

Taşınabilir Radar Sistemi ile Dış Ortam Görüntüleme için GTBA Temelli Kargaşa Giderme

Deniz Kumlu, Isin Erer, Selçuk Paker
İstanbul Teknik Üniversitesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
İstanbul, Türkiye
kumlud@itu.edu.tr, ierer@itu.edu.tr, spaker@itu.edu.tr

Özet: Düşük maliyet ve ağırlıklı, taşınabilir çok geniş-bantlı radar ölçümleri, yansımaz oda koşullarında vektör ağ analizörü (VAA) ile elde edilen ölçümlere göre ortam gürültüsünden ve kargaşadan etkilenir. Çoğu durumda hedef kargaşa tarafından maskelendiği için hedef tespit ve tanıma yöntemlerinin performansları düşer. Bu çalışmada, radar verisi gürbüz temel bileşen ayrışımı (GTBA) ile kargaşa ve hedefe karşı gelen düşük rank ve seyrek bileşenlerine ayrılmıştır. Kampüs ortamında hareketli insan, ve taşıt gibi hedeflerden alınan ölçümler için GTBA'nın diğer kargaşa giderme yöntemlerine üstünlüğü gösterilmiştir.

Abstract: Measurement acquired by low cost and weighted, portable ultra-wide-band radar systems are highly affected by measurement noise and clutter compared to the anechoic chamber vector network analyzer (VNA) measurements. In most cases, the performance of target detection and recognition methods decreases as the target is masked by chaos. In this study, the radar data is divided by robust principal component decomposition (RPCA) into low rank and sparse components corresponding to clutter and target components. It has been demonstrated that RPCA is superior to other decomposition methods for moving targets such people and vehicles in the campus environment that are measured.

1. Giriş

Son yıllarda çok geniş-bantlı (ÇGB) radar teknolojisinde yaşanan gelişmeler düşük boyutlu ve maliyetli ancak yüksek çözünürlüklü radar sensörlerinin geliştirilmesini mümkün kılmıştır. ÇGB radar sistemleri sadece askeri alanda değil, sivil hayatta; ev ortamında hareket kestirimi, trafik, hasta hayati bulgularının takibi, tarımsal uygulamalar gibi alanlarda geniş yer bulmuştur. Bu tür sistemlerden elde edilen ölçümlerden oluşturulan görüntülerden hedef tespiti, tanınması, takibi gibi uygulamalar yapılabilmektedir. Ancak, yansımaz oda koşullarında vektör ağ analizörü (VAA) ile yapılan ölçümlere göre bu sistemlerden alınan veri gürültüden daha çok etkilenmektedir [1]. Özellikle ortamdaki hedef dışı durağan yapılardan kaynaklanan yansıma olarak tanımlanan ve bazı durumlarda hedefi maskeleyecek kadar kuvvetli olan kargaşa gürültüsü yöntemlerin performansını düşürmektedir.

Kargaşa hareketli hedeflerin görüntülenmesinde gözlemlenen bölgedeki hareketsiz objelerden kaynaklanabileceği gibi, duvar arkası/yeraltı görüntüleme de duvardan/yerden geri yansıyan işaretten de kaynaklanabilir. Kargaşa gidermek için basit ortalama çıkartma (OÇ) yönteminin ya da alt-uzay tabanlı yöntemler; temel bileşenler analizi (TBA) [2, 3], tekil değer ayrışımı (TDA) [2, 3], bağımsız bileşenler analizi (BBA) [2, 3] dışında son yıllarda önerilmiş ve yüksek başarı sağlamış gürbüz temel bileşen analizi (GTBA) [4, 5] duvar ve yeraltı görüntüleme radarlarından alınmış verilerin işlenmesinde de kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında düşük maliyetli, düşük ağırlıklı (≈ 300 gr) bir radar ile dış ortamda hareketli hedeflerden veri toplanmış ve elde edilen veri üzerindeki bozucu etkiler (kargaşa), görüntüleme ya da hedef tanıma [6] gibi uygulamalarda performans artışı sağlamak amacıyla, kargaşa giderme yöntemleri ile azaltılmaya çalışılmıştır [2-5]. İlk defa bu çalışma kapsamında, GTBA ile ters yapay açıklıklı radar (TYAR) verilerinde kargaşa giderme yapılması önerilmiştir.

