

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İKİ BOYUTLU UYARLAMALI KAFES SÜZGEÇ
YAPILARI İLE GÜRÜLTÜ GİDERME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ahmet Atakan ALKAN**

Anabilim Dalı : Elektronik ve Haberleşme

Programı : Telekomünikasyon Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Işın ERER

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İKİ BOYUTLU UYARLAMALI KAFES SÜZGEÇ
YAPILARI İLE GÜRÜLTÜ GİDERME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Öğrenci Ahmet Atakan ALKAN
(504061301)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 01 Haziran 2009

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Işın ERER (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Serhat ŞEKER (İTÜ)
Prof. Dr. Sedef KENT (İTÜ)**

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Araştırmalarımı yönlendiren tez danışmanım Doç.Dr. Işın ERER'e, bu tezin ortaya çıkmasındaki bütün yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana hep doğru yolu çizmiş ve göstermiş olan, şevkat, sevgi ve muhabbetini daima üzerimde hissettiğim canım aileme sonsuz teşekkürler.

Haziran 2009

Ahmet Atakan ALKAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Özeti	2
1.3 Bölümlere Genel Bakış	4
2. 2-B KAFES SÜZGEÇ YAPILARI	5
2.1 2-B Levinson Algoritması.....	5
2.1.1 2-B Destek Bölgesinin Sıralanması	5
2.1.2 Yinelemeli Çözüm	7
2.2 2-B Kafes Süzgeç Yapıları.....	9
2.3 2-B Ortak-Süreç Kafes Kestirici	14
2.4 2-B Uyarlamalı LMS Kafes Yapısı	17
2.4.1 2-B Uyarlamalı Normalize LMS Kafes Yapısı	20
3. 2-B UYARLAMALI KAFES SÜZGEÇ YAPILARI	
İLE GÜRÜLTÜ GİDERME	21
3.1 Uyarlamalı Hat İyileştirici.....	21
3.2 Kafes Süzgeç Temelli Uyarlamalı Hat İyileştirici	22
3.3 Uygulama Örnekleri	25
4. 2-B UYARLAMALI KAFES SÜZGEÇ YAPILARI	
İLE BENEK GÜRÜLTÜSÜ GİDERME	33
4.1 SAR Görüntülemeye Benek Gürültüsü	33
4.2 Çarpımsal Gürültü Giderme Algoritması	35
4.3 Uygulama Örnekleri	37
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR	45

KISALTMALAR

1-D	: Bir Boyutlu
2-D	: İki Boyutlu
1-B	: Bir Boyutlu
2-B	: İki Boyutlu
ASHP	: Simetrik Olmayan Yarı düzlem
ALE	: Uyarlamalı Hat İyileştirici
FIR	: Sonlu İmpuls Cevabı
MSE	: Ortalama Karesel Hata
QP	: Çeyrek Düzlem
PSNR	: Tepe İşaret Gürültü Oranı
SAR	: Yapay Açıklıklı Radar
SNR	: İşaret-gürültü oranı
TDAL	: İki Boyutlu Uyarlamalı Kafes
TDALNC	: İki Boyutlu Uyarlamalı Kafes Gürültü Giderme
TDJPL	: İki Boyutlu Ortak-Süreç Kafes

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 : 2-B Uyarlamalı Kafes Hat İyileştiricinin Performansı (Toplamsal Gürültü)	31
Çizelge 4.1 : 2-B Uyarlamalı Kafes Hat İyileştiricinin Performansı (Çarpımsal Gürültü)	39

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Sıralı ve Yakın Komşulu dizinleme	7
Şekil 2.2 : 2-B Kafes Modülün İç Yapısı	9
Şekil 2.3 : 2-B Kafes Süzgeç Yapısı.....	10
Şekil 2.4 : 2-B Kafes Süzgeç Algoritması	12
Şekil 2.5 : 2-B Uyarlamalı Ortak-Süreç Kafes Kestirici	14
Şekil 3.1 : Uyarlamalı Hat İyileştirici Yapısı	21
Şekil 3.2 : 2-B Uyarlamalı Hat İyileştirici Yapısı	23
Şekil 3.3 : 2-B Uyarlamalı Kafes Hat İyileştirici Yapısı	24
Şekil 3.4 : Lena Uygulama Örneği SNR=10dB	27
Şekil 3.5 : Geri yönde yansıma katsayısının öğrenme eğrileri	28
Şekil 3.6 : 2-B uyarlamalı kafes hat iyileştiricinin ağırlık katsayısının yakınsama eğrisi.....	29
Şekil 3.7 : Lena Uygulama Örneği SNR=20dB	30
Şekil 4.1 : Çarpımsal gürültü için 2-B uyarlamalı kafes hat iyileştirici	36
Şekil 4.2 : 2-B Uyarlamalı Kafes Hat İyileştirici Yapısı kullanılarak çarpımsal gürültünün giderilmesi	38
Şekil 4.3 : 2-B Uyarlamalı ortak süreç kafes yapısındaki ileri ve geri yöndeki yansıma katsayısı ve ağırlık katsayısının yakınsama eğrisi	40
Şekil 4.4 : İstanbul Boğaz'ı Uygulama Örneği.....	41

2-B UYARLAMALI KAFES SÜZGEÇ YAPILARI İLE GÜRÜLTÜ GİDERME

ÖZET

Bir boyutlu uyarlamalı kafes süzgeçlerin başarısı üzerine araştırmalar iki boyutlu uyarlamalı kafes süzgeç yapılarına odaklanmıştır. Sonucunda da iki boyutlu uyarlamalı kafes süzgeç yapılarını ortak-süreç kestiricilerinde kullanılmıştır. Önceki çalışmalarda da görüldüğü üzere iki boyutlu ortak süreç kafes kestiriciler bir çok uygulamada, görüntü restorasyonu ve gürültü giderme gibi, kullanılmıştır. İki boyutlu uyarlamalı kafes algoritması (TDAL) Youal tarafından geliştirilmiştir. Youal ve arkadaşları buldukları bu algoritmayı Parker ve Kayran'ın iki boyutlu kafes yapılarında kullanmışlardır. Bu kafes yapısı, diklik prensibini esas alarak geliştirilmiştir ki bu bir boyutlu kafes yapılarının önemli bir özelliğidir. Ancak yine de her kafes katmanında sadece üç yansıma katsayısı önerildiği için her iki boyutlu özbağlanımlı data alanı doğru olarak tanımlanamamakta ve bu da bilgi kaybına neden olmaktadır. Bu hataları ortadan kaldırmak amacıyla Ertuzun, birinci kafes katından sonra iki yeni geri yönde hata alanları üreten yeni bir yapı sunmuştur. Bu yapı bir ve ikinci dereceden özbağlanımlı data alanlarını doğru olarak modelleyebilmekte fakat derece arttıkça yansıma katsayılarının yetersiz kalması sebebiyle yine aynı problemle karşı karşıya kalmaktadır. Bu problemi çözmek için Kayran ve Parker, tüm yansıma katsayılarını veren yeni bir dik, dört alanlı iki boyutlu çeyrek-düzlem kafes yapısını ortaya koymuşlardır. Daha sonra, Kayran iki boyutlu dik çeyrek-düzlem süzgeç yapısını kullanarak geliştirilmiş iki boyutlu ortak süreç kafes yapısını sunmuştur. Bu yapıda, birbirlerine dik geri yönde öngörü hata alanları ortak süreç kafes yapısının ağırlık katsayılarını bulmak için kullanılabileceği gösterilmiştir.

Bu çalışmada, iki boyutlu ortak süreç kafes yapıları (TDJPL) ve bu yapıları kullanarak görüntü restorasyonu uygulamaları incelenecektir. İki boyutlu uyarlamalı kafes algoritması (TDAL-LMS) kullanılarak her bir kafes yapısında Γ yansıma katsayısı ve w ortak-süreç kafes süzgecin ağırlık katsayıları hesaplanacaktır. Görüntü restorasyonunda iki boyutlu kafes süzgeç temelli uyarlamalı hat iyileştirici yapısı kullanılmıştır. Yapının performansını değerlendirmek için, farklı işaret-gürültü oranı değerlerinde gürültülü resim işareti kullanılmıştır. Sonuçlar bilgisayar simülasyonlarıyla verilecektir. T. Nakachi, K. Yamashita ve N. Hamada tarafından geliştirilen iki boyutlu uyarlamalı ortak-süreç kafes yapısı ve bu yapı kullanılarak geliştirilmiş TDAL-LMS algoritması kullanılacaktır. Kullanılan iki boyutlu kafes süzgeç temelli uyarlamalı hat iyileştirici yapısı, geri yöndeki öngörü hata alanları birbirlerine dik olmasından diğer iki boyutlu süzgeçlere göre daha hızlı yakınsamaktadır. Bu da incelenen yapının önemli bir özelliğidir.

NOISE CANCELLATION USING 2-D ADAPTIVE LATTICE STRUCTURE

SUMMARY

Given the success of 1-D adaptive lattice filter, recent research has focused on the development of 2-D adaptive lattice filter. Practical use of these lattice filters are implemented as a 2-D joint process lattice estimator. Previous studies have shown that 2-D adaptive joint-process lattice estimator is useful in many applications such as image restoration and noise cancellation. A 2-D adaptive lattice algorithm (TDAL) was first developed by Youlal et al. They used this algorithm on the Parker and Kayran's 2-D lattice structure. But this lattice structure lacks the orthogonality property, which was an important characteristic of 1-D lattice structures. And also, since this structure introduces only three reflection coefficients at each order update, it lacks sufficient parameters to represent all classes of 2-D AR quarter-plane filters. Ertuzun et al. presented a new structure, which generates two additional prediction error fields, after the first stage. This structure can exactly model first and second order AR data fields, but as the order of the AR data fields increases, two additional backward prediction error fields do not introduce sufficient parameters to model all the data points in the support. To eliminate this problem, Kayran and Parker presented a new structure with a complete set of reflection coefficients. After the first stage, they introduce four auxiliary forward and four auxiliary backward prediction errors, in order to obtain growing number of 2-D reflection coefficients at successive stages. Recently, Kayran presented an improved method to obtain the 2-D joint process lattice structure using recently developed 2-D orthogonal quarter-plane filters for AR modeling. It is shown that a set of orthogonal backward prediction error fields can be used to calculate the corresponding joint process coefficients.

In this study, the two-dimensional (2-D) joint process lattice (TDJPL) and its implementations for image restoration applications are examined. A 2-D adaptive lattice least mean square (TDAL-LMS) algorithm is used to calculate the Γ reflection coefficients parameters, and w the joint process filter weights at each lattice stage. Implementations of the proposed TDJPL estimator as a 2-D adaptive lattice noise canceller (TDALNC) are then considered. Performance evaluation of this scheme is undertaken using artificially degraded image data at different signal-to-noise ratios (SNR's). The results are evaluated for noise cancellation through computer simulations. A new two-dimensional adaptive joint-process structure and its TDAL-LMS algorithm is presented based on T. Nakachi, K. Yamashita and N. Hamada's structure (2-D adaptive line enhancer using a lattice structure for noise cancellation). The proposed ALE is superior at convergence because of orthogonality of backward prediction error fields and capability of representing a wide class of 2-D FIR systems than previous ones.

1. GİRİŞ

Veri işleme kapasitesi yüksek sayısal sistemlerin ortaya çıkması ile sayısal işaret işleme, modern bilim ve teknolojiye vazgeçilmez bir alan durumuna gelmiştir. Son yirmi yılda, uyarlamalı algoritmalar ve kafes yapıları bir boyutlu işaret işlemede büyük gelişmeler göstermiştir. Bir boyutlu uyarlamalı kafes süzgeçlerin bu başarısı üzerine araştırmalar iki boyutlu uyarlamalı kafes süzgeç yapılarına odaklanmıştır. Sonucunda da iki boyutlu uyarlamalı kafes süzgeç yapıları ortak-süreç kestiricilerinde kullanılmıştır. Önceki çalışmalarda da görüldüğü üzere iki boyutlu ortak süreç kafes kestiriciler bir çok uygulamada, görüntü restorasyonu ve gürültü giderme, kullanılmıştır.

Görüntü işlemede gürültülü pikseller, işaret işleme açısından yüksek frekans bileşenlerini oluştururlar. Bu nedenle gürültünün bastırılması için akla gelebilecek ilk yöntem, görüntünün alçak geçiren bir süzgeçten geçirilmesi olacaktır. Fakat alçak geçiren süzgecin, yine yüksek frekans bölgesinde yer alan detay bilgisini de bastıracağından, doğrudan kullanılması mümkün değildir.

Gürültünün bastırılması için kullanılan bir diğer yöntem de medyan filtrelemedir. Alçak filtreye benzer bir karakteristik sergileyen bu filtre, detayları daha iyi koruyabilmektedir. Fakat görülecektir ki bu filtre çok etkin sonuçlar vermemektedir. Bu nedenle, ilkel bir yapıya sahip olan medyan filtrenin yerine başka çözümler aranmıştır.

Toplamsal gürültüyü bastırmanın en önemli yollarından biri, Wiener filtrelemedir. Wiener filtresi, gürültünün karakteristiğinin bilindiği varsayılarak oluşturulan ve gürültünün etkisini tersi bir filtreyle yok etmeyi amaçlayan bir filtredir [1].

Wiener filtrenin ardından incelenen uyarlamalı Wiener filtresi, gürültüye adapte olarak oldukça iyi sonuçlar verebilen bir filtredir. İsminden de anlaşıldığı gibi uyarlamalı filtreleme, görüntünün farklı bölgelerine ve farklı gürültü seviyelerine adapte olarak daha etkin sonuçlar üreten bir yöntemdir. Bu özelliğiyle, gürültüyü bastırmasındaki başarısının yanında, görüntüye ait önemli bilgileri de koruyabilmesi, uyarlamalı filtrenin tercih edilme sebeplerindendir.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada, iki boyutlu ortak süreç kafes yapıları (TDJPL) ve bu yapıları kullanarak görüntüde gürültü giderme uygulamaları incelenecektir. İki boyutlu uyarlamalı kafes algoritması (TDAL-LMS) kullanılarak her bir kafes yapısında Γ yansıma katsayısı ve w ortak-süreç kafes süzgecin ağırlık katsayıları hesaplanacaktır. Görüntü restorasyonunda iki boyutlu kafes süzgeç temelli uyarlamalı hat iyileştirici yapısı kullanılmıştır. Gürültü giderme algoritmalarında, algoritmanın performansını, yakınsama hızı, değişen koşullara adapte olması gibi parametreler belirler. Yapının performansını değerlendirmek için, farklı işaret-gürültü oranı değerlerinde gürültülü resim işareti kullanılmıştır. Sonuçlar bilgisayar simülasyonlarıyla verilecektir. Sunulan yapının daha iyi hale getirilmesi için ilişkisizlendirme parametresi, adım boyu gibi değişkenlerin optimum değerde seçilmesi gerekmektedir. T. Nakachi, K. Yamashita ve N. Hamada tarafından geliştirilen iki boyutlu uyarlamalı ortak-süreç kafes yapısı ve bu yapı kullanılarak geliştirilmiş TDAL-LMS algoritması kullanılacaktır [2].

