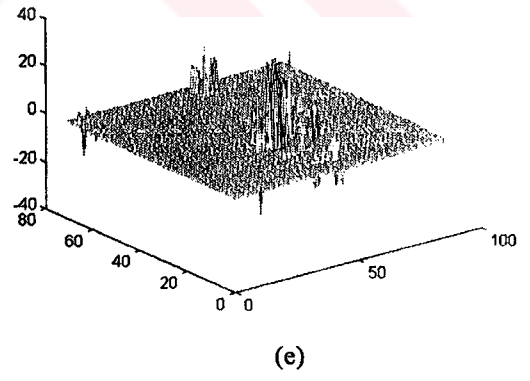
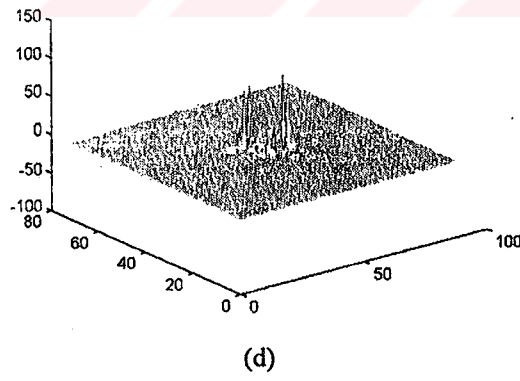
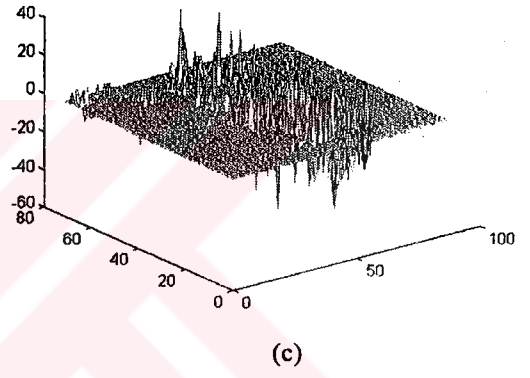
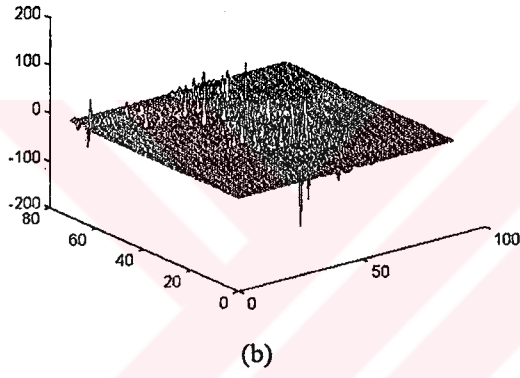
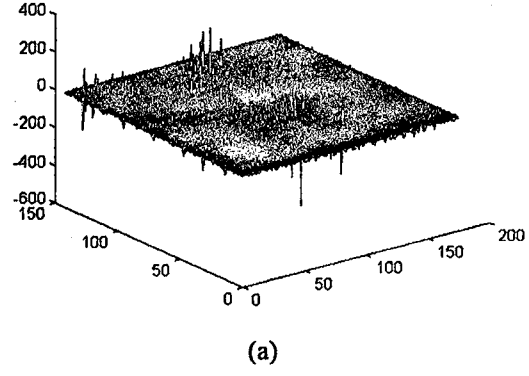
Elde edilen bu katsayılar zig-zag taranarak kodlanmış ve iletme hazır hale getirilmiştir. Alıcıda kod çözülüp ters zig-zag taranan fark görüntüleri $1/ak$ aktivite

katsayıları ve $1/w_{ij}$ matrisi ile çarpılmış ve ters ayırık kosinüs dönüşümleri alınarak orjinal giriş sinyali elde edilmeye çalışılmıştır.

Bu grafiklerde de görüldüğü gibi alt band DCT katsayıları (özellikle yüksek geçiren bandlar) orjinalle oranla daha küçük genlikli DC ve AC katsayılarına sahiptirler. Bununla beraber yüksek bandlarda (LH, HL, HH) ortaya çıkan sıfır miktarı, orjinal sinyale oranla daha fazladır ve bu sayı yüksek frekanslara çıkıldıkça daha da artmaktadır. Bu yüksek frekanslı bandların kenar bilgileri ve büyük miktarda sıfır biti içermesinin bir sonucudur.

Tüm bu sonuçlar dikkate alınarak, orjinal ve alt band sinyali DCT katsayıları Huffmann kodlandığında; alt bandlarına ayrılarak DCT kodlanmış sinyal, orjinal sinyale oranla daha fazla sıkıştırılmış olur.





