

Bistatik Yapay Açıklıklı Radarlarda Genetik Algoritma ile Hedef Konumunun Tespiti

M. Kartal, S. Kargin *, S. Kent
İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi
80626, Maslak, İstanbul
mkartal@ehb.itu.edu.tr, kent@ehb.itu.edu.tr
* Hava Harp Okulu, Yeşilyurt, İstanbul
s.kargin@hho.edu.tr

Özet: Bu çalışmada yapay açıklıklı radarlarda (YAR) genetik optimizasyon yöntemi kullanılarak hedef konumlarının en az hata ile belirlenebilmesi problemi ele alınmıştır. Yapay açıklık boyunca her anten konumunda yapılan ölçümler genetik algoritmada hata hesabı için kullanılmaktadır. Bilgi miktarını arttırmak için farklı konuma yerleştirilmiş ikinci bir alıcı anten kullanılarak bistatik yapay açıklık yapısı oluşturulmuştur. Bistatik ölçüm verileri arasındaki ek faz farkı bilgisi optimizasyon algoritmasında hata minimizasyonu başarımını arttırmaktadır. Bistatik yapıda kullanılan ikinci alıcı antenin hareketli olduğu durumdaki yöntem başarımının sabit anten durumuna göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

1. Giriş

Yapay açıklıklı radarlar kullanılarak yüksek çözünürlükte hedef görüntüleme çalışmaları son yıllarda giderek artan bir inceleme alanı bulmaktadır. Klasik yöntemler yanında özellikle eksik bilgi durumunda çeşitli kestirim yöntemleri ile görüntülenecek hedef çözünürlüğünün artırılması çalışmaları yoğunluk kazanmıştır [1,2,3,4]. Bu çalışmada, bistatik yapay açıklıklı radar sistemi ile elde edilen bilgilerden genetik optimizasyon yöntemi kullanılarak hedef konum kestirimi problemi incelenmiştir.

Optimizasyon algoritmasında kestirilen hedef konumlarından hesaplanan alıcı ölçüm değerleri ve gerçek ölçüm değerleri arasındaki fark minimize edilmektedir. Optimizasyon algoritmasının gerçek minimuma yakınsamadaki başarımını arttırmak için yapılan lineer bağımsız ölçüm sayısı büyük tutulmalıdır. Tek antenli sistemde anten konumu üzerinde seçilen örnekleme sayısı yüksek tutulduğunda lineer bağımsız ölçüm vektörlerinin sayısında aynı oranda bir artım görülmeyecektir. Bilgi miktarını arttırmak için farklı konumda ikinci bir alıcı anten kullanılarak bistatik yapay açıklık yapısı oluşturulmaktadır. Böylece her iki anten ile alınan ölçüm verileri arasındaki ek faz farkı bilgisi optimizasyon algoritmasında hata minimizasyonu başarımını arttırarak konum bilgisini iyileştirmektedir.

Bu çalışmada, kullanılan ikinci alıcı antenin diğer anten ile aynı platform üzerinde hareket etmesi veya ilk antenden bağımsız olarak yerleştirilmesi durumlarında elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. İkinci alıcı antenin hareketli olduğu durumdaki yöntem başarımının sabit anten durumuna göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Ayrıca sistem parametrelerine bağlı olarak bistatik durumda ikinci antenin hareket modeline bağlı olarak sonuçlardaki değişim incelenmiş ve hata minimizasyonu – sistem parametreleri ilişkileri belirlenmiştir.

2. Problemin Formülasyonu

Şekil 1’de görüldüğü gibi (x, y) düzleminde $u \in [-L, +L]$ aralığında sentezlenen yapay açıklık için (X_1, Y_1+u) koordinatında cisim aydınlatılır, alıcı antenler cisimden yansıyan işareti (X_1, Y_1+u) ve (X_2, Y_2+u) koordinatlarında kaydeder. (X_1, Y_1) ve (X_2, Y_2) bilinen sabitlerdir. (x, y) düzleminde bir nokta saçıcıdan yansıyan işaretin gidiş geliş faz gecikmesi her iki alıcı için, ortam dalga sayısı k olmak üzere, $k\sqrt{(X_1 - x)^2 + (Y_1 + u - y)^2}$ ve $k\sqrt{(X_2 - x)^2 + (Y_2 + u - y)^2}$ ifadeleriyle gösterilir. Radar alıcılarında konum ve ω açılal frekansının fonksiyonu olarak kaydedilen yansıyan işaretler $S_1(u, \omega)$ ve $S_2(u, \omega)$ hedef yansıtma fonksiyonu $f(x, y)$ cinsinden

$$S_1(u, \omega) = \iint dx dy f(x, y) \cdot \exp(jk\sqrt{(X_1 - x)^2 + (Y_1 + u - y)^2})$$

$$S_2(u, \omega) = \iint dx dy f(x, y) \cdot \exp(jk\sqrt{(X_2 - x)^2 + (Y_2 + u - y)^2})$$

(1)

bağıntıları ile verilir. (1) bağıntısının sağ tarafında görülen iki küresel dalga fonksiyonu (2) bağıntısıyla verilen Fourier ayrışmaları ile ifade edilebilir.

$$\exp(jk\sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i + u - y)^2}) = \int dk_u \exp(\sqrt{k^2 - k_u^2}(X_i - x) + jk_u(Y_i + u - y)) \quad (2)$$

(1) eşitliğinde (2) yi kullanarak ve uygun dönüşümler ile (3) bağıntısı elde edilir [5].