1.2 Literatür Özeti

Görüntü işleme konusunda yapılan çalışmalarda, incelenen işaretin parametrik modellenmesi çok güncel bir yaklaşımdır. İki boyutlu alanların yansıma katsayıları ile modellenmesi ilk olarak Marzetta [3] tarafından, minimum fazlı sayısal süzgeçlerin bulunması şeklinde ortaya çıkmıştır. Bir boyutta doğrusal kestirim sonuçlarının iki boyuta genelleştirildiği bu çalışma, iki boyutta yapılan çalışmalara temel teşkil eder.

İki boyutta farklı bir yaklaşım Parker ve Kayran tarafından sunulan iki boyutlu çeyrek düzlem kafes süzgeçleri [4] olmuştur. Yapısal olarak basit, gerçekleştirilmesi kolay olan bu süzgeçler, her bir çeyrek düzlem için dört hata alanı kavramı geliştirmesiyle veya her bir süzgeç derecesi için üç parametre içeren model olarak tanımlanabilir. Ancak bu süzgeç yapısı her bir derece artışında yalnızca üç parametre tanımladığından, tüm özbağımlı alanlar modellenememektedir. Daha da önemlisi, önerilen modelin diklik özelliği taşımaması, süzgecin yapısal kararlılığı [5] ve optimum süzgeç olması açısından bir eksikliktir [6]

Daha sonra, Kayran tarafından [7] üç parametrelî kafes süzgeç yapısını asimetrik yarı düzlem için genelleştirerek, sayısal süzgeçlerin tasarım probleminin çözümüne uygulamıştır.

Ertüzün [8] , üç parametrelî kafes süzgeç modelinden geliştirilmiş kafes süzgecinde, ilk kademedede dört hata alanı daha sonraki kademedede ek iki hata alanı daha katılarak altı hata alanı ile gerçekleşen modelin, enformasyon açısından maksimum entropiye yakınsadığını göstermiştir. Buna göre, entropideki artışın doğal olarak özbağılanımlı alanların daha güvenilir ve daha iyi modellenmesini sağladığı gösterilmiştir. Ancak, süzgeç yapısında her bir derece artışta, sabit sayıda parametre tanımlandığından bütün 2-B'lu alanları modelleyemez yani dik değildir.

Kayran [9] , rastgele alanların özbağılanımlı modellenmesi için 2-B dik kafes yapılarını sunmuştur. Yöntem, verilen 2-B'lu genişletilmiş normal denklemden, kafes parametrelerini kullanarak kestirim hata süzgeç katsayılarını hesaplamak için Levinson türü algoritmanın tam çözümünü ortaya koymaktadır. Levinson türü özyinelemenin elde edilebilmesi için Burg matris çözümü kullanılmıştır. Bu model çeyrek düzlem ve asimetrik yarı düzleme uygulanabilmektedir.

Nakachi,Yamashita ve Hamada [10] , 2-B Levinson algoritmasını ve kafes süzgeç yapılarını rastgele alanların özbağılanımlı modellenmesinde simetrik olmayan yarı düzlem için kullanmışlardır. Levinson algoritması ve kullanılan kafes süzgeç yapısının sonucu olarak, 2-B normal denklemleri yinelemeli olarak çözmüşlerdir. Daha sonra, özbağılanımlı alanların modellenmesinde kullanılan yapıda, süzgeç katsayılarının güncellenmesinde 2-B LMS kafes süzgeç yapısını kullanmışlardır [11].

Nakachi,Yamashita ve Hamada [12]' de 2-B uyarlamalı ortak süreç kafes kestirici yapısı anlatılmıştır. Süzgeç katsayılarının güncellenmesinde, 2-B normalize edilmiş LMS algoritması kullanılmıştır. İncelenen bu yeni yapı hem çeyrek düzlem hem de simetrik olmayan yarı düzlemde çalışabilmektedir. Ayrıca bu yapıda, geri yöndeki öngörü hata alanları birbirlerine diktir. Bu özelliğinden dolayı hızlı bir yakısamaya ve izleme özelliğine sahiptir.

1.3 Bölümlere Genel Bakış

Bu tez çalışması beş anabaşıktan oluşmaktadır. Birinci bölüm, giriş bölümüdür. Tezin organizasyonu, literatur özeti ve de tezin amacı hakkına kısa bilgiler yer almaktadır.

İkinci bölümde, iki boyutlu kafes süzgeç yapıları anlatılacaktır. Bu bölümde öncelikle Kayran [13] tarafından geliştirilen yapı anlatılacaktır. Daha sonra bu yapı, uyarlamalı hale getirilecek ve ortak süreç kafes kestiricilerde kullanılacaktır.

Üçüncü bölümde, iki boyutlu kafes süzgeç yapıları kullanılarak toplamsal gürültünün giderilmesi anlatılacaktır. Toplamsal gürültünün giderilmesinde kullanılan kafes süzgeç temelli uyarlamalı hat iyileştirici yapısı ve bu yapıdaki ilişkisizlendirme parametresinin seçimi anlatılacaktır. Bölümün sonunda, uygulama örnekleriyle uyarlamalı kafes hat iyileştiricinin performansı verilecektir.

Dördüncü bölümde, SAR görüntülemeye benek gürültüsü, bu gürültünün giderilmesi ve uygulama örnekleri verilecektir.

Beşinci ve son bölümde sonuçlar verilecektir.

2. 2-B KAFES SÜZGEÇ YAPILARI

Bu bölümde öncelikle 2-B Levinson Algoritması [10] anlatılacaktır. 2-B Levinson-Algoritmasının doğal bir sonucu olarak Kayran [14] tarafından geliştirilmiş olan 2-B kafes süzgeç yapıları daha sonra da bu kafes süzgeç yapılarının uyarlamalı hale getirilmesi ve ortak-süreç kestiricilerinde kullanılması anlatılacaktır.

2.1 2-B Levinson Algoritması

2.1.1 2-B Destek Bölgesinin Sıralanması

2-B doğrusal modellemede, durağan rastgele veri alanı $y(k_1, k_2)$, komşu örnek noktaların doğrusal kombinasyonu ile öngörülür. Öngörü bölgesine bağlı olarak çeşitli nedensel modeller bulunmaktadır. Çeyrek düzlem ve simetrik olmayan yarı düzlem modelleri en çok kullanılan modellerdir. Kafes süzgeçlerde işlem, bu modellerin yardımıyla öngörü destek bölgesinin oluşturulmasıyla başlar. Dizinleme işleminin kolaylığı açısından, öngörü bölgesi içindeki elemanlar 1-B diziler halinde sıralanabilir. Önerilen sıralamada, 1-B diziler yardımıyla elemanların sıralanmasında sadece dikey ve yatay yönler kullanılmaktadır. Dizinin elemanları 0'dan N'e kadar numaralanmaktadır. Simetrik olmayan yarı düzlem modellerinde öngörü destek bölgesi şu şekildedir :

$$\mathcal{Q}_M(m, n) = \{y(m-i, n-j) | (i, j) \in S_M\} \quad (2.1)$$

2.1 eşitliğindeki S $(0,0)$ noktasının içerilmediği öngörü destek bölgesini göstermektedir ve de şu şekilde tanımlanabilir;

$$\hat{S} = \{(i, j) | (i \geq 0, j < 0), (i \geq 1, j \leq 0)\} \quad (2.2)$$

S_M 'deki alt indis M öngörü destek bölgesindeki nokta sayısını göstermektedir. Bu durumda, birebir dönüşüm matrisi I ile S_M arasında, $M = \{1, 2, \dots, M\}$ için

$$I : S_M \mapsto M \quad (2.3)$$

ifadesi tanımlanır.

$$\begin{aligned} ((m, n) - p) &= (m, n) - I^{-1}\{p\} \\ &= (m, n) - (i, j) \\ &= (m - i, n - j) \quad (i, j) \in S_M, \quad p = 1, 2, \dots, M \end{aligned} \quad (2.4)$$

I , birebir dönüşüm matrisine göre $Q_M(m, n)$, öngörü destek bölgesini 1-B dizi şeklinde sıralayabiliriz. 3.2 ifadesindeki birebir dönüşüm matrisi I tek bir değer değildir. I birebir dönüşüm matrisi tek bir değer olmadığı için $Q_M(m, n)$, öngörü destek bölgesini farklı şekillerde sıralayabiliriz. En yaygın kullanılan sıralamalar klasik sıralama ve yakın komşuluk sıralamalarıdır.

Örnek 1 : Klasik Sıralama: Eğer I matrisini şu şekilde tanımlarsak,

$$I(i, j) = \begin{cases} i, & i = 0 \\ j + (2N + 1)i, & i \geq 1 \end{cases} \quad (2.5)$$

ve de

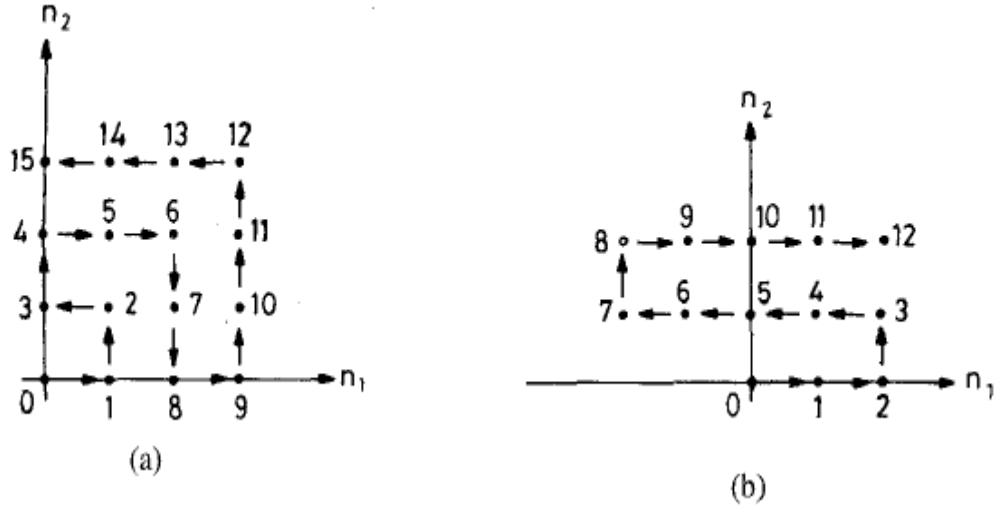
$$I(i, j) < I(s, t), \text{ ancak ve ancak } i < s \text{ veya } i = s \text{ ise } j < t \quad (2.6)$$

olduğundaki sıralamadır. N destek bölgesinin büyüklüğünü göstermektedir.

Örnek 2 : Yakın Komşuluk Sıralama: Yakın komşuluk sıralamada $(i, j) \in S_M$ ile $(0, 0)$ arasındaki uzaklığa göre bir sıralama yapılmaktadır. I matrisi,

$$\begin{aligned} I(i, j) < I(s, t), \text{ ancak ve ancak } i^2 + j^2 < s^2 + t^2 \text{ veya } j > t \\ , i^2 + j^2 = s^2 + t^2 \text{ ise} \end{aligned} \quad (2.7)$$

şeklinde olmalıdır.



Şekil 2.1 : (a) Çeyrek düzlem modelleri için 3. dereceden klasik sıralama (b) Simetrik olmayan yarı düzlem için 2 dereceden klasik sıralama

2.1.2 Yinelemeli Çözüm

İleri ve geri yönde öngörü hataları

$$f_{((m,n)-p)}^q = \left[1 \left(a_p^q \right)^T \right] Y_{p(m,n)}^q, \quad (2.8)$$

$$r_{((m,n)-p)}^q = \left[\left(b_p^q \right)^T \ 1 \right] Y_{p(m,n)}^q, \quad (2.9)$$

$$q = 1, \dots, M, \ p = 0, \dots, M - q,$$

şeklinde ifade edilir. Eşitlik 2.9 ve 2.10 daki a_p^q , b_p^q ve de $Y_{p(m,n)}^q$ ifadeleri de sırasıyla

$$a_p^q = \left[a_p^q(1), a_p^q(2), \dots, a_p^q(q) \right]^T,$$

$$b_p^q = \left[b_p^q(q), b_p^q(q-1), \dots, b_p^q(1) \right]^T,$$

$$Y_{p(m,n)}^q = \left[y((m,n)-p), \dots, y((m,n)-p-q) \right]^T$$

$$f_{((m,n)-p)}^0 = r_{((m,n)-p)}^0 = y((m,n)-p),$$

$$y((m,n)-0) = y(m,n).$$

şeklindeir. $a_p^q(s)$ ve $b_p^q(s)$ ($s = 1, \dots, q$) sırasıyla ileri ve geri yönde öngörü ağırlık vektörlerini göstermektedir.

İleri ve geri yönde öngörü ağırlık katsayıları 2.11 ve 2.12'deki ortalama karesel hata değerlerinin minimize edilmesiyle hesaplanır ;

$$A_p^q = E \left[\left\{ f_{((m,n)-p)}^q \right\}^2 \right] \quad (2.10)$$

ve de

$$B_p^q = E \left[\left\{ r_{((m,n)-p)}^q \right\}^2 \right] \quad (2.11)$$

(2.8) ve (2.9) eşitlikleri (2.10) ve (2.11) eşitliklerinde yerine konulursa

$$R_p^q \begin{bmatrix} 1 & b_p^q \\ a_p^q & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{A}_p^q & 0 \\ 0 & \hat{B}_p^q \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Eşitlik (2.11) 'deki R_p^q ifadesi,

$$R_p^q = E \left[Y_{p(m,n)}^q \left(Y_{p(m,n)}^q \right)^T \right]$$

$\hat{A}_p^q$ ve $\hat{B}_p^q$ sırasıyla ileri ve geri yönde minimum ortalama karesel hataları göstermektedir ve de 0 , sıfır değerli yatay bir vektördür.