Şekil 6.17. Fark görüntüsü (Trevor02-01) orjinal ve alt band DCT katsayı grafikleri
(a) Orjinal (b) LL (c) LH (d) HL (e) HH

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada görüntü ve video sinyallerinin alt band kodlama metoduyla kodlanması incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde değerlendirilmiştir.

Gerek görüntü, gerek video sinyallerinin alt band kodlanması, sinyallerin alt bandlarına ayrılmadan kodlanmasına göre, artıklıklardan daha büyük oranlarda yararlanmaya imkan sağlamıştır.

Alt bandlarına ayrılan sinyaller, yüksek frekanslı bandlarında oldukça uzun ve fazla sıfır dizileri bulundurlar. Bu durum yüksek frekanslı alt band sinyallerinin daha verimli bir şekilde kodlanmasına imkan verir.

Bölüm 6'da elde edilen tablo ve histogramlarda görüldüğü gibi; görüntü alt bandları orjinal oranla daha dar pixel aralıklarına sahiptirler ve bu aralıklar yüksek bandlarda daha da daralmaktadır. Aynı durum DCT katsayıları içinde geçerlidir (Şekil 6.11 ve 6.17). Bununla beraber alçak geçiren band (LL) dışındaki diğer bandlarda aynı seviyeye sahip piksel değerleri sıfır etrafında yoğunlaşmakta, sıfırdan uzaklaştıkça hızlı bir şekilde azalmaktadır. Bu sonuçlara bağlı olarak görüntü ve video sinyalleri dar aralıklarda, daha hassas ve daha az bitle kodlanmışlardır.

Her bir alt band birbirinden bağımsız işlenebildiği için; özellikleri ve sinyalin kullanım amaçları dikkate alınarak farklı yöntemlerle kodlanabilir.

Bu yöntemlerin belirlenmesi konusunda görüntü sinyalleri üzerinde yapılan çalışmada en düşük band (LL) için DPCM, diğer bandlar için PCM kodlama yöntemi optimum olarak belirlenmiştir (Çizelge 6.10). Bu sonuca PCM ve DPCM arasında yapılan bir karşılaştırma sonucu ulaşılmıştır. Bu yöntemler arasına DCT kodlama dahil edildiğinde ise; en düşük bandın DCT, yüksek bandların PCM, ara bandların ise DPCM kodlanmasının uygun olduğu belirlenmiştir.

Görüntü farkı (video) alt band sinyalleri için yapılan çalışmada ise; en düşük band ve diğer bandlar için DPCM'in bozulma açısından verimli olmadığı, yani eşit bit miktarları için DPCM'in PCM'e göre daha fazla bozulmaya yol açtığı belirlenmiştir (Çizelge 6.20). Ancak DPCM kodlama yönteminin kendisinden sonra yapılacak Huffman, Uzunluk v.b. kodlamalara sıkıştırma açısından daha fazla imkan sağlayacağı belirlenerek, video görüntülerinde de en düşük band için DPCM, diğer bandlar için PCM kodlama yöntemleri uygun görülmüştür. Alt bandların dörtten fazla olması ve

DCT kodlamanında sisteme dahil edilmesi durumunda da, en düşük band için DCT, yüksek bandlar için DPCM, ara bandlar için de PCM kodlamanın verimli olacağı belirlenmiştir.

DPCM kodlamanın fark sinyalleri ve yüksek bantlı sinyaller için verimli sonuçlar vermemesinin nedeni üzerinde yapılan çalışmada, sinyaldeki görüntü elemanlarının ani olarak değişimi ve buna uygun öngörüm algoritmasının belirlenemeyişi sebep olarak tesbit edilmiştir.

PCM ve DPCM sonrası yapılacak kodlama uygulamaları için ise; hem görüntü hem de fark sinyalleri için, alçak geçiren band da Huffman, diğer bandlarda uzunluk kodlamanın daha verimli sonuçlar vereceği belirlenmiştir. Bu sonuca alçak geçiren bandın genel parlaklık bilgilerini, diğer bandların uzun sıfır dizilerini içeren kenar bilgilerini bulundurduğu dikkate alınarak ulaşılmıştır.

