

Sıklık Bandı Eksiklikleri olan Geniş Açılı Verilerden Sentetik Açıklıklı Radar ile Görüntüleme

Synthetic Aperture Radar Imaging from Wide-Angle Data with Frequency-Band Omissions*

Müjdat Çetin[†] ve Randolph L. Moses[‡]

[†]Sabancı Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
Tuzla, 34956, İstanbul, Türkiye

[‡]The Ohio State University, Department of Electrical and Computer Engineering
2015 Neil Avenue, Columbus, OH 43210, A.B.D.
mcetin@sabanciuniv.edu, moses.2@osu.edu

Özetçe

Gelişigüzel sıklık bandı eksikliklerinin mevcut olduğu geniş açılı sentetik açıklıklı radar (SAR) verilerinden görüntüleme sorununu ele alıyoruz. Önerdiğimiz yaklaşım altaçıklık görüntülerinden bileşik görüntüler oluşturulması ve de noktasal olarak güçlendirilmiş süperçözünürlüklü görüntü geriçatma fikirlerini içeriyor. Bu çerçeve istenilen bazı özellikleri içinde barındırıyor: geniş açılı açıklığın tamamında etkisini sürdürmeyen yönbağımlı saçıcıların korunması; bant genişliği sınırlamaları ve sıklık bandındaki eksikliklere dayanıklılık; saçıcıların bakış açısına bağımlılıklarının betimlenmesi. Önerdiğimiz yaklaşımın etkinliğini elektromanyetik benzetimlerle elde edilmiş gerçekçi veriler üzerindeki deneylerimizle gösteriyoruz.

Abstract

We consider the problem of wide-angle synthetic aperture radar (SAR) imaging from data with arbitrary frequency-band omissions. We propose an approach that involves composite image formation through combination of subaperture images, as well as point-enhanced, super-resolution image reconstruction. This framework provides a number of desirable features including preservation of anisotropic scatterers that do not persist over the full wide-angle aperture; robustness to bandwidth limitations and frequency-band omissions; as well as a characterization of the aspect dependence of scatterers. We demonstrate the effectiveness of the proposed approach through experiments based on electromagnetically simulated realistic data.

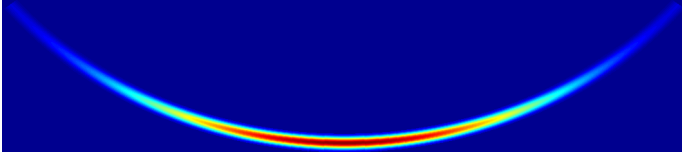
1. Giriş

Sentetik açıklıklı radar (SAR) için geleneksel görüntü oluşturma yöntemleri toplanan verilerin *dar açılı* ve *doldurulmuş* bir açıklıkta yer aldığı varsayımına dayanır. Daha ayrıntılı olarak, evre tarihi verilerinin iki boyutlu uzamsal sıklık uzayında diktörtgene yakın bir halka parçası üzerinde yer aldığı ve böylece hem

bakış açısı hem de sıklık (erim) yönünde doldurulmuş bir sentetik açıklık oluşturduğu düşünülür. Bunun dayanağı birçok geleneksel radar sisteminin sadece dar bir açı aralığında (birkaç derece) gözlem yapması ve de kesiksiz bir sıklık izgesinde sinyal gönderip toplamasıdır. Ancak yeni ortaya çıkan bazı uygulamalarda bu varsayımların hiçbiri geçerli değil. Bu uygulamalardan birisi geniş açılı görüntüleme. Radar ile geniş açılı algılama yakın geçmişte küresel yer bildirim sistemi, ataletli yöngüdümlü sistemi, ve insansız hava aracı gibi teknolojilerdeki gelişmeler sayesinde mümkün hale geldi. Bu tip geniş açılı algılama senaryolarında veriler uzamsal sıklık uzayında dar bir yay üzerinde yer alır. Bu yay kendisini çevreleyen diktörtgenin sadece küçük bir kısmını doldurduğu için seyrek bir açıklık teşkil eder. Bir başka uygulama bitki örtüsüne nüfuz eden düşük sıklıklı radar. Bu tip radarlar VHF ve UHF bantlarında işledikleri ve de bu bantlarda elektromanyetik izgenin bir kısmı televizyon, radyo yayını gibi başka amaçlara ayrılmış olabileceği için radarların kesiksiz bir sıklık bandında sinyal gönderememe ihtimali yüksektir. Dolayısıyla sıklık bandında dolu bir açıklık mümkün olmayacak, eksiklikler olacaktır. Benzer eksiklikler daha yüksek sıklıklarda da elektronik boğma ve veri kayıpları nedeniyle oluşabilir.