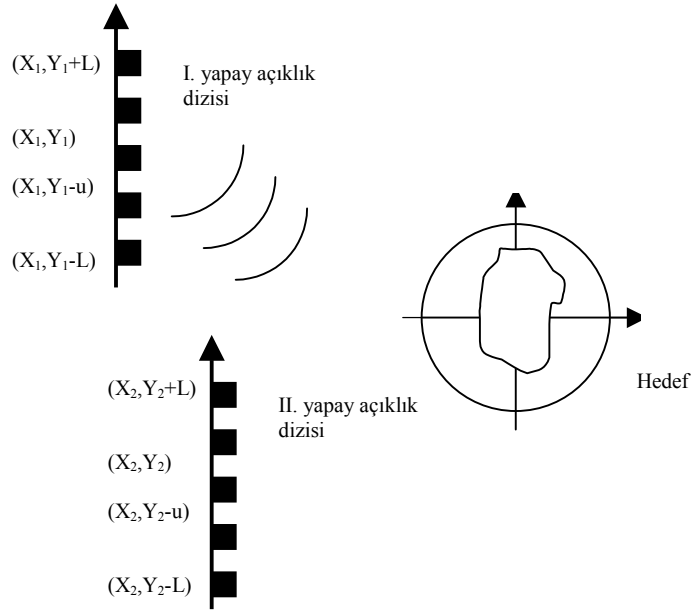
$$S_i(u, \omega) = \int dk_u \exp(j(\sqrt{4k^2 - k_u^2} X_i + k_u Y_i)) \cdot (\iint dx dy f(x, y) \cdot \exp(j\sqrt{4k^2 - k_u^2} x + k_u y) \cdot \exp(jk_u u)) \quad (3)$$

$S_i(u, \omega)$ 'nın u 'ya göre uzaysal Fourier Transformu $S_i(k_u, \omega)$ ile gösterilir; k_u , u için uzaysal frekans domenidir, $k_u \in (-2k, 2k)$. (3) bağıntısının her iki tarafının u 'ya göre uzaysal Fourier Transformu'nu alırsak (4) bağıntısını elde ederiz.

$$F_i(\sqrt{4k^2 - k_u^2}, k_u) = \exp(-j(\sqrt{4k^2 - k_u^2} X_i + k_u Y_i)) S_i(k_u, \omega) \quad (4)$$

$$k_x = \sqrt{4k^2 - k_u^2} \quad k_y = k_u$$

(4) bağıntılarında ifade edilen dönüşüm, yapay açıklık boyunca stripmap modu yapay açıklıklı radarda kullanılan Fresnel yaklaşımına ihtiyaç duyulmaksızın $F(k_x, k_y)$ 'nin örneklerini vermektedir. Bistatik YAR işaretleri band geçiren işaret yapısındadır. Algoritma hedefin yansıma fonksiyonu ve YAR radar işaretinin uzaysal domen ve/veya frekans domeninde band geçireni alçak geçirene dönüştürme işlemi yapar.



Şekil 1. Bistatik YAR Görüntüleme Sisteminin Geometrisi

Algoritmada radar işaretinin incelenen her frekansı için $S_i(k_u, \omega)$ dan $F_i(k_x, k_y)$ terimleri hesaplanır. Radar işaretlerinin mevcut frekansları için adımlar tekrar edilerek elde edilen bilgi interpolasyon ile düzgün ızgaraya yerleştirilir. Doldurulan bu iki boyutlu uzayda iki boyutlu Ters Ayırık Fourier Dönüşümü alınarak sonuç bilgisinin genliği elde edilir ve görüntülenir.

Klasik YAR algoritması ile hedef sayı ve konumları bulunurken bakış açısı ve örnek sayısının sınırlı (eksik) kullanıldığı durumlarda, hata büyümektedir. Çapraz menzil ve menzil çözünürlüğünde darbe süresi, çalışma

frekansı, örnek sayısı ve yapay açıklık uzunluğu önemlidir. Bu çalışmada seçilen nokta hedef dağılımı için YAR görüntüleme algoritmasına genetik algoritma uygulanarak hedef konumlarının en az hata ile belirlenmesine çalışılmıştır. Hata minimizasyonu için ek bilgi bistatik alıcı yapısı ile elde edilmiştir. İkinci alıcı antenin ilk anten ile aynı platformda konum farkı ile hareket ettiği ve ilk alıcı antenden bağımsız olarak hareket ettiği durumlarda elde edilen sonuçların karşılaştırılması genetik algoritmanın parametrelerine bağlı olarak yapılmıştır.

