

YAPAY AÇIKLIKLI RADAR GÖRÜNTÜLERİNDE HAREKETLİ HEDEF TESPİTİ İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM

Murat Hakan Yusufoglu, Mesut Kartal
İstanbul Teknik Üniversitesi
Bilişim Enstitüsü
İstanbul, Türkiye

hakan.yusufoglu@gmail.com, kartalme@itu.edu.tr

Özet: Bu çalışmada yapay açıklıklı radar görüntüleri içindeki hareketli hedeflerin tespiti ve hareket parametrelerinin çıkartılması için yeni bir algoritma önerilmiştir. Algoritma hem menzil hem de azimut yönünde hareket eden hedefleri tespit edebilmektedir ve hareket parametrelerini hesaplayabilmektedir. Algoritmada menzil yönündeki hareket alt-açıklık işleme ile ve azimut yönündeki hareket kırpa ortalaması algoritmasıyla tespit edilmektedir. Bu iki algoritmanın birbirinden bağımsız olarak çalışması hedef tespitinin menzil ve azimut için aynı anda paralel olarak yapılabilmesini sağlar. Ayrıca veriler bağımsız olarak işlenebildiği için elde edilen doğruluk ve tutarlılık yüksektir. Önerilen algoritma bilgisayar benzetimlerinde çalıştırılarak hareketli hedef tespiti yapılmıştır ve hareket parametreleri başarılı bir şekilde elde edilmiştir.

1. Giriş

Yapay açıklıklı radar (YAR) teknolojisi günümüzde birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Bu teknolojiyi kullanan onlarca uygulama hayatımızı kolaylaştırmaktadır. Bu uygulama alanlarına örnek olarak çevre araştırmaları, bilimsel, sivil ve askeri amaçlı uygulamalar gösterilebilir. Yapay açıklıklı radar teknolojisi ağırlıklı olarak yeryüzünün yüksek çözünürlükte görüntülenmesi için kullanılmaktadır. Bu görüntüler ile yeryüzü araştırmalarında önemli ilerlemeler gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen yeryüzü görüntüleri işlenerek bu görüntüler içinde bulunan hareketli hedefleri tespit etmek ve bunların hareket parametrelerini çıkartmak mümkündür. Tespit edilen hareketli hedef bilgileri trafik akışını izlemek [1], askeri alanları gözetlemek, belirli bir alan içinde hareket eden belirli tipteki hedefleri izlemek gibi amaçlar için kullanılabilir.

Hareketli hedefleri tespit edebilmek için çok çeşitli algoritmalar önerilmiştir [2 – 9]. Bu algoritmalarda hareketi tespit edebilmek için yer değiştirmiş faz merkezli anten (Displaced phase centre antenna) [3 ve 4], hat boyunca interferometre (along track interferometry) [5], tek kanallı ve çok kanallı radar görüntüsü işleme [6 -8] ve görüntü odaklama algoritmaları [9] gibi çeşitli yöntemler kullanılmıştır.

Yapay açıklıklı radar görüntüsü içindeki hareketli hedefler hareket ettikleri yöne bağlı olarak görüntü içinde bulanık veya olması gerektiğinden farklı yerde görünürler [2]. Hedef azimut yönünde hareket ediyorsa elde edilen görüntüde hareketten kaynaklanan azimut yönünde bir bulanıklaşma olur. Benzer şekilde, hedef menzil yönünde hareket ediyorsa hareketten kaynaklanan bulanıklaşmaya ilave olarak hedef olması gereken yerden çok farklı bir yerde görüntülenir. Hatta çok yüksek menzil hızlarına sahip hedefler elde edilen görüntü içinden tamamen kaybolur [2 ve 9]. Görüntülerde oluşan bu özellikler birçok farklı algoritmada temel alınmıştır.

Bu makalede önerilen algoritma ile yapay açıklıklı radar görüntüleri içindeki hareket eden hedefler hem menzil hem de azimut yönünde tespit edilebilmektedir. Menzil yönündeki hareketli hedef tespiti alt-açıklık işleme ile yapılmaktayken azimut yönündeki hareketli hedef tespiti kırpa ortalaması algoritmasıyla (shear averaging algorithm) yapılır. Bu iki algoritma birbirinden bağımsız çalışabildikleri için menzil ve azimut yönündeki hedef tespitleri ayrı olarak yapılabilir. Günümüzdeki gelişmiş işlemcilerin paralel işlem yapabilme özellikleri kullanılarak hareket eden hedeflerin bu iki yöndeki hareketleri eş zamanlı olarak tespit edilebilir. Ayrıca hareket tespit etme işlemi bağımsız olarak yapıldığı için elde edilen sonuçların doğruluğu ve tutarlılığı yüksektir.