Geniş açılı ve sıklık bandı kısıtlanmalı verilere geleneksel görüntüleme yöntemleri uygulandığında ortaya görsel ve otomatik değerlendirme için tatmin edici olmayan görüntüler çıkar. Bunun birkaç sebebi vardır. Birincisi, geniş açılı bir açıklıkta evreyumlu olarak görüntülenen bir noktasal saçıcının noktasal yayılma işlevi (NYİ) geleneksel SAR görüntülemeye alışlagelen sinc tipi NYİ'lere göre çok daha düzensizdir ve diğer saçıcılarla karışan yankulaklara yol açar. İkincisi, sıklık bandında eksiklikler olduğunda, geleneksel görüntülemenin sonucu oluşan NYİ'ler daha da düzensiz hale gelip, baskın yapay olgulara neden olur. Ayrıca farklı yapıda bant eksiklikleri farklı yapay olgu çeşitlerine yol açar ki, bu da oluşturulan görüntüleri yorumlamayı daha da zorlaştırır. Üçüncü olarak, geleneksel görüntülemeyle ilgili yönbağımsız saçılım varsayımı geniş açılı algılama senaryolarında genelde geçerli değildir, çünkü birçok saçıcı geniş açıklıklar boyunca direnemez ve gözlem yönüne bağımlı bir tepki üretir. Böyle bir senaryoda geleneksel görüntüleme yöntemleri farklı düzeyde

*Bu çalışma A.B.D. Hava Kuvvetleri Araştırma Laboratuvarı'nın FA8650-04-1-1719 ve FA8650-04-1-1721, ve Avrupa Komisyonu'nun FP6-2004-ACC-SSA-2 (SPICE) sayılı projeleri kapsamında desteklenmiştir. Bu bildirinin içeriğinin bir kısmı daha önce İngilizce olarak yayınlanmıştır [1].



Şekil 1: Yönbağımsız bir saçıcıdan 110° 'lik açıklıkta toplam Hamming penceresinden geçirilmiş verilerin genlik görüntüsü ve sıklık dayanağı. Merkez sıklığı 10 GHz ve bant genişliği 500 MHz'dir.

yönbağımlılığın sahip saçıcıların göreceli yansıtırlıklarının yanlış tahminine yol açar. Buna ilaveten, bu tip veri işleme her saçıcı için sadece yansıtırlığı kestirir, ancak saçıcının yönbağımlılığını açıklamaz. Halbuki yönbağımlılık bilgisi (eğer verilerden yeterince doğru biçimde çıkartılabilirse) sahnenin yorumlanması (örneğin hedef tanıma) için önemli bir öznelik olabilir.