İleri ve geri yönde öngörü ağırlık katsayıları $a_p^q(s)$ ve $b_p^q(s)$ ($s = 0, \dots, q$), $a_p^{q-1}(s)$ ve $b_p^{q-1}(s)$ ($s = 0, \dots, q-1$) değerlerinin güncellenmesiyle elde edilebilir.

$$\begin{bmatrix} 1 & b_p^q \\ a_p^q & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ a_p^{q-1} & b_{p+1}^{q-1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & K_{p,q}^r \\ K_{p,q}^f & 1 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

(2.13) eşitliğindeki $K_{p,q}^f$ ve $K_{p,q}^r$ sırasıyla ileri ve geri yöndeki yansımaya katsayılarını göstermektedir. (2.13) eşitliğini (2.12) eşitliğinde yerine koyarsak yansımaya katsayıları

$$K_{p,q}^f = -\frac{\Delta_p^{q-1}}{\hat{B}_{p+1}^{q-1}} \quad (2.14)$$

ve de

$$K_{p,q}^r = -\frac{\Delta_p^{q-1}}{\hat{A}_{p+1}^{q-1}} \quad (2.15)$$

ve minimum ortalama karesel öngörü hataları da

$$\hat{A}_p^q = \hat{A}_p^{q-1} + K_{p,q}^f \Delta_p^{q-1} \quad (2.16)$$

$$\hat{B}_p^q = \hat{B}_{p+1}^{q-1} + K_{p,q}^r \Delta_p^{q-1} \quad (2.17)$$

(2.17) ve (2.18) eşitlikleri ile güncellenmektedir. Bu eşitliklerdeki Δ_p^{q-1} de ileri ve geri yöndeki öngörü hataları arasındaki çapraz ilişki olarak yorumlanabilirler ve de eşitlikleri şu şekildedir ;

$$\Delta_p^{q-1} = E \left[f_{((m,n)-p)}^{q-1} r_{((m,n)-p-1)}^{q-1} \right]$$

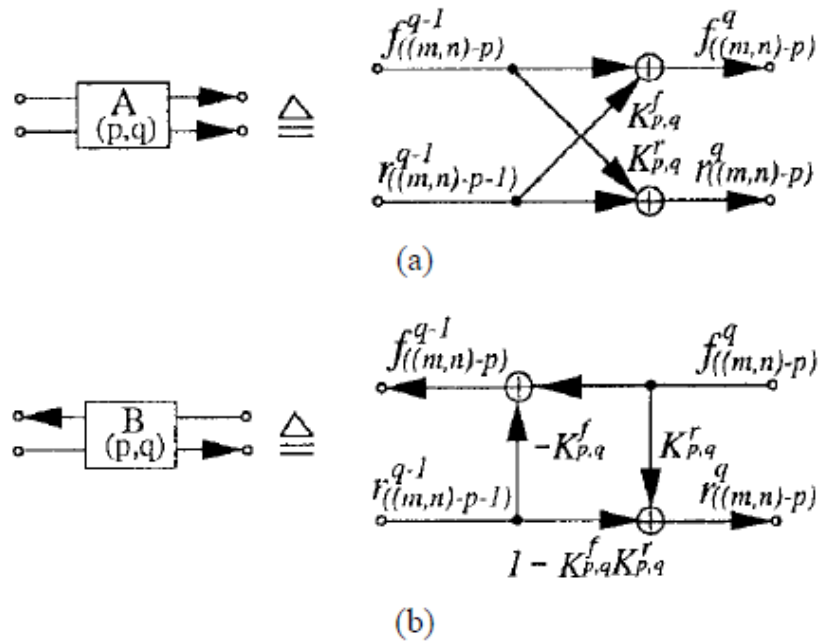
(2.14) eşitliğinden (2.18) eşitliğine kadar olan yinelemelerin ilk koşulları

$$\hat{A}_p^0 = \hat{B}_p^0 = E \left[\left\{ y((m,n) - p) \right\}^2 \right]$$

şeklinde dir.

2.2 2-B Kafes Süzgeç Yapıları

2-B Kafes yapıları, 2-B Levinson yinelemesinin bir sonucudur. Kafes yapılarının en önemli özelliği, önceki kafes yapılarını bozmadan yeni kafes yapıları ekleyerek optimum öngörücü derecesine ulaşılabilmektedir. Kısacası kafes yapıları modüler yapılardır.



Şekil 2.2 : 2-B Kafes Modülünün iç yapısı. (a) 2-B Analiz yapılarında kullanılan kafes modülü (b) 2-B Sentez yapılarında kullanılan kafes modülü

(2.8), (2.9) ve (2.13) eşitliklerini kullanılarak, ileri ve geri yönde süzgeç işlemleri tek bir yapıda birleştirilebilir ;

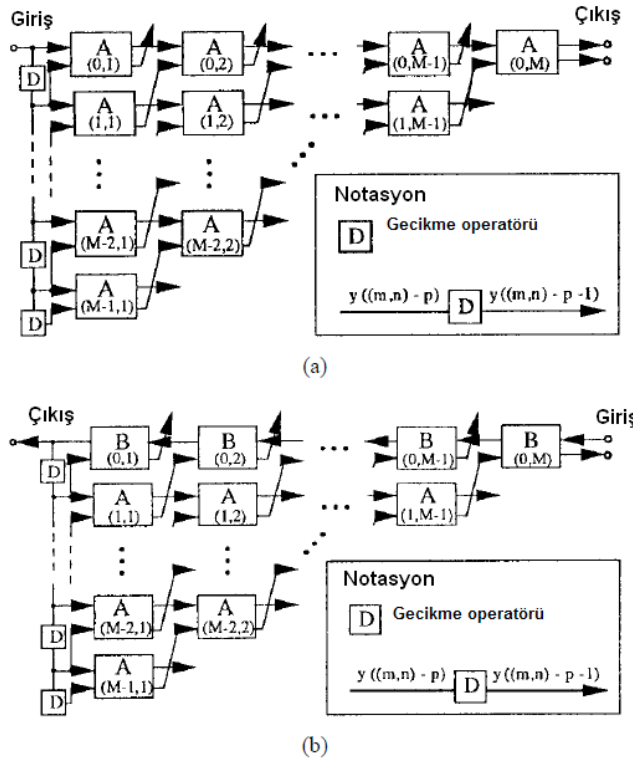
$$\begin{bmatrix} f_{((m,n)-p)}^q \\ r_{((m,n)-p)}^q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & K_{p,q}^f \\ K_{p,q}^r & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{((m,n)-p-1)}^{q-1} \\ r_{((m,n)-p-1)}^{q-1} \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

(2.18) eşitliğinde verilen yapı Şekil 2.2-a modüler olarak gösterilmektedir. 2-B analiz yapısı da Şekil 2.3-a 'da gösterilmektedir.

Kafes parametreleri bilindiğinde, analiz kafes yapısından sentez kafes yapısına geçilebilmektedir. Sentez modeli, analiz modelinin tersi yapıdadır. Eşitlik (2.18) tekrardan düzenlenirse ;

$$\begin{bmatrix} f_{((m,n)-p)}^{q-1} \\ r_{((m,n)-p)}^q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -K_{p,q}^f \\ K_{p,q}^r & 1 - K_{p,q}^r K_{p,q}^f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{((m,n)-p)}^q \\ r_{((m,n)-p-1)}^{q-1} \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

(2.19) eşitliğinde verilen yapı Şekil 2.2-b modüler olarak gösterilmektedir. Eşitlik (2.18) ve (2.19) kullanılarak Şekil 2.3-b' de gösterilen sentez kafes yapısı oluşturulur. Bu yapıya 2-B beyaz gürültü, giriş olarak verilirse, $f_{((m,n)-0)}^M$, 2-B data çıkış olarak elde edilir.



Şekil 2.3 : 2-B Kafes Süzgeç Yapısı (a) Analiz Modeli (b) Sentez Modeli

Eşitlik (2.8), (2.9) ve (2.18) kullanılarak ileri ve geri yönde öngörü hataları ;

$$\begin{bmatrix} f_{((m,n)-p)}^q \\ r_{((m,n)-p)}^q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & K_{p,q}^f \\ K_{p,q}^r & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & (a_p^{q-1})^T & 0 \\ 0 & (b_{p+1}^{q-1})^T & 1 \end{bmatrix} Y_{p(m,n)}^q \quad (2.20)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Eşitlik (2.20) 'in her iki tarafının z dönüşümü alınırsa q'uncu derece ileri ve geri yönde öngörü hataları ;

$$\begin{bmatrix} A_p^q(z_1, z_2) \\ B_p^q(z_1, z_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & K_{p,q}^f \\ K_{p,q}^r & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & (a_{p+1}^{q-1})^T & 0 \\ 0 & (b_{p+1}^{q-1})^T & 1 \end{bmatrix} D_p^q Y(z_1, z_2) \quad (2.21)$$

Eşitlik (2.21) 'deki D_p^q ifadesi,

$$D_p^q = \begin{bmatrix} D^{-p} & D^{-p-1} & \dots & D^{-p-q} \end{bmatrix}^T,$$

$$D^{-s} = z_1^{-i} z_2^{-j} \quad (p \leq s \leq p+q),$$

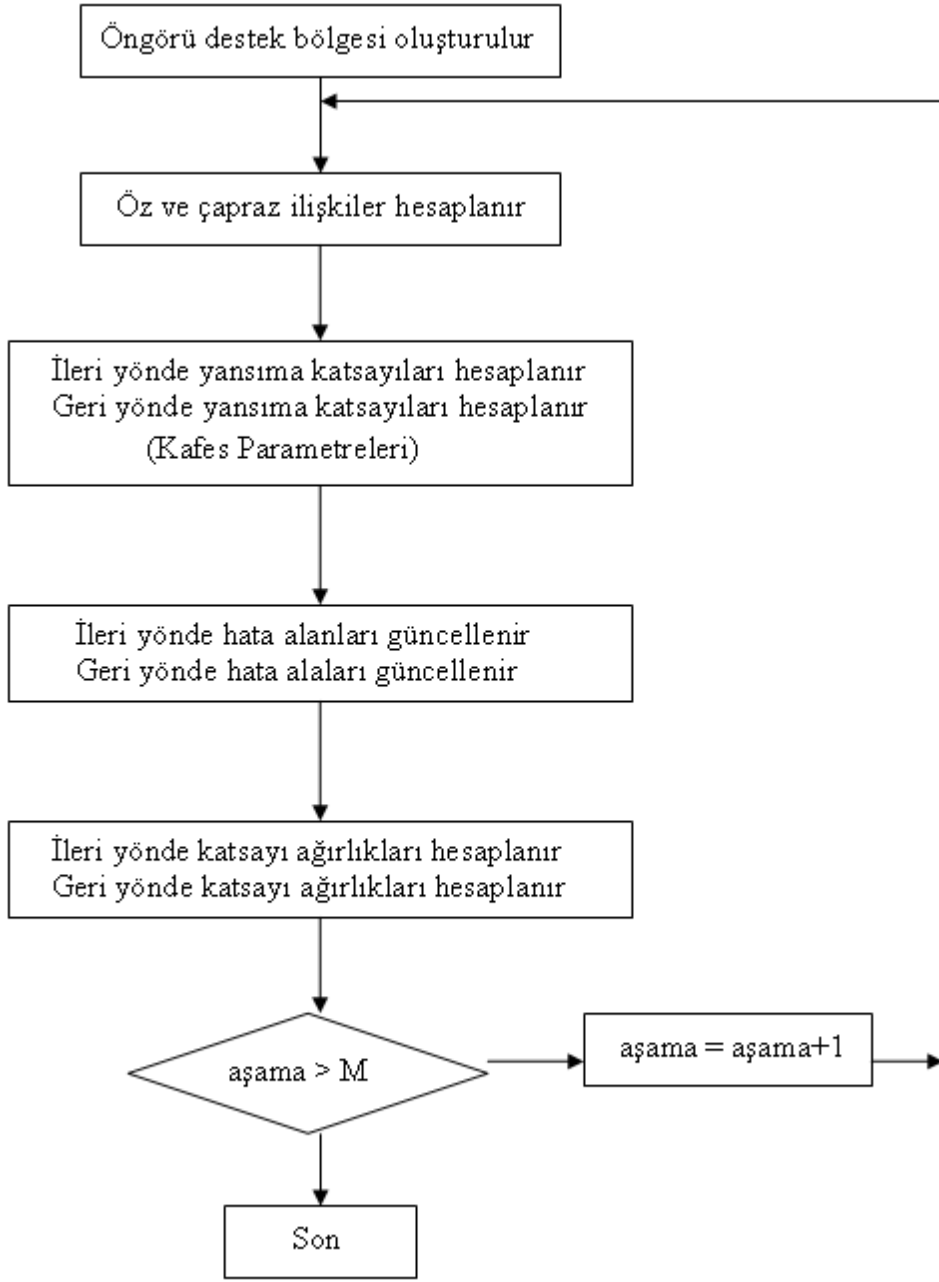
$$I(i, j) = s$$

Böylece $Y(z_1, z_2)$ ve $A_p^q(z_1, z_2), B_p^q(z_1, z_2)$ arasındaki transfer fonksiyonu

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} H_p^q(z_1, z_2) \\ E_p^q(z_1, z_2) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} A_p^q(z_1, z_2) / Y(z_1, z_2) \\ B_p^q(z_1, z_2) / Y(z_1, z_2) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1 & K_{p,q}^f \\ K_{p,q}^r & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & (a_p^{q-1})^T & 0 \\ 0 & (b_{p+1}^{q-1})^T & 1 \end{bmatrix} D_p^q \\ &= \begin{bmatrix} 1 & K_{p,q}^f \\ K_{p,q}^r & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_p^{q-1}(z_1, z_2) \\ E_{p+1}^{q-1}(z_1, z_2) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2.22)$$

şeklindedir. Derece yenilemesinin başlangıç koşulları

$$H_p^0(z_1, z_2) = E_p^0(z_1, z_2) + D^{-p}.$$



Şekil 2.4 : 2-B Kafes Süzgeç Algoritması.

2-B kafes süzgeç yapılarında, hem çeyrek, hem de simetrik olmayan yarı düzlem modeliyle oluşturulan destek bölgesi modeli için de, uygulanan derecede, destek bölgesinde toplam kaç noktadan öngörü yapılıyorsa o kadar aşama vardır. Bu nokta sayıları, N dereceyi belirtmek üzere, çeyrek düzlem modeli için $(N+1)^2 - 1$, simetrik olmayan yarı düzlem modeli için ise $2N(N+1)$ tanedir. Aşamalar ise basamaklardan oluşur. İlk aşamada, toplam aşama sayısı kadar basamak varken aşamalar arttıkça

basamak sayısı da birer birer azalır. Son aşamada tek bir basamak vardır. Uygulanan her basamakta, bir ileri, bir de geri yönde yansıma katsayısı elde edilir.

Çeyrek düzlem modeli için 1. dereceden yansıma katsayılarının oluşturulması aşağıda adım adım gösterilmiştir.