2. Önerilen yöntem

Önerilen algoritmada spotlight moduyla kaydedilmiş tek kanallı yapay açıklıklı radar verisi kullanılmaktadır. Algoritmaya başlamadan önce veri içinde kargaşa bastırması yapılarak hedef tespit işleminin doğruluğu artırılmıştır.

Algoritmada [2] ve [9] çalışmalarında belirtilen hareketli hedefin görüntü içinde oluşturduğu etkilerden yararlanılarak hareketli hedef tespiti yapılmaktadır. Azimut yönündeki hareket, hareketten kaynaklanan faz hatalarından dolayı görüntü içinde lekelerle sebep olur. Benzer şekilde menzil yönündeki hareket hedefin görüntü içinde yer değiştirmesine sebep olur.

Algoritma çalıştırılıp bütün görüntü menzil ve azimut yönlerinde işlendikten sonra tespit edilen hedeflerin sayısı, hızları ve hareket yönleri elde edilmektedir. Menzil ve azimut yönündeki hareketli hedef tespit etme işlemleri aşağıdaki alt kısımlarda detaylarıyla anlatılmaktadır.

2.1. Menzil yönündeki hareket tespiti

Önerilen algoritmada menzil yönündeki hareketli hedef tespiti alt-açıklık işleme yöntemiyle yapılmaktadır [11]. Uygulamada kullanılan ham veri azimut yönünde iki eşit parçaya ayrılarak iki farklı yapay açıklıklı radar görüntüsü oluşturulur. Bu işlemle aynı gözlem alanının iki farklı zamanda görüntülenmesi durumu yaratılır. İlk görüntü, antenden alınan ilk yarı gözlem aralığında oluşturulan görüntüyü içerir. İkinci görüntü ise antenin ikinci yarı gözlem aralığındaki verileri kullanılarak elde edildiği için gözlem alanının bu zaman dilimindeki görüntüsünü içerir.

Oluşturulan iki farklı görüntü yapay açıklıklı radar sisteminin parametreleri kullanılarak üst üste oturtulur. Bu üst üste oturtulmuş görüntülerin farkı alınarak gözlem alanı içindeki sabit hedefler yok edilerek sadece hareketli hedefler görüntü içinde bırakılır.

Hareketli hedefler bulunduğundan sonra, hedefin oluşturulan iki görüntü arasındaki yer değiştirme bilgisi kullanılarak hedefin menzil doğrultusundaki hareket yönü ve hareket hızı elde edilir.

2.2. Azimut yönündeki hareket tespiti

Azimut yönündeki hareketli hedef kırpma ortalaması algoritmasıyla (shear averaging algorithm) tespit edilmektedir [9] ve [10]. Literatürde azimut yönündeki hareketli hedefi tespit etmek için çok sayıda yöntem önerilmiştir. Bu çalışmada azimut yönündeki hareketi tespit etmek için kırpma ortalaması algoritmasının seçilme sebebi algoritmanın azimut yönündeki hız bileşenini hassas şekilde tespit etmesi, çok hızlı şekilde sonuç vermesi, yüksek dereceli faz hatalarını tespit edebilmesi ve hedef üzerinde önceden bilinen bir saçıcıya ihtiyaç duymaması özelliklerine sahip olmasından dolayıdır [9].

Önerilen algoritmada bütün görüntü küçük alt görüntülere bölünür. Her bir alt görüntü [10] makalesinde detaylı şekilde anlatılan kırpma ortalaması algoritmasıyla işlenerek azimut yönündeki hareketli hedefler tespit edilir. Algoritma çalıştırılmadan önce kullanılacak veri içinde iyi seviyede kargaşa bastırması yapıldığı için hareketli hedeflerin tespit edilmesi olasılığı oldukça yüksektir.

Azimut yönündeki hareketi tespit etmek için algoritmada aşağıdaki adımlar takip edilmektedir:

- Bütün görüntü küçük alt görüntülere bölünür.
- Tek bir alt görüntü verisi alınır.
- Bu alt görüntü verisinin azimut yönünde FFT'si alınır.
- Kırpma ortalaması değeri hesaplanır.
- Azimut yönündeki faz hatası hesaplanır.
- Faz düzeltmesi yapılır.
- Düzeltilmiş verinin ters Fourier dönüşümü alınır.
- Faz hatasının standart sapması hesaplanır.
- Elde edilen standart sapma değeri belirli bir eşiğin üzerindeyse hareketli hedef bulunmuştur.
- Hareketli hedef bulunduğundan sonra hedefin hız ve hareket yönü bilgileri sistem modelinden faydalanılarak hesaplanır.

Hareketli hedefin varlığının tespiti için kullanılan eşik değeri bütün görüntü için sabit bir değer olarak hesaplanabileceği gibi her bir alt görüntü için ayrı olarak da hesaplanabilir. Uygulamada doğruluğu arttırmak için her bir alt görüntü için yeni bir eşik değeri hesaplanılarak kullanılmaktadır.