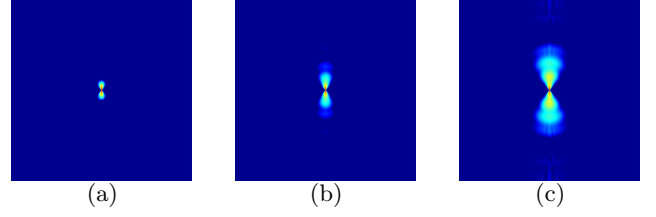
Bu gözlemlerden hareketle, sıklık bandı kısıtlamalı, geniş açılı radar verilerinden yeni görüntü oluşturma stratejileri geliştireyoruz. Bunun için daha önceki çalışmalarımızdaki şu iki fikri biraraya getiriyoruz: alçaklık görüntülerine dayalı bileşik geniş açılı görüntüleme [2]; ve model tabanlı, noktasal olarak güçlendirilmiş süperçözünürlüklü görüntüleme [3]. Bileşik görüntüleme geniş açılı algılama senaryolarında saçıcının yönbağımlı olması meselesinin yarattığı zorlukları aşma amacını taşır. Bu yöntemin ana fikri verilerin dar açılardaki altkümelerinden alçaklık görüntüleri oluşturup sonra bunlardan doğrusal olmayan bir biçimde bileşik görüntüleri oluşturmaktır. Alçaklık görüntüleri geleneksel olarak oluşturulduğunda, bileşik görüntüler hala düzensiz NYİ'lerden dolayı yapay olgularla doludur. Bu meseleyi çözmek için alçaklık görüntülerini noktasal olarak güçlendirilmiş görüntüleme [3] ile oluşturmayı öneriyoruz. Bu yaklaşım gözlem sürecinin bir modelini (ve dolayısıyla açıklığın yapısıyla ilgili bilgileri) kullandığından, verilerdeki çeşitli sınırlamalara daha dayanıklıdır. Ayrıca sahnenin yapısı ile ilgili önsel bilgilerin kullanılıp bazı durumlarda süperçözünürlük elde edilmesini sağlar. Noktasal olarak güçlendirilmiş alçaklık görüntülerinden yine bileşik görüntüleri oluşturuyoruz. Bu görüntüleme stratejisi her uzamsal nokta için yansıtırlığın yanı sıra, yönbağımlılık ile ilgili de bilgi veriyor. Yaklaşımın başarımını A.B.D. Hava Kuvvetleri Araştırma Laboratuvarı'nın sağladığı zengin elektromanyetik benzetim verileri üzerinde gösteriyoruz.

2. Sıklık Bandı Kısıtlamalı Geniş Açılı Görüntüleme

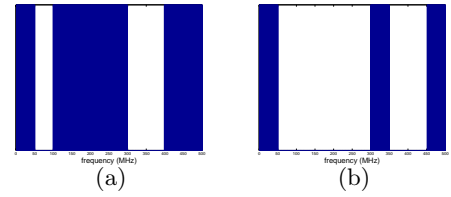
Merkez sıklığı 10 GHz, açısal açıklığı 110° , ve bant genişliği 500 MHz olan bir geniş açılı görüntüleme senaryosunu ele alalım. Şekil 1 böyle bir senaryoda yönbağımsız bir saçıcıdan toplanan benzetimli verilerin Hamming penceresinden geçirilmiş halinin genlik görüntüsünü ve sıklık dayanağını gösteriyor. Bu örneği kullanarak tam ve kısmi açıklık verilerinden çeşitli görüntü oluşturma stratejilerini tartışmayı amaçlıyoruz.

2.1. Yönbağımsız Saçılım Varsayımıyla Geleneksel Evreyumlu Tümüleşim

Geleneksel görüntüleme yöntemi Şekil 1'deki gibi dar bir yay üzerinde yer alan evre tarihi verilerini Kartezyen bir ızgaraya aradeğerleyip, yayın etrafını çeviren dikdörtgeni sıfır ile dolguladıktan sonra iki boyutlu ters Fourier dönüşümü ile görüntüyü geriçatar. Şekil 1'deki veri-



Şekil 2: Noktasal bir saçıcının Şekil 1'deki verilerden oluşturulan geleneksel görüntüleri. Görüntüler 10×10 metrelik bir bölgeyi gösteriyor. Dikey ve yatay boyutlar sırasıyla erim ve çapraz erime tekabül ediyor. Görüntüler logaritmik ölçekli ve en üst 40 dB'lik kısmı gösteriyor. (a) Tüm sıklık bandı elimizde. (b) Sıklık bandının %70'i elimizde. (Şekil 3(a)'daki maskeye göre.) (c) Sıklık bandının %30'u elimizde. (Şekil 3(b)'deki maskeye göre.)

