



Periyodik Gürültü Tipleri ve Yapısal Özellikleri

Periodic Noise Types and Structural Properties

Murat ALTUNOK

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi
Bilgisayar Mühendisliği
Tokat, Türkiye
murat.altunok6018@gop.edu.tr
ORCID: 0000-0002-2756-2586

Bülent TURAN

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi
Bilgisayar Mühendisliği
Tokat, Türkiye
bulent.turan@gop.edu.tr
ORCID: 0000-0003-0673-469X

Öz

Periyodik gürültüler, benzer desenleri üst üste bindirerek görüntü kalitesini düşürür. Bu gürültü, frekans uzayında tepe noktaları olarak görünür. Literatürde genel ve belli periyodik gürültü temizleme yöntemleri mevcuttur. Gürültülerin temizlenebilmesi için oluşan periyodik gürültünün tipinin bilinmesi önemlidir. Bu çalışmada periyodik gürültü tiplerinin incelenmesi, oluşturulması, oluşturulan periyodik gürültülerin görüntü üzerine eklenmesi ve eklenme sonucunda görüntü spektrumunda tepe noktalarının belirlenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Literatür tarandığında periyodik gürültü tiplerinin belli olarak inceleyen bir çalışma olmamasından dolayı çalışmamız bu ihtiyacı giderme amaçlıdır.

Anahtar sözcükler: periyodik gürültü, sentetik periyodik gürültü, düşük-yüksek-çok frekanslı periyodik gürültü, saf periyodik gürültü, yarı periyodik gürültü, şerit (sıyırma) gürültüsü.

Abstract

Periodic noises reduce image quality by superimposing similar patterns. This noise appears as peaks in the frequency space. There are general and specific periodic noise removal methods in the literature. It is important to know the type of periodic noise that occurs in order to clear the noises. In this research, a study was carried out to examine and create periodic noise types, to add the generated periodic noises to the image and to determine the peaks in the image spectrum as a result of addition. Since there is no study that specifically examines the

periodic noise types when the literature is scanned, our study aims to meet this need.

Keywords: periodic noise, synthetic periodic noise, low-high-multi frequency periodic noise, pure periodic noise, semi-periodic noise, stripe noise.

1. Giriş

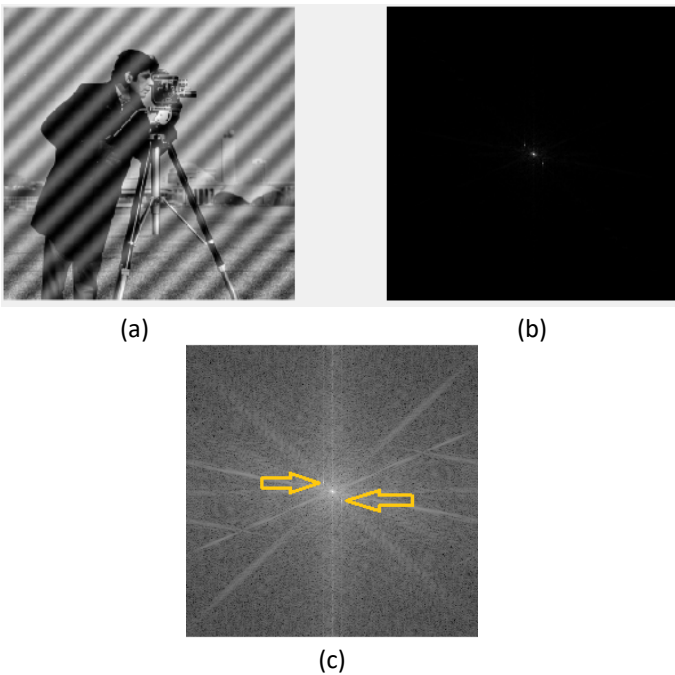
Renkli veya gri dijital görüntüler, televizyon, ultrason görüntüleme, manyetik rezonans görüntüleme, bilgisayarlı tomografi gibi günlük yaşam uygulamalarında olduğu kadar araştırma ve teknoloji alanlarında da önemli bir rol oynamaktadır. Görüntü edinme, gerçek dünya kaynağından sayısallaştırılmış bir görüntü elde etme sürecidir. Edinme sürecindeki her adım, görüntüdeki benek değerlerine rastgele değişiklikler getirebilir ve değişikliklere gürültü denir [1]. Bu gürültüler kameraların duyargaları, tarayıcıları ve devreleri tarafından sayısal görüntü elde edilmesi sırasında üretilebilen benek değerinin herhangi bir rastgele değişimidir. Değişimlerin oluşturduğu gürültülerin en bilinenlerinden biri periyodik gürültüdür [2]. Bu çalışmada periyodik gürültü tipleri incelenmiştir.

Periyodik gürültü; görüntülerin oluşturulması veya aktarımı sırasında elektromanyetik/elektriksel gürültülerin neden olduğu görüntüler üzerinde tekrarlayan desenler oluşturan, görüntü kalitesini bozan sahte sinyallerdir [3, 4]. Bu sinyaller yanlış kalibre edilmiş duyargalardan veya eksik verilerden kaynaklanabilir. Örneğin veri aktarımı sırasında hat düşmesinden dolayı aktarılamayan kısımlarda oluşan şeritlere neden olabilir. Şeritlerin periyodik bir şekilde tekrarlanması periyodik gürültüleri meydana getirmektedir [5]. Periyodik gürültü ilk kez bir problem olarak 1963 yılında Guttman ve Julesz tarafından tanımlanmıştır [6].

Periyodik gürültü, tıbbi alanlardaki görüntülerde [7,8,9,10], mikroskopik görüntülerde [13, 14], video görüntülerinde [15], trafik ve diğer gerçek zamanlı uygulamaların kaydettiği görüntülerde [16] karşılaşılan en yaygın gürültü tiplerinden biridir [17].

Görüntü üzerinde periyodik gürültünün giderilmesi veya azaltılması önemli bir konudur. Literatürde tüm periyodik gürültülerin giderilmesi için tek bir yöntem geliştirmeye yönelik çalışmalar [17,18,19,20,21] olmakla birlikte bazı çalışmaların ise belli periyodik gürültülerin giderilmesi [9,22] için geliştirildiği görülmektedir.

Şekil-1'de periyodik gürültü içeren görüntü, gürültünün frekans uzayındaki görünümü ve logaritmik fonksiyon uygulanmış gürültünün frekans uzayındaki görünümü yer almaktadır.



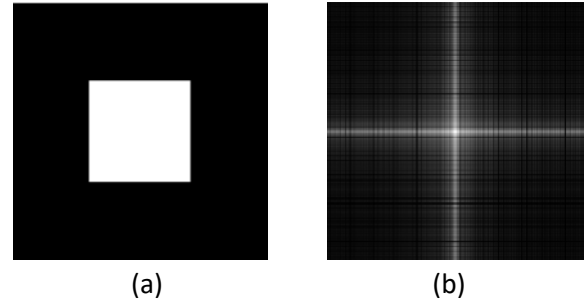
Şekil-1: (a) Periyodik gürültülü görüntü, (b) gürültünün frekans uzayındaki görünümü, (c) logaritmik fonksiyon uygulanmış gürültünün frekans uzayındaki görünümü.

Periyodik gürültüler, görüntü spektrumunda belirli frekans aralıklarına yoğunlaşır ve bozulmamış frekanslardan ayırt edilerek tepe noktaları oluştururlar [17, 23] (Şekil-1). Bu tepe noktalarının tespit edilmesi periyodik gürültülerin giderilmesinde büyük rol oynamaktadır.

Mekânsal alan filtreleri, periyodik gürültüyü tamamen ortadan kaldırmak için kullanılamaz. Bu tür gürültüler ancak frekans alanındaki tepkileri incelenerek ortadan kaldırılabilir [24]. Tepe noktalarının tespitinde Fourier dönüşümü en etkili yöntemlerden biridir. Bu nedenle Fourier dönüşümüne dayalı frekans uzayı filtreleri, periyodik gürültü filtreleme sürecini kolaylaştırır.

