

2-BOYUTLU DELTA KAFES SÜZGEÇ YAPISI TASARIMI

C. Mehmet HENDEKLİ ve Aysın ERTÜZÜN
Boğaziçi Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Müh. Böl., Bebek, 80815, İstanbul
hendekli@unidost.com, ertuz@boun.edu.tr

Özetçe

Bu bildiride, geleneksel z -düzlemi tabanlı algoritmalarda oluşabilecek sayısal kararsızlık durumlarını önleyen delta-düzleminde yeni bir 2-boyutlu kafes süzgeç yapısı tasarlanmıştır. Bu yapı kullanılarak uyarlamalı kafes gürültü arındırıcı geliştirilmiştir. Çok düşük işaret-gürültü oranlarında bile oldukça başarılı sonuçlar alınmıştır.

1. Giriş

Son 15 yıldır, kafes süzgeçler 2-boyutlu işaret işlemede önemli araştırmalara konu olmaktadır. Standart 2-boyutlu kafes süzgeç yapısı [2] dört adet öngörü hata alanı üretmektedir. 2-boyutlu kafes süzgeçlerin uygulama alanları olarak, ters yansıma, gürültü arındırma, görüntü işleme ve gerçek-zaman VLSI donanım tasarımı sayılabilir.

Geleneksel olarak z -düzlemi tabanlı olan Levinson ve Schur tipi algoritmalar üzerinde uzun yıllardır yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Ancak bu algoritmalar, hızlı örneklenmiş veriler üzerinde sayısal kararsızlık sonuçlarına yol açabilmektedir. Bu sorunları önleyen delta-düzlemi tabanlı algoritmalar özellikle gerçek zaman tasarımları için uygun olup, uyarlamalı işaret işleme uygulamaları için daha cazip olmaktadır [3-4].

Bu bildiride 2-boyutlu kafes süzgeç ve delta-düzlemi işlevi kavramları birleştirilmiştir. Ters delta işlemi ve leksikografik haritalama yöntemi kullanılarak, delta düzleminde yeni bir 2-boyutlu kafes süzgeç yapısı tasarlanmıştır [1] ve bu yapıyı kullanan uyarlamalı gürültü arındırma algoritması düzenlenmiştir. Bu algoritma, 2-boyutlu ortak-işleyici (joint process) kafes kestirimci [5] şeklinde, Gauss tipi gürültü ile önemli oranda bozulmuş bir görüntü üzerine uygulanmıştır. Uyarlama algoritması olarak düzelenmiş enküçük ortalama kareler (DEOK) algoritması kullanılmıştır. Elde edilen sonuç ayrıca uyarlamalı Wiener süzgeç sonucuyla karşılaştırılmıştır. Onarılmış görüntü, önerilen yapı üzerine kurulan algoritmanın başarısını oldukça çarpıcı şekilde göstermektedir. Çok düşük işaret-gürültü oranlarında bile çok başarılı sonuçlar elde edilmektedir.

2. Temel Bilgiler

2.1. 2-Boyutlu kafes süzgeç yapısı

2-boyutlu kafes süzgeç yapısı [2] aşağıdaki giriş/çıkış bağıntısı ile gösterilen dört adet öngörü hata alanı üretir:

$$\begin{bmatrix} e_{00}^{(m)}(n_1, n_2) \\ e_{10}^{(m)}(n_1, n_2) \\ e_{11}^{(m)}(n_1, n_2) \\ e_{01}^{(m)}(n_1, n_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -k_{10}^{(m)} & -k_{11}^{(m)} & -k_{01}^{(m)} \\ -k_{10}^{(m)} & 1 & -k_{01}^{(m)} & -k_{11}^{(m)} \\ -k_{11}^{(m)} & -k_{01}^{(m)} & 1 & -k_{10}^{(m)} \\ -k_{01}^{(m)} & -k_{11}^{(m)} & -k_{10}^{(m)} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_{00}^{(m-1)}(n_1, n_2) \\ e_{10}^{(m-1)}(n_1 - 1, n_2) \\ e_{11}^{(m-1)}(n_1 - 1, n_2 - 1) \\ e_{01}^{(m-1)}(n_1, n_2 - 1) \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Burada $(m) = (m_1, m_2)$, $(m+1) = (m_1 + 1, m_2 + 1)$, $n_1 = 1, \dots, N_1$, $n_2 = 1, \dots, N_2$, $m = 1, \dots, M$ olmak üzere $k_{ij}^{(m)}$, m -inci katmanın kafes yansıma katsayılarıdır. $e_{00}^{(m)}(n_1, n_2)$, $e_{10}^{(m)}(n_1, n_2)$, $e_{11}^{(m)}(n_1, n_2)$ ve $e_{01}^{(m)}(n_1, n_2)$ hata alanları, sırasıyla, m -inci kafes katmanının çıkışındaki birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü çeyrek düzlem öngörü hata alanlarına karşılık gelmektedir. Başlangıç değerleri, giriş veri alanı $u(n_1, n_2)$ cinsinden aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$e_{00}^{(0)}(n_1, n_2) = e_{10}^{(0)}(n_1, n_2) = e_{11}^{(0)}(n_1, n_2) = e_{01}^{(0)}(n_1, n_2) = u(n_1, n_2) \quad (2.2)$$

Öngörü hata alanlarının ortalama kare değerlerinin, yansıma katsayılarına göre türevlerinin alınıp, sıfıra eşitlenmesi, yani enküçüklenmesi sonucu her katman için aşağıdaki normal denklemler türetilebilir [2]:

$$\mathbf{R}^{(m-1)} \mathbf{k}^{(m)} = \mathbf{P}^{(m-1)} \quad (2.3)$$

Burada, özilinti matrisi $\mathbf{R}^{(m-1)}$ ve çapraz ilinti vektörü $\mathbf{P}^{(m-1)}$ öngörü hata alanlarının ilintilerinden oluşmaktadır. $\mathbf{k}^{(m)}$ ise m -inci katmanın yansıma katsayısı dizisidir ve şöyle gösterilmektedir:

$$\mathbf{k}^{(m)} = [k_{10}^{(m)} \quad k_{11}^{(m)} \quad k_{01}^{(m)}]^T \quad (2.4)$$

$\mathbf{R}^{(m)}$ 'in elemanları öngörü hata alanları arasındaki ilintilerdir ve aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\Phi_{ab,xy}^{(m)} = E[e_{kl}^{(m)}(i-a, j-b)e_{pq}^{(m)}(i-x, j-y)] \quad (a, b, x, y, k, l, p, q = 0, 1) \quad (2.5)$$

2-boyutlu transfer işlevi, karşılık düşen katmanın kafes katsayılarından bulunabilir. İleri yöndeki 2-boyutlu transfer işlevi için, m -inci katmanın katsayı matrisi aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$\mathbf{B}_{00}^{(m)} = \hat{\mathbf{B}}_{00}^{(m)} - k_{10}^{(m)} \hat{\mathbf{B}}_{10}^{(m)} - k_{11}^{(m)} \hat{\mathbf{B}}_{11}^{(m)} - k_{01}^{(m)} \hat{\mathbf{B}}_{01}^{(m)} \quad (2.6)$$

Burada, ileri yöndeki öngörü hata süzgeci için genişletilmiş matris aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$\hat{\mathbf{B}}_{00}^{(m)} = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_{00}^{(m-1)} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0}^T & \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

İleri yöndeki öngörü hata süzgeci için ilk katmanın katsayı matrisi ise şöyledir:

$$\mathbf{B}_{00}^{(1)} \equiv \begin{bmatrix} 1 & -k_{01}^{(1)} \\ -k_{10}^{(1)} & -k_{11}^{(1)} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Geri yöndeki öngörü hata süzgeçlerine karşılık düşen katsayı matrisleri, yani, $\mathbf{B}_{10}^{(m)}$, $\mathbf{B}_{11}^{(m)}$ ve $\mathbf{B}_{01}^{(m)}$ sırasıyla, $\mathbf{B}_{00}^{(m)}$ matrisinin satır, satır-sütun ve sütun terslenmiş halidir. $\hat{\mathbf{B}}_{10}^{(m)}$, $\hat{\mathbf{B}}_{11}^{(m)}$ ve $\hat{\mathbf{B}}_{01}^{(m)}$ genişletilmiş matrislerinin $\hat{\mathbf{B}}_{00}^{(m)}$ ile olan ilişkileri benzer satır ve sütun işlemleriyle bulunabilir [2].