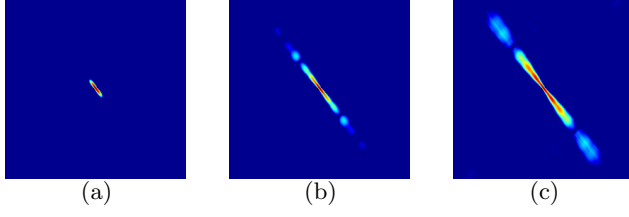


Şekil 3: İki farklı sıklık bandı eksikliği yapısı. Koyu bölgeler verilerin elimizde olduğu bantları, açık renkli bölgeler ise eksik olan bantları gösteriyor. (a)'daki maske tüm banttaki verilerin %70'inin, (b)'deki maske ise %30'unun elimizde mevcut olduğu durumlar yaratıyor.

lerin bu biçimde işlenmesi Şekil 2(a)'daki NYİ'ye yol açar. NYİ'nin bu şekli eğri biçimli veri dayanağından dolayıdır ve geleneksel dar açılı SAR'da alışılmış olan sinc gibi NYİ'lerden oldukça farklıdır. Bu NYİ yönbağımsız saçıcıların geniş açılı verilerden oluşturulan geleneksel görüntülerinde oluşması muhtemel yapay olguların tipi hakkında fikir verebilir. Burada bütün 500 MHz'lik veri bandına sahip olduğumuzu varsaydık. Şimdi sıklık bandında eksikliklerin olduğu durumu ele alalım. Örneğin Şekil 3'teki iki çeşit bant ihmalini düşünelim: bunlar sırasıyla tam açıklık verisinin %70 ve %30'unun elimizde olduğu durumları temsil ediyor. Şekil 2(b) ve 2(c)'de bu tip sıklık bandı eksikliklerinin sebebiyet verdiği kısmi açıklıklardaki verilere dayalı geleneksel görüntüleme sonucu oluşan NYİ'leri gösteriyoruz. Bu NYİ'lerin kaydadeğer genişlikte yankulaklar içeriyor olması, bu senaryolarda geleneksel görüntülemenin şiddetli yapay olgulara yol açacağını haber veriyor. Bu örneklerde yönbağımsız bir noktasal saçıcı varsaydık. Elbette geleneksel görüntülemenin bir başka sorunu çoğu saçıcının geniş açılı açıklıklar boyunca direnmemesi ve böylece yönbağımsız saçılma varsayımının geçersiz olmasıdır. Bu hususa bir sonraki kısımda değiniyoruz.

2.2. Bileşik Görüntüleme

Saçıcıların gözlem açısına bağımlılığını hesaba katmak için daha önce bileşik görüntülemeye dayalı bir yaklaşım önermiştik [2]. Bu yaklaşım herbiri birer tepki yönü, genişliği, ve şekli ile tanımlanan K tane uyumlu süzgeç kullanmaya dayanıyor [4, 5]. Bu uyumlu süzgeçlerin herbirinin çıktısı belli bir açısal alçaklık kullanılarak oluşturulmuş geleneksel bir görüntüdür. Bu yaklaşımın altında yatan varsayım her bir alçaklığın açısal genişliği içerisinde saçıcının yönbağımsız olarak düşünülebileceğidir. Böylece



Şekil 4: Noktasal bir saçıcının 45° merkezli, 20° genişliğinde bir altaçıklıktaki verilerden geleneksel işleme ile geriçatılan görüntüleri. Görüntüler 10×10 metrelik bir bölgeyi gösteriyor. (a) Tüm sıklık bandı elimizde. (b) Sıklık bandının %70'i elimizde. (c) Sıklık bandının %30'u elimizde.