Fourier Dönüşümü, bir görüntüyü sinüs ve kosinüs bileşenlerine ayrıştırmak için kullanılan önemli bir görüntü işleme aracıdır. Dönüşümün çıktısı, Fourier veya frekans alanındaki görüntüyü temsil ederken, girdi görüntüsü uzamsal alan eşdeğeridir. Fourier alan görüntüsünde, her nokta,

uzaysal alan görüntüsünde bulunan belirli bir frekansı temsil eder.



Şekil-2:(a) Örnek görüntü, (b) görüntünün frekans uzayındaki görünümü.

Fourier Dönüşümü, görüntü analizi, görüntü filtreleme, görüntü yeniden yapılandırma ve görüntü sıkıştırma gibi çok çeşitli uygulamalarda kullanılır. Şekil-2'de örnek olarak oluşturulan bir görüntünün Fourier dönüşümü uygulandıktan sonra oluşan frekans uzayındaki görünümü yer almaktadır

Fourier Dönüşümü aşağıdaki denklemde (1) tanımlanmıştır. Denklemi açacak olursak; $F(k,l)$ görüntünün yoğunluk değeri, $M \times N$ görüntünün boyutudur. En güçlü tepe noktası, kaydırılmış genlik frekans spektrumunun merkezinde bulunur [25]. Orijin kaydırılmış Fourier dönüştürülmüş görüntüsü, aynı boyuttaki F şu şekilde belirlenir:

$$F(k, l) = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (-1)^{i+j} A(i, j) e^{-x2\pi\left(\frac{ki}{M} + \frac{lj}{N}\right)} \quad (1)$$

burada $j^2 = -1$ ve $(-1)^{i+j}$ orijin kaydırma işlemini gösterir [14]. Ayrıca (k, l) konumu şu şekildedir: $0 \leq k \leq M-1$ ve $0 \leq l \leq N-1$ [17].

Periyodik gürültülerin görüntü spektrumunda tepe noktalar oluşturması sebebiyle, frekans alanında yapılan işlemler, uzamsal alan işlemlerinden çok daha iyi sonuç vermektedir [18].

Periyodik gürültüler, genel olarak sinüzoidal fonksiyonlar tarafından üretilen tekrarlayan modeller olduğundan, bu gürültülere karşılık gelen frekanslar, görüntü spektrumunda, bozucu sinüzoidal fonksiyonların frekansına bağlı olarak farklı frekans konumlarında bulunan eşlenik tepe noktaları olarak görülmektedir [17]. Görüntü spektrumu boyunca yayılan bu bozuk frekanslar, yıldız şeklinde bir görünüm sağlayarak frekans alanı görüntüsünde tepe noktaları oluşturur.

Periyodik gürültülere karşılık gelen frekans konumları, yıldız şeklindeki bölgeler açısından (Şekil-1.b) frekans alanındaki diğer bozulmamış frekanslardan kolayca ayırt edilebilir. Böylece frekans alanı tabanlı filtreler, yıldız şeklindeki tepe noktaları değiştirerek/atarak daha iyi yenileme sağlama üstünlüğüne sahiptir.

Periyodik gürültüler farklı tiplerde karşımıza çıkmaktadır. Bu tipler aşağıda verilmiştir;

- Sentetik periyodik gürültü
 - Düşük frekanslı periyodik gürültü,
 - Yüksek frekanslı periyodik gürültü,

- Saf periyodik gürültü,
- Yarı periyodik gürültü,
- Şerit gürültü,
- Çok frekanslı periyodik gürültü,
- Hare saçaklı (Moiré) periyodik gürültü,
- Ton gradyan görüntüsünde periyodik gürültü
- Sentetik olmayan periyodik gürültü

Çalışılan konu ile ilgili yapılan literatür çalışmasında periyodik gürültü tiplerini kapsamlı olarak inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Literatürdeki çalışmalar periyodik gürültünün giderilmesine odaklanmaktadır. Çalışmaların bazıları belli periyodik gürültülere odaklanmaktadır. Örnek verecek olursak, şerit gürültüsü [9], yarı periyodik gürültü [25], harelî gürültü [13] gibi gürültülere özel çözümler sunmaktadırlar. Bazıları ise genel olarak tüm periyodik gürültüleri gidermeyi amaçlamaktadır [27]. Bu sebeple çalışmalarda farklı tiplerde gürültüler ile çalışılmakta ve periyodik gürültü ile ilgili farklı sınıflandırmalar yapılmaktadır. Yukarıdaki bahsi geçen durumdan dolayı bu çalışmanın temel amacı literatürü inceleyerek periyodik gürültü tipleri için kapsamlı ve kabul edilebilir bir sınıflandırma yapmak ve bu sınıflandırma içinde yer alan periyodik gürültü tiplerinin oluşturulmaları için gerekli denklemleri araştırmacılara sunabilmektir. Böylece farklı çalışmalarda farklı şekillerde kullanılan gürültü denklemlerinin de birlikte ele alınarak genelleştirilmesi sağlanabilir.

2. Yapay Periyodik Gürültü

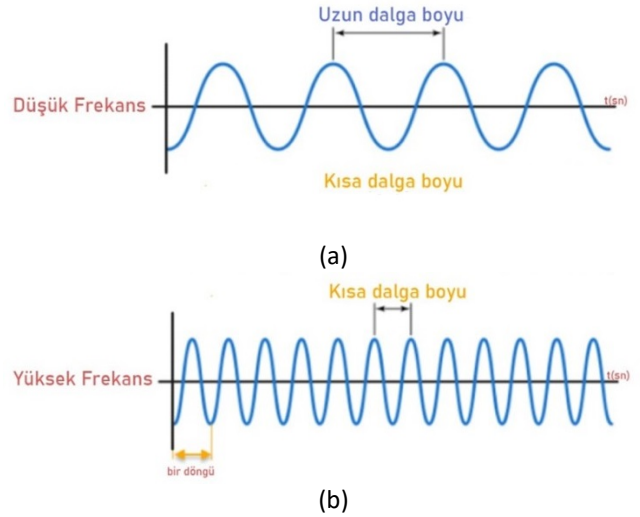
Bu gürültüler yapay olarak oluşturulur. Periyodik gürültü ile bozulan yapay görüntüler, bozulmamış görüntülere yapay olarak oluşturulmuş gürültülü desenler eklenerek oluşturulur [26].

Yapay olarak oluşturulan gürültüler aslında görüntü alınması/iletilmesi aşamalarında oluşabilecek doğal gürültülerin matematiksel modellenmesini amaçlamaktadır. Böylece gürültüler kullanıcılar tarafından geliştirilen denklemler ile oluşturularak gürültü elde edilmektedir. Bu gürültüler, asıl görüntünün bir kopyası üzerine eklenerek gerekli periyodik gürültülü görüntü elde edilir. Asıl görüntünün saklanmasıdaki temel amaç, gürültülü görüntülerin gürültüden temizlenmesi sonrasında ne derece referans görüntüsüne benzerlik teşkil edip etmediğini görebilmektir. Yani karşılaştırma yaparak çözüm yönteminin başarısını ölçmektir [27].

Yapay periyodik gürültüler farklı tiplerde olabilmektedir [27,28]. Bu tipleri aşağıda verilmiştir.

2.1 Düşük Frekanslı Periyodik Gürültü

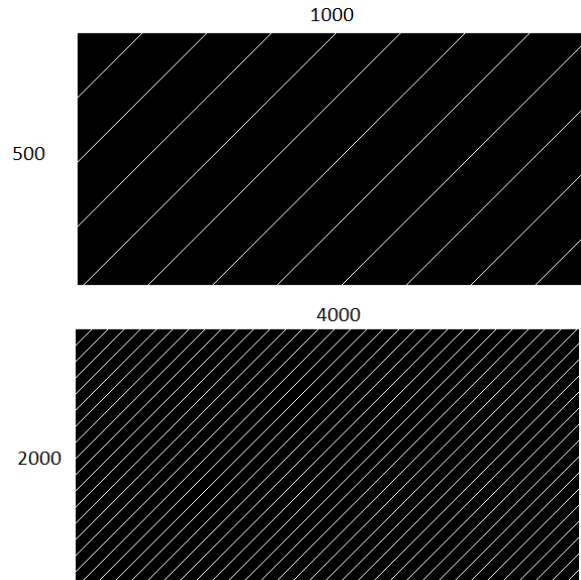
Düşük frekanslı gürültü, bir boyutlu sinyallerde genel olarak 10 Hz ila 1000 Hz aralığında kabul edilmektedir [27,29,30]. Düşük frekans dalga grafiği Şekil-3.a'da görülmektedir.