Çeyrek düzlem modeli:

1.aşama:

1.basamak:

$$\begin{bmatrix} f_{((m,n)-0)}^1 \\ r_{((m,n)-0)}^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & K_{0,1}^f \\ K_{0,1}^r & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{((m,n)-0)}^0 \\ r_{((m,n)-1)}^0 \end{bmatrix}$$

2.basamak:

$$\begin{bmatrix} f_{((m,n)-1)}^1 \\ r_{((m,n)-1)}^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & K_{1,1}^f \\ K_{1,1}^r & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{((m,n)-1)}^0 \\ r_{((m,n)-2)}^0 \end{bmatrix}$$

3.basamak:

$$\begin{bmatrix} f_{((m,n)-2)}^1 \\ r_{((m,n)-2)}^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & K_{2,1}^f \\ K_{2,1}^r & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{((m,n)-2)}^0 \\ r_{((m,n)-3)}^0 \end{bmatrix}$$

2.aşama:

1.basamak:

$$\begin{bmatrix} f_{((m,n)-0)}^2 \\ r_{((m,n)-0)}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & K_{0,2}^f \\ K_{0,2}^r & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{((m,n)-0)}^1 \\ r_{((m,n)-1)}^1 \end{bmatrix}$$

2.basamak:

$$\begin{bmatrix} f_{((m,n)-1)}^2 \\ r_{((m,n)-1)}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & K_{1,2}^f \\ K_{1,2}^r & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{((m,n)-1)}^1 \\ r_{((m,n)-2)}^1 \end{bmatrix}$$

3.aşama:

1.basamak:

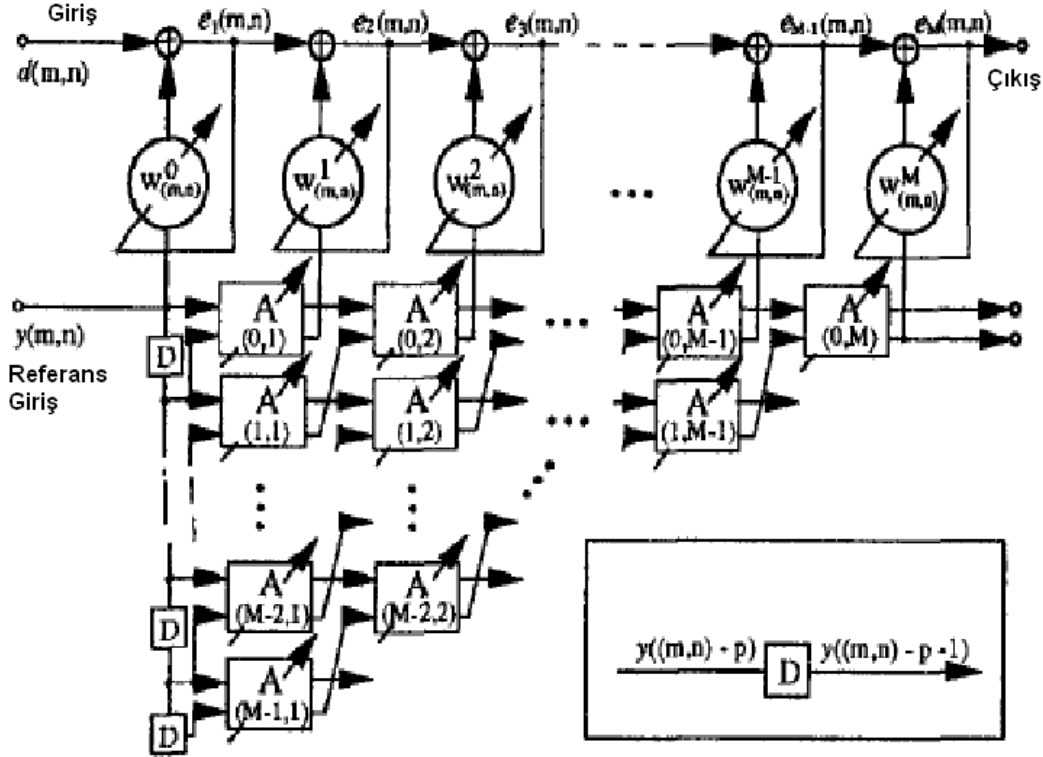
$$\begin{bmatrix} f_{((m,n)-0)}^3 \\ r_{((m,n)-0)}^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & K_{0,3}^f \\ K_{0,3}^r & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{((m,n)-0)}^2 \\ r_{((m,n)-1)}^2 \end{bmatrix}$$

Çeyrek düzlem modelinde 1.dereceden toplam 12 tane yansıma katsayısı elde edilir.

Simetrik olmayan yarı düzlem modelinde de yansıma katsayıları aynı yapı kullanılarak hesaplanır. Ancak bu modelde 1.derecede 4 aşama vardır ve sonuçta toplam 20 tane yansıma katsayısı oluşturulur.

İlk aşamadaki $f_{((m,n)-p)}^0$ ve $r_{((m,n)-p)}^0$ ile gösterilen hatalar başlangıç koşullarından bulunur. Daha sonraki aşamalarda hep bir önceki aşamada hesaplanan hata alanları kullanılmaktadır. Algoritmanın yinelemeli yapısı buna olanak sağlamaktadır.

2.3. 2-B Ortak-Süreç Kafes Kestirici



Şekil 2.5 : 2-B Uyarlamalı Ortak-Süreç Kestirici.

Şekil 2.5 de uyarlamalı ortak-süreç kestirici yapısı gösterilmektedir. Referans giriş $y(m,n)$ 2-B uyarlamalı kafes süzgeç yapısına giriş olarak girer ve her katmanda geri yönde öngörü hata alanları hesaplanır. Bu geri yönde öngörü hata alanlarından $r_{((m,n)-0)}^i$ ($i=1, \dots, M$) hata alanları ortak-süreç süzgeç yapısını oluşturan ağırlık katsayıları $w_{(m,n)}^i$ ($i=0, \dots, M$) çarpılır. Bu çarpımların doğrusal kombinasyonlarından orijinal işaretin kestirimi elde edilir. Kestirim hatası ise şu şekildedir

$$e_i(m,n) = d(m,n) - \hat{d}_i(m,n) \quad i=0, \dots, M \quad (2.23)$$

$$\begin{aligned}
\hat{d}_i(m, n) &= -W_{(m,n)}^j r_{(m,n)}^i \\
r_{(m,n)}^i &= \left[r_{((m,n)-0)}^0, r_{((m,n)-0)}^1, \dots, r_{((m,n)-0)}^i \right]^T \\
W_{(m,n)}^j &= \left[w_{(m,n)}^0, w_{(m,n)}^1, \dots, w_{(m,n)}^j \right]
\end{aligned} \tag{2.24}$$

$\hat{d}_i(m, n)$ kestirilen işarettir.

Kullanmakta olduğumuz ortak-süreç kafes kestiricinin iki önemli özelliği vardır Ortalama karesel hatanın minimum olduğu değerde yani yansıma katsayılarının optimum değerinde geri yönde öngörü hata alanları birbirlerine diktir.

$$E \left[r_{((m,n)-p)}^s r_{((m,n)-p)}^t \right] = 0 \tag{2.25}$$

Eşitlik (2.25) 'in ispatı şu şekildedir

$s < t$ olduğunda $E \left[r_{((m,n)-p)}^s r_{((m,n)-p)}^t \right]$ şu şekilde yazılabilir

$$\begin{aligned}
E \left[r_{((m,n)-p)}^s r_{((m,n)-p)}^t \right] &= E \left[\begin{bmatrix} (b_p^s)^T & 1 & 0 \end{bmatrix} Y_{((m,n)-p)}^t \left(Y_{((m,n)-p)}^t \right)^T \begin{bmatrix} b_p^t \\ 1 \end{bmatrix} \right] \\
&= \begin{bmatrix} (b_p^s)^T & 1 & 0 \end{bmatrix} R_p^t \begin{bmatrix} b_p^t \\ 1 \end{bmatrix}
\end{aligned} \tag{2.26}$$

eşitlik (2.24) 'i eşitlik (2.26) 'de kullandığımızda

$$\begin{aligned}
E \left[r_{((m,n)-p)}^s r_{((m,n)-p)}^t \right] &= \begin{bmatrix} (b_p^s)^T & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \hat{j}_{p,t}^r \end{bmatrix} \\
&= 0.
\end{aligned} \tag{2.27}$$

Bu özelliğin sonucu olarak, ortak-süreç kafes öngörücü yapısı diğer yapılara göre daha hızlı yakınsamaktadır. Kullanmakta olduğumuz ortak-süreç kafes yapısının ikinci önemli özelliği de geri yönde öngörü hata alanları ile giriş datası arasındaki ilişkidir. Bu ilişki, (2.25), (2.26) ve (2.27) eşitlikleri kullanılarak şu şekilde gösterilebilir

$$r_{(m,n)}^M = L_{(m,n)}^M Y_{(m,n)}^M \tag{2.28}$$

Eşitlik (2.28) 'de

$$Y_{(m,n)}^M = \left[y(m, n), y((m, n) - 1), \dots, y((m, n) - M) \right]^T$$

$$r_{(m,n)}^M = \begin{bmatrix} r_{((m,n)-0)}^0 & r_{((m,n)-0)}^1 & \cdots & r_{((m,n)-0)}^M \end{bmatrix}^T$$

şeklinde birer vektördürler ve de

$$L_{(m,n)}^M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ b_{0(m,n)}^1(1) & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{0(m,n)}^M(M) & b_{0(m,n)}^M(M-1) & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

$L_{(m,n)}^M$, $(M+1) \times (M+1)$ büyüklüğünde, tekil olmayan, ana diagonalı bir olan alt üçgen matristir. $b_{0(m,n)}^q(s)$ ($q=1, \dots, M, s=1, \dots, q$), geri yöndeki öngörü hata vektörünün, $r_{((m,n)-0)}^q$ ($q=1, \dots, M$), (m, n) noktasındaki geri yöndeki ağırlık katsayılarıdır. $Y_{(m,n)}^M$ 'den $r_{(m,n)}^M$ 'e dönüşümü Gram-Schmidt dikleştirme algoritması olarak da bilinir ki bu algoritma giriş vektörü $Y_{(m,n)}^M$ ile geri yönde öngörü hata vektörü $r_{(m,n)}^M$ arasında bire bir bir ilişki olduğunu gösterir. $L_{(m,n)}^M$ matrisinin determinatı tek olduğu için giriş vektörü $Y_{(m,n)}^M$ 'in taşıdığı bilgide ile geri yönde öngörü hata vektörü $r_{(m,n)}^M$ 'in taşıdığı bilgi arasında bir kayıp yoktur.

Eşitlik (2.27) ve (2.28) kullanılarak M'inci dereceden kestirilen $\hat{d}_M(m, n)$ şu şekilde ifade edilebilir

$$\begin{aligned} \hat{d}_M(m, n) &= -W_{(m,n)}^M r_{(m,n)}^M \\ &= -W_{(m,n)}^M L_{(m,n)}^M Y_{(m,n)}^M \end{aligned} \quad (2.29)$$

Eşitlik (2.29)'in her iki tarafının z dönüşümünü alırsak

$$\hat{d}_M(z_1, z_2) = -W_{(m,n)}^M L_{(m,n)}^M D_M Y(z_1, z_2) \quad (2.30)$$

elde edilir. Eşitlik (2.30) daki D_M ifadesi aşağıdaki gibidir

$$D_M = \begin{bmatrix} 1 & D^{-1} & \cdots & D^{-M} \end{bmatrix}^T$$

$$D^{-p} = z_1^{-i} z_2^{-j}$$

$$I(i, j) = p.$$

Böylece, $Y(z_1, z_2)$ ile $\hat{d}_M(z_1, z_2)$ arasındaki transfer fonksiyonu

$$\begin{aligned}
H(z_1, z_2) &= \frac{\hat{d}_M(z_1, z_2)}{Y(z_1, z_2)} \\
&= -W_{(m,n)}^M L_{(m,n)}^M D_M.
\end{aligned} \tag{2.31}$$

şeklindedir.

2.4. 2-B Uyarlamalı LMS Kafes Yapısı

Özilişkilerin ve çapraz ilişkilerin önceden bilinmediği durumlarda ya da doğrusal öngörü süzgecinin durağan olmayan ortamlarda kullanıldığında yansıma katsayılarının güncellenmesinde uyarlamalı yapılar kullanılmaktadır. Bu bölümde ileri ve geri yönde öngörü hataların karesel ortalamasını yani hata fonksiyonlarının türevini minimize ederek çalışan uyarlamalı kafes yapısı anlatılacaktır.

Uyarlamalı durumlarda ileri ve geri yönde öngörü hatalarının derece güncellemeli yapısı şu şekildedir

$$\begin{bmatrix} f_{((m,n)-p)}^q \\ r_{((m,n)-p)}^q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & K_{q((m,n)-p)}^f \\ K_{q((m,n)-p)}^r & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{((m,n)-p)}^{q-1} \\ r_{((m,n)-p-1)}^{q-1} \end{bmatrix} \tag{2.32}$$

Eşitlik (2.32) de $K_{q((m,n)-p)}^f$ ve $K_{q((m,n)-p)}^r$ sırasıyla $((m,n)-p)$ noktasındaki ileri ve geri yöndeki yansıma katsayılarıdır.

İleri yönde yansıma katsayısı $K_{q((m,n)-p)}^f$, hata fonksiyonu $J_{q((m,n)-p)}^f$ nin minimize edilmesiyle bulunur. Hata fonksiyonu ise

$$J_{q((m,n)-p)}^f = E \left[\left(f_{((m,n)-p)}^q \right)^2 \right] \tag{2.33}$$

şeklindedir. Eşitlik (2.33), eşitlik (2.32) in ilk satırında yerine koyulup hata fonksiyonu, $J_{q((m,n)-p)}^f$, $K_{q((m,n)-p)}^f$ 'e göre türevi alınırsa

$$\begin{aligned}
\nabla_{q((m,n)-p)}^f &= \frac{\partial J_{q((m,n)-p)}^f}{\partial K_{q((m,n)-p)}^f} \\
&= 2E \left[f_{((m,n)-p)}^q r_{((m,n)-p-1)}^{q-1} \right]
\end{aligned} \tag{2.34}$$

eşitliği elde edilir. Beklenti operatörünü eşitlik (2.34) den kaldırırsak

$$\nabla_{q((m,n)-p)}^f = 2f_{((m,n)-p)}^q r_{((m,n)-p-1)}^{q-1} \quad (2.35)$$

Böylece uyarlamalı LMS algoritması kafes yapıları için şu şekildedir

$$\begin{aligned} K_{q((m,n+1)-p)}^f &= K_{q((m,n)-p)}^f - \frac{1}{2} \mu_1 \nabla_{q((m,n)-p)}^f \\ &= K_{q((m,n)-p)}^f - \mu_1 \left[f_{((m,n)-p)}^q r_{((m,n)-p-1)}^{q-1} \right] \end{aligned} \quad (2.36)$$

Eşitlik (2.36) da $\mu_1 > 0$ ileri yöndeki adım boyunu göstermektedir

Benzer şekilde geri yöndeki yansıma katsayısı da

$$K_{q((m,n+1)-p)}^r = K_{q((m,n)-p)}^r - \mu_2 \left[r_{((m,n)-p)}^q f_{((m,n)-p)}^{q-1} \right] \quad (2.37)$$

şeklinde. Eşitlik (2.37) 'deki $\mu_2 > 0$ geri yöndeki adım boyunu göstermektedir

Eşitlik (2.36) ve (2.37) 'deki yinelemeler yatay taramalar şeklindedir ve sınır koşulları şu şekildedir

$$\begin{aligned} K_{q((m,0)-p)}^f &= K_{q((m-1,N_2)-p)}^f \\ K_{q((m,0)-p)}^r &= K_{q((m-1,N_2)-p)}^r \end{aligned} \quad (2.38)$$

LMS yapısı ağırlık katsayılarını yinelemeli olarak bulduğu için yapının ağırlık katsayıları için belirli değerlere yakınsayarak kararlı bir hale gelmesi gerekmektedir. 2-B LMS kafes yapısının yakınsamasını etkileyen iki önemli parametre vardır. Bunlardan birincisi, yansıma katsayılarının beklenen değerlerinin yakınsamasıdır. İkincisi ise ortalama karesel hataların yakınsamasıdır. Bu iki parametre bize yapıdaki adım boyları için üst sınırları oluşturmamızı sağlayacaktır.

Öncelikle

$$\Delta_{q((m,n)-p)}^f = K_{q((m,n)-p)}^f - \bar{K}_{p,q}^f \quad (2.39)$$

eşitlikteki $\bar{K}_{p,q}^f$ optimum yansıma katsayısıdır.

Yapının yakınsaması için bazı kabullerde bulunacağız ki bunlar

1. $\Delta_{q((m,n)-p)}^f$ ve $r_{((m,n)-p-1)}^{q-1}$ istatistiksel bağımsızdırlar.
2. Her aşamadaki rastgele giriş alanları durağandırlar ve gauss dağılımındadır.