elde edilen K tane altaçıklık görüntüsü $\hat{\mathbf{f}}^k$ ($k \in \{1, \dots, K\}$) kullanılarak bileşik görüntü $\hat{\mathbf{f}}$ şöyle oluşturulur:

$$\hat{\mathbf{f}}_{ij} = \arg \max_k \hat{\mathbf{f}}_{ij}^k. \quad (1)$$

Burada $\hat{\mathbf{f}}_{ij}^k$ ve $\hat{\mathbf{f}}_{ij}$ sırasıyla k 'inci altaçıklık görüntüsündeki ve de bileşik görüntüdeki (i, j) 'inci pikseli belirtiyor. Bileşik görüntüyü genişliği bilinen, ama açısı bilinmeyen saçılım tepkisi için bir genelleştirilmiş olabilirlik oranı testi istatistiği olarak yorumlayabiliriz. Bu sürecin sonunda her piksel için yansıtırlık kestirimine ilave olarak elde ettiğimiz bir başka bilgi de en büyük tepkiyi veren altaçıklığın indisi k 'dir. Bu ek bilgi saçıcıların yönbağımlılığını bir nebze tanımlar, bu da sahnedeki nesnenin görselleştirilmesi için ya da otomatik hedef tanıma algoritmaları için yararlı olabilir.

Anlayışımızı pekiştirmek için, bu yaklaşımda tek bir altaçıklığa tekabül eden ve daha sonra bileşik görüntüleme sürecinde kullanılan NYİ'lere göz atalım. Örneğin Şekil 1'deki verilerin 45° merkezli ve 20° genişlikli bir altaçıklığını düşünelim. Bu altaçıklıkta tüm sıklık bandı verilerinin elimizde mevcut olduğu durum için elde edilen NYİ Şekil 4(a)'da görülüyor. Burada erim yönündeki genişliği çapraz erimdekine göre daha büyük olan sinc benzeri bir tepki görüyoruz. Şekil 3'teki maskelerin belirlediği biçimde sıklık bandı eksiklikleri olan durumlar için elde edilen NYİ'ler ise Şekil 4(b) ve 4(c)'de görülüyor. Sıklık bandındaki eksiklikler nedeniyle NYİ'lerin belirgin biçimde genişlediğini gözlemliyoruz. Bunun sonucu olarak, geleneksel altaçıklık görüntüleri kullanılarak elde edilen bileşik görüntülere yapay olguların hakim olacağını söyleyebiliriz. Bir sonraki kısımda bu meseleyi çözmek amacıyla başka bir strateji öneriyoruz.

2.3. Model Tabanlı, Noktasal Olarak Güçlendirilmiş Bileşik Görüntüleme

Altaçıklık görüntülerinin oluşturulması için *güçlendirilmiş öznitelikli görüntüleme* [3] yöntemine dayalı bir yaklaşım kullanmayı öneriyoruz. Uzamsal bakımdan yerleşmiş öznitelikleri çözmek ve güçlendirmek üzerinde duruyoruz, o nedenle [3]'teki genel çerçeve içinden *noktasal olarak güçlendirilmiş görüntüleme* fikrini kullanıyoruz. Bu görüntü oluşturma yöntemi evre tarihi, erim (menzil) profili, ya da uzamsal uzaydaki verileri kullanabilir. Biz burada geleneksel olarak oluşturulmuş görüntüleri girdi olarak kullanıyoruz, dolayısıyla yöntem bir ters evrişim tekniği olarak çalışıyor. Daha somut olarak, \mathbf{y}^k geleneksel olarak oluşturulmuş k 'inci altaçıklık görüntüsü olsun, ve \mathbf{H}^k da her satırı ilgili NYİ'nin uzam-

sal olarak farklı miktarda kaydırılmış (ve satır vektöre çevrilmiş) halini içeren bir matris olsun. Bu durumda noktasal olarak güçlendirilmiş altaçıklık görüntülemesi aşağıdaki eniyileme problemi çözerek gerçekleştirilir:

$$\hat{\mathbf{f}}^k = \arg \min_{\mathbf{f}} \left\{ \|\mathbf{y}^k - \mathbf{H}^k \mathbf{f}\|_2^2 + \lambda \|\mathbf{f}\|_1 \right\}. \quad (2)$$