Şekil-3 Frekans aralık grafikleri. (a) Düşük frekans aralık grafiği, (b) Yüksek frekans aralık grafiği.

Görüntü üzerinde oluşan periyodik gürültüler çözünürlük ile ilgilidir. Periyodik gürültü frekansı gürültünün görüntü üzerinde tekrarlanma sayısıdır. Yani düşük frekanslı periyodik gürültüler, dalga boyları uzun aralıklara sahip (daha fazla benek kaplayan) frekansların görüntü üzerine yaptıkları gürültülerdir. Farklı çözünürlüklere sahip görüntülerde aynı frekans değerine sahip gürültüler düşük ya da yüksek frekanslı periyodik gürültü oluşturabilmektedir.

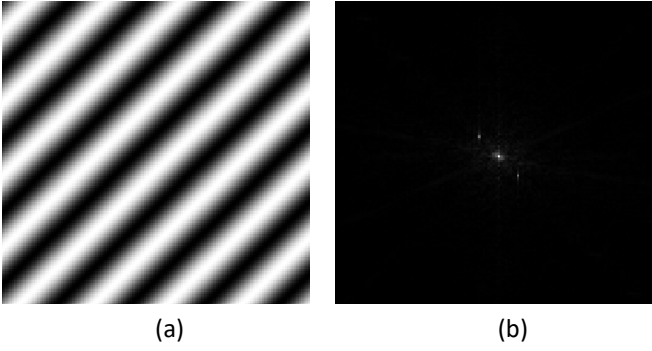
Şekil-4'te farklı çözünürlüklere sahip frekans dağılımını görmektedir. Görüntü çözünürlüğü değiştikçe düşük frekans dalga boyları görsel olarak yakınlık veya uzaklık gösterebilmektedir.



Şekil-4: Aynı frekans değerlerine sahip gürültünün farklı çözünürlüklü görüntü üzerine etkisi

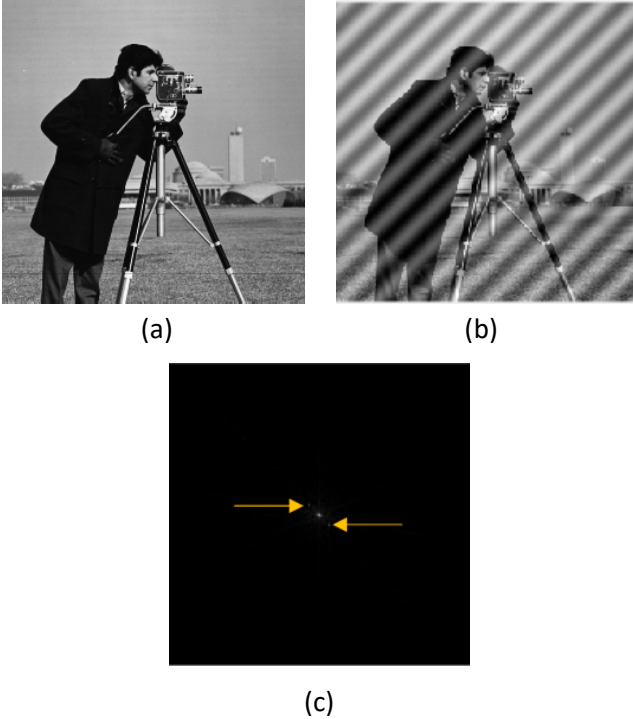
Düşük frekanslı periyodik gürültülerin frekans uzayında ani genlik değişimlerine sebep oldukları Şekil-5'te görülebilir. Aşağıdaki denklem (2) ile düşük frekanslı periyodik gürültü oluşturulabilmektedir.

$$n(x,y) = 2 \times \sin \times \left(\frac{x}{3.5} + \frac{y}{2}\right) \quad (2)$$



Şekil-5: Düşük frekanslı periyodik gürültülerin frekans uzayı üzerinde gösterimi (a) Periyodik yapılı gürültüler, (b) gürültünün frekans uzayındaki görünümü.

Şekil-6'da düşük frekanslı periyodik gürültünün görüntü üzerine eklenmesi sonrasında oluşan gürültülü görüntü ve gürültünün frekans uzayındaki görünümü görülmektedir. Tepe noktaları gri seviye dağılımından dolayı tam anlaşılması açısından oklar ile işaretlenmiştir.



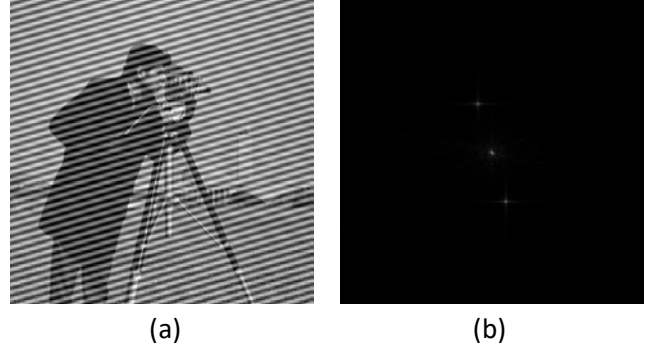
Şekil- 6: Düşük frekanslı periyodik gürültü kameraman görüntüsü, (a) Orijinal görüntü, (b) gürültülü görüntü, (c) gürültünün frekans uzayındaki görünümü.

2.2 Yüksek Frekanslı Periyodik Gürültü

Yüksek frekanslı periyodik gürültüler, düşük frekanslı periyodik gürültülere göre dalga boyları daha kısa aralıklara sahip frekansların görüntü üzerine yaptıkları gürültülerdir. 1000 Hz üzeri frekanslar yüksek frekans olarak ifade edilmektedir [29,30]. Yüksek frekans dalga grafiği Şekil- 3.b'de görülmektedir. Aşağıdaki denklem (3) ile yüksek frekanslı periyodik gürültü oluşturulabilir.

$$n(x,y) = A \times 255 \times (\sin(x + y)) \quad (3)$$

Şekil-7'de görüldüğü üzere denklem (3) ile oluşturulan yüksek frekanslı gürültü görüntü üzerine uygulanmış ve gürültünün frekans uzayı görünümü çıkarılmıştır.



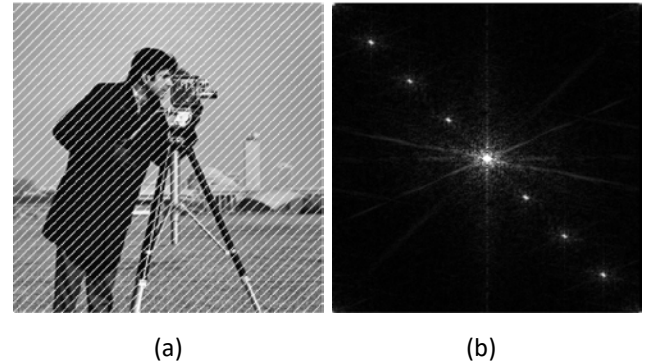
Şekil- 7. Yüksek frekanslı periyodik gürültülerin görünümü ve frekans uzayı görünümü. (a) gürültünün görüntü üzerine uygulanması, (b) gürültünün frekans uzayındaki görünümü

Frekans dalga boylarının kısalması sonucunda gürültünün frekans uzayındaki tepe noktaları merkezden daha uzak bir yapıda belirmektedir [27,28].