$E \left[\Delta_{q((m,n)-p)}^f \right]$ değerinin sonlu olduğunu kabul edersek

$$E\left[\Delta_{q((m,n+1)-p)}^f\right] = \left[1 - \mu_1 E\left[\left(r_{((m,n)-p-1)}^{q-1}\right)^2\right]\right] E\left[\Delta_{q((m,n)-p)}^f\right] \quad (2.40)$$

Böylece, $E\left[\Delta_{q((m,n+1)-p)}^f\right]$ sifira yakınsar eğer

$$0 < \mu_1 < \frac{2}{E\left[\left(r_{((m,n)-p-1)}^{q-1}\right)^2\right]} \quad (2.41)$$

olursa. Benzer şekilde $E\left[\Delta_{q((m,n+1)-p)}^b\right]$ sifira yakınsar eğer

$$0 < \mu_2 < \frac{2}{E\left[\left(f_{((m,n)-p)}^{q-1}\right)^2\right]} \quad (2.42)$$

şartı sağlanırsa.

$E\left[\left(f_{((m,n)-p)}^q\right)^2\right]$ değerinin sonlu olduğunu kabul edersek

$$E\left[\left(f_{((m,n)-p)}^q\right)^2\right] = \hat{J}_{p,q}^f + E\left[\left(\Delta_{q((m,n)-p)}^f\right)^2\right] E\left[\left(r_{((m,n)-p-1)}^{q-1}\right)^2\right] \quad (2.43)$$

(m,n) değeri $(+\infty, +\infty)$ 'a giderse eşitlik (2.43) 'in sağ tarafındaki ikinci ifade şu şekilde yazılabilir

$$E\left[\left(\Delta_{q((\infty,\infty)-p)}^f\right)^2\right] E\left[\left(r_{((\infty,\infty)-p-1)}^{q-1}\right)^2\right] = \frac{\mu_1 E\left[\left(r_{((\infty,\infty)-p-1)}^{q-1}\right)^2\right] \hat{J}_{p,q}^f}{2 - 3\mu_1 E\left[\left(r_{((\infty,\infty)-p-1)}^{q-1}\right)^2\right]} \quad (2.44)$$

Eşitlik (2.42) ve (2.43) 'de $E\left[\left(f_{((m,n)-p)}^q\right)^2\right]$ belirli bir değere yakınsar eğer şu koşullar sağlanırsa

$$0 < \mu_1 < \frac{2}{\left\{3E\left[\left(r_{((\infty,\infty)-p-1)}^{q-1}\right)^2\right]\right\}} \quad (2.45)$$

Benzer şekilde, $E\left[\left(r_{((m,n)-p)}^q\right)^2\right]$ değeri de yakınsar eğer

$$0 < \mu_1 < \frac{2}{\left\{ 3E \left[\left(f_{((\infty, \infty) - p)}^{q-1} \right)^2 \right] \right\}} \quad (2.46)$$

koşulu sağlanırsa.

2.4.1 2-B Uyarlamalı Normalize LMS Kafes Yapısı

Her bir aşamada daha küçük zaman sabiti elde etmek için normalize LMS yapısı kullanılır. Bu yapıda yansıma katsayılarının güncellenmesi

$$K_{q((m,n+1)-p)}^f = K_{q((m,n)-p)}^f - \frac{f_{((m,n)-p)}^q r_{((m,n)-p-1)}^{q-1}}{\xi_{q-1}^f((m,n)-p)} \quad (2.47)$$

$$K_{q((m,n+1)-p)}^r = K_{q((m,n)-p)}^r - \frac{r_{((m,n)-p)}^q f_{((m,n)-p)}^{q-1}}{\xi_{q-1}^r((m,n)-p-1)} \quad (2.48)$$

$$w_{q((m,n+1)-p)}^q = w_{q((m,n)-p)}^q - \frac{e_q(m,n) r_{((m,n)-0)}^q}{\xi_{q(m,n)}} \quad (2.49)$$

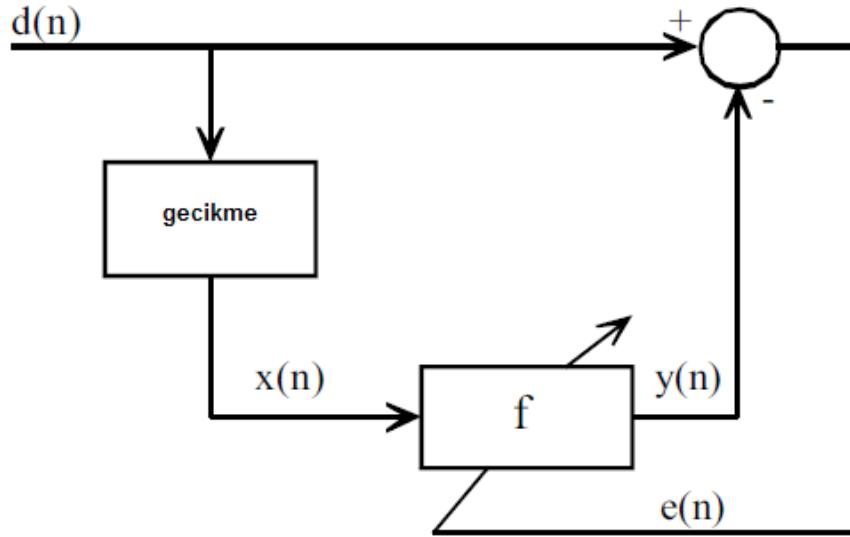
$$\begin{aligned} \xi_{q-1((m,n)-p)}^f &= \xi_{q-1((m,n-1)-p)}^f - \left| r_{((m,n)-p-1)}^{q-1} \right|^2 \\ \xi_{q-1((m,n)-p)}^r &= \lambda \xi_{q-1((m,n-1)-p)}^r + \left| f_{((m,n)-p)}^{q-1} \right|^2 \\ \xi_{q(m,n)} &= \lambda \xi_{q(m,n-1)} + \left| r_{((m,n)-0)}^q \right|^2 \end{aligned} \quad (2.50)$$

Eşitlik (2.50) ' deki λ pozitif bir sabittir ve de $\lambda < 1$.

3. 2-B UYARLAMALI KAFES SÜZGEÇ YAPILARI İLE GÜRÜLTÜ GİDERME

3.1 Uyarlamalı Hat İyileştirici (ALE)

ALE uyarlamalı süzgeç uygulamalarında sık kullanılan bir yapıdır. Bu yapı temelde, süzgece giren giriş işaretindeki yüksek frekanslı gürültü bileşenlerini bastırıp gürültüsüz işaretin çıkmasını amaçlar. Diğer gürültü giderme yapılarının aksine, ALE 'de giriş işareti veya gürültü hakkında önceden bir bilgi olmasına gerek yoktur. Yapı şekil(3.1) 'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1 : Uyarlamalı hat iyileştirici yapısı

Giriş işareti, $d(n)$ 'in, deterministik veya gürültüsüz bir bileşen ile gürültü bir bileşeninin toplamından oluştuğunu varsayalım. Aynı şekilde $x(n)$ 'inde alçak frekans bileşenli işaret ile yüksek frekans bileşenli gürültüden oluştuğunu ve de $d(n)$ 'in geciktirilmesiyle elde edildiğini kabul edelim. $d(n)$ işaretinin geciktirilmesiyle elde edilen $x(n)$ işareti, gürültü bileşeni ile ilişkisiz hale getirilmiştir. Süzgeç çıkışındaki $y(n)$, $d(n)$ gürültülü giriş işaretinin gürültüsüz kestirimidir.

$$y(n) = \sum_{i=0}^{L-1} f_i(n) x(n-i), x(n) = d(n-\Delta) \quad (3.1)$$

Eşitlik (3.1)'deki $f_i(n)$

$$f_i(n+1) = f_i(n) + 2\alpha e(n) x(n-i) \quad (3.2)$$

şeklindedir ve de

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (3.3)$$

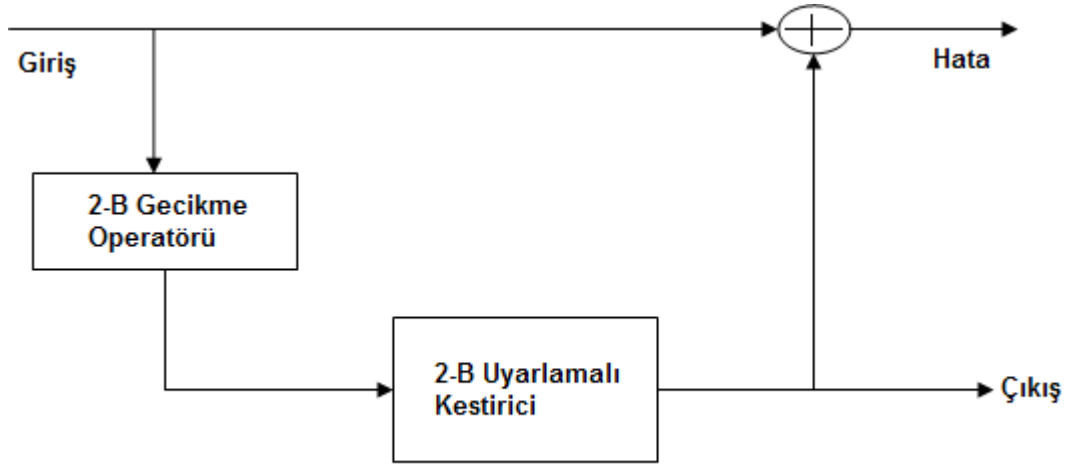
Eşitlik (3.2) 'deki α süzgecin kararlılığını ve yakınsamasını kontrol eden adaptasyon parametresini, Δ giriş işaretinin özilişkisine bağlı olarak değişen gecikme katsayısını, L filtre uzunluğunu ve $f_i(n)$ ' de filtrenin i 'inci ağırlık katsayısını göstermektedir. Adaptasyon parametresinin değeri küçük seçilirse yapı geç yakınsar ama değişken işareti daha iyi takip eder. Tam tersi durumda , uyarlama parametresini değerinin yüksek seçilmesi durumunda, yapı hızlı bir yakınsama gösterir fakat bu seferde işareti takip özelliği kötüleşmiş olur. Bu sebeplerden uyarlama parametresi, α , eşitlikte kritik bir rol oynar. Benzer şekilde Δ , gecikme katsayısının seçimi de yapının iyi sonuç vermesinde önemli rol oynar. Gecikme katsayısının seçimi

$$E[w(n)w(n-\Delta)] \approx 0 \quad (3.4)$$

şeklinde olmalıdır ve de eşitlik (3.4) deki $w(n)$, giriş işareti içerisinde yer alan gürültü bileşenini temsil etmektedir.

3.2 Kafes Süzgeç Temelli Uyarlamalı Hat İyileştirici

2-B ALE 'nin yapısı şekil (3.2) 'de gösterilmektedir. 2-B gecikme operatörü renkli gürültüyü ilişkisiz hale getirmek için kullanılır. 2-B uyarlamalı kestirici, gözlemlenen işareten gürültü bileşenini bastırmada kullanılır. 2-B sinüzoidal işaretin iyileştirilmesi, kestiricinin güçlü ilişkili işareti, zayıf ilişkili işareten daha iyi tahmin edebilme özelliğinin bir sonucudur.



Şekil 3.2 : 2-B Uyarlamalı Hat İyileştirici

Kestiricinin yakınsama özelliğini geliştirmek için 2-B kafes süzgecin geri yönde hata alanlarının, $r_{((m,n)-p)}^0, r_{((m,n)-p)}^1, \dots, r_{((m,n)-p)}^M$, birbirine dik olması özelliğini kullanıyoruz. Böylece, renkli gürültüdeki sinüzoidal işaretlerin kestirimi şu şekildedir

$$\hat{y}(m, n) = \sum_{i=0}^m W_{(m,n)}^i r_{((m-K,n-L)-0)}^i \quad (3.5)$$

Eşitlik (3.5) ‘deki K, L de Korelasyon parametresi ve $W_{(m,n)}^j$ ($j = 0, \dots, M$) ortak süreç kafes kestiricinin ağırlık katsayılarını göstermektedir. $W_{(m,n)}^j$, kestirim hatası $e_{(m,n)}^j$ ‘in ortalama karesel değerinin minimize edilmesiyle güncellenir,

$$J_{(m,n)}^j = E \left[\left\{ e_{(m,n)}^j \right\}^2 \right] \quad (3.6)$$

ve de

$$e_{(m,n)}^j = y(m, n) - \sum_{i=0}^j W_{(m,n)}^i r_{((m-K,n-L)-0)}^i \quad (3.7)$$

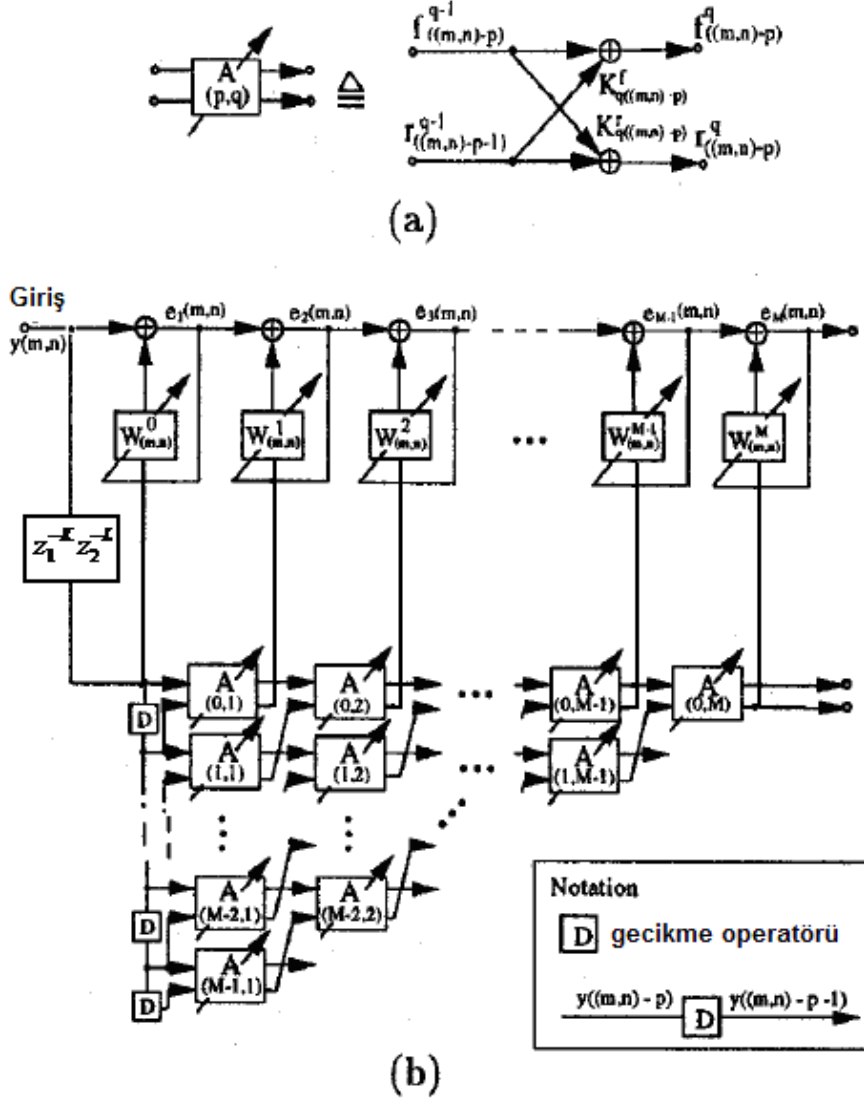
Eşitlik (3.7) ‘in $W_{(m,n)}^j$ ‘e göre türevi alınırsa

$$\hat{\nabla}_{(m,n)}^j = 2e_{(m,n)}^j r_{((m-K,n-L)-0)}^j \quad (3.8)$$

Böylece $W_{(m,n)}^j$ ağırlık katsayılarının LMS algoritmasıyla güncellenmesi,

$$W_{(m,n+1)}^j = W_{(m,n)}^j - 2\mu_3 e_{(m,n)}^j r_{((m-K,n-L)-0)}^j \quad (3.9)$$

şeklindedir. Eşitlik (3.9) 'deki μ_3 adım boyunu göstermektedir. 2-B uyarlamalı kafes hat iyileştiricinin blok diyagramı şekil (3.3) 'de gösterilmektedir.