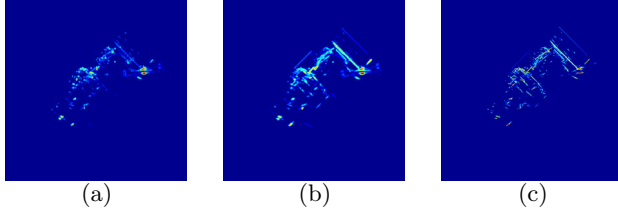
Burada λ sayılı bir parametredir. Denklem (2)'deki amaç işlevinde birinci terim gözlem sürecinin matematiksel bir modelini (\mathbf{H}^k) de kullanarak verilere sadakati sağlar. İkinci terim ise geriçatılmış görüntünün "seyrek" olması tercihini belirtir ki, bu da az sayıda noktasal saçıcı içeren sahneler için süperçözünürlük elde edilmesini sağlar. Denklem (2)'deki eniyileme problemi verimli özyineli algoritmalar ile çözülebilir. Bu denklemdeki ifade kolaylık için matris ve vektörler kullanılarak yazılmış durumda, ancak pratikte gerekli matris vektör çarpımlarının evrişimsel işlemlerle gerçekleştirileceği gözlemini kullanarak \mathbf{H}^k gibi büyük matrisleri oluşturmuyoruz ve bu sayede hafıza kullanımını azaltıyoruz. Bu biçimde oluşturulan altaçıklık görüntülerini kullanarak Bölüm 2.2'de anlatıldığı gibi bileşik görüntüler oluşturuyoruz; elbette orada anlatılana göre tek fark geleneksel altaçıklık görüntüleri yerine noktasal olarak güçlendirilmiş olanları kullanmamız. Tarif ettiğimiz bu işlem bir yansıtırlık görüntüsü oluşturmanın yanısıra her saçıcının yönbağımlılığının bir kestirimini de üretiyor.

3. Deneysel Sonuçlar

Amerikan Hava Kuvvetleri Araştırma Laboratuvarı'nın elektromanyetik benzetim ile ürettiği zengin bir veri kümesi üzerinde gerçekleştirdiğimiz iki boyutlu görüntü geriçatma deneylerimizin sonuçlarını sunuyoruz. Bu veri kümesi bir iş makinesinden boş uzayda toplanmış geniş bantlı (7-13 GHz), tam kutuplaşmalı, karmaşık değerli gerisaçılım sinyallerini içeriyor. Veriler evre tarihi uzayında bir yarıküreyi kaplayan gözlem açılarında mevcut. Biz deneylerimizde dikey-dikey kutuplaşmalı, 10 GHz merkezli, 45° etrafında 110° 'lik gözlem açılı veriler kullanıyoruz. Dört farklı bant genişliğinde (500 MHz, 1 GHz, 2 GHz, ve 4 GHz) deneyler yaptık; yer darlığından dolayı bunlardan sadece ikisinden örnekler sunuyoruz. Hem tüm bant genişliğinde verilerin mevcut olduğu, hem de sıklık bandındaki eksikliklerden dolayı ilgili bant genişliğindeki verilerin sadece %70 ve %30'unun mevcut olduğu durumları göz önüne alıyoruz. Sıklık bandı eksiklikleri için Şekil 3'teki iki maskeyi ilgili bant genişliğine ölçekleyerek kullanıyoruz. Bileşik görüntüleme için merkezleri 0° , 5° , \dots , 90° ve genişlikleri 20° olan 19 tane altaçıklık kullanıyoruz. Her altaçıklık için tepkinin şeklini Hamming penceresi olarak seçiyoruz. Radarı taşıyan platformun uçuş güzergahının doğrusal olduğu varsayımına dayalı bir veri kümesi kullanıyoruz.

Önce çok ideal şartlarda, 4 GHz bant genişlikli ve tüm sıklık bandındaki verilerin elimizde olduğu durumdaki sonuçları görelim. İş makinesinin bu verilerden oluşturulan görüntülerini Şekil 5'te gösteriyoruz. Şekil 5(b) ve 5(c)'deki görüntüler dar açıklıklı saçılım merkezleri için Şekil 5(a)'daki geleneksel görüntülere göre daha yüksek tepki genlikleri üretiyor gibi görünüyor. Bunun nedeni geleneksel evreyuymulu tümleşim sürecinin tüm saçıcıların (geniş açıda direnmeyenler de dahil) tüm açısız açıklık boyunca ortalamasını almasıdır.