2.2. Delta düzlemi işlemi

Geleneksel z işlemi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$zu(n) = u(n+1) \quad (2.9)$$

Geri yöndeki delta düzlemi dönüşüm bağıntısı ise şöyledir [4]:

$$\delta_b = \frac{1-z^{-1}}{\Delta} \quad (2.10)$$

Burada Δ bir ölçekleme faktörüdür. Gerçek-zaman uygulamalarında, geri yöndeki delta işlemi δ_b ileri yöndeki delta işlemine göre daha çok kullanılmaktadır, çünkü veri kümesi ayrık zaman indisi t ile artmaktadır ve δ_b kullanılarak, model derecesi anlık zaman t 'den bağımsız olmaktadır.

3. 2-Boyutlu Delta Düzlemi Kafes Süzgeci (DDKS)

İkinci bölümde açıklanmış olan z -düzlemi kafes yapısının dönüştürülmüş bir sürümü olan delta-düzlemi (DD) modeli için, kafes denklemleri yeniden düzenlenmelidir. Sırasıyla, z_1 - ve z_2 - yönlerindeki geri yöndeki delta işlemleri olan δ_{b_1} ve δ_{b_2} aşağıdaki gibi tanımlanmışlardır:

$$\delta_{b_1} = \frac{1 - z_1^{-1}}{\Delta_1} \quad \delta_{b_2} = \frac{1 - z_2^{-1}}{\Delta_2} \quad (3.1)$$

Bir giriş veri matrisi $\mathbf{u}_{m+1,m+1}(n_1, n_2)$ 'nin δ_b -dönüştürülmüş hali şöyledir:

$$\mathbf{z}_{m+1,m+1}(n_1, n_2) = \begin{bmatrix} u(n_1, n_2) & \delta_{b_2} u(n_1, n_2) & \cdot & \cdot & \delta_{b_2}^m u(n_1, n_2) \\ \delta_{b_1} u(n_1, n_2) & \delta_{b_1} \delta_{b_2} u(n_1, n_2) & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \delta_{b_1}^m u(n_1, n_2) & \cdot & \cdot & \cdot & \delta_{b_1}^m \delta_{b_2}^m u(n_1, n_2) \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

\mathbf{z} ve \mathbf{u} matrislerinin leksikografik haritalanmış ifadeleri arasında aşağıdaki gibi bir ilişki vardır:

$$\begin{bmatrix} u(n_1, n_2) \\ \delta_{b_2} u(n_1, n_2) \\ \cdot \\ \cdot \\ \delta_{b_1}^m \delta_{b_2}^m u(n_1, n_2) \end{bmatrix} = \mathbf{T}^{(m)T} \begin{bmatrix} u(n_1, n_2) \\ u(n_1, n_2 - 1) \\ \cdot \\ \cdot \\ u(n_1 - m, n_2 - m) \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Burada $\mathbf{T}^{(m)}$ dönüşüm matrisidir. $\mathbf{T}^{(m)T}$ matrisi $(m+1)^2 \times (m+1)^2$ boyutunda alt üçgenel bir matrisdir ve herbiri $(m+1) \times (m+1)$ boyutunda blok matrislere ayrılabilir. Bu blok matrisler ya alt üçgenel matrislerden ya da sıfır matrislerinden oluşmaktadır. (k,l) sayılı alt üçgenel blok matrisin (i,j) elemanı $\frac{P_{kl}(-1)^{j+l}}{\Delta_1^k \Delta_2^l} \binom{i}{j}$ şeklinde ifade edilebilir. Burada $0 \leq j \leq i \leq m$, $0 \leq l \leq k \leq m$, ve P_{kl} ilgili Pascal üçgeni katsayısıdır. P_{00} üçgenin en tepesindeki 1 katsayısıdır.