2.3 Saf Periyodik Gürültü

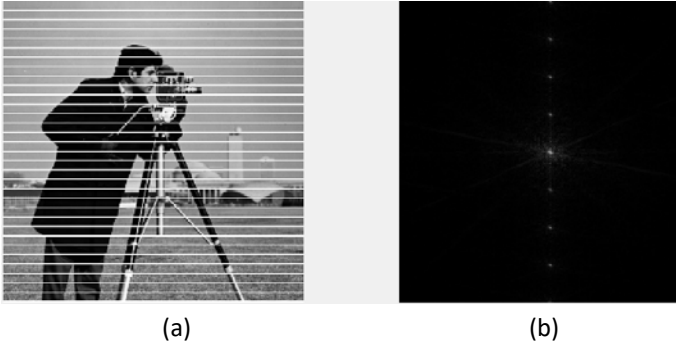
Periyodik gürültü, saf durumda periyot boyunca yalnızca bir beneği etkiler. Periyot boyunca dağılma veya dalgalanma olmadığı için Şekil-8,9 ve 10'da görüldüğü üzere görüntü üzerinde çizgi halinde, artan veya azalan bir yapıda olmayıp sabit bir ölçüde ilerlemektedir. Frekans uzayı görüntüsüne bakıldığında birden fazla frekansı etkilediği görülmektedir [27,28,31]. Tepe noktaları incelendiğinde, merkez hariç toplamda 8 tepe noktası karşımıza çıkmaktadır. Saf gürültü oluşturmak için kullandığımız denklem için belirlediğimiz 8 değeri bu tepe noktalarının sayısını vermektedir. Merkezden uzaklaştıkça frekans artmakta ve birbirini takip eden bir yapı ile peş peşe artış göstermektedir. Aşağıdaki denklemler (4,5,6) ile saf periyodik gürültü oluşturulmaktadır.

$$n(x,y) = \begin{cases} y = 255, & \text{mod}(y + x, 8) = 0 \\ y = 0, & \text{mod}(y + x, 8) \neq 0 \end{cases} \quad (4)$$



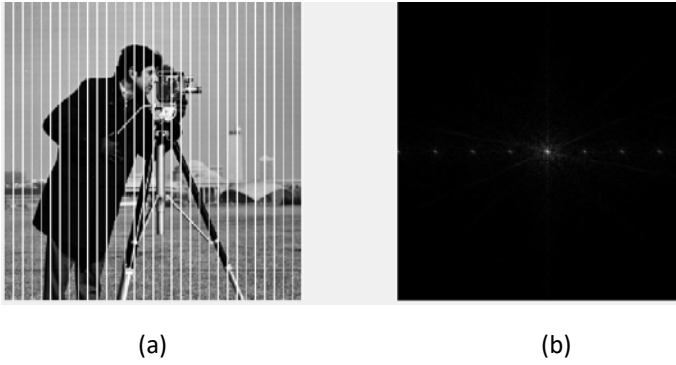
Şekil- 8: (a) Saf periyodik gürültülü kameraman görüntüsü (çapraz), (b) gürültünün frekans uzayındaki görünümü

$$n(x,y) = \begin{cases} x = 255, & \text{mod}(x, 8) = 0 \\ x = 0, & \text{mod}(x, 8) \neq 0 \end{cases} \quad (5)$$



Şekil- 9: (a) Saf periyodik gürültülü görüntü yatay, (b) gürültünün frekans uzayındaki görünümü

$$n(x, y) = \begin{cases} y = 255, \text{ mod}(y, 8) = 0 \\ y = 0, \text{ mod}(y, 8) \neq 0 \end{cases} \quad (6)$$



Şekil- 10: (a) Saf periyodik gürültülü görüntü dikey, (b) gürültünün frekans uzayındaki görünümü

2.4 Yarı-periyodik Gürültü

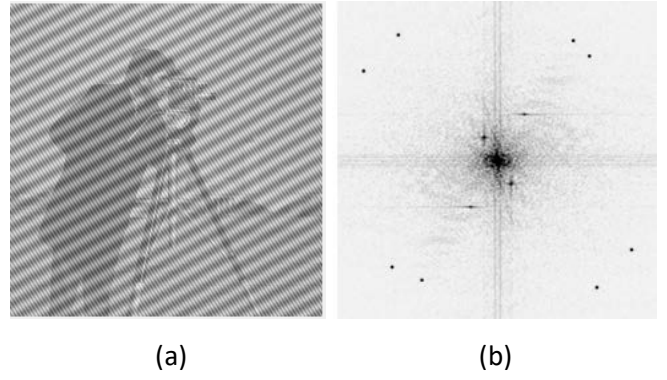
Diğer periyodik gürültülerin neden olduğu tepe noktaları, son derece dar ve çok yüksek büyüklüktedir, bu da onları diğer spektral katsayılarından açıkça ayırt edilmesini sağlar. Periyodik gürültü durumunda, bu tepeler gözle bile görülebilirken, yarı-periyodik gürültüye karşılık gelen tepeler genellikle gizlidir ve bazen bir tür sayısal analiz olmadan onları tespit etmek zordur [18, 25].

Yarı-periyodik gürültünün bir örneği ve gürültülü görüntü spektrumu üzerindeki etkisi Şekil-11'de görülebilir.

DC (sıfır frekans) bileşeninin etrafındaki dört yıldız benzeri tepe noktasının açıkça görülebildiği yerlerde (yüksek frekans alanında daha iyi görünürlük için manuel olarak işaretlenen en az sekiz çok küçük tepe noktası da vardır) [22]. M x N boyutlarında bir görüntüye aşağıdaki denklem (7) ile yarı-periyodik gürültü eklenebilir.

$$n(x, y) = Ax0.1[\sin(2\pi + 2y) + \sin(0.5x + 0.5y) + \sin(3x) + \sin(4y)] \quad (7)$$

Periyodik gürültü yoğunluğu, p ve q'nun sırasıyla x ve y eksenleri boyunca yarı-periyodik gürültünün frekansını yöneten parametreler olduğu yerde verilir. n'nin birimi gri seviyedir [32].



Şekil- 11: Yarı-periyodik gürültünün bir örneği (a) ve karşılık gelen Fourier görüntü spektrumu (b), burada yarı-periyodik yapılar bir dizi yıldız benzeri bileşenle temsil edilir. Yüksek frekans alanındaki göze çarpan tepe noktaları manuel olarak işaretlenmiştir.

Yarı periyodik gürültü, video kaydederken veya fotoğraf çekerken görüntü kalitesinin düşmesine ve görüntüler üzerinde bozukluklara yol açabilmektedir [22,33,34].

2.5 Şerit Gürültü

Son yıllarda uzay ve hava kaynaklı uzaktan algılama görüntüleme sistemlerin [16,35,36], şehir planlama, askeri ve çevre izleme, tıbbi görüntü analizi [37] gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Ancak işlemlerde kullanılan farklı detektörler, foton etkileri ve kalibrasyon hatası gibi nedenlerden dolayı, uzaktan algılama görüntüleri, şerit gürültüsü ile kirlenir. Uzaktan algılama görüntülerindeki şeritler, yalnızca görüntülerin görsel kalitesini ciddi şekilde bozmakla kalmaz, sonradan geliştirilen farklı uygulamalarda örneğin, görüntü karıştırma da [38] ve sınıflandırma [39] konularında da problemler oluşturmaktadır [40].

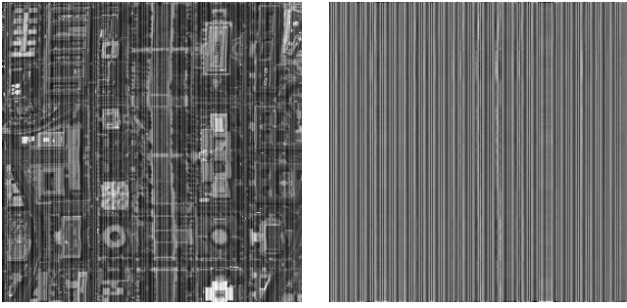
Şerit gürültüsü, yatay veya dikey eksen boyunca şeritler halinde görüntü üzerinde oluşan gürültülerdir. Şerit gürültüsünün birbirini takip eden şeritler halinde periyodik seyretmesinden dolayı periyodik gürültü sınıfına girmektedir. Şerit gürültüsü periyodik bir yapıda karşımıza çıkmakla beraber periyodik olmayan bir yapıda da bulunmaktadır [9,41].

Diğer gürültüler ile karşılaştırıldığında, şerit gürültüsü önemli ölçüde yapısal bir karakteristiğe sahiptir ve kayda değer bir yön karakteristiği sergiler [42]. Bu durum Şerit gürültü sinyalini her zaman Fourier alanında dikey veya yatay eksen boyunca ani olarak görülmesine sebep olur [28]. Aşağıdaki denklem (8) ile Şerit gürültüsü oluşturulabilmektedir.