Şimdi idealden uzaklaşmaya başlayarak, önce bant genişliğini azaltalım. Şekil 6'nın en üst sırasında 1 GHz

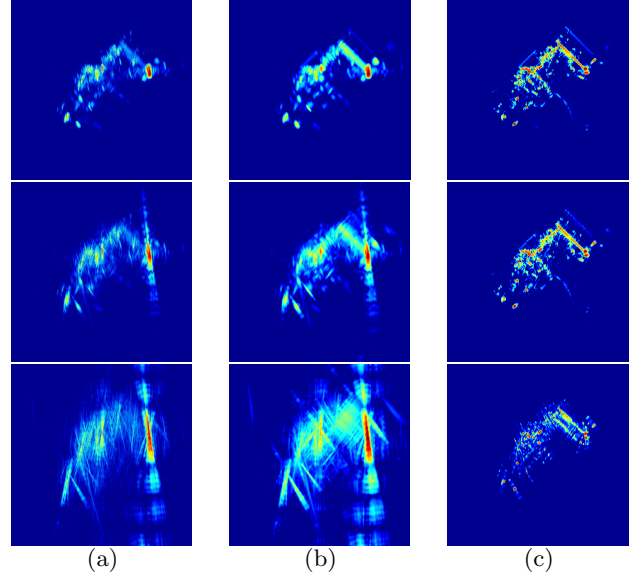


Şekil 5: Sahnedeki iş makinesinin 4 GHz bant genişlikli verilerden oluşturulmuş görüntüleri. (a) Geleneksel görüntüleme. (b) Bileşik görüntüleme. (c) Noktasal olarak güçlendirilmiş bileşik görüntüleme.

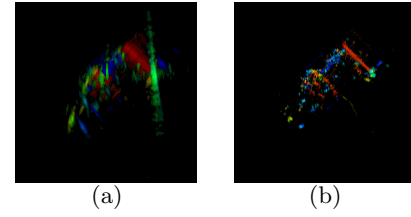
bant genişliğindeki verilerden oluşturulan görüntüleri gösteriyoruz. Şekil 6(a) ve 6(b)'deki görüntülerin çözünürlük ve ana kulak yapısı bakımından benzer özellikler gösterdiğini ve de Şekil 5'teki görüntülere göre burada bazı özneliklerin kaybolmaya başladığını görüyoruz. Öte yandan, önerdiğimiz yöntemle oluşturulan, Şekil 6(c)'deki görüntü 4 GHz bant genişliğindeki verilerle oluşturulmuş görüntülerdeki birçok özneliği koruyor ve sergiliyor. Görüntü oluşturma sırasında Denklem (2)'deki λ parametresini oluşturulan görüntüyü görsel olarak değerlendirerek seçiyoruz.

Şimdi de sıklık bandı eksikliklerini ele alalım. Şekil 6'nın orta sırası bandın %70'inin elimizde olduğu duruma tekabül ediyor. Burada geleneksel ve de bileşik görüntülere yankulakların ve yapay olguların hakim olduğunu gözlemliyoruz. Öte yandan Şekil 6(c)'deki noktasal olarak güçlendirilmiş bileşik görüntünün tüm bandın elimizde olduğu duruma göre çok fazla kötüleşmediğini görüyoruz. Bu da yaklaşımımızın sıklık bandı eksikliklerine dayanıklılığını gösteriyor. Şekil 6'nın alt sırası ise sıklık bandının sadece %30'unun elimizde olduğu duruma tekabül ediyor. Bu durumda tüm görüntüleme yöntemleri gözle görülür yapay olgular sergilerken, noktasal olarak güçlendirilmiş bileşik görüntülemenin sahnedeki aracın baskın saçıcılarını ve özneliklerini hala bir nebze koruyabildiğini söyleyebiliriz.