Bu bilgiler ışığında yapılan çalışmada elde edilen genel sıkıştırma miktarları ise şu şekildedir:

TEK GÖRÜNTÜ İÇİN (LENA)		
ALT BANDLARINA AYRILMADAN		
Kodlama Türü	Bit oranı (bit/pix.)	SNR (dB)
PCM+Uzunluk Kodlama	5 bit/pixel	40.72
DPCM+Uzunluk Kodlama	4.75 bit/pixel	40.87
ALT BANDLARINA AYRILARAK		
LL : DPCM; LH, HL, HH :PCM+Uzunluk Kod.	3.54 bit/pixel	38 dB
FARK GÖRÜNTÜSÜ İÇİN (TREVOR)		
ALT BANDLARINA AYRILMADAN		
PCM+Uzunluk Kodlama	1.1 bit/pixel	45 dB
DPCM+Uzunluk Kodlama	1.32 bit/pixel	44.38 dB
ALT BANDLARINA AYRILARAK		
LL : DPCM; LH, HL, HH :PCM+Uzunluk Kod.	1.03 bit/pixel	43.75 dB
LL : PCM; LH, HL, HH :PCM+Uzunluk Kod.	0.875	44.22 dB

Çizelge 6.21. Çalışmada elde edilen sonuçlar

Bu sonuçlar dikkate alınarak, yapılacak kodlama uygulamalarında;

-Tek görüntü için; alçak geçiren bandda (LL) DPCM, diğer bandlarda PCM,

-Fark görüntüsü için tüm bandlarda PCM kodlamanın daha verimli olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Kaynakça

- [1] E.R. Kretzmer, "Reduced-Alphabet Representation of Television Signals", IRE Convention Rec., Vol.4, pp.140-147, 1956
- [2] W.F. Schreiber, C.F. Knapp and N.D. Kay, "Synthetic Highs, An Experimental TV Bandwidth Reduction Systems", J.SMPTE, Vol.68, pp.525-537, Aug.1959.
- [3] D. Esteban and C. Galand, "Application of Quadrature Mirror Filters to Split Band Voice Coding Schemes", in Proc. ICASSP, May 1997, pp.191-195.
- [4] R.E. Crochiere, S.A. Webber and J.L. Flanagan, "Digital Coding of Speech in Subbands", Bell. Syst. Tech. J., Vol.55, pp.1069-1085, Oct.1976
- [5] M. Vetterli, "Multi Dimensional Subband Coding: Some Theory and Algorithms", Signal Processing, Vol.6, pp.97-112, Apr.1984
- [6] J.W. Woods and S.D. O'Neil "Subband Coding of Images", IEEE Trans. ASSP, Vol.34, No.5, pp.1278-1288, October 1986.
- [7] H. Gharavi and A. Tabatabai, "Subband Coding of Digital Images Using Two-Dimensional Quadrature Mirror Filtering", Proc.SPIE, Vol.707, September 1986, pp.51,61
- [8] H. Gharavi and A. Tabatabai "Subband Coding of Monochrome and Color Images" IEEE Trans. on Circuits and Systems, Vol.35, february 1988, pp.207-214.
- [9] A.N. Akansu, R.A. Haddad, "Multirate Signal Decomposition" Academic Press. Inc.1992
- [10] H.M. Musmann, P. Pirsh, H.J. Gravoert "Advances in Picture Coding" Proc. IEEE, Vol.73, April 1985 , pp. 523-548.
- [11] P.H. Westerink, J. Biemond, D.E. Boekee, "Subband Coding of Color Images" in Subband Image Coding, Chap.5, Kluwer Academic Publishers, 1991-Edited by J.W. Woods.
- [12] H. Gharavi "Subband Coding of Video Signals" in Subband Image Coding, Chap.6, Kluwer Academic Publishers, 1991-Edited by J.W. Woods.
- [13] D. LeGall, A. Tabatabai, "Subband Coding of Digital Images Using Symmetric Short Kernel Filters and Arithmetic Coding Techniques", Proc. ICASSP 87, vol.3, pp. 1378-1381.

- [14] M. Z. Ünlü, M. Yılmaz, "Alt Bandlarına Ayrılmış Video Sinyalleri İçin Optimum Kodlama Yöntemlerinin Araştırılması", Sinyal İşleme ve Uygulamaları Konferansı-SİU'97, Bildiriler Kitabı, Vol. 2, pp. 639
- [15] J. S. LIM, "Two Dimensional Signal and Image Processing", PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990
- [16] J. A. Storer, "Image and Text Compressing", Kluwer Academic Publishers, Boston, 1992
- [17] L. Vandendorpe, "Optimized Quantization for Image Subband Coding", Image Communication, 4,1991
- [18] Y. Wang, V. Ramamoorthy, "Image Reconstruction from Partial Subband Images and It's Application in Packet Video Transmission", Image Communication, 3.1991
- [19] D. E. Chaouki, " Error-Free Image Decomposition-Reconstruction for Subband Coding Schemes", Image Communication, 2.1990
- [20] M. J. T. Smith, S. L. Eddins "Analysis-Synthesis Techniques for Subband Image Coding" Aug, 1990
- [21] P. L. CHU,"QUADRATURE MIRROR FILTER DESIGN", IEEE ASSP MAGAZINE, FEB.1985