Şekil 3.3 : 2-B Uyarlamalı Kafes Hat İyileştirici

ALE uygulamalarında önemli olan bir diğer husus, dekorelasyon parametresinin seçimidir. Dekorelasyon parametreleri K, L gürültü bileşenlerinin aralarındaki ilişkiyi kaldırmak için kullanılır. Yani amaç gürültü bileşenlerinin ilişkisiz hale getirilmesidir. Bunu yaparken giriş işareti $y(m, n)$ 'deki gürültü bileşeni ile geciktirilmesiyle elde edilmiş $y(m-K, n-L)$ işaretindeki gürültü bileşeninin ilişkisiz olmasıdır. Bunu yaparken $y(m, n)$ 'deki ve $y(m-K, n-L)$ 'deki sinüzoidal işaret bileşenlerinin de korunmasına dikkat edilmelidir. Giriş işaretinin şu şekilde olduğunu varsayalım,

$$y(m, n) = \sum_{i=1}^N D_i(m, n) + N(m, n) \quad (3.10)$$

Eşitlik (3.10) ‘deki $D_i(m, n), (i = 1, \dots, N)$ giriş işaretindeki sinüzoidal işaret bileşenlerini ve $N(m, n)$ ‘de renklendirilmiş gürültüyü ifade etmektedir. $D_i((m, n) - p)$ ile $D_i((m - K, n - L) - p)$ arasındaki ilişkinin güçlü olabilmesi için K ve L değerleri şu şekilde olmalıdır,

$$\sum_{i=1}^N D_{i((m, n) - p)} = \pm \sum_{i=1}^N D_{i((m - K, n - L) - p)} \quad (3.11)$$

$p = 1, \dots, M$ için

Eşitlik (3.9) ‘dan

$$w_1^j K + w_2^j L = 2\pi S_j \quad (3.12)$$

S_j : tamsayı , $j = 1, \dots, N$ için

veya

$$w_1^j K + w_2^j L = \pi(2S_j + 1) \quad (3.13)$$

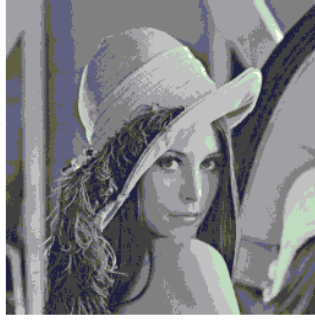
S_j : tamsayı , $j = 1, \dots, N$ için

Eşitliklerdeki (w_1^j, w_2^j) , $D_j(m, n)$ ’in frekans bileşenleridir. Böylece, dekorelasyon parametrelerini seçerken değerlerin eşitlik (3.12) veya (3.13) ‘i sağlaması gerekmektedir.

3.3 Uygulama Örnekleri

Bu bölümde farklı SNR değerlerindeki iki görüntünün farklı destek bölgelerinde farklı dizilimleri için (çeyrek düzlem ve simetrik olmayan yarı düzlem ile klasik ya da yakın komşuluk) farklı derecelerden 2-B uyarlamalı kafes hat iyileştirici (ALE) yapısı kullanılarak gürültü giderme performansları incelenecektir. Sonuçlar, hem resim üzerinden, hem de ileri ve geri yönde yansıma katsayılarından herhangi birileri ile ağırlık katsayılarının herhangi birinin yakınsama eğrileri üzerinden ve de öğrenme eğrisi üzerinden çizilerek verilecektir. İlk uygulamamızda 256x256 boyutundaki Lena resmini, varyansı 0.03 ve ortalaması sıfır olan toplamsal beyaz gauss gürültüsü ile kirletip 2-B uyarlamalı kafes hat iyileştirici yapısı kullanılarak farklı destek

bölgeleri ve dizilimleri sonucu yapının gürültü giderme performansı incelenecektir. ALE yapısında dekorelasyon parametresi (5,5) alınmıştır. İkinci uygulamada da yine 256x256 boyutundaki Lena resmi, varyansı 0.001 ve ortalaması sıfır olan toplamsal beyaz gauss gürültüsü eklenmiş ve bir önceki uygulamadaki aynı yapı kullanılarak gürültü giderme performansı incelenmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

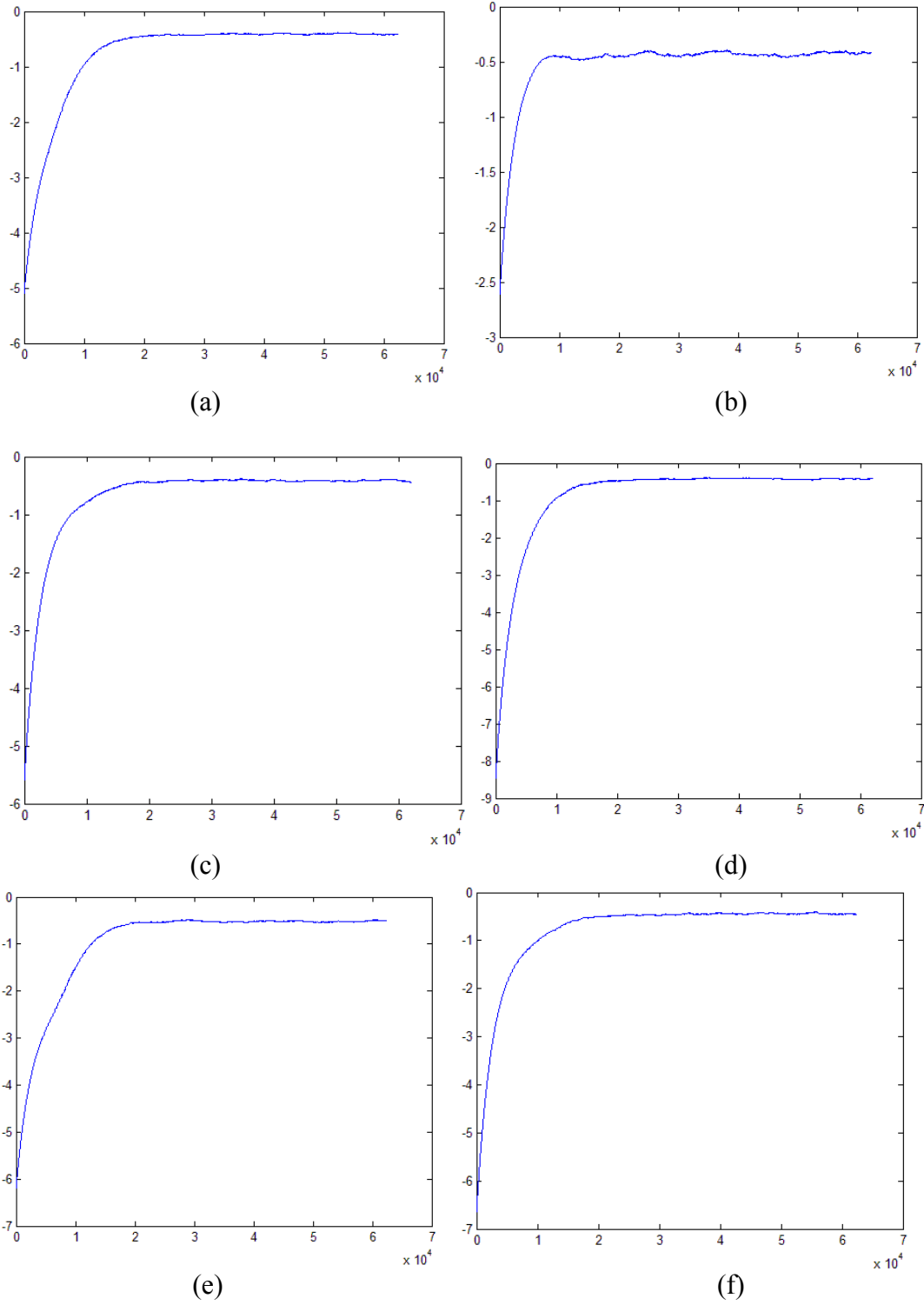


(g)

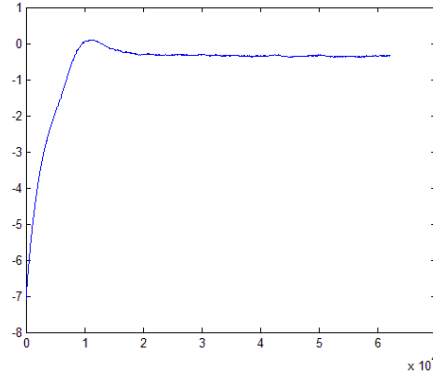


(h)

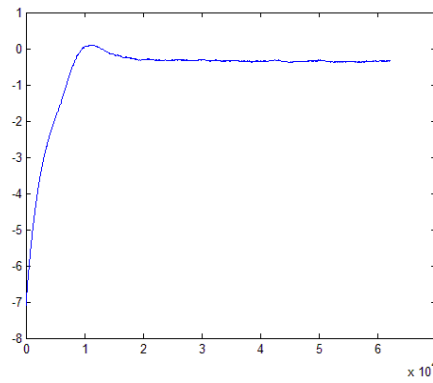
Şekil 3.4 : SNR=10dB için 2-B uyarlamalı kafes hat iyileştirici yapısı kullanılarak gürültü giderme (a) Gürültüsüz Lena resmi, (b) SNR değeri 10db olan toplamsal gauss gürültüsü ile kirletilmiş resim, (c) QP2 Klasik Sıralama, (d) QP2 Yakın-Komşu Sıralama, (e) QP3 Klasik Sıralama, (f) QP3 Yakın-Komşu-Sıralama, (g) ASHP2 Klasik Sıralama, (h) ASHP2 Yakın-Komşu Sıralama



Şekil 3.5 : Geri yönde yansıma katsayısı $K_{2,3}^r$ nin öğrenme eğrileri, (a) QP2 Klasik Sıralama, (b) QP2 Yakın Komşu Sıralama, (c) QP3 Klasik Sıralama, (d) QP3 Yakın Komşu Sıralama, (e) ASHP2 Klasik Sıralama, (f) ASHP2 Yakın Komşu Sıralama



(a)



(b)

Şekil 3.6 : 2-B uyarlamalı kafes hat iyileştiricinin $w(3)$ ağırlık katsayısının yakınsama eğrisi (a) QP2 Klasik Sıralama,(b) ASHP2 Klasik Sıralama

Şekil 3.6'dan da anlaşılacağı üzere, 2-B uyarlamalı kafes hat iyileştiricinin $w(3)$ ağırlık katsayısının yakınsaması ASHP2 Klasik sıralamada, QP2 Klasik sıralamaya göre daha hızlıdır. Bunun nedeni ise ASHP2 Klasik sıralama yapısında 12 tane kafes modülü kullanılırken QP2 Klasik sıralama yapısında 9 tane kafes yapısı kullanılmasıdır.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Şekil 3.7 : SNR=20dB için 2-B uyarlamalı kafes hat iyileştirici yapısı kullanılarak gürültü giderme (a) Gürültüsüz Lena resmi, (b) SNR değeri 10db olan toplamsal gauss gürültüsü eklenmiş resim, (c) QP2 Klasik Sıralama, (d) QP2 Yakın Komşu Sıralama, (e) QP3 Klasik Sıralama, (f) QP3 Yakın Komşu Sıralama, (g) ASHP2 Klasik Sıralama, (h) ASHP2 Yakın Komşu Sıralama

Çizelge 3.1 : Farklı işaret-gürültü oranlarında, farklı destek bölgelerindeki farklı dizilimler için farklı derecelerden 2-B uyarlamalı kafes hat iyileştirici yapısı kullanılarak elde edilen ortalama karesel hata değerleri

Yöntem	SNR=10dB		SNR=20dB	
	MSE	PSNR	MSE	PSNR
Gürültülü Lena	2842.3	13.5941	2527.4	14.1041
QP2 Klasik Sıralama	2328.5	14.4600	2124.5	14.8582
QP2 Yakın-Komşu Sıralama	2282.1	14.5475	2103.7	14.9010
QP3 Klasik Sıralama	2177.4	14.7514	1916.9	15.3048
QP3 Yakın-Komşu Sıralama	2104.9	14.8985	1896.1	15.3522
ASHP2 Klasik Sıralama	2181.0	14.7442	1923.1	15.2908
ASHP2 Yakın-Komşu Sıralama	2145.9	14.8147	1911.8	15.3164

4. 2-B UYARLAMALI KAFES SÜZGEÇ YAPILARI İLE BENEK GÜRÜLTÜSÜ GİDERME

4.1 SAR Görüntülemeye Benek Gürültüsü

SAR, bütün hava koşullarında dünya yüzeyinden yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmek için kullanılan aktif bir mikrodalga ışınlama teknolojisidir. SAR teknolojisi görüntülenecek yüzey için herhangi bir ışık kaynağına ihtiyaç duymaz. Görüntülenecek yüzey için kendi aydınlatmasını yapar. Bu özelliğinden dolayı SAR aktif bir teknoloji olarak adlandırılır. Ayrıca yaratılan ışık tutarlıdır(coherent). Bu sayede ışığın gönderilen ve alınan tarafta aynı frekans ve fazda olması sağlanır. SAR teknolojisi ışıklendirme için mikrodalga frekans ışınlama kullanır. Bu sebeple görsel uzaktan algılama ile ilgili problemlerle karşılaşmaz. Yani, her türlü hava koşullarında ve gündüz veya gece olması durumunda görüntü elde edebilir. SAR sistemleri uzun menzile yayılma özelliği ve sayısal elektroniğin kompleks bilgiyi işleme yeteneği sayesinde de yüksek çözünürlüklü görüntü elde etmeye imkan sağlar.

Bütün bu özelliklerden dolayı SAR teknolojisi pratikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Arazilerin yapısal bilgisinin tespiti, su üzerinde oluşan yağ tabakalarının tespiti, topraktaki nem tespiti, su ve buzul bölgelerin tespiti, askeri amaçlı hedef ve keşif bilgilerinin tespiti, şehir planlama, maden arama, arama kurtarma başlıca kullanım alanlarıdır.