Şu ana kadar sunduğumuz bileşik ve noktasal olarak güçlendirilmiş bileşik görüntülerde her uzamsal noktada sadece yansıtırlığı gösterdik. Oysa Bölüm 2'de belirttiğimiz gibi, bunun yanısıra her uzamsal nokta için hangi altaçıklığın en büyük yansıtırlığı verdiği bilgisini de elde ediyoruz. Bu da her saçıcının yönbağımlılığıyla ilgili bilgi sağlıyor; daha açık olarak, her saçıcının hangi yönde en güçlü tepkiyi verdiğini belirliyor. Bu bilgiyi görselleştirmek için en büyük tepkinin verildiği yönü renk ile kodlamayı öneriyoruz. 19 tane altaçıklığın herbiri için bir renk seçiyor ve her pikseli en büyük tepkinin verildiği altaçıklığın rengiyle kodluyoruz. Yansıtırlık genliğini ise pikselin parlaklığıyla kodluyoruz. Bunun sonucunda elde ettiğimiz renkli görüntüde kırmızı pikseller 0 derecede, yeşil pikseller 45 derecede, ve mavi pikseller 90 derecede en büyük tepkiyi belirtiyor, ara tonlar da aradaki diğer açılarını temsil ediyor. Bant genişliğinin 1 GHz olduğu ve bandın %70'inin elimizde olduğu durumda böylece oluşturduğumuz renk kodlu görüntüleri Şekil 7'de gösteriyoruz. Bu görüntüler Şekil 6'nın orta sırasındaki bileşik ve noktasal olarak güçlendirilmiş bileşik görüntülerin yönbağımlılığı bilgisi eklenmiş halleri. Bu görüntüler, özellikle de noktasal olarak güçlendirilmiş olanlar, bu biçimde elde edilen yönbağımlılığı bilgisinin hedef sınıflama gibi amaçlar için yararlı olabileceğini düşündürüyor.



Şekil 6: Sahnedeki iş makinesinin 1 GHz bant genişlikli verilerden oluşturulmuş görüntüleri. Üst sıra: tüm bant elimizde. Orta sıra: bandın %70'i elimizde. Alt sıra: bandın %30'u elimizde. (a) Geleneksel görüntüleme. (b) Bileşik görüntüleme. (c) Noktasal olarak güçlendirilmiş bileşik görüntüleme.



Şekil 7: Yönbağımlılığın görselleştirilmesi. İş makinesinin 1 GHz bant genişlikli, sıklık bandında eksiklikler olan (bandın %70'i elimizde) verilerden oluşturulmuş, yönsel tepkinin renk ile kodlandığı SAR görüntüleri. (a) Bileşik görüntüleme. (b) Noktasal olarak güçlendirilmiş bileşik görüntüleme.

4. Kaynakça

- [1] M. Çetin ve R. L. Moses, "SAR Imaging from Partial-Aperture Data with Frequency-Band Omissions," *Algorithms for SAR Imagery XII*, SPIE, Orlando, FL, A.B.D., Nisan 2005.
- [2] R. L. Moses, L. Potter, ve M. Çetin, "Wide angle SAR imaging," *Algorithms for SAR Imagery XI*, SPIE, Orlando, FL, A.B.D., Nisan 2004.
- [3] M. Çetin ve W. C. Karl, "Feature-enhanced synthetic aperture radar image formation based on nonquadratic regularization," *IEEE Trans. Image Processing*, cilt 10, sayfa 623-631, Nisan 2001.
- [4] M. R. Allen ve L. E. Ho., "Wide-angle wideband SAR matched filter image formation for enhanced detection performance," *Algorithms for SAR Imagery*, SPIE, Orlando, FL, A.B.D., Nisan 1994.
- [5] R. D. Chaney, A. S. Willsky, ve L. M. Novak, "Coherent aspect-dependent SAR image formation," *Algorithms for SAR Imagery*, SPIE, Orlando, FL, A.B.D., Nisan 1994.