EKLER

Tek.m

%Bu program tek görüntünün PCM, DPCM ve DCT Kodlanması işlemlerini
%gerçekleştirir.

```
[g,map]=gifread('c:\goruntu\gif\lena');
```

```
colormap(map);
```

```
image(g);
```

```
title('ORJINAL GORUNTU');
```

```
pause(1);
```

```
kod=input('Kodlamada PCM için 1,DPCM için 2, DCT için 3 giriniz. ');
```

```
[m,n]=size(g);
```

```
if kod == 1
```

```
    [iletilen,yeni]=pcm(g);
```

```
elseif kod == 2
```

```
    [iletilen,yeni,ilk]=dpcm(g);
```

```
elseif kod == 3
```

```
    [iletilen,yeni]=dctislem(g);
```

```
    else
```

```
        Aciklama='1.2 veya 3 giriniz';
```

```
    end
```

```
end
```

```
end
```

```
snrdb=snr(g,yeni)
```

```
colormap(map);
```

```
image(yeni);
```

```
title('TEKRAR ELDE EDILEN GORUNTU');
```

```
end
```

Tekaltband.m

%Bu program tek görüntüyü alt bandlarına ayırarak PCM, DPCM ve %DCT kodlar.

```
load c:\matlab\filtre\johnc16\hl.mat -ascii
```

```
load c:\matlab\filtre\johnc16\hh.mat -ascii
```

```
load c:\matlab\filtre\johnc16\gl.mat -ascii
```

```
load c:\matlab\filtre\johnc16\gh.mat -ascii
```

```
[y,map]=gifread('c:\goruntu\gif\lena');
```

```
colormap(map);
```

```
image(y);
```

```
title('ORJINAL GORUNTU');
```

```
pause(1);
```

```
kodll=input('Low Low bölgenin kodlanmasında PCM için 1,DPCM için 2, DCT için 3 giriniz. ');
```

```
kodlh=input('Low High bölgenin kodlanmasında PCM için 1,DPCM için 2, DCT için 3 giriniz. ');
```

```
kodhl=input('High Low bölgenin kodlanmasında PCM için 1,DPCM için 2, DCT için 3 giriniz. ');
```

```
kodhh=input('High High bölgenin kodlanmasında PCM için 1,DPCM için 2, DCT için 3 giriniz. ');
```

```
[m,n]=size(y);
```

```
k=size(hl)/2;
```

```
for i=1:k,
```

```
for j=1:k,
```

```
g(i,j)=0;
```

```
end
```

```
end;
```

```
for i=1:m,
```

```
for j=1:n,
```

```
g(i+8,j+8)=y(i,j);
```

```
end
```

```
end;
```

```
[all,allde]=decim(g,hl,hl);
```

```
if kodll == 1
```

```
[iletilenll,alldeq]=pcm(allde);
```

```
elseif kodll == 2
```

```
    [iletilenll,alldeq,ilkl]=dpcm(allde);
```

```
    elseif kodll == 3
```

```
        [iletilenll,alldeq]=dctislem(allde);
```

```
        else
```

```
            Aciklama='1.2 veya 3 giriniz';
```

```
        end
```

```
    end
```

```
end
```

```
snrll=snr(allde,alldeq)
```

```
[allin,sll]=interp(alldeq,gl,gl);
```

```
colormap(map);
```

```

image(all);
title('ANALIZ SUZGEC (LOW-LOW) CIKIS GORUNTUSU');
pause(1);
colormap(map);
image(sll);
title('SENTEZ SUZGEC (LOW-LOW) CIKIS GORUNTUSU');
pause(1);
[alh,alhde]=decim(g,hl,hh);
if kodlh == 1
[iletlenlh,alhdeq]=pcm(alhde);
elseif kodlh == 2
    [iletlenlh,alhdeq,ilklh]=dpcm(alhde);
    elseif kodlh == 3
        [iletlenlh,alhdeq]=dctislem(alhde);
        else
            Aciklama='1.2 veya 3 giriniz';
        end
    end
end
snrlh=snr(alhde,alhdeq)
[alhin,slh]=interp(alhdeq,gl,gh);
colormap(map);
image(alh);
title('ANALIZ SUZGEC (LOW-HIGH) CIKIS GORUNTUSU');
pause(1);
colormap(map);
image(slh);
title('SENTEZ SUZGEC (LOW-HIGH) CIKIS GORUNTUSU');
pause(1);
[ahl,ahlde]=decim(g,hh,hl);
if kodhl == 1
[iletlenhl,ahldeq]=pcm(ahlde);
elseif kodhl == 2
    [iletlenhl,ahldeq,ilklh]=dpcm(ahlde);
    elseif kodhl == 3
        [iletlenhl,ahldeq]=dctislem(ahlde);
        else
            Aciklama='1.2 veya 3 giriniz';
        end
    end
end
snrhl=snr(ahlde,ahldeq)
[ahlin,shl]=interp(ahldeq,gh,gl);
colormap(map);
image(ahl);
title('ANALIZ SUZGEC (HIGH-LOW) CIKIS GORUNTUSU');
pause(1);