Uygulamanın son adımında, hareketli hedefi belirten maksimum genlikli noktanın orijinal görüntü ve faz düzeltilmiş görüntü içindeki yer değiştirmesinden yararlanılarak hedefin hareket yönü ve hızı belirlenir. Benzetim sonucunda hedefin gerçek hızıyla, tespit edilen hızları arasında Şekil 1'de gösterilen ilişki elde edilmiştir. Bu ilişki modeliyle referans sistemde azimut yönündeki gerçek hız hesaplanabilmektedir.

Menzil ve azimut yönlerinde elde edilen sonuçlar birleştirilerek tespit edilen hedeflerin gerçek hareket yönleri ve hızları hesaplanır.

3. Benzetim sonuçları

Önerilen algoritmanın performansı Matlab ortamında test edilmiştir. Benzetim senaryosunda bir gözlem alanı içine sabit ve hareketli hedefler yerleştirilmiştir. Benzetimlerde kullanılmak üzere oluşturulan bu gözlem alanı Şekil 2’de gösterilmiştir. Uygulamada kullanılan yapay açıklıklı radar sisteminin parametreleri Tablo’1 de gösterilmiştir.

Oluşturulan gözlem alanı içinde üç adet hedef bulunmaktadır. Bu hedeflerden soldaki iki tanesi sabit iken sadece sağdaki hedef hareketlidir. Bu hareketli hedef Şekil 3 ve Şekil 4’te işaretlenerek gösterilmektedir. Bu şekillerde hareketli hedef sadece menzil veya sadece azimut yönünde 3,9 m/s sabit hızla hareket etmektedir.

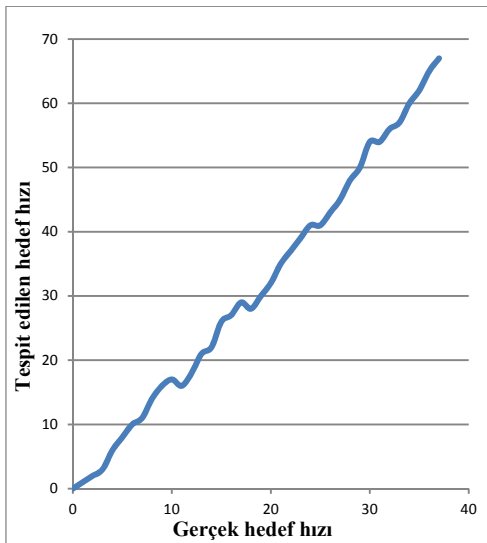
Benzetimlerde hızları 0,39 m/s ile 15,6 m/s olarak değişen çeşitli hedef hareketleri incelenmiştir. Azimut yönünde yapılan incelemelerde bu hızlara sahip bütün hareketli hedefler başarılı bir şekilde tespit edilmiştir. Tespit edilen hareketli hedeflerin gerçek hızları Şekil 1’de gösterilen referans sistem modeli kullanılarak hesaplanmıştır.

Menzil yönü için yapılan incelemelerde 1,56 m/s’den daha yavaş hızlarda menzil yönünde hareket eden hedefler tespit edilememiştir. Fakat bu hız değerinden daha yüksek hızlarda hareket eden bütün hedefler tespit edilmiştir ve hareket yönleri ve hızları hesaplanmıştır.

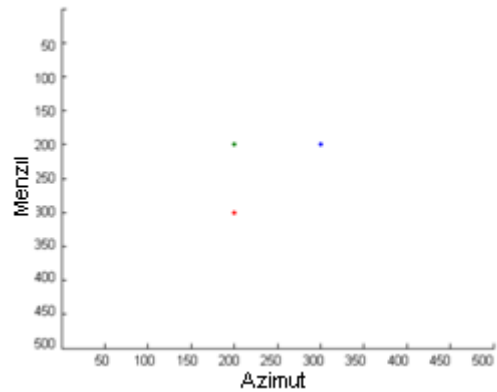
Merkez frekans	10 GHz
Darbe süresi	1 μ s
Radar PRF	200 Hz
Örnekleme frekansı	180 MHz
Chirp oranı	1.5×10^{14}
Platform hızı	200 m/s
Eğim menzil alan merkezi	10 km
Menzil çözünürlüğü	0,3 m
Azimut çözünürlüğü	0,3 m
Eğilim açısı	0°
Gözlem alanı boyutu	200 m x 200 m
YAR görüntüsü boyutu	512 x 512 piksel
Alt-açıklık sayısı	2
Açıklık boyutu (Azm x Menzil)	256 x 512 piksel
Alt görüntü boyutu (Azm x Menzil)	128 x 16 piksel
Hareketli hedef hızı	0,39 m/s – 15,6 m/s