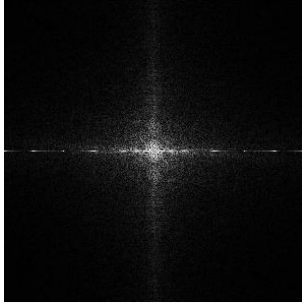
$$p(x, y) = r(x, y) + s(x, y) \quad (8)$$

Burada; p(x,y) detektörlerden gelen bozulmuş görüntüyü, r(x,y) potansiyel şeritsiz görüntüyü ve s(x,y) şerit gürültüsünü ifade eder [9, 43].

Şekil-12'de görüldüğü üzere şerit gürültüsü periyodik bir yapıda ilerlemektedir. Periyodik olmasından dolayı frekans uzayında tepe noktaları rahat bir biçimde görülebilmektedir.



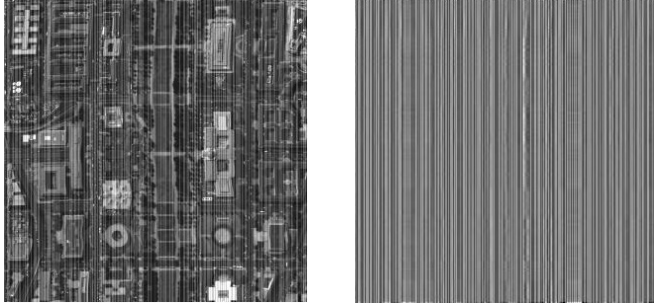
(a) (b)



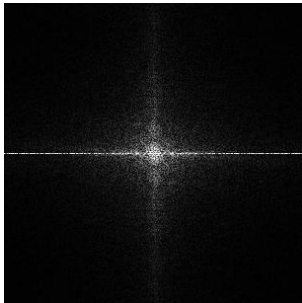
(c)

Şekil- 12: Periyodik yapıya sahip Şerit gürültüsü. (a) Şerit gürültüsü bozulmuş görüntü, (b) eklenen şerit gürültü, (c) gürültünün frekans uzayındaki görünümü.

Şekil-13'te periyodik olmayan Şerit gürültüsü görülmektedir. Periyodik bir yapıda olmayıp farklı tonlarda ve farklı boyutlarda oluşmaktadır. Ayrıca frekans uzayında tepe noktaları anlaşılabilir.



(a) (b)



(c)

Şekil- 13: Periyodik olmayan Şerit gürültüsü. (a) Şerit gürültüsü bozulmuş görüntü, (b) eklenen şerit gürültü, (c) gürültünün frekans uzayındaki görünümü.

2.6 Çok Frekanslı Periyodik Gürültü

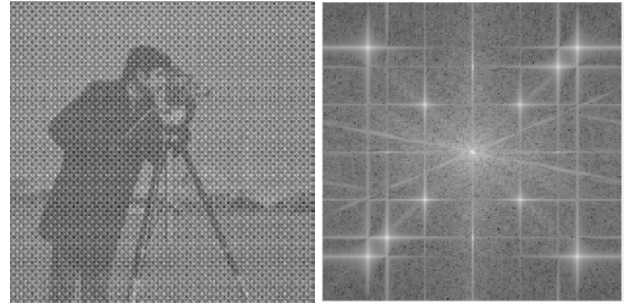
Çoklu frekans görüntüler üzerinde birden fazla periyodik gürültünün aynı anda görülmesi durumudur. Bu durum farklı gürültü kaynaklarından oluşan birden fazla gürültünün görüntü üzerine etkisi gibi, tek bir kaynağında farklı gürültüler oluşturmasından da kaynaklanabilir. Oluşan bu gürültüler görüntü üzerinde iç içe geçmiş gürültüler şeklinde bulunmaktadır [27,28]. Yapay olmayan görüntülerin çoğu da çok frekanslı periyodik gürültü tarafından bozulur [44].

Şekil-14'te görüldüğü üzere birden fazla periyodik gürültünün resim üzerinde oluşturduğu gürültü ve bu gürültülü görüntünün frekans uzayındaki tepe noktalarının dağılımı bulunmaktadır. Aşağıdaki denklemde (9) A değerinin 0,5 alınması ile çok frekanslı periyodik gürültü oluşturulabilir.

$$n(x, y) = A \times 255 \times (\sin(x + y) + \sin(1.8x + 1.8y) + \sin(2.2x + 2.2y) + \sin(1.8x - 1.8y) + \sin(x - y) + \sin(20.2x - 20.2y)) \quad (9)$$

Ayrıca aşağıda yer alan denklem ile de çok frekanslı gürültü oluşturulabilir [17].

$$n(x, y) = A \times 255 \times (\sin(1.1x + 10.1y) + \sin(1.5x) + \sin(1.5y) + \sin(1.1x - 1.1y)) \quad (10)$$



(a) (b)

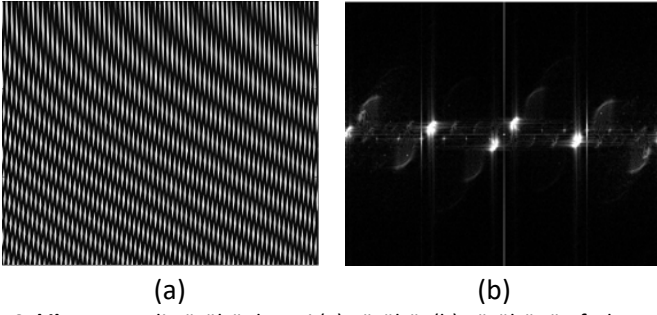
Şekil- 14: Çok frekanslı periyodik gürültü ön izlemesi. (a) Çok frekanslı periyodik gürültünün uygulandığı görüntü, (b) gürültünün frekans uzayındaki görünümü.

2.7 Hare Saçaklı (Moiré) Periyodik Gürültü

Hare (Moiré) tekrarlayan iki yapının üst üste binmesiyle ortaya çıkan bir olgudur. Periyodik olarak oluşması ise iki periyodik veya yarı-periyodik yapının üst üste binmesiyle oluşturulur ve yapay olmayan harelili gürültülere kıyasla daha kaba bir yapıya sahiptir [13,45].

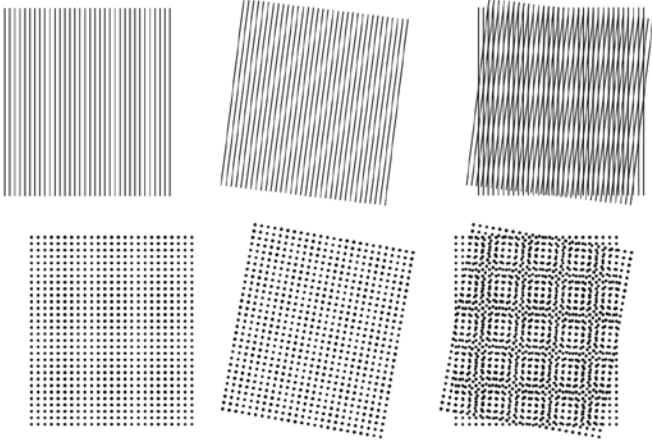
Harelili gürültüler X-ray görüntüleme, görüntü kalitesini artırmak için ızgara, gölgeleme, kesme gibi işlemler sonrasında görüntüler üzerinde periyodik biçimde gürültülere sebep olmaktadır [46].

Şekil-15'te farklı periyodik gürültülerin üst üste konulması sonrasında oluşturulan harelili görüntülü gürültü ve bu gürültülü görüntünün frekans uzayındaki görünümü görülmektedir.



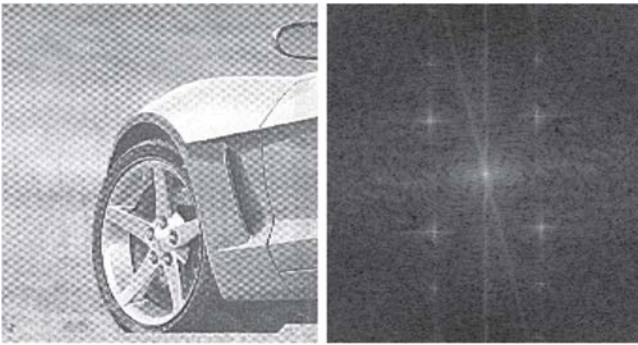
Şekil- 15: Hareli gürültü deseni (a) gürültü, (b) gürültünün frekans uzayındaki görünümü.