```

```

colormap(map);
image(shl);
title('SENTEZ SUZGEC (HIGH-LOW) CIKIS GORUNTUSU');
pause(1);
[ahh,ahhde]=decim(g,hh,hh);
if kodhh ==1
[iletilenhh,ahhdeq]=pcm(ahhde);
elseif kodhh == 2
[iletilenhh,ahhdeq,ilkhh]=dpcm(ahhde);
elseif kodhh == 3
[iletilenhh,ahhdeq]=dctislem(ahhde);
else
Aciklama='1.2 veya 3 giriniz';
end
end
end
snrhh=snr(ahhde,ahhdeq)
[ahhin,shh]=interp(ahhdeq,gh,gh);
colormap(map);
image(ahh);
title('ANALIZ SUZGEC (HIGH-HIGH) CIKIS GORUNTUSU');
pause(1);
colormap(map);
image(shh);
title('SENTEZ SUZGEC (HIGH-HIGH) CIKIS GORUNTUSU');
pause(1);
z1=sll+slh+shl+shh;
t=z1((2*k+1):(2*k+m),(2*k+1):(2*k+n));
for i=1:m,
for j=1:n,
if t(i,j)>256
t(i,j)=256;
else
t(i,j)=t(i,j);
end;
end;
end;
snrdb=snr(y,t)
colormap(map);
image(t);
title('TEKRAR ELDE EDILEN TOPLAM GORUNTU');
pause(1);
colormap(map);
subplot(2,1,1),subimage(y);
title('ORJINAL GORUNTU');
colormap(map);
subplot(2,1,2),subimage(t);

```

```
title('TEKRAR ELDE EDILEN TOPLAM GORUNTU');  
colormap(map);  
for i=1:256  
for j=1:256  
if t(i,j) <= 0  
t(i,j) =0.001;  
else  
t(i,j)=t(i,j);  
end  
end  
end  
%gifwrite(t,map,'c:\b\6');  
end
```



Tekfark.m

%Bu program fark görüntüsünün PCM, DPCM ve DCT kodlanması işlemlerini
%gerçekleştirir.

```
[g1,map]=gifread('c:\goruntu\gif\trev21');
[g2,map]=gifread('c:\goruntu\gif\trev22');
g=g2-g1;
colormap(map);
image(g);
title('ORJINAL GORUNTU');
pause(1);
kod=input('Kodlamada PCM için 1,DPCM için 2, DCT için 3 giriniz. ');
[m,n]=size(g);
if kod ==1
[iletilen,yeni]=pcm(g);
elseif kod == 2
    [iletilen,yeni,ilk]=dpcm(g);
    elseif kod == 3
        [iletilen,yeni]=dctislem(g);
        else
            Aciklama='1.2 veya 3 giriniz';
        end
    end
end
end

snrdb=snr(g,yeni)
colormap(map);
image(yeni+g1);
title('TEKRAR ELDE EDILEN GORUNTU');
for i=1:144
for j=1:176
if yeni(i,j) <= 0
yeni(i,j) =0.001;
else
yeni(i,j)=yeni(i,j);
end
end
end
end
gifwrite((2*yeni),map,'c:\b\14');
gifwrite((yeni+g1),map,'c:\b\15');
end
```

Farkaltband.m

%Bu program fark görüntüsünün PCM, DPCM ve DCT kodlanması işlemlerini

%gerçekleştirir.

load c:\matlab\filtre\johnc16\hl.mat -ascii

load c:\matlab\filtre\johnc16\hh.mat -ascii

load c:\matlab\filtre\johnc16\gl.mat -ascii

load c:\matlab\filtre\johnc16\gh.mat -ascii

[g1,map]=gifread('c:\goruntu\gif\trev21');

colormap(map);

image(g1);

title('1. ORJINAL GORUNTU');

pause(1);

[m,n]=size(g1);

k=size(hl)/2;