Bu çalışma kapsamında yapılanları özetleyecek olursak hareketli yer hedefleri için:

- Düşük maliyetli ve mobil radar sistemi ile hareketli yer hedeflerinden yapay açıklığı oluşturacak şekilde ölçümler alınmıştır.
- Ham verilere OÇ, TBA, TDA ve GTBA ayrışımı uygulanarak kargaşa etkisi giderilmiştir.
- Kargaşa giderme yöntemlerinin görsel performans analizleri yapılmış ve bu sayede, görüntüleme ve sınıflama yöntemlerinin performanslarının artırılması hedeflenmiştir.

2. Kargaşa Giderme

Toplanan işaretteki ilgilenilen hedef dışındaki istenmeyen kaynaklardan yansıyan işaretleri gidermek için kargaşa giderme yöntemleri uygulanmaktadır. Elde edilen ölçüm verisi matris formunda ifade edilirse,

$$X = X_k + X_h \quad (1)$$

şeklinde verilebilir. $X \in \mathbb{R}^{M \times N}$, $X_k \in \mathbb{R}^{M \times N}$, $X_h \in \mathbb{R}^{M \times N}$ sırasıyla ölçüm matrisi ve bu matrisi oluşturan kargaşa ve hedef bileşenlerine karşılık gelir [2]. Düşük sıra gösterimine dayanan alt uzay ayrışım yöntemlerinde farklı matris kısıtlarına dayanan ayrıştırma işlemleri yapılır. TBA ve TDA için ayrıştırma denklemleri aşağıda gibi verilir [3].

$$X = X_k + X_h = A_1^T S_1 + \sum_{i=2}^N A_i^T S_i \quad (2)$$

$$X = X_k + X_h = \sigma_1 u_1 v_1 + \sum_{i=2}^N \sigma_i u_i v_i^T \quad (3)$$

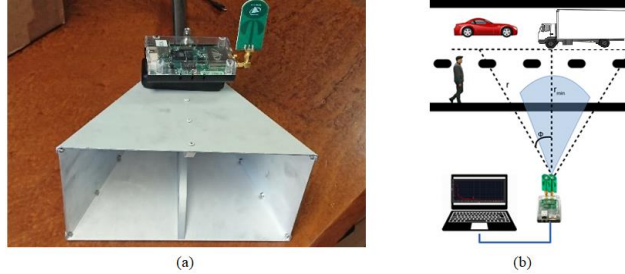
Burada TBA için $A \in \mathbb{R}^{M \times N}$ öz vektörleri azalan sırada içeren $M \times N$ dönüşüm matrisidir, temel bileşen matrisi $S = A^T X$ şeklinde elde edilir. TDA'da σ_i öz değerlere, $u \in \mathbb{R}^{M \times 1}$, $v \in \mathbb{R}^{1 \times N}$ ise sol ve sağ tekil vektörlere karşılık gelir, i ise indeks parametresidir [3].

GTBA'de verilen giriş matrisi $X = L + S$ şeklinde düşük rank değerine sahip ve seyrek gösterimli iki matrisin toplamı olarak verilir. $L \in \mathbb{R}^{M \times N}$ ve $S \in \mathbb{R}^{M \times N}$ sırasıyla kargaşa ve hedef bileşenlerine karşılık gelir. Toplam ifadesindeki bileşenler aşağıda verilen optimizasyon probleminin çözümü ile bulunur [4].

$$\min_{L,S} \|L\|_* + \lambda \|S\|_1 \text{ ve } X = L + S \text{ kısıtı altında} \quad (4)$$

$\|\cdot\|_*$ nükleer normu gösterir.

Veri matrisinde kargaşa bileşeni, hedefe göre daha büyük yer kapladığından düşük ranklı olarak modellenebilirken, hedefler ise seyrek bileşen ile gösterilebilir. Sonuç olarak GTBA ayrışımı sonrasında S bileşeni kargaşa gürültüsünden arındırılmış hedef bileşenini içerecek ve sadece bu bileşen kullanarak yapılacak görüntüleme, sınıflama v.b. uygulamaların performansları artacaktır.