Şekil-16'da sentetik olarak oluşturulan hareli gürültü desenleri yer almaktadır.



Şekil- 16: Hareli desen örnekleri [14]

Şekil-17'de sentetik olmayan bir hareli gürültülü görüntü ve bu gürültülü görüntünün frekans uzayındaki görünümü yer almaktadır.



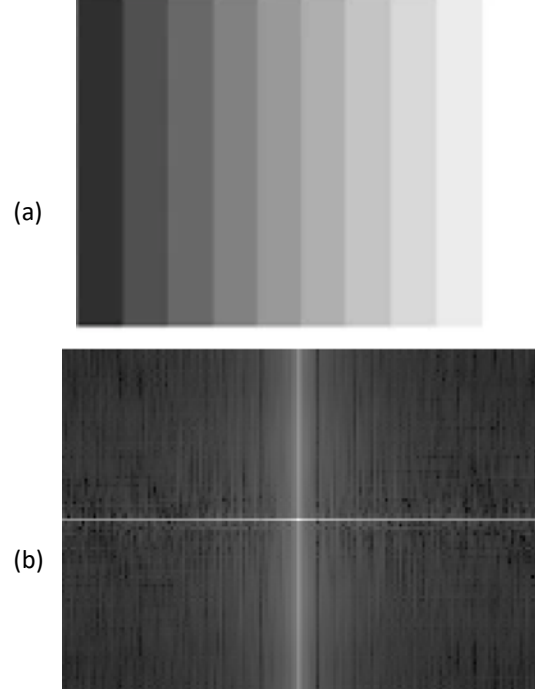
Şekil- 17: Hareli (Moire) gürültülü görüntü ve frekans uzayı. Burada tepe noktalarının belirgin yapısı periyodik bir gürültü olduğunu ifade etmektedir [23].

2.8 Tonal Gradyan Görüntüde Periyodik Gürültü

Tonal Gradyan belli aralıklarla tekrarlanan bir yapıya sahiptir. Ancak bu tekrarlama kendini tekrarlama olarak değil, belli aralıklarla gürültünün genlik değerinin tekrarlanmasıdır. Bu da frekansı etkilememektedir ve spektrumda da periyodik

gürültüden beklenen tepe noktaları oluşmamaktadır. Bu sebeple aslında Tonal Gradyan periyodik gürültü sayılmaz. Fakat literatür incelendiğinde periyodik gürültü olarak değerlendirilen çalışma mevcuttur [28].

Şekil-18'de yer alan Tonal Gradyan gürültüsü, görüldüğü üzere başlangıç ton ve bitiş tonları arasında hem ton bazlı hem de frekans bazlı bir ilerleme seyretmektedir. Tonların periyodik olarak azalarak ilerlemesi görüntü üzerinde keskin ton farklılıkları oluşturmaktadır. Ancak frekans uzayında tepe noktaları oluşturmamaktadır.

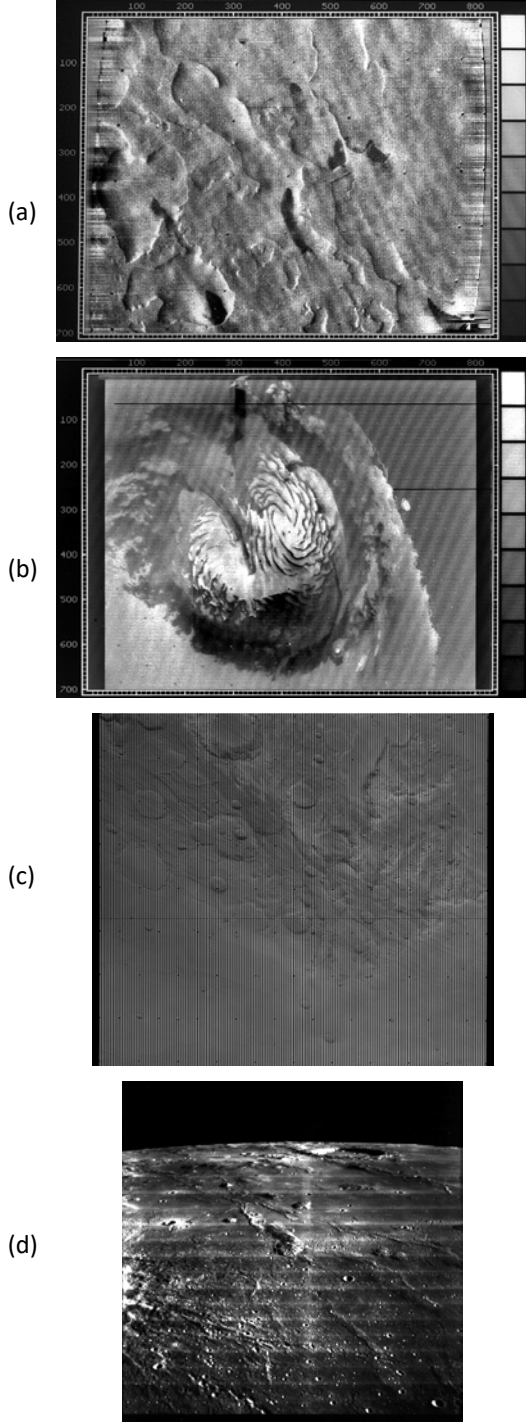


Şekil- 18: Tonal Gradyan görüntü ve gürültünün frekans uzayındaki görünümü. (a) Tonal Gradyan, (b) gürültünün frekans uzayındaki görünümü

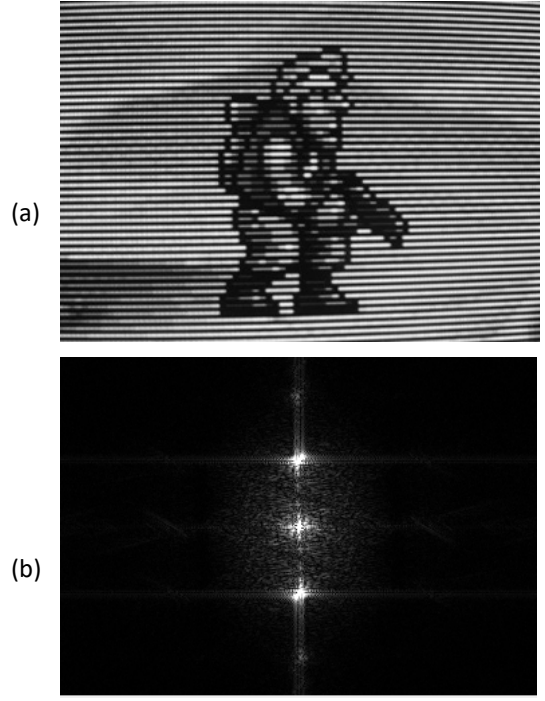
3. Yapay Olmayan Periyodik Gürültü

Yapay olmayan periyodik gürültüler, gerçek zamanlı olarak oluşan periyodik gürültülerdir. Bu gürültüyü diğerlerinden ayıran en temel özellik orijinal görüntüye sahip olunmamasıdır. Bozulma içermeyen referans görüntüsüne ulaşamadığından performans değerlendirme ölçütleri hesaplanamaz. Bu nedenle, sonuç yalnızca görsel olarak karşılaştırılır [27,28]. Şekil-1'de yer alan periyodik gürültü eklenmiş görüntüyü örnek olarak alabiliriz.

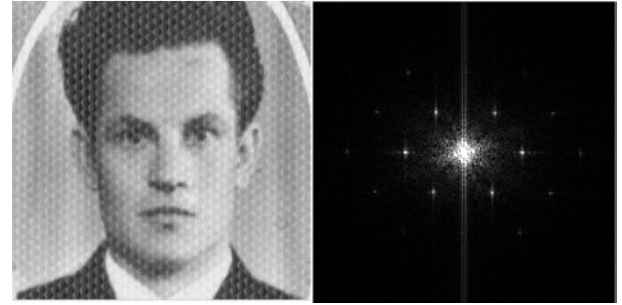
Şekil-19,20,21 ve 22'de yer alan görüntüler sentetik olarak oluşturulmamış, orijinal görüntülerdir.