[g2,map]=gifread('c:\goruntu\gif\trev22');

colormap(map);

image(g2);

title('2. ORJINAL GORUNTU');

pause(1);

kodll=input('Low Low bölgenin kodlanmasında PCM için 1,DPCM için 2, DCT için 3 giriniz. ');

kodlh=input('Low High bölgenin kodlanmasında PCM için 1,DPCM için 2, DCT için 3 giriniz. ');

kodhl=input('High Low bölgenin kodlanmasında PCM için 1,DPCM için 2, DCT için 3 giriniz. ');

kodhh=input('High High bölgenin kodlanmasında PCM için 1,DPCM için 2, DCT için 3 giriniz. ');

y=g2-g1;

for i=1:k,

for j=1:k,

g(i,j)=0;

end

end;

for i=1:m,

for j=1:n,

g(i+8,j+8)=y(i,j);

end

end;

colormap(map);

image(g);

title('ORJINAL FARK GORUNTUSU (2-1)');

pause(1);

[all,allde]=decim(g,hl,hl);

if kodll == 1

[iletilenll,alldeq]=pcm(allde);

elseif kodll == 2

[iletilenll,alldeq,ilkl]=dpcm(allde);

```

elseif kodll == 3
[iletilenll,alldeq]=dctislem(allde);
    else
    Aciklama='1.2 veya 3 giriniz';
    end
end
end
snrll=snr(allde,alldeq)
[allin,sll]=interp(alldeq,gl,gl);
colormap(map);
image(all);
title('ANALIZ SUZGEC (LOW-LOW) CIKIS GORUNTUSU');
pause(1);
colormap(map);
image(sll);
title('SENTEZ SUZGEC (LOW-LOW) CIKIS GORUNTUSU');
pause(1);
[alh,alhde]=decim(g,h1,hh);
if kodlh == 1
[iletilenlh,alhdeq]=pcm(alhde);
elseif kodlh == 2
    [iletilenlh,alhdeq,ilklh]=dpcm(alhde);
    elseif kodlh == 3
    [iletilenlh,alhdeq]=dctislem(alhde);
    else
    Aciklama='1.2 veya 3 giriniz';
    end
end
end
snrlh=snr(alhde,alhdeq)
[alhin,slh]=interp(alhdeq,gl,gh);
colormap(map);
image(alh);
title('ANALIZ SUZGEC (LOW-HIGH) CIKIS GORUNTUSU');
pause(1);
colormap(map);
image(slh);
title('SENTEZ SUZGEC (LOW-HIGH) CIKIS GORUNTUSU');
pause(1);
[ahl,ahlde]=decim(g,hh,h1);
if kodhl == 1
[iletilenhl,ahldeq]=pcm(ahlde);
elseif kodhl == 2
    [iletilenhl,ahldeq,ilkhl]=dpcm(ahlde);
    elseif kodhl == 3
    [iletilenhl,ahldeq]=dctislem(ahlde);
    else

```

```

        Aciklama='1.2 veya 3 giriniz';
    end
end
end
snrhl=snr(ahlde,ahldeq)
[ahlin,shl]=interp(ahldeq,gh,gl);
colormap(map);
image(ahl);
title('ANALIZ SUZGEC (HIGH-LOW) CIKIS GORUNTUSU');
pause(1);
colormap(map);
image(shl);
title('SENTEZ SUZGEC (HIGH-LOW) CIKIS GORUNTUSU');
pause(1);
[ahh,ahhde]=decim(g,hh,hh);
if kodhh == 1
[iletlenhh,ahhdeq]=pcm(ahhde);
elseif kodhh == 2
    [iletlenhh,ahhdeq,ilkhk]=dpcm(ahhde);
elseif kodhh == 3
    [iletlenhh,ahhdeq]=dctislem(ahhde);
    else
        Aciklama='1.2 veya 3 giriniz';
    end
end
end
snrhh=snr(ahhde,ahhdeq)
[ahhin,shh]=interp(ahhdeq,gh,gh);
colormap(map);
image(ahh);
title('ANALIZ SUZGEC (HIGH-HIGH) CIKIS GORUNTUSU');
pause(1);
colormap(map);
image(shh);
title('SENTEZ SUZGEC (HIGH-HIGH) CIKIS GORUNTUSU');
pause(1);
z1=sll+slh+shl+shh;
colormap(map);
image(z1);
title('TEKRAR ELDE EDILEN TOPLAM FARK GORUNTUSU');
pause(1);
z=z1((2*k+1):((2*k)+m),(2*k+1):((2*k)+n));
t=z+g1;
for i=1:m,
for j=1:n,
if t(i,j)>256
    t(i,j)=256;