SAR uygulamalarında tek bir radar anteni uçağa bağlanır ve mesafe üzerinde uçağın uçuşu sırasında radar tarafından elde edilen sinyaller birleştirilir. Böylece 2 boyutlu bir görüntü elde edilir. Radar görüntülemeye radarın bakış doğrultusu menzile eksenini verir. Menzile bir darbenin hedefe iletilmesi ve yansıyan darbenin alınması için geçen zamanın ölçülmesi ile bulunur. Menzile çözünürlüğü ise iletilen darbenin genişliği ile belirlenir. Dar darbeler daha iyi menzile çözünürlüğü sağlarlar. Menzile doğrultusuna dik doğrultu ise çapraz menzile olarak adlandırılır. Yüksek çapraz menzile çözünürlüğüne sahip bir radar görüntüsü oluşturmak için fiziksel olarak büyük bir antene ihtiyaç duyulur. SAR teknolojisi optik sistemlerden daha düşük frekanslarda çalışır. Dolayısıyla nispeten düşük bir çözünürlük için bile bir uçağın taşıyabileceğinden çok daha büyük bir antene ihtiyaç duyar. Kabaca düşük bir çözünürlük için bile yüzlerce metre uzunluğunda antene ihtiyaç vardır. Bundan dolayı SAR sistemlerinde uçağa bağlı bir radar anteni uçuş sırasında veri toplar. Böylece SAR teknolojisi, uçuş hattı boyunca hareket edilirken radar tarafından elde edilen sinyallerin

birleştirilmesi ile çok büyük bir anten açıklığı yapay olarak sentezlemiş olur. Anteni oluşturmak için uçağın uçtuğu mesafeye yapay açıklık adı verilir.

SAR teknolojisinde görüntü ışıınım ile elde edildiğinden, SAR görüntüleri çarpımsal gürültü ile bozulur. Herhangi bir nesne radyasyon ile aydınlatıldığında yüzeyden yansıyan dalga çok sayıda saçılmış nokta içerir. Dolayısıyla yansıyan dalgalar tanecikli bir görüntü oluşmasına neden olur. İşte bu taneciklere benek, SAR görüntülerde oluşan gürültü yede benek gürültüsü denilir. Beneklerin varlığı ışıınımsal çözünürlüğü bozar ve görüntü kalitesini düşürür. Bundan dolayı görüntü bölütleme, sınıflandırma gürültü giderme ve görüntüden diğer bilgilerin elde edilmesi gibi işlemlerin verimi düşer. Bütün bu sebeplerden dolayı, SAR görüntüyü yorumlamadan önce benek gürültüsünü azaltmak gerekir. Bu işlem sırasında doku ve kenar bilgilerinin kaybolmaması önemlidir. Teorik olarak benek gürültüsü şu şekilde modellenenir.

$$J = I + n * I \quad (4.1)$$

Burada n sıfır ortalamalı v varyanslı rastgele düzgün dağılımlı gürültü, I orjinal görüntü matrisi ve J benek gürültülü görüntü matrisini belirtir.

Benek gürültüsünü azaltmak için birçok çalışma yapılmış ve filtre geliştirilmiştir. Mean filtre, medyan filtre, Lee filtre, Lee sigma filtre ve Kuan filtre başlıcalarıdır. Son yıllarda ise dalgacık dönüşümü ve çoklu-dalgacık dönüşümü kullanılarak benek gürültüsünün azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Mean filtre gerçeklemesi en basit olan filtredir. Mean filtrede bir pencere seçilir. Bu pencere görüntü verisi üzerinde hareket ederken merkezdeki piksel pencere içindeki piksellerin ortalaması ile değiştirilir. Mean filtre benek gürültüsü ile birlikte kenarlarında yumuşamasına sebep olur. Filtrenin bir kaç kere uygulanması durumunda görüntü tamamen kaybolur.

Medyan filtrenin gerçekleşmesi mean filtre gibi kolaydır. Bununla beraber medyan filtre mean filtreye nazaran çok büyük oranda kenarların korunmasını sağlar. Medyan filtre pikselleri önce sıralar, daha sonra medyan değeri alır.

Lee filtre yerel istatistiksel bir metottur. Çarpımsal gürültünün yoğunluğu negatif üstel dağılım gösterir. Basit bir istatistiksel model ile böyle bir gürültünün temsil edilmesi imkansızdır. Bu yüzden Lee filtrede lokal istatistiksel metot kullanılır. Bu yöntemde görüntünün kendisi kayan bir pencere içindeki lokal varyans ve lokal ortalama ile, varyans ve ortalamanın tahmin edilmesi için kullanılır. Sonuç olarak çarpımsal modelin lineer bir modele yaklaşıklığı bulunur ve elde edilen lineer modele minimum ortalama karesel hata kriteri uygulanır.

Lee sigma filtresi Lee tarafından Lee filtresine daha basit bir alternatif olarak sunulmuştur. Sigma filtre verinin Gauss dağılımına sahip olduğunu farz eder. Gauss dağılımlı rastgele örneklerin %95.5'i ortalama değerin her iki yanındaki iki standart sapma içine düşer. İki standart sapmanın dışında kalan değerler ise farklı bir dağılımdan olacaktır. Sigma filtre yalnız filtre penceresi içindeki iki standart sapma içindeki piksellerin ortalamasını alır. Bu sayede kenarların korunması da sağlanır. Çünkü kenarlar ortalama alma işleminin uygulandığı merkezdeki piksel ile aynı dağılımda bulunmaz.

Kuan filtre yerel istatistiksel bir metot olan Lee filtre ile benzer şekilde çalışır. Bu yöntemde çarpımsal gürültü modeli ilk önce işarete bağımlı toplamsal gürültü modeline dönüştürülür. Daha sonra elde edilen modele minimum ortalama karesel hata kriteri uygulanır.

4.2 Çarpımsal Gürültü Giderme Algoritması

Benek gürültüsü, çarpımsal bir gürültü olup, çeşitli yöntemlerle belirli bir seviyeye kadar azaltılabilir. Bunu yaparken, benek gürültüsüyle ilgili bazı istatistiksel varsayımlarda bulunmak gereklidir. Bu varsayımların, incelenen yöntemlerin teorik olarak daha basit denklemlerle ifade edilebilmesini sağlamasının yanı sıra, sayısal ortamda işlem yükünü önemli derecede hafifletmesi de doğal bir gerçektir. Bu varsayımlara birazdan değinilecektir. Öncelikle çarpımsal gürültüyü biraz daha detaylı incelemekte fayda vardır. Çarpımsal bir gürültüyü aşağıdaki denklemle ifade etmek mümkündür.

$$F(x, y) = G(x, y) \cdot E(x, y) \quad (4.2)$$

Bu denklemde $F(x, y)$ gürültülü resimdeki piksel değerleri, $G(x, y)$ gürültüsüz resimdeki piksel değerleri ve $E(x, y)$ her piksele eklenen çarpımsal gürültünün şiddetidir. Nitekim, gürültülü resme uygulanacak olan görüntü işleme teknikleriyle bu denklemi kullanmak mümkün değildir. Bu sorunu aşmak için denklemin logaritması alınarak, incelenen gürültüye toplamsal bir boyut kazandırılır. Bunun ifadesi de şu şekildedir:

$$\log(F(x, y)) = \log(G(x, y) \cdot E(x, y)) = \log(G(x, y)) + \log(E(x, y)) \quad (4.3)$$

Görüldüğü gibi, logaritması alınan çarpımsal gürültü, toplamsal gürültü özelliği kazanmıştır. Bu sayede, incelenecek olan görüntü işleme tekniklerinin benek gürültülü resme uygulanması mümkün olacaktır.

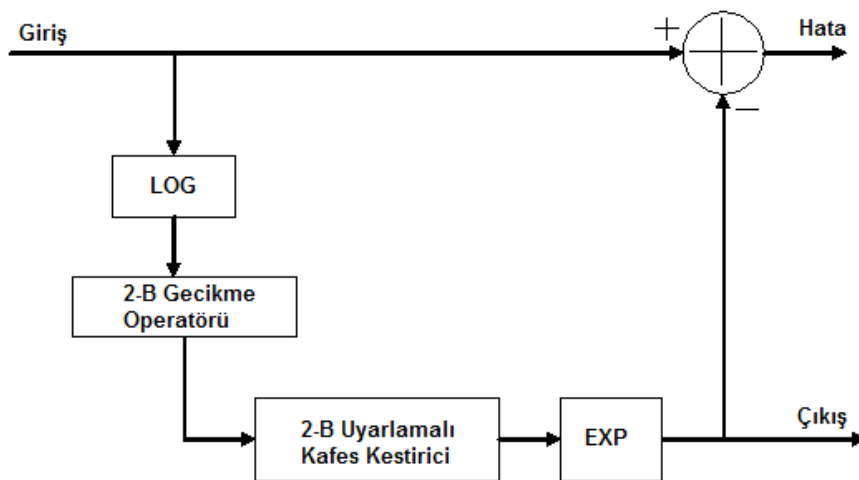
Tekniklerin uygulanmasını mümkün kılan bir diğer şey de, az önce de bahsedilen varsayımlardır. Bu varsayımlar kısaca sıralanacak olunursa:

- Kompleks benek gürültüsünün gerçel ve sanal kısımları birbirinden bağımsızdır,
- Benek gürültüsü ortalama sıfır değerine sahiptir,
- Benek gürültüsü, düzenli olarak dağılmış rastsal Gauss değişkenlerinden oluşmaktadır,

denilebilir. Bunun yanı sıra, logaritması alınmış benek gürültüsünün toplamsal Gauss gürültüsüne benzediğinin, 1976 yılında Arsenault ve April tarafından gösterilmiş olduğunu da eklemek gerekir.

Bu varsayımlarla ve logaritmik dönüşümle benek gürültüsünün toplamsal Gauss gürültüsüne çevrilmesinden sonra, görüntü üzerine birçok gürültü giderme algoritması uygulanabilir.

Üçüncü bölümde, toplamsal gürültü ile kirlenmiş resim işaretinin 2-B uyarlamalı kafes hat iyileştirici yapısı kullanılarak nasıl gürültüsüz hale getirildiği anlatılmıştı. SAR görüntülerindeki gürültü çarpımsal olduğu için üçüncü bölümde anlatılan yapı direk olarak kullanılamaz. Öncelikle çarpımsal gürültünün toplamsal hale getirilmesi gerekmektedir. Bunu da giriş işaretinin logaritmasını alarak yaparız. Logaritması alınmış giriş işareti, üçüncü bölümde anlatılan 2-B uyarlamalı kafes hat iyileştirici yapısına uygulanır. Yapının çıkışındaki işaretin tekrar exponansiyeli alınarak gürültüden giderilmiş işaret elde edilir. Yapının şekli (4.1) 'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 : Çarpımsal gürültü için 2-B uyarlamalı kafes hat iyileştirici.

4.3 Uygulama Örnekleri

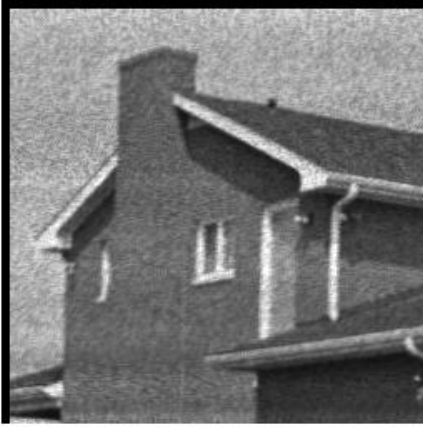
Bu bölümde, 15 db SNR değerlerindeki görüntünün farklı destek bölgelerinde farklı dizilimleri için (çeyrek düzlem ve simetrik olmayan yarı düzlem ile klasik ya da yakın-komşu) farklı derecelerden 2-B uyarlamalı kafes hat iyileştirici (ALE) yapısı kullanılarak çarpımsal gürültü giderme performansları incelenecektir. Sonuçlar, hem resim üzerinden, hem de ileri ve geri yönde yansıma katsayılarından herhangi birileri ile ağırlık katsayılarının herhangi birinin yakınsama eğrileri üzerinden ve de öğrenme eğrisi üzerinden çizilerek verilecektir. İlk uygulamamızda, boyutu 256x256 olan ev görüntüsü, ikinci uygulamamızda da SAR görüntüsü incelenecektir.



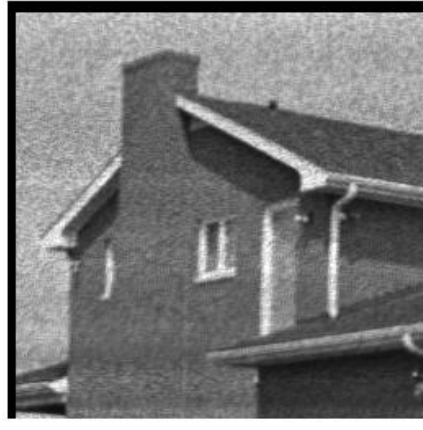
(a)



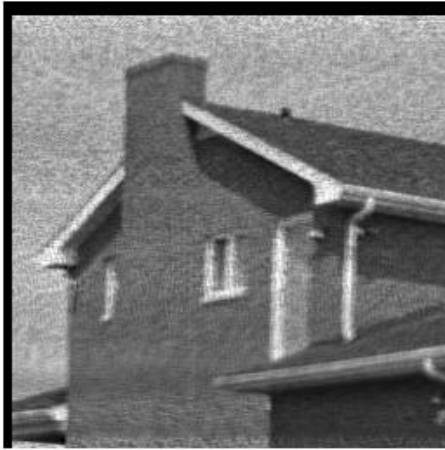
(b)



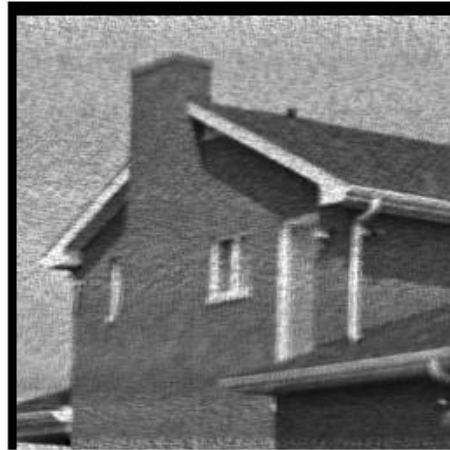
(c)



(d)



(e)



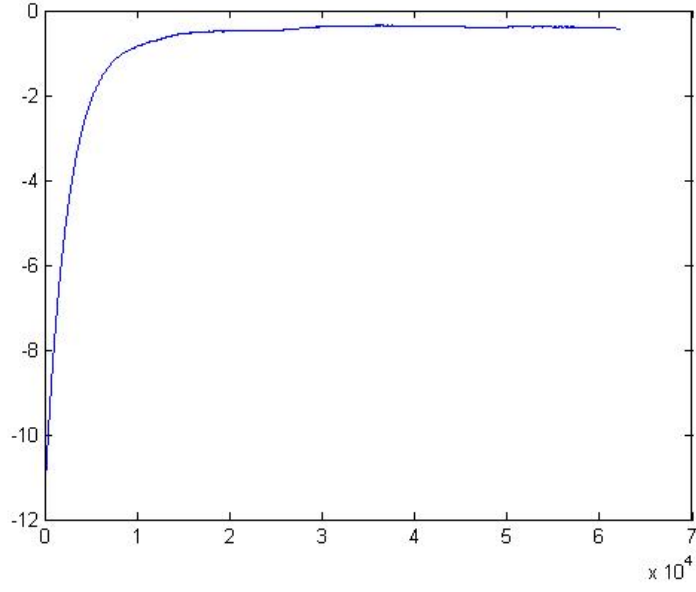
(f)

Şekil 4.2 : 2-B uyarlamalı kafes hat iyileştirici yapısı kullanılarak çarpımsal gürültü gidermesi (a) orijinal görüntü (b) gürültü eklenmiş görüntü (c) QP2 sıralı dizinleme (d) QP2 yakın-komşu dizinleme (e) QP3 sıralı dizinleme (f) QP3 yakın komşu.