Şekil- 19: Sentetik olmayan gürültülü görüntüler, (a) Şerit gürültüsüne sahip Mars yüzey görüntüsü [47], (b) Yüksek frekans gürültüsüne sahip [47], (c) Saf periyodik gürültüye sahip görüntü [47], (d) Gürültülü görüntü [48]



Şekil- 20: Sentetik olmayan gürültülü görüntü, (a) Saf periyodik gürültü içerecek görüntü [49], (b) gürültünün frekans uzayındaki görünümü



Şekil- 21: Sentetik olmayan gürültülü görüntü, (a) Periyodik gürültü içerecek görüntü, (b) gürültünün frekans uzayındaki görünümü



Şekil- 22: Sentetik olmayan gürültülü görüntüler. (a) Metin görüntüsü, (b) palyaço görüntüsü, (c) futbol maçı görüntüsü [26]

4. Gürültü Oluşturma Yöntemleri

Periyodik gürültü tiplerinin çeşitlendirilmesi ve birbirinden ayrılması için yaptığımız bu çalışmada, tiplere göre denklemler geliştirilmiştir ve geliştirilen denklemler kullanılarak oluşturulan sentetik gürültüler yukarıdaki şekillerde (Şekil-1,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15)

görülmektedir. Bu denklemler sırası ile aşağıda yer almaktadır.

Düşük frekanslı periyodik gürültü için;

$$n(x, y) = 2 \times \sin \times \left(\frac{x}{3.5} + \frac{y}{2} \right)$$

Yüksek frekanslı periyodik gürültü için;

$$n(x, y) = A \times 255 \times (\sin(x + y))$$

Saf periyodik gürültü için;

$$n(x, y) = \begin{cases} y = 255, & \text{mod}(y + x, 8) = 0 \\ y = 0, & \text{mod}(y + x, 8) \neq 0 \end{cases}$$

Yarı periyodik gürültü için;

$$n(x, y) = Ax0.1 \left[\begin{array}{l} \sin(2\pi + 2y) \\ (0.5x + 0.5y) \\ + \sin(3x) + \sin(4y) \end{array} \right]$$

Şerit gürültü için;

$$p(x, y) = r(x, y) + s(x, y)$$

Çok frekanslı periyodik gürültü için;

$$n(x, y) = A \times 255 \times \left(\begin{array}{l} \sin(x + y) + \sin(1.8x + 1.8y) \\ + \sin(2.2x + 2.2y) + \sin \left(\frac{1.8x - 1.8y}{\sin(20.2x - 20.2y)} + \sin(x - y) \right) \end{array} \right)$$

Genel olarak yukarıda yer alan; Düşük Frekanslı, Yüksek Frekanslı, Saf, Yarı-periyodik ve Çok Frekanslı Periyodik gürültü tiplerini aşağıdaki (11) denkleme farklı parametreler vererek oluşturabilmemiz mümkündür.

M, N boyutundaki bir görüntü için periyodik gürültü, çeşitli sinüzoidal fonksiyonların (S) farklı parametreler ile modellenilebilmektedir.

$$n(x, y) = \sum_{i=1}^S A_i \sin \left(\left[\frac{2\pi u_{0i}(x + B_{xi})}{M} \right] + \left[\frac{2\pi v_{0i}(y + B_{yi})}{N} \right] \right) \quad (11)$$

Burada 'A' genliği temsil etmektedir. u_{0i} ve v_{0i} , x ve y eksenleri boyunca i 'inci sinüzoidal frekansları belirler. B_{xi} ve B_{yi} orijine ve $S \in \mathbb{Z}^+$ göre faz yer değiştirmeleridir [50].

Tartışma

Periyodik gürültü, gelişen teknoloji araçlarının olumsuz yanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Çok fazla cihazın birlikte bulunması birbirlerine gürültü olarak yansıyabilecek olumsuz sonuçlar barındırmaktadır.

Periyodik gürültülerin görüntüler üzerinden temizlenmesi konusunda literatürde oldukça çok kaynağa erişmek mümkündür. Ancak bu kaynaklar incelendiğinde periyodik gürültü tiplerinin tanımlanması, sınıflandırılması konusunda hatta isimlendirme konusunda bile farklılıklar göstermektedir. Ayrıca gerek periyodik gürültü tiplerinin oluşturulması gerekse bu tiplerin görsel üzerine uygulanıp çıktılarının elde edilmesi üzerine kaynak azdır.

Literatür taramasında Alibabaie ve ark. [27] 2021 tarihli çalışmalarında 'Düşük frekanslı periyodik gürültü, Yüksek frekanslı periyodik gürültü ve Çok frekanslı periyodik gürültü' tipleri konusunda örnekler verdiği fakat bu tipler konusunda ayrıntılı bilgi vermektan çok bu gürültülerin giderilmesi yönünde bir çalışma yaptıkları görülmektedir. Aynı ekibin 2021 tarihli [28] diğer çalışmalarında ise; 'Düşük frekanslı, Yüksek frekanslı, Saf ve yarı periyodik, Şerit, Çok frekanslı periyodik gürültü ve Tonal gradyan görüntülerde periyodik gürültü' örnekleri verilmiş ve bu örnekler üzerinde açıklama yapılmaktan çok temizlenmesi yönünde çalışma yapılmıştır. Bu çalışma periyodik gürültü tiplerine odaklanmaktadır. Bu yüzden gürültünün giderilmesini amaçlayan çalışmalara nazaran, gürültü tipleri daha kapsamlı incelenmiştir.

Sonuç

Bu makalede, periyodik gürültü tiplerinin belirlenmesi, sentetik olarak denklemler yardımı ile gürültülerin oluşturulması, bu gürültülerin görüntüler üzerine uygulanması ve elde edilen gürültülü görüntülerin frekans uzayındaki görünümü Fourier dönüşümü uygulanarak görselleştirilmesi sağlanmıştır. Yukarıda yer alan 1,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14 ve 15 numaralı şekillerde görülen periyodik gürültüler, ilgili başlıklar altında yer alan denklemler yardımı ile sentetik olarak tarafımızca oluşturulmuştur.

Yapılan çalışmalar gürültülerin görüntüler üzerine uygulamak ve temizlemek yönündedir. Ancak periyodik gürültü tiplerinin sınıflandırılması, tanımlandırılması ve örneklerle açıklanması zayıftır.

Bu çalışma literatürde geçen tüm periyodik gürültüleri ele almaktadır. Hatta bazı kaynakların periyodik olarak kabul ettiği gürültüler bazı kaynaklara göre periyodik kabul edilmemektedir. Bu gürültülerde çalışmada ele alınmış ve kaynaklara göre neden periyodik olarak kabul edilmiş ya da edilmemiş bu noktalara açıklık getirilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışma periyodik gürültüler ile çalışacak araştırmacıların literatürde karşılaşabileceği tüm periyodik gürültü tiplerine tek kaynak üzerinden ulaşılmasını sağlayacaktır. Böylece araştırma esnasında araştırmacıların bazı periyodik gürültü tiplerini gözden kaçırmalarının ve farklı kaynaklardan ulaşacakları bilgilerin birbiri ile karışmasının da önüne geçilmiş olacaktır.

Kaynakça

- [1] Abu-E., Helal A. . A novel methodology for digital removal of periodic noise using 2D fast Fourier transforms. Contemporary Engineering Science 3 (2014): 103-116.
- [2] Friederike L., Fabien P. ve Steidl G.. Nonlocal myriad filters for Cauchy noise removal. Journal of Mathematical Imaging and Vision 60.8 (2018): 1324-1354.
- [3] Moallemi P, ve Behnampourii M. Adaptive optimum notch filter for periodic noise reduction in digital images. AUT Journal of Electrical Engineering 42.1 (2010): 1-7.
- [4] Driggers, R. G., Friedman M. H. ve Nichols J. Introduction to infrared and electro-optical systems. Artech House, 2012.