```

```

else
    t(i,j)=t(i,j);
end;
end;
end;
snrdb=snr(g2,t)
colormap(map);
image(t);
title('TEKRAR ELDE EDILEN TOPLAM GORUNTU');
pause(1);
colormap(map);
subplot(2,1,1),subimage(g2);
title('ORJINAL GORUNTU');
colormap(map);
subplot(2,1,2),subimage(t);
title('TEKRAR ELDE EDILEN TOPLAM GORUNTU');
colormap(map);

for i=1:144
for j=1:176
if t(i,j) <= 0
t(i,j) =0.001;
else
t(i,j)=t(i,j);
end
end
end
gifwrite(t,map,'c:\b\19');
for i=1:144
for j=1:176
if z(i,j) <= 0
z(i,j) =0.001;
else
z(i,j)=z(i,j);
end
end
end
gifwrite((2*z),map,'c:\b\18');
% gifwrite(t,map,'c:\goruntu\gif\ycl02');
end

```

%Aşağıdaki programlar DCT kodlama ve dekodlama işlemlerini yapar.

dctislem.m

```
function [ilet,yeni] = dctislem(idata)
ak=input('Aktivite katsayısını giriniz. ');
x=idata;
[ilet]=blkproc(x,[8 8],'dctis',ak);
[yeni]=blkproc(ilet,[8 8],'idctis',ak);
end
```

dctis.m

```
function [ileti] = dctis(idata,ak)
x=idata;
c=blkproc(x,[8 8],'dct2');
load w.mat -ascii;
ile=c.*w;
ilet=round(ile*ak);
[sa,su]=size(ilet);
for i=1:sa,
for j=1:su,
if abs(ilet(i,j)) < 5
ilet(i,j)=0;
else
ilet(i,j)=ilet(i,j);
end
end
end
ileti=vektor(ilet);
end
```

idctis.m

```
function [yeni] = idctis(idata,ak)
y=idata;
x=tvektor(y);
load w.mat -ascii;
for i=1:8,
for j=1:8,
wt(i,j)=1/w(i,j);
end
end
x=x*(1/ak);
c=x.*wt;
yeni=blkproc(c,[8 8],'idct2');
end
```

decim.m

%Bu alt program örnek seyreltme işlemi yapar.

```
function [akon,de]=decim(go,fa1,fa2)
fa2d=fa1*fa2';
[satr,sutn]=size(go);
sat=satr+7;
sut=sutn+7;
akon1=conv2(go,fa2d);
akon=akon1(16:sat,16:sut);
[sa,su]=size(akon);
for i=1:(sa/2),
for j=1:(su/2),
de(i,j)=akon(2*i,2*j);
if abs(de(i,j)) <= 2
de(i,j)=0;
else
de(i,j)=de(i,j);
end
end
end
end;
end;
```

interp.m

%Bu program aradeğerleme işlemi yapar.

```
function [in,skon]=interp(go,fs1,fs2)
fs2d=4*(fs1*fs2');
[sa,su]=size(go);
for i=2:2:(sa*2),
for j=2:2:(su*2),
in(i,j)=go(i/2,j/2);
in(i-1,j-1)=0;
end
end;
for i=1:8,
for j=1:8,
in1(i,j)=0;
end
end;
for i=1:(sa*2),
for j=1:(su*2),
in1(i+8,j+8)=in(i,j);
end
end;
skon=conv2(in1,fs2d);
end;
```