Şekil 1: a) Horn anten radar kit entegrasyonu b) Hareketli hedeflerden veri toplanması gösterilimi.

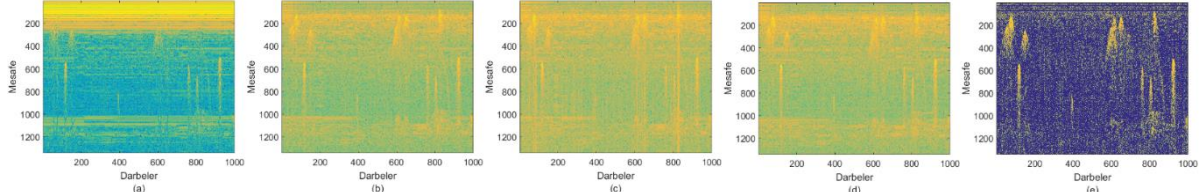
3. Deneysel Sonuçlar

Ölçüm verileri toplanırken radar görüntüleme sistemi yere konumlandırılmış ve hareket halindeki hedeflerden veri toplanmıştır. Radar görüntüleme sistemi radar geliştirme kiti, anten ve dizüstü bilgisayardan oluşmaktadır. Kullanılan "PulsON" radar kiti ultra geniş bantlı bir alıcı-verici sistemidir. Bu sistem merkez frekansı 4.3 GHz olan 3.1 ile 5.3 GHz bandını içeren darbe gönderimi sıklık frekansı (GSF) 10 MHz olan darbe radarıdır. Bu radar sisteminin maksimum menzili 15 m'dir.

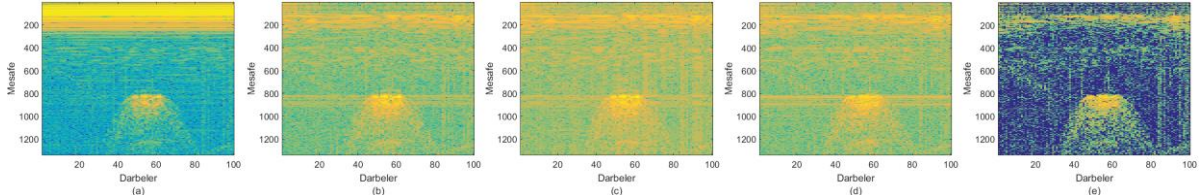
Oluşturulan düzenek ile radar çalışma parametreleri yazılım üzerine kullanıcı tarafından tanımlanmakta, geri yansıyan sinyaller horn anten ile toplanarak dizüstü bilgisayarda kaydedilmektedir, bu yapı Şekil 1(a)'da gösterilmiştir. Bu sistem Şekil 1(b)'de görüldüğü gibi yol kenarına yerleştirilmiş olan radar seti ile yoldan geçen hedeflerden geri yansıyan ham veriler toplanıp, bilgisayara aktarılır.

Görüntülenecek bölgenin boyutlarına ve menzil mesafesine bağlı olarak gönderilecek darbe sayısı, başlama zamanı ayarlanarak, geri yansıyan darbeler zaman domeninde bilgisayara kaydedilmektedir. Görüntüleme radarlarında yapay açıklık oluşması için hedef ve radar arasında bağlı hareket olmalıdır. Hareketli hedefler gözlemlendiği için, ölçüm sisteminde radar sabit tutulmuş, hedefin hareketi yapay açıklığı oluşturmuştur. Yapılan ölçümler TYAR görüntülemeye karşı gelmektedir. Hedefin sabit, radarın hareketli olduğu yapay açıklıklık radar

(YAR) görüntüleme sistemlerinde radarın hareketi (yörüngesi) operatör tarafından bilindiğinden hareketin neden olduğu bozucu etkileri telafi etmek kolaydır.



Şekil 2: Fakülte önü verisi, a) ham veri, b) OÇ, c) TBA, d) TDA, e) GTBA ile elde edilen hedef görüntüsü.