Tablo 1: Benzetimlerde kullanılan yapay açıklıklı radar sisteminin parametreleri

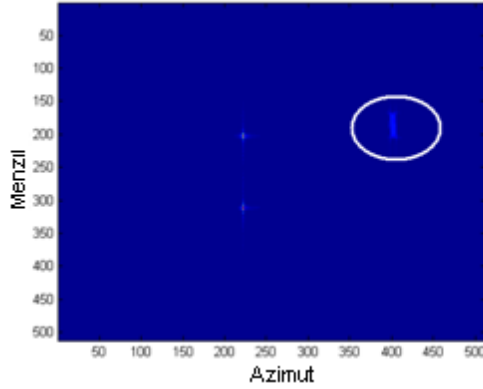
Menzil yönünde çok düşük hızlarda hareket eden hedefler dışındaki bütün hareketli hedefler alt-açıklık işleme ile sabit hedeflerden ayrıştırılmıştır. Ayrıca bu hedeflerin hızları ve hareket doğrultuları tespit edilmiştir. İlave olarak azimut hareketi, hareket yönü ve hızı başarılı bir şekilde tespit edilmiştir.



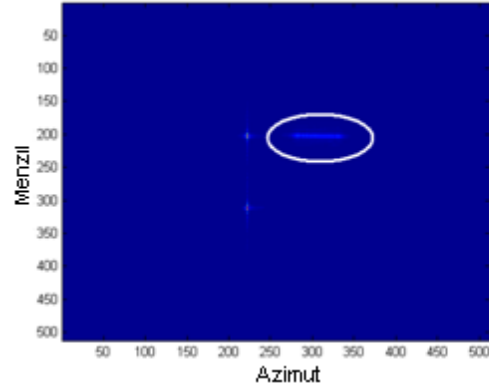
Şekil 1: Benzetim sonuçlarından elde edilen referans sistem modeli.



Şekil 2: Gözlem alanı.



Şekil 3: Sadece menzil yönündeki hareket etkisi.



Şekil 4: Sadece azimut yönündeki hareket etkisi.

4. Sonuçlar

Yapay açıklıklı radar görüntüleri içindeki hareketli hedefleri hem menzil hem de azimut doğrultusunda tespit eden yeni bir algoritma önerilmiştir. Alt-açıklık işleme ve kırpma ortalaması algoritmasının bir arada kullanılmasıyla herhangi bir yönde hareket eden hedefler tespit edilebilmektedir. Tespit etme algoritması menzil ve azimut yönleri için birbirinden bağımsız çalışabilmektedir. Bu sayede paralel işleme yapılarak daha hızlı bir şekilde hedef tespiti yapılabilmektedir. Ayrıca menzil ve azimut yönlerinde bağımsız işleme yapıldığı için sonuçların doğruluğu ve tutarlılığı yüksektir. Algoritma sadece hareketli hedefi tespit etmekle kalmayıp ayrıca hedefin hareket doğrultusunu ve hızını da tespit edebilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmaya katkılarından dolayı Tron Elektronik Sistemler San. ve Tic. A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

Kaynaklar

1. Palubinskas, G., Runge, H., "Detection of Traffic Congestion in SAR Imagery." Proc. of 7th European Conference on SAR, Fridrichshafen, Germany, 2008.
2. Kirscht, M., "Detection, Velocity Estimation and Imaging of Moving Targets with Single-Channel SAR." Proc. of European Conference on Synthetic Aperture Radar, EUSAR '98, 1998.
3. Jung, J.H., "Ground Moving Target Displacement Compensation in the DPCA based SAR-GMTI System." 2009 IEEE Radar Conference, 2009.
4. Qin, F., Zhang, X., Dong, M., "A method of hybrid ATI and DPCA technique to detect moving target." International Conference on Radar, CIE '06, 2006.
5. Kohlleppe, R., Gierull, G., "Enhancement of along-track interferometry for ground moving target indication." International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2008.
6. Li, G., Xu, J., Peng, Y., Xia, X., "Detection, Velocity Estimation and Imaging of Fast Moving Targets Using Single Antenna SAR." International Conference on Radar, 2006.
7. Liu, S., Yuan, Y., Gao, F., Mao, S., "Method of moving target detection based on sub-image cancellation for single-antenna airborne synthetic aperture radar." Journal of Systems Engineering and Electronics, 2007.
8. Kirscht, M., "Detection and imaging of arbitrarily moving targets with single-channel SAR." RADAR 2002.
9. Fienup, J.R., "Detecting Moving Targets in SAR imagery by focusing." IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2001.
10. Fienup, J.R., "Phase Error Correction by Shear Averaging." Signal Recovery and Synthesis III, digest of papers, Optical Society of America, 1989.
11. Franceschetti, G., Lanari, R., Synthetic Aperture Radar Processing. CRC Press, 1999.