DD'nde ve z -düzleminde tanımlı kafes süzgecin 2-boyutlu hata transfer işlevlerinin katsayı matrisleri aşağıdaki ilişkiye sahiptir:

$$\mathbf{T}^{(m)} \boldsymbol{\beta}_{ij}^{(m)} = \mathbf{B}_{ij}^{(m)} \quad (i, j = 0, 1) \quad (3.4)$$

$\boldsymbol{\beta}_{ij}^{(m)}$ matrisleri, 2-boyutlu transfer işlevleri olan $\mathbf{B}_{ij}^{(m)}$ matrislerinin dönüştürülmüş halleri olarak görülebilir. $\boldsymbol{\beta}_{ij}^{(m)}$ ve $\mathbf{B}_{ij}^{(m)}$ matrisleri de leksikografik olarak haritalanmışlardır ve $(m+1) \times 1$ boyutunda satır-blok matrisler içeren, $(m+1)^2 \times 1$ boyutunda satır matrislerdir. Leksikografik haritalama metodu olarak, satır tersleme, satır ve sütun tersleme ve sütun tersleme, sırasıyla, $\mathbf{B}_{00}^{(m)}$ bloklarının terslenmesine, $\mathbf{B}_{00}^{(m)}$ bloklarının terslenme ve bloklardaki elemanların terslenmesine, ve sadece $\mathbf{B}_{00}^{(m)}$ bloklarındaki elemanların terslenmesine karşılık gelmektedir.

DDKS yapısını tasarlamak için z -düzlemi algoritmasındaki diğer değişkenler de uygun şekilde DD modeline çevrilmelidir. Böylece, DDKS'deki öngörü hatalarının ortalama karesini enküçükleme hedef olmak üzere, δ_b - özilinti dizileri aşağıdaki gibi tanımlanacaktır:

$$c_{abxy}^{(m,l)} = E \left\{ e_{ab}^{(m)}(n_1 - a, n_2 - b) (\delta_{b_1}^{l-1})^{|a-x|} (\delta_{b_2}^{l-1})^{|b-y|} e_{xy}^{(m)}(n_1 - x, n_2 - y) \right\} \quad a, b, x, y \in \{0,1\} \quad (3.5)$$

Burada m kafes katman sayısı olup, $l \neq 0$ dir. $\beta_{ij}^{(m)}$ matrislerinin yinelemeli olarak hesaplanabilmesi, $\mathbf{T}^{(m)-1} \mathbf{T}^{(m-1)}$ için bir bağıntı gerektirir. (2.6) ve (3.4) kullanılarak, aşağıdaki bağlantı elde edilir:

$$\beta_{00}^{(m)} = \mathbf{T}^{(m)-1} \begin{bmatrix} \mathbf{T}^{(m-1)} \beta_{00}^{(m-1)} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0}^T & 0 \end{bmatrix} - \mathbf{k}_{10}^{(m)} \mathbf{T}^{(m)-1} \begin{bmatrix} \mathbf{0}^T & 0 \\ \mathbf{T}^{(m-1)} \beta_{10}^{(m-1)} & \mathbf{0} \end{bmatrix} - \mathbf{k}_{11}^{(m)} \mathbf{T}^{(m)-1} \begin{bmatrix} 0 & \mathbf{0}^T \\ \mathbf{0} & \mathbf{T}^{(m-1)} \beta_{11}^{(m-1)} \end{bmatrix} - \mathbf{k}_{01}^{(m)} \mathbf{T}^{(m)-1} \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{T}^{(m-1)} \beta_{01}^{(m-1)} \\ 0 & \mathbf{0}^T \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Leksikografik haritalama yardımı ile (3.6) numaralı ifade aşağıdaki yinelemeli ilişkiyi verir:

$$\beta_{00}^{(m)} = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_m & \mathbf{0}_{m \times n} \\ \mathbf{0}_{1 \times m^2} & \\ \cdot & \\ \mathbf{0}_{m \times n} & \mathbf{I}_m \\ \mathbf{0}_{1 \times m} & \\ \mathbf{0}_{(m+1) \times m^2} & \end{bmatrix} \beta_{00}^{(m-1)} - \mathbf{k}_{10}^{(m)} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_m & \mathbf{0}_{m \times n} \\ \mathbf{0}_{1 \times m^2} & \\ -\Delta_1 \mathbf{I}_m & \mathbf{I}_m \mathbf{0}_{m \times p} \\ \mathbf{0}_{1 \times m^2} & \\ \cdot & \\ \mathbf{0}_{m \times n} & -\Delta_1 \mathbf{I}_m \\ \mathbf{0}_{1 \times m^2} & \end{bmatrix} \beta_{10}^{(m-1)} - \mathbf{k}_{11}^{(m)} \begin{bmatrix} \mathbf{X}_{(m+1) \times m} & \mathbf{0}_{(m+1) \times n} \\ \mathbf{Y}_{(m+1) \times m} & \mathbf{X}_{(m+1) \times m} \mathbf{0}_{(m+1) \times p} \\ \cdot & \\ \cdot & \\ \cdot & \\ \mathbf{0}_{(m+1) \times n} & \mathbf{Y}_{(m+1) \times m} \end{bmatrix} \beta_{11}^{(m-1)} - \mathbf{k}_{01}^{(m)} \begin{bmatrix} \mathbf{X}_m & \mathbf{0}_{m \times n} \\ \mathbf{0}_{1 \times m^2} & \\ \cdot & \\ \cdot & \\ \mathbf{0}_{m \times n} & \mathbf{X}_m \\ \mathbf{0}_{1 \times m} & \\ \mathbf{0}_{(m+1) \times m^2} & \end{bmatrix} \beta_{01}^{(m-1)} \quad (3.7)$$

Burada \mathbf{I}_m , m -inci dereceden birim matrisdir, $n = (m^2 - m)$ ve $p = (m^2 - 2m)$ şeklinde, \mathbf{X} ve \mathbf{Y} matrisleri ise aşağıda tanımlanmışlardır:

$$\mathbf{X}_{(m+1) \times m} = \begin{bmatrix} 1 & \mathbf{0}_{1 \times (m-1)} \\ -\Delta_2 & 1 & \mathbf{0}_{1 \times (m-2)} \\ 0 & -\Delta_2 & 1 & \mathbf{0}_{1 \times (m-3)} \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \mathbf{0}_{1 \times (m-1)} & & & -\Delta_2 \end{bmatrix} \quad (3.8a)$$

$$\mathbf{Y}_{(m+1) \times m} = \begin{bmatrix} -\Delta_1 & \mathbf{0}_{1 \times (m-1)} \\ \Delta_1 \Delta_2 & -\Delta_1 & \mathbf{0}_{1 \times (m-2)} \\ 0 & \Delta_1 \Delta_2 & -\Delta_1 & \mathbf{0}_{1 \times (m-3)} \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \mathbf{0}_{1 \times (m-1)} & & & \Delta_1 \Delta_2 \end{bmatrix} \quad (3.8b)$$

$\beta_{10}^{(m)}$, $\beta_{11}^{(m)}$ ve $\beta_{01}^{(m)}$ matrisleri için de benzer denklemler türetilebilir.