Şekil 3: Kamyon verisi a) ham veri, b) OÇ, c) TBA, d) TDA, e) GTBA ile elde edilen hedef görüntüsü.

Ancak (TYAR) görüntüleme hedefin hareketi bilinmediğinden bozucu etkiler mevcuttur. Bu bozucu etkiler de hedef dışındaki cisimlerden yansıyan (özellikle yoldan yansıyan) ve hedefi maskeleyecek ölçüde kuvvetli kargaşa etkisidir ve bunun giderilmesi ön işlem olarak önemlidir. Şekil 2, 3(a)'da hareketli hedef, sabit radar konfigürasyonu ile yapılan ölçümler verilmiştir [7].

Fakülte önü ölçümlerinde, elde edilen veride yoldan gelen yansımadan kaynaklanan kargaşa Şekil 2(a)'nın üst kısmında gözlenmektedir. Fakülte önünden mesai saatleri içinde ölçüm alındığı için ortamda çok sayıda taşıt ve yaya bulunmaktadır. Yine fakülte önünde yapılan kamyon verisine ilişkin ölçüm Şekil 3(a)'da gösterilmiştir. Elde edilen ölçüm verilerine önerilen GTBA dışında klasik OÇ, alt uzay yöntemleri TBA ve TDA'da uygulanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde OÇ, TBA ve TDA yöntemlerinin kargaşanın etkisini gidermede başarısız olduğu görülmüştür. Aynı zamanda bu yöntemler hedef sinyalinin gücünü de azaltmaktadır. GTBA ise kargaşayı gidermede başarı sağlamıştır. Kargaşa büyük ölçüde giderilmiştir ve hedef kuvveti daha belirgin hale gelmiştir.

4. Tartışma ve gelecek çalışmalar

Bu çalışma kapsamında, geniş bantlı radar sistemi ile yansız oda koşulları dışında alınan ölçümlerde gözlenen ve hedef görüntüleme ya da sınıflama yöntemlerinin performanslarını önemli ölçüde düşüren kargaşa giderme problemi için GTBA temelli bir yaklaşım önerilmiştir. Radar verisi GTBA ile düşük sıralı ve seyrek bileşenlerine ayrılmakta, seyrek bileşen kargaşa giderilmiş hedef bilgisini vermektedir. Önerilen yaklaşım klasik kargaşa giderme yöntemlerine göre dinamik aralığı daha yüksek ve kargaşası daha iyi giderilmiş sonuçlar vermektedir. Gelecek çalışma olarak önerilen kargaşa giderme yönteminin hedef görüntüleme ve sınıflama üzerindeki etkilerinin irdelenmesi planlanmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Taylor, J. D., Introduction to ultra-wideband radar systems. CRC press, Washington, A.B.D., 2020.
- [2] Kumlu D. ve Erer, I., "Clutter Removal Techniques in Ground Penetrating Radar for Landmine Detection: A Survey," In Operations Research For Military Organizations, IGI Global, s.375-399, 2019.
- [3] Verma, P.K., Gaikwad, A.N., Singh D., ve Nigam, M.J., "Analysis of Clutter Reduction Techniques for Through Wall Imaging in UWB Range," Progress in Electromagnetic Research, cilt.17, s.29-48, 2009.
- [4] Song, X., Xiang, D., Zhou, K. ve Su, Y., "Improving RPCA-based Clutter Suppression in GPR Detection of Antipersonnel Mines," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, cilt.14, no.8, s.1338-1342, 2017.
- [5] Kumlu, D., ve Erer I., "Improved clutter removal in GPR by robust nonnegative matrix factorization," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, cilt.17, no.6, s.958-962, 2019.
- [6] Andrea, M.-K., Giusti E., Berizzi F., ve Kovács L., "Image based robust target classification for passive ISAR," IEEE Sensors Journal, cilt.19, no.1, s.268-276, 2018.
- [7] Özdemir, C., Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging with MATLAB Algorithms, John Wiley and Sons Inc. Publication, New Jersey, A.B.D., 2012.