YAR görüntüleme algoritmasına genetik algoritma uygulandığında karar değişkeni olarak nokta hedeflerin menzil ve açıları alınmıştır. Ayrıca genetik algoritmanın iterasyon sayısı, bit sayısı ve kromozom sayısı ile yapay açıklık örnekleme sayısı parametrelerine bağlı olarak görüntünün iyileştirilmesine çalışılmıştır.

3. Uygulama

Şekil 1’de görüldüğü gibi radar (X_1, Y_1) başlangıç konumundan hareket ederek $u \in [0, L]$ yapay açıklık boyunca, örnek sayısı (nn) kadar işareti gönderip almaktadır. Hedef nokta saçıcılarından oluşmakta ve radar ile aynı düzlemde bulunmaktadır. Birinci radar (x, y) düzleminde $u \in [0, L]$ sentezlenmiş açıklıkta (X_1, Y_1+u) koordinatında iletim yapar ve yine aynı koordinatta işareti alır. İkinci anten ise (X_1, Y_2) koordinatlarından hareket ederek, $u \in [Y_2, Y_2 + L]$ yapay açıklık boyunca işareti almaktadır.

Simülasyonun ilk adımında hedef geometrisini tanımlayan cisim yansıma fonksiyonu $f(x, y)$ 'nin bilindiği kabul edilerek ölçülen toplam yansıyan işaret bilgisi $s_i^m(u, \omega)$ polar koordinatlar cinsinden $X_1 - x = R \cos \phi$, $Y_1 - y = R \sin \phi$ bağıntılarıyla hesaplanır.

$$s_i^m(u, \omega) = \sum_{i=1(u=0)}^{nn(L)} f(x, y) \exp \left[j2k \sqrt{(R_i^m \cos \theta_i^m)^2 + (R_i^m \sin \theta_i^m + u)^2} \right] \quad (5)$$

İkinci adımda, birinci adımda elde edilen, bilinen ölçülen toplam yansıyan işaret bilgisi $s_i^m(u, \omega)$ ve hedefe gidip gelen işaretlerin faz gecikmeleri kullanılarak, genetik algoritma ile kestirilen hedef geometrisini tanımlayan cisim yansıma fonksiyonu $f(x, y)$ kestirilir. Kestirilen bu $f(x, y)$ değeri kullanılarak $s_i^c(u, \omega)$ hesaplanan toplam yansıyan işaret bilgisi elde edilir.

$$s_i^c(u, \omega) = \sum_{i=1(u=0)}^{nn(L)} f(x, y) \exp \left[j2k \sqrt{(R_i^c \cos \theta_i^c)^2 + (R_i^c \sin \theta_i^c + u)^2} \right] \quad (6)$$

Cismin konumunu gösteren menzil ve açı değerleri optimizasyon algoritmasının değişken parametreleri olarak seçilmiştir ve hata fonksiyonu, her iki alıcı anten için ölçülen ve hesaplanan yansıyan işaretler (alıcıda ölçülen) kullanılarak tanımlanır:

$$e = \sum_{j=1}^{mm} \left\{ \text{Re} \left[s_i^m(u, \omega) \right] - \text{Re} \left[s_i^c(u, \omega) \right] \right\}^2 + \sum_{j=1}^{mm} \left\{ \text{Im} \left[s_i^m(u, \omega) \right] - \text{Im} \left[s_i^c(u, \omega) \right] \right\}^2 \quad (7)$$

Uygulamada bu hatanın minimizasyonu ile hedef kestirimi gerçekleştirilmiştir. Hata hesabı monostatik, bistatik – ikinci anten hareketli ve bistatik – ikinci anten sabit durumları için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Yapılan uygulama sonucu elde edilen sonuçlar Şekil 2, 3 ve Şekil 4’te verilmiştir. Sonuçlar yapay açıklıktaki örnekleme sayısının 10, genetik algoritmada bit sayısının 7 ve kromozom sayısının 100 olduğu durum için verilmiştir.

4. Sonuç

Genetik optimizasyon algoritmasında kullanılan hata fonksiyonu monostatik sistemde tek anten ölçüm değerlerini içerirken bistatik uygulamada aynı hedef dağılımını belirlemek için iki farklı anten ölçüm değerlerini kullanarak tanımladığından, hata fonksiyonunun minimizasyonu ile elde edilecek optimum çözüm için çözüm uzayının daralması ile sonuçların beklendiği gibi iyileştiği görülmüştür. Bistatik yapıda ikinci alıcı antenin konumunun ilk alıcı anten ile aynı platform üzerinde veya sabit seçilmesi durumlarında elde edilen ek faz bilgisi değiştiğinden sonuçlardaki hata değişmektedir. Yapılan incelemelerde ikinci antenin hareketli olması durumunda sonuçların daha iyi belirlendiği görülmüştür.