- [5] Kumar B. A., ve Kumar B. J. A review paper: noise models in digital image processing. arXiv preprint arXiv:1505.03489 (2015).
- [6] Newman G. ve Julesz B. Lower limits of auditory periodicity analysis. *The Journal of the Acoustical Society of America* 35.4 (1963): 610-610.
- [7] Wang J. ve Liu D. C., 2-D FFT for Periodic Noise Removal on Strain Image & &, 2010 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, 2010, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICBBE.2010.5517762.
- [8] Ângela C., ve ark.. MobilityAnalyser: A novel approach for automatic quantification of cell mobility on periodic patterned substrates using brightfield microscopy images. *Computer methods and programs in biomedicine* 162 (2018): 61-67.
- [9] Chen, Y. Ve ark. Stripe noise removal of remote sensing images by total variation regularization and group sparsity constraint. *Remote sensing* 9.6 (2017): 559.
- [10] Yijing X., Chen L., ve Hofmann U. G. Reduction of periodic noise in Fourier domain optical coherence tomography images by frequency domain filtering. *Biomedical Engineering/Biomedizinische Technik* 57.SI-1-Track-P (2012): 830-832.
- [11] Schowengerdt, R. A. *Remote sensing: models and methods for image processing*. Elsevier, 2006.
- [12] Liu X., Lu X., Shen H., Yuan Q., Jiao Y. ve Zhang L., Stripe Noise Separation and Removal in Remote Sensing Images by Consideration of the Global Sparsity and Local Variational Properties, in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 54, no. 5, pp. 3049-3060, May 2016, doi: 10.1109/TGRS.2015.2510418.
- [13] Zhouping W. Ve ark. A median-Gaussian filtering framework for Moiré pattern noise removal from X-ray microscopy image. *Micron* 43.2-3 (2012): 170-176.
- [14] Ionita, M. G., ve Coanda H. C.. Automatic periodic noise removal in microscopy images. 2017 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS). IEEE, 2017.
- [15] Erol, A., Gürbüz M. E. ve Gangal A.. Video görüntülerindeki periyodik gürültülerin yok edilmesi. (2006).
- [16] Xiangui K. Ve ark. Enhancing source camera identification performance with a camera reference phase sensor pattern noise. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security* 7.2 (2011): 393-402.
- [17] Varghese, J.. Adaptive threshold based frequency domain filter for periodic noise reduction. *AEU-international journal of electronics and communications* 70.12 (2016): 1692-1701.
- [18] Aizenberg, I. N., ve Butakoff C.. Frequency domain medianlike filter for periodic and quasi-periodic noise removal. *Image Processing: Algorithms and Systems*. Vol. 4667. International Society for Optics and Photonics, 2002.
- [19] Payman M., Masoumzadeh M., ve Habibi M. A novel adaptive Gaussian restoration filter for reducing periodic noises in digital image. *Signal, image and video processing* 9.5 (2015): 1179-1191.
- [20] Novikov, A., Pronkin A, ve Vityazev S.. Edge Detector Application in the Problem of Periodic Interference Filtering. 2022 24th International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA). IEEE, 2022.
- [21] Souradeep D. Ve ark. Periodic noise recognition and elimination using RFPCM clustering. 2014 International Conference on Electronics and Communication Systems (ICECS). IEEE, 2014.
- [22] Aizenberg I. ve Butakoff C.. A windowed Gaussian notch filter for quasi-periodic noise removal. *Image and Vision Computing* 26.10 (2008): 1347-1353.
- [23] Gonzalez, R. C. *Digital image processing*. Pearson education india, 2009.
- [24] Hiremath, S. ve Shobha A. R. A Concise Report on Image Types, Image File Format and Noise Model for Image Preprocessing. (2020).
- [25] Ketenci, S. ve Gangal A.. Design of Gaussian star filter for reduction of periodic noise and quasi-periodic noise in gray level images. 2012 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications. IEEE, 2012.
- [26] Varghese, J. Ve ark. Laplacian-based frequency domain filter for the restoration of digital images corrupted by periodic noise. *Canadian journal of electrical and computer engineering* 39.2 (2016): 82-91.
- [27] Najmeh A. ve Latif A. M. Self-learning based image decomposition for blind periodic noise estimation: a dual-domain optimization approach. *Multidimensional Systems and Signal Processing* 32.2 (2021): 465-490.
- [28] Najmeh A. ve Latif A. M. Adaptive Periodic Noise Reduction in Digital Images Using Fuzzy Transform. *Journal of Mathematical Imaging and Vision* 63.4 (2021): 503-527.
- [29] Leventhall, G. Low Frequency Noise. What we know, what we do not know, and what we would like to know. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control* 28.2 (2009): 79-104.
- [30] Rieken, D. W. Periodic noise in very low frequency power-line communications. 2011 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications. IEEE, 2011.
- [31] Najmeh A. ve Latif A. M. Fuzzy Notch Filter for Periodic and Quasi-Periodic Noise Reduction in Digital Images. *Journal of Machine Vision and Image Processing* (2019).
- [32] Sur, F. ve Grediac M. An automated approach to quasi-periodic noise removal in natural images. Diss. INRIA Nancy, équipe Magrit; Institut Pascal, Université Blaise Pascal; INRIA, 2015.
- [33] Chakraborty, D. Ve ark. Gabor-based spectral domain automated notch-reject filter for quasi-periodic noise reduction from digital images. *Multimedia tools and applications* 78.2 (2019): 1757-1783.
- [34] Ketenci, S. ve Gangal A. Automatic reduction of periodic noise in images using adaptive Gaussian star filter. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences* 25.3 (2017): 2336-2348.
- [35] Acito N., Diani M. ve Corsini G., Subspace-Based Striping Noise Reduction in Hyperspectral Images, in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 49, no. 4, pp. 1325-1342, April 2011, doi: 10.1109/TGRS.2010.2081370.
- [36] Tsai, F. ve Walter W. C.. Striping noise detection and correction of remote sensing images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 46.12 (2008): 4122-4131.
- [37] Fehrenbach, J., Weiss P. ve Lorenzo C.. Variational algorithms to remove stationary noise: applications to microscopy

- imaging. IEEE transactions on image processing 21.10 (2012): 4420-4430.
- [38] Iordache, M. D., José M. Bioucas-Dias, ve Antonio P.. Sparse unmixing of hyperspectral data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 49.6 (2011): 2014-2039.
- [39] Ghamisi, P., Mauro D. M. ve Benediktsson J. A. A survey on spectral-spatial classification techniques based on attribute profiles. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 53.5 (2014): 2335-2353.
- [40] Cao, W. Ve ark. Destriping remote sensing image via low-rank approximation and nonlocal total variation. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters 15.6 (2018): 848-852.
- [41] Chunhong C. ve ark. Anisotropic total variation model for removing oblique stripe noise in remote sensing image. Optik 227 (2021): 165254.
- [42] Chang, Y. ve ark. Remote sensing image stripe noise removal: From image decomposition perspective. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 54.12 (2016): 7018-7031.
- [43] Guan, J., Rui L. ve Xiong A. Wavelet deep neural network for stripe noise removal. IEEE Access 7 (2019): 44544-44554.
- [44] Najmeh A. ve Latif A. M. Bio-inspired Computing Paradigm for Periodic Noise Reduction in Digital Images. Journal of AI and Data Mining 9.1 (2021): 19-29.
- [45] Abolhassani, M. Formulation of moiré fringes based on spatial averaging. Optik 122.6 (2011): 510-513.
- [46] Yongjian Y, ve Wang J. A novel grid regression demodulation method for radiographic grid artifact correction. Medical Physics 48.7 (2021): 3790-3803.
- [47] Mars yüzey görüntüsü, (<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/>).
- [48] Saf periyodik gürültüye sahip görüntü (<https://petermasek.tripod.com/>).
- [49] Saf periyodik gürültü içeren görüntü (<http://scanlines.hazard-city.de/>).
- [50] Chakraborty, D. Ve ark. A proficient method for periodic and quasi-periodic noise fading using spectral histogram thresholding with sinc restoration filter. AEU-international journal of electronics and communications 70.12 (2016): 1580-1592.