

Darbe Sıkıştırma Radarlarında Ardışık Hedef Eleme Yöntemi

A. Özgür YILMAZ, Onur HALILOĞLU
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü
Balgat, Ankara aoyilmaz@metu.edu.tr,

TÜBİTAK-UZAY, Elektronik Sistem Tasarım Grubu,
Balgat, Ankara, onur.haliloglu@bilten.metu.edu.tr

Özet: Bir çok radar uygulamalarında, darbe sıkıştırma kodlarının ikincil kulakları (yan lobları) nedeniyle küçük hedeflerin daha büyük hedefler tarafından gölgelemesi sorun teşkil etmektedir. Biz bu sorunu çözmek için, ardışık olarak hedefleri saptayan ve saptanan hedeflerin etkilerini eleyen bir yöntem öneriyoruz. Önerilen bu metodun performansı; gürültü, hedefler ve Doppler etkisinin de içinde bulunduğu farklı senaryolar için incelenecektir

1. Giriş

Darbe sıkıştırma radarlarında, ideal olmayan ilinti özellikleri yüzünden uyumlu süzgeç (MF) çıktısında yüksek ikincil kulaklar (yan loblar) görülür. Büyük bir hedefin ikincil kulakları küçük hedefleri gölgeleyebilir. Bu problemi çözmeye yönelik algoritmalarından en önemli iki tanesi en küçük kareler (LS) kestirimi ve (MMSE) kestirimidir. [1] de LS tabanlı methodlar çalıştırılırken, [2] de MMSE algoritması özyineli olarak uygulanıyor. Bizim önerdiğimiz alternatif yöntem ise, hedefin fazörünü MF çıktısından elde edip o hedeften kaynaklanan sinyalin MF çıktısından çıkarılması temeline dayanır. Bu işlem bütün tespit edilen hedefler için tekrarlanır. Bu metod birbiri ardından sinyal tespit edip, tüm MF çıktısından bu sinyalin çıkarılması esasına dayandığı için bu metoda Ardışık Hedef Eleme (AHE) ismini verdik. AHE algoritması toplama çıkarma gibi temel işlemlerden oluşur, diğer iki yöntemde olduğu gibi matris evirmeci ya da onun gibi başka karmaşık işlemler içermez dolayısıyla basittir. CLEAN algoritması olarak bilinen bu algoritma, ters evrişim metodu olarak görüntü işlemede, astronomide ve radar uygulamalarında [3] kullanılmıştır.

2. Ardışık Tahminleme ve Eleme

Bu bölümde, sunulan metodun ana fikri üzerinde durulacaktır. Sadece iki hedefin ortamda bulunmasından oluşan en basit senaryo, Doppler frekansının her iki hedef için de sıfır olduğu durumda etüt edilecektir. Parazit yankıların ihmal edildiği bu bölümde gürültü etkisi hesaba katılacaktır. İki hedef arasındaki güç farkının, kodun yan loblarınınkinden daha büyük olduğu durum düşünülmüştür. Böylece küçük hedef, uyumlu süzgeç çıktısı basitçe gözlemlenerek saptanamaz. Radar darbelerimizin; $s(t) = \sum_{p=0}^{L-1} a_p g(t - pT_c)$ olduğunu farzedelim.

Burada L koddaki çip sayısını, a_p 'ler kod serisini, $g(\cdot)$ $[0, T_c]$ aralığında dikdörtgen şeklindeki bir darbeyi ve T_c ise çip süresini ifade etmek için kullanılmıştır. Darbe gönderildikten k_1 ve k_2 (k_1 ve k_2 tam sayıdır) çip süresi sonra sinyalleri bize ulaşan iki hedefimiz olduğunu varsayalım. Böylece alıcı tarafında gözlemlenen zamanda ayrık dürtü yanıtı

$$h(k) = \alpha_1 \gamma(k - k_1) + \alpha_2 \gamma(k - k_2) \quad (1)$$

olur, α_1 ve α_2 sırasıyla 1. ve 2. hedeflerin fazörleridir. Bildirimizde sinyaller için, sürekli zaman gösterimi yerine, (1)'de örnek teşkil eden zamanda ayrık taban bant eşdeğer modelini kullandık. Fazörler, sezim yapılabilecek büyüklükte işaret gürültü oranına (SNR) sahiptirler yani hedef güç değerleri gürültü seviyesinin üzerindedir. Ayrıca fazörler; dairesel simetriye sahip, sıfır ortalamalı, karmaşık Gauss rasgele değişkenleri olarak tanımlanmıştır. Alınan sinyal şu şekilde verilmiştir:

$$y(k) = h(k) * s(k) + w(k) = \alpha_1 s(k - k_1) + \alpha_2 s(k - k_2) + w(k) \quad (2)$$

* evrişim işlemi belirtir. Ön-arka alıcı filtreleri ve örnekleyiciler, $w(k)$ k zamanında toplanır beyaz Gauss gürültüsü (AWGN) olacak şekilde tasarlanmıştır. AWGN; ortalaması 0, değişintisi N_0 olan dairesel simetrik karmaşık Gauss dağılımına sahip bir gürültü olarak alınmıştır. Alıcıya gelen sinyal uyumlu süzgeçten geçirilir. Nedensellik ilkesine dayanarak uyumlu süzgeçteki zaman kaymasını ihmal edersek, uyumlu süzgeç çıktısı $m(k)$

$$m(k) = y(k) * s^*(-k) = \alpha_1 r(k - k_1) + \alpha_2 r(k - k_2) + n(k) \quad (3)$$

olarak ifade edilir. Burada $n(k) = w(k) * s^*(-k)$ ve özilinti fonksiyonu $r(k) = s(k) * s^*(-k)$.

Gürültü güç değeri, hedef güç değerlerine kıyasla çok düşüktür. Bu yüzden, $|\alpha_1|^2 > |\alpha_2|^2$ olduğunu da dikkate alırsak, $|m(k)|$ 'nin en yüksek tepe değeri $k = k_1$ 'de gözlemlenecektir. $k = k_1$ 'deki MF çıktısı:

$$m(k_1) = \alpha_1 r(0) + \alpha_2 r(k_1 - k_2) + n(k_1). \quad (5)$$

Hedeflerin güçleri ve hedef kaymaları hakkında hiçbir ön bilgi olmadığından α_1 için yapılabilecek en iyi tahmin $\alpha = \frac{m(k_1)}{r(0)} = \alpha_1 + \alpha_2 \frac{r(k_1 - k_2)}