dpcm.m

%Bu program DPCM kodlama işlemi yapar.

```
function [farkq,qyeni,ilk]=dpcm(idata)
```

```
esik=input('Esik seviyesini giriniz.');
```

```
seviye=input('Nicemleme seviyesini giriniz.');
```

```
x=idata;
```

```
x=round(x);
```

```
ek=min(min(x));
```

```
if ek <0
```

```
ek=abs(ek);
```

```
x=x+ek;
```

```
[sat,sut]=size(x);
```

```
for i=1:sat;
```

```
for j=1:sut;
```

```
if i==1
```

```
if j==1
```

```
pre(i,j)=0;
```

```
e(i,j)=x(i,j)-pre(i,j);
```

```
[q(i,j),eq(i,j)]=dpnic(e(i,j),esik,seviye);
```

```
xq(i,j)=eq(i,j)+pre(i,j);
```

```
else
```

```
pre(i,j)=0.5*xq(i,j-1);
```

```
e(i,j)=x(i,j)-pre(i,j);
```

```
[q(i,j),eq(i,j)]=dpnic(e(i,j),esik,seviye);
```

```
xq(i,j)=eq(i,j)+pre(i,j);
```

```
end
```

```
else
```

```
if j==1
```

```
pre(i,j)=0.25*xq(i-1,j)+0.125*xq(i-1,j+1);
```

```
e(i,j)=x(i,j)-pre(i,j);
```

```
[q(i,j),eq(i,j)]=dpnic(e(i,j),esik,seviye);
```

```
xq(i,j)=eq(i,j)+pre(i,j);
```

```
else
```

```
if j==sut
```

```
pre(i,j)=0.5*xq(i,j-1)+0.125*xq(i-1,j-1)+0.25*xq(i-1,j);
```

```
e(i,j)=x(i,j)-pre(i,j);
```

```
[q(i,j),eq(i,j)]=dpnic(e(i,j),esik,seviye);
```

```
xq(i,j)=eq(i,j)+pre(i,j);
```

```
else
```

```
pre(i,j)=0.5*xq(i,j-1)+0.125*xq(i-1,j-1)+0.25*xq(i-1,j)+0.125*xq(i-1,j+1);
```

```
e(i,j)=x(i,j)-pre(i,j);
```

```
[q(i,j),eq(i,j)]=dpnic(e(i,j),esik,seviye);
```

```
xq(i,j)=eq(i,j)+pre(i,j);
```

```
end
```

```
end
```

```
end
```

```
end
```

```

end
qyeni=xq-ek;
farkq=q;
ilk=e;
else
[sat,sut]=size(x);
for i=1:sat;
for j=1:sut;
if i==1
if j==1
pre(i,j)=0;
e(i,j)=x(i,j)-pre(i,j);
[q(i,j),eq(i,j)]=dpnic(e(i,j),esik,seviye);
xq(i,j)=eq(i,j)+pre(i,j);
else
pre(i,j)=0.5*xq(i,j-1);
e(i,j)=x(i,j)-pre(i,j);
[q(i,j),eq(i,j)]=dpnic(e(i,j),esik,seviye);
xq(i,j)=eq(i,j)+pre(i,j);
end
else
if j==1
pre(i,j)=0.25*xq(i-1,j)+0.125*xq(i-1,j+1);
e(i,j)=x(i,j)-pre(i,j);
[q(i,j),eq(i,j)]=dpnic(e(i,j),esik,seviye);
xq(i,j)=eq(i,j)+pre(i,j);
else
if j==sut
pre(i,j)=0.5*xq(i,j-1)+0.125*xq(i-1,j-1)+0.25*xq(i-1,j);
e(i,j)=x(i,j)-pre(i,j);
[q(i,j),eq(i,j)]=dpnic(e(i,j),esik,seviye);
xq(i,j)=eq(i,j)+pre(i,j);
else
pre(i,j)=0.5*xq(i,j-1)+0.125*xq(i-1,j-1)+0.25*xq(i-1,j)+0.125*xq(i-1,j+1);
e(i,j)=x(i,j)-pre(i,j);
[q(i,j),eq(i,j)]=dpnic(e(i,j),esik,seviye);
xq(i,j)=eq(i,j)+pre(i,j);
end
end
end
end
end
qyeni=xq;
farkq=q;
ilk=e;
end
end

```

pcm.m

```

%Bu program PCM kodlama yapar.
function [q,dq] = linqant(idata)
esik=input('Esik seviyesini giriniz. ');
seviye=input('Nicemleme seviyesini giriniz. ');
x=idata;
[sa,su]=size(x);
for i=1:sa,
for j=1:su,
    if x(i,j) > esik
        qo(i,j)=esik;
    elseif x(i,j) < (-esik)
        qo(i,j)=(-esik);
    else
        qo(i,j)=x(i,j);
    end
end
end
end
q=seviye*qo/esik;
q=round(q);
dq=esik*q/seviye;
end

```

dpnic.m

```

%Bu program dpcm sinyalinin nicemler.
function [q,eq]=dpnic(fark,esik,seviye)
e=fark;
eq=round(e);
    if eq > esik
        eqo=esik;
    else
        if eq < (-esik)
            eqo=(-esik);
        else
            eqo=eq;
        end
    end
    q=seviye*eqo/esik;
    q=round(q);
    eq=esik*q/seviye;

```

snr.m

```

%Bu program SNR hesaplar. function [snrdb]=snr(orj,yeni)
[sat,sut]=size(orj);
s=orj-yeni;

```

```
sn=s.*s;  
toplam=0;  
for i=1:sat,  
for j=1:sut,  
toplam=toplam+sn(i,j);  
end  
end  
snrdb=-10*log10((toplam/(sat*sut*255*255)));
```



ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Ankara'da doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini sırasıyla Ankara, Afyon ve İstanbul'da tamamladı. 1990 yılında girdiği Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümünden 1994 yılı Haziran ayında Elektronik Mühendisi olarak mezun oldu.

1995 yılından beri Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