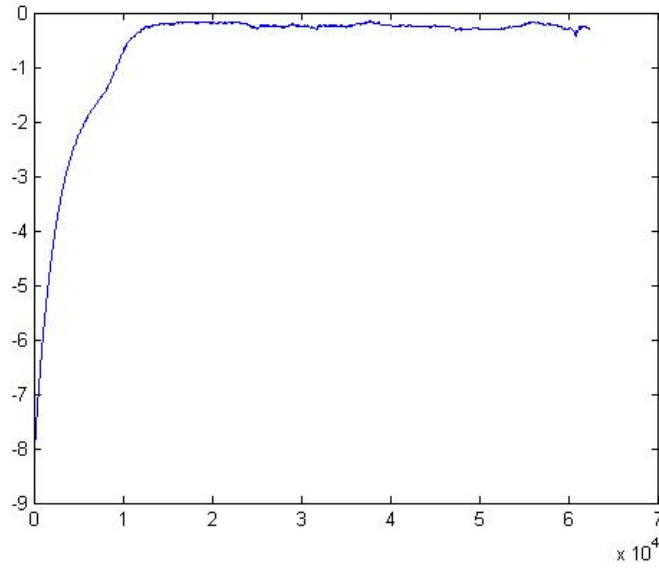
Çizelge 4.1 : SNR=15db işaret-gürültü oranlarında, farklı destek bölgelerindeki farklı dizilimler için farklı derecelerden 2-B uyarlamalı kafes hat iyileştirici yapısı kullanılarak elde edilen ortalama karesel hata değerleri

Yöntem	SNR=15dB	
	MSE	PSNR
Gürültülü Lena	485.0640	21.2728
QP2 Klasik Sıralama	442.4180	21.6725
QP2 Yakın-Komşu Sıralama	429.1031	21.8052
QP3 Klasik Sıralama	410.8692	21.9938
QP3 Yakın-Komşu Sıralama	398.5636	22.1258

Çizelge 4.1’den de anlaşılacağı üzere gürültü giderme performansı en iyi olan yapı QP3 Yakın-Komşu sıralama yapısıdır. Bu da beklenen bir sonuçtur. Hem yapının derecesi hem de destek bölgesinin sıralanması yapının performansını olumlu etkilemiştir.

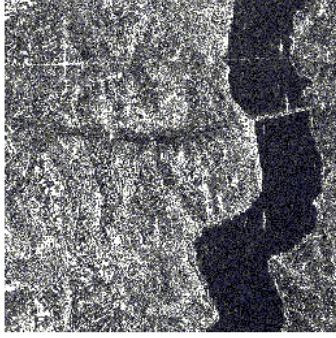


(a)

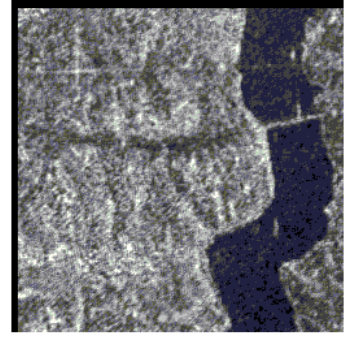


(b)

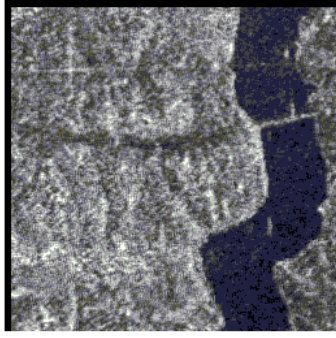
Şekil 4.3 : 2-B uyarlamalı ortak süreç kafes yapısındaki ileri ve geri yöndeki yansıma katsayısıyla, ağırlık katsayısının yakınsama eğrisi (QP3 Klasik sıralama) (a) Geri yöndeki yansıma katsayısı (b) ileri yöndeki yansıma katsayısı



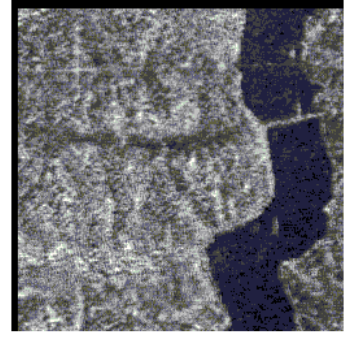
(a)



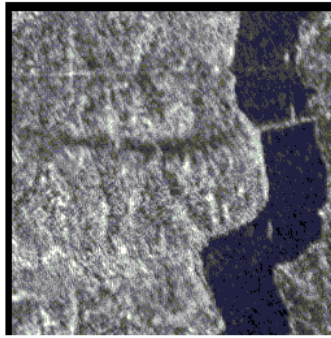
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 4.4 : 2-B uyarlamalı kafes hat iyileştirici yapısı kullanılarak çarpımsal gürültü gidermesi (a) İstanbul Boğazı'nın radar görüntüsü (b) QP2 sıralı dizinleme (c) QP2 yakın-komşu dizinleme (d)QP3 sıralı dizinleme (e) QP3 yakın komşu.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, iki boyutlu ortak süreç kafes yapıları incelenmiştir. İncelenen bu yapı görüntülerdeki gürültü giderme problemi üzerine uygulanmış ve gürültü giderme performansı değerlendirilmiştir. Bu problemin çözümünde uyarlamalı kafes hat iyileştirici yapısı kullanılmıştır.

1-B kafes yapıların uzantısı olarak gerçekleştirilen 2-B dik kafes süzgeç yapısı ile 2-B genişletilmiş normal denklemler yinelemeli olarak çözülebilmekte ve 1-B kafes yapısının diklik, modülerlik ve gürültüye dayanıklılık gibi işaret işleme uygulamaları açısından büyük önem taşıyan özellikleri korunabilmektedir.

Gürültü giderme uygulamasının yanında başka uygulamalar da gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamalarda, yansıma katsayısının yakınsaması ve ortak-süreç kafes yapısının ağırlık katsayılarının yakınsaması incelenmiştir ve bu değerler grafik şeklinde çizdirilmiştir. Bu grafiklerden de görüleceği üzere yansıma katsayıları ve ağırlık katsayıları belirli bir değerden sonra kalıcı bir değere ulaşarak karalı hale gelmektedirler. Bu değerlerin karalı hale daha kısa sürede gelmelerini sağlamak için ilk koşul değerleri dikkatli bir şekilde seçilmelidir.

Çizelge 3.1'den de görüleceği üzere algoritmanın farklı işaret-gürültü oranlarındaki resim işaretindeki performansı diğer uyarlamalı kafes süzgeç yapılarına göre daha iyi değildir. Bunun sebebi ise kullanılan yapının giriş işareti veya gürültü hakkında herhangi bir kabullenmede bulunmamasındandır. Kullanmış olduğumuz uyarlamalı kafes hat iyileştirici yapısında referans işaret olarak giriş işaretinin belirli derecede geciktirilmesiyle elde edilen işaret kullanılmaktadır. Diğer iki boyutlu kafes yapılarında ise referans giriş işareti olarak genelde toplamsal beyaz gauss gürültüsünün 3x3 lük tüm kutuplu süzgeçten geçirilmesiyle elde edilen işaret kullanılmaktadır ve de bu referans işaret gürültülü resim işaretindeki gürültü bileşeni ile de ilişkilidir. Tüm bu nedenlerden dolayı kullanmış olduğumuz yapının gürültü giderme performansı diğer iki boyutlu uyarlamalı kafes yapılarına göre daha kötüdür.

Kullanmış olduğumuz iki boyutlu uyarlamalı kafes hat iyileştirici yapısında, referans giriş işaretini elde etmek için giriş işaretini belirli bir dereceden geciktirmemiz gerekmektedir. İşte bu geciktirme parametresi yapımızın performansını direkt etkilemektedir. Bu geciktirme parametresine ilişkisizlendirme parametresi de denilmektedir. İlişkisizlendirme parametreleri gürültü bileşenlerinin aralarındaki ilişkiyi kaldırmak için kullanılır. Bu parametrelerin seçiminde bu konuya dikkat edilmelidir.

Yapının performansını etkileyen bir diğer önemli husus da yansıma katsayıları ve ortak-süreç kafes süzgecin ağırlık katsayılarının hesaplanmasında kullanılan adım boyu parametresinin ve λ parametresinin seçimidir. Bu parametrelerin seçimi deneysel olarak yapılmıştır. Belirli değerler için yapının performansı iyi sonuçlar vermektedir. Bu da yapının bir diğer dezavatajıdır.

Yapının diğer yapılara göre en önemli avantajı, hem çeyrek düzlem hem de simetrik olmayan yarı düzlemde başarılı bir şekilde çalışmasıdır. Kullanılan kafes yapısının bir diğer avantajı da geri yöndeki öngörü hata alanlarının birbirlerine dik olmasıdır ki bu özelliğinden dolayı gereksiz bilgi ortadan kaldırılmış ve uyarlamalı uygulamalar için yakınsama hızı arttırılmıştır.

Sunulan kafes yapısı kullanılarak yansıma katsayıları ve ortak-süreç kafes yapısının ağırlık katsayılarının güncellenmesinde en küçük kareler yöntemi baz alınarak oluşturulacak yeni yapılar ileride incelenebilir ve de bu yapıların gürültü giderme performansları araştırılabilir konulardır.

KAYNAKLAR

- [1] Lim, J. S., 1990. Two-Dimensional Signal and Image Processing, Prentice Hall.
- [2] Nakachi, T., Yamashita, K., Hamada, N., 1997. "2-D Adaptive Joint-Process Lattice Estimator for Image Restoration" *IEEE Trans., Fundamentals*, Vol. E80-A, No 1
- [3] Marzetta, T.L., 1980. "Two-Dimensional Linear Prediction: Autocorrelation Arrays, Minimum-Phase Prediction Error Filters, and Reflection Coefficient Arrays", *IEEE Trans. On Acous., Speech, and Sig. Proc.*, Vol.ASSP-28, No.6, pp.725-733.
- [4] Parker, S.R., Kayran, A.H., 1984. "Lattice Parameter Autoregressive Modelling of 2-D Fields – Part I : The Quarter-Plane Case1", *IEEE Trans. On Acous., Speech, and Sig. Proc.*, Vol.ASSP-32, No.4, pp.872-885.
- [5] Lev-Ari, H., Parker, S.R., 1988. "Stable and Efficient 2-D Lattice Filters", *Proc. IEEE Symp. On Circuits and Systems*, San Jose, CA, pp.695-698.
- [6] Bose, N.K., 1990. "Multidimensional Digital Signal Processing: Problems, Progress, and Future Scopes", *Proc. IEEE*, Vol.78, pp.590-597.
- [7] Kayran, A. H., 1990. "Design of 2-D Recursive Filters with Asymmetric Half-Plane Lattice Modelling", *IEEE. Proceedings*, Vol.137, No.6, pp.427-438.
- [8] Ertüzün, A., Kayran, A.H., Panayırçı E., 1990. "Entropy Relations of 2-D Lattice Filters", *Proc. Bilcon Conf On New Trends in Comm., Cont. and Signal Processing*, pp.1337-1343, Ankara, Türkiye.
- [9] Kayran, A. H., 1996. "Two Dimensional Orthogonal Lattice Structures for Autoregressive Modelling of Random Fields", *IEEE. Trans. , Signal Process.*, Vol.44, No.4, pp.963-978.
- [10] Nakachi, T., Yamashita, K., Hamada, N., 1997. "Asymmetric Half-Plane Lattice Modelling Based on 2-D Levinson Algorithm" *IEEE Trans.Circuit and Systems*, Vol. 44, No. 10, pp 865-868.
- [11] Nakachi, T., Yamashita, K., Hamada, N., 1996. "2-D Adaptive Autoregressive Modelling Using New Lattice Structure" *IEEE Trans. , Fundamentals*, Vol. E74-A, No. 8.
- [12] Nakachi, T., Yamashita, K., Hamada, N., 1996. "A Two-Dimensional Joint-Process Estimator Using New Lattice Form", *ISCAS Atlanta*, Vol.2, pp.33-36.
- [13] Kayran, A.H., 1998. "Improved 2-D Joint-Process Lattice for Adaptive Restoration of Images", *Electronic Letters*, Vol.34, No.4, pp.350-351.
- [14] Haykin, S., 1995. Adaptive Filter Theory, Prentice-Hall International Editions, 3th Edition.
- [15] Widrow, B., Stearns, S.D., 1985. Adaptive Signal Processing, Prentice-Hall, New Jersey.
- [16] Hayes, M.H., 1996. Statistical Digital Signal Processing and Modeling, John Wiley & Sons, Inc..
- [17] Jain, A., 1991. Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice Hall.

- [18] **Hadhoud, M.M., Thomas D.W.**, 1988. "The Two-Dimensional Adaptive LMS (TDLMS) Algorithm", *IEEE Trans. On Circ. And Sys.*, **Vol.35**, No.5, pp.485-494.
- [19] **Youlal, H., Janati-i, M., Najim, M.**, 1992. "Two-Dimensional Joint Process Lattice for Adaptive Restoration of Images", *IEEE Transactions On Image Processing*, **Vol.1**, No.3, pp.366-378.
- [20] **Watanabe, N., Nakachi, T., Hamada N.**, 1996. "2-D Adaptive Line Enhancer Using A New Lattice Structure", *Proc. IEEE Asia Pasific Conference on Circuits and Systems*, pp.211-214.
- [21] **Gharieb, R. R., Haweel, T.I., Ibrahim, H.M.**, 1995. "A Two-Dimesional Adaptive Lattice (TDAL) Structure for Noise Cancelling", *Int. J. Electronics*, **Vol.78**, No.3, pp.483-492.
- [22] **Lev-Ari, H., Parker, S.R.**, 1985. "Lattice Filter Models of Two-Dimensional Fields", *Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Signal Processing, Tampa, FL*, pp.1317-1320.
- [23] **Ertüzün, A., Kayran, A.H., Panayırçı E.**, 1992. "An Improved 2-D Lattice Filter and Its Entropy Relations", *Signal Processing*, **Vol.28**, No.1, pp.1-24.
- [24] **Ertüzün, A., Kayran, A.H., Panayırçı E.**, 1995. "A Further Improved 2-D Lattice Filter Structure Employing Missing Reflection Coefficients", *Circuits, Syst., Signal Process.*, **Vol.14**, No.4, pp.473-494.
- [25] **Parker, S.R., Kayran, A.H.**, 1983. "Lattice Parameter Autoregressive Modelling of 2-D Fields", *Proc.ASSP Spectrum Estimation Workshop, Tampa, FL*, pp.219-223.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Atakan ALKAN, 1982 senesinde Kayseri’de doğdu. İlkokul eğitimini Kayseri Ahmet Paşa İlköğretim Okulu’nda, ortaokul eğitimini 50. Yıl Dedeman Ortaokulu’nda, lise eğitimini ise Kayseri Sümer (YDA) Lisesi’nde tamamladı. 2000 yılında kazandığı Erciyes Üniversitesi Elektronik Mühendisliği bölümünden 2005 yılında mezun oldu. 2006 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Telekomünikasyon Mühendisliği Yüksek Lisans programına kabul edildi.