Bu tanımlar kullanılarak, DDKS için aşağıdaki normal denklemler elde edilebilir:

$$\mathbf{k}^{(m)} = \tilde{\mathbf{R}}^{(m-1)-1} \tilde{\mathbf{P}}^{(m-1)} \quad (3.9)$$

Burada $\tilde{\mathbf{P}}^{(m-1)}$ ve $\tilde{\mathbf{R}}^{(m-1)}$ sırasıyla, 2-boyutlu DDKS yapısı için çapraz-ilinti vektörü ve özilinti matrisidir ve aşağıdaki şekilde tanımlanmışlardır:

$$\tilde{\mathbf{P}}^{(m)} = 2 \left[\begin{array}{c} \left((c_{0010}^{(m,1)} + c_{0111}^{(m,1)}) \dots (c_{0010}^{(m,(m+1)^2)} + c_{0111}^{(m,(m+1)^2)}) \right) \\ \mathbf{0}_{2 \times (m+1)^2} \end{array} \right] \beta_{10}^{(m)} + \left[\begin{array}{c} \mathbf{0}_{1 \times (m+1)^2} \\ (c_{0011}^{(m,1)} + c_{0110}^{(m,1)}) \dots (c_{0011}^{(m,(m+1)^2)} + c_{0110}^{(m,(m+1)^2)}) \\ \mathbf{0}_{1 \times (m+1)^2} \end{array} \right] \beta_{11}^{(m)} + \left[\begin{array}{c} \mathbf{0}_{2 \times (m+1)^2} \\ (c_{0001}^{(m,1)} + c_{1011}^{(m,1)}) \dots (c_{0001}^{(m,(m+1)^2)} + c_{1011}^{(m,(m+1)^2)}) \end{array} \right] \beta_{01}^{(m)} \quad m \neq 0 \quad (3.10)$$

$$\tilde{\mathbf{R}}^{(m)} = \tilde{\mathbf{R}}^{(m-1)} + \mathbf{K}^{(m)} \tilde{\mathbf{P}}^{(m-1)^T} \quad (3.11)$$

Burada $\mathbf{K}^{(m)}$ matrisi, m -inci katmanın yansıma katsayılarından oluşur ve (2.1) denkleminin sağ tarafındaki matristir. $\tilde{\mathbf{R}}$ matrisinin başlangıç değeri olan $\tilde{\mathbf{R}}^{(0)}$, (3.5) numaralı ilişkidenden hesaplanabilir:

$$\tilde{\mathbf{R}}^{(0)} = \begin{bmatrix} c_{0000}^{(0)} + c_{1010}^{(0)} + c_{1111}^{(0)} + c_{0101}^{(0)} & 2(c_{0001}^{(0)} + c_{1011}^{(0)}) & 2(c_{0011}^{(0)} + c_{0110}^{(0)}) \\ 2(c_{0001}^{(0)} + c_{1011}^{(0)}) & c_{0000}^{(0)} + c_{1010}^{(0)} + c_{1111}^{(0)} + c_{0101}^{(0)} & 2(c_{0010}^{(0)} + c_{0111}^{(0)}) \\ 2(c_{0011}^{(0)} + c_{0110}^{(0)}) & 2(c_{0010}^{(0)} + c_{0111}^{(0)}) & c_{0000}^{(0)} + c_{1010}^{(0)} + c_{1111}^{(0)} + c_{0101}^{(0)} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

4. Benzetim ve Sonuçlar

DDKS uyarlamalı görüntü onarma sorununa uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. DDKS, 2-boyutlu uyarlamalı ortak-işleyici kafes gürültü arındırıcı (Şekil 1) şeklinde düzenlenmiştir. Bu yapı, [5]'te kullanılan yapıya özdeştir. Bu yapıda, birincil giriş alanı ile 2-boyutlu kafes yapısına bağlanmış dayanak giriş alanı bulunmaktadır. 2-boyutlu ortak-işleyici kestirimci, dayanak alanın süzölmüş halinden bozucu gürültünün bir kestirimini üretmektedir.

Deneyde, birincil giriş görüntüsü olarak, toplanabilir Gauss gürültüsü $v(n_1, n_2)$ ile bozulmuş 128x128 boyutlarında "Lenna" görüntüsü $s(n_1, n_2)$ kullanılmıştır. Dayanak giriş alanı $u(n_1, n_2)$, Gauss gürültüsü ile ilintili 2-boyutlu bir AR süreçtir. AR alanı, katsayıları $a_{00} = 1$, $a_{01} = -0.2$, $a_{10} = 0.6$, $a_{11} = 0.14$ olan kararlı bir 2-boyutlu çokterimli kullanılarak üretilmiştir. Şekil 2'de görülen onarılmış görüntü, çok düşük işaret-gürültü oranları için bile DDKS'nin etkisini ve başarısını göstermektedir. DDKS yapısının yansıma katsayıları 3. Bölümde anlatıldığı şekilde, ortak-işleyici kestirimcinin katsayıları ise DEOK yöntemi [5] ile hesaplanmıştır. Karşılaştırma amacıyla bozulmuş gürültü uyarlamalı Wiener süzgecine uygulanmış ve onarılmış görüntü elde edilmiştir (Şekil 2). Bu deneylerde girişteki bozulmuş görüntünün, Wiener süzgeç ile onarılmış görüntünün ve DDKS ile onarılmış görüntünün işaret-gürültü oranları sırasıyla, -14 dB, 0 dB ve 8 dB'dir. Ölçekleme faktörleri $\Delta_1 = \Delta_2 = 0.005$. Çıkış işaret-gürültü oranları aşağıdaki gibi bulunabilir:

$$\text{SNR} = 10 \cdot \log_{10} \frac{\frac{1}{N^2} \sum_{n_1=1}^N \sum_{n_2=1}^N [s(n_1, n_2)]^2}{\frac{1}{N^2} \sum_{n_1=1}^N \sum_{n_2=1}^N [s(n_1, n_2) - \hat{s}(n_1, n_2) - \hat{v}(n_1, n_2)]^2} \text{ dB} \quad (4.1)$$

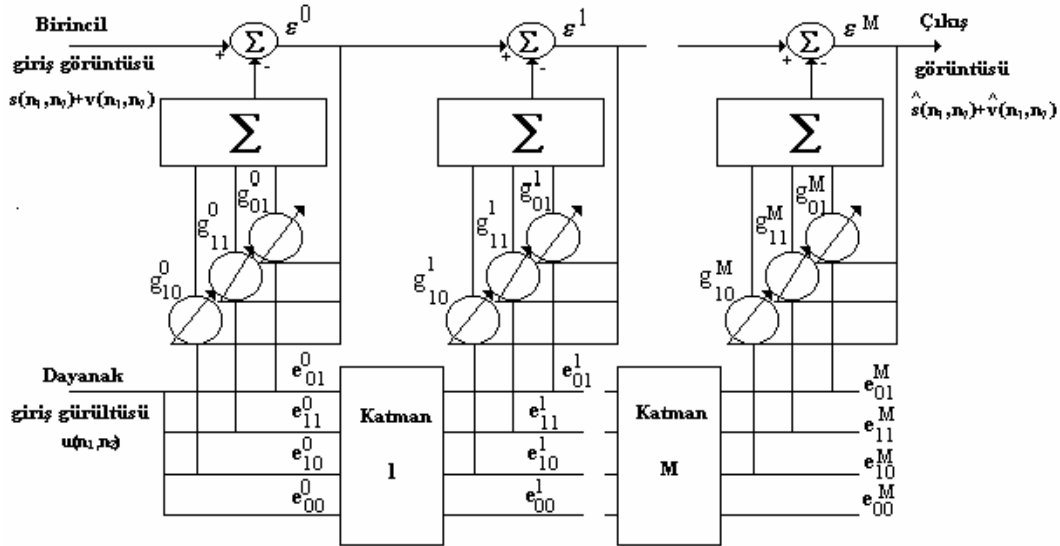
5. Çıkarımlar

Bu bildiride, her katmanda dört öngörü hata alanı ve üç yansıma katsayısı üreten, 2-boyutlu DDKS yapısı geliştirilmiş ve başarısı, gürültü arındırıcı olarak çalışan, 2-boyutlu uyarlamalı ortak-işleyici kafes kestirimci şeklinde test edilmiştir. Toplanabilir Gauss gürültüsü ile bozulmuş, çok düşük bir işaret-gürültü oranına sahip bozuk görüntü ele alınmıştır. DDKS en kötü şartlar altında dahi, işaret-gürültü oranı önemli ölçüde yükselmiş görüntüler vermektedir. DDKS'nin başarısı ve kalitesi, delta ölçekleme faktörlerinin, başlangıç tanımlarının seçimine göre değişmektedir.

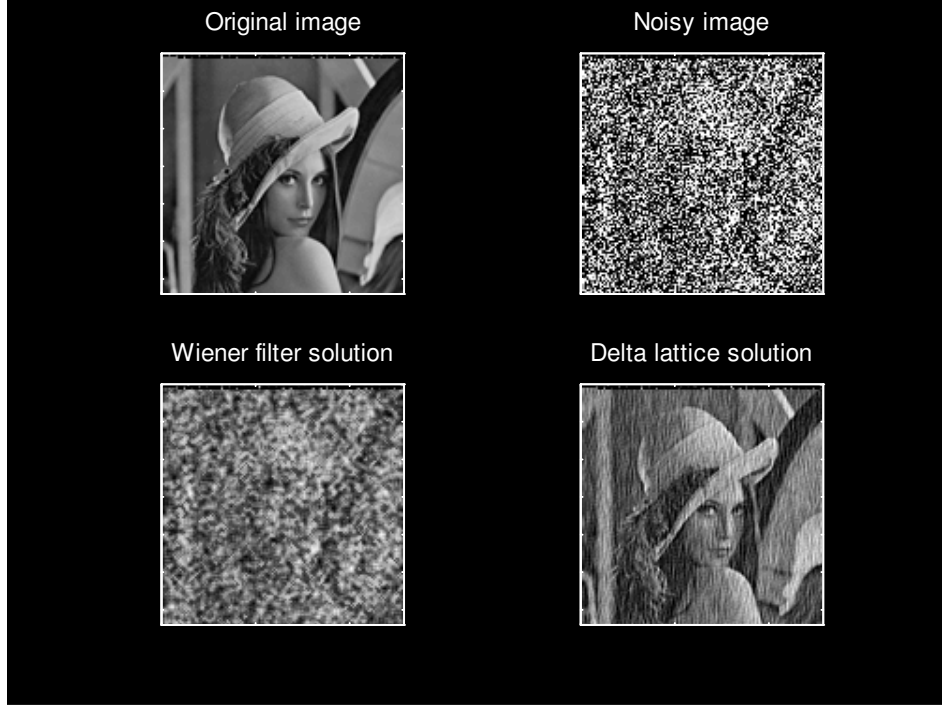
Kaynakça

[1] C.M. Hendekli ve A. Ertüzün, "2-D Delta Domain Lattice Filter and Its Application To Adaptive Image Enhancement", submitted to IEEE Transactions on Signal Processing.

- [2] S.R. Parker ve A.H. Kayran, "Lattice Parameter Autoregressive Modeling of Two-Dimensional Fields - Part 1: The Quarter-Plane Case", *IEEE Trans. on ASSP*, ASSP- 32, ss. 872-885, Ağ. 1984.
- [3] F. Jabbari, "Lattice Filters for RLS Estimation of a Delta Operator-Based Model", *IEEE Trans. on Automat. Contr.*, AC-36, ss. 869-875, Temmuz 1991.
- [4] H. Fan ve Xiaqi Liu, "Delta Levinson and Schur-Type RLS Algorithms for Adaptive Signal Processing", *IEEE Trans. on Signal Processing*, SP-42, ss. 1629-1639, Temmuz 1994.
- [5] H. Youlal, M. Janati-I, M. Najim, "Two-Dimensional Joint Process Lattice for Adaptive Restoration of Images", *IEEE Trans. on Image Processing*, IP- 1, Temmuz 1992.



Şekil 1. 2-B Kafes Süzgeç Gürültü Arındırıcı Blok Şeması



Şekil 2: Sol-üst: Orijinal görüntü, Sağ-üst: Gürültülü görüntü,
Sol-alt: Uyarlamalı Wiener süzgeç sonucu, Sağ-alt: DDKS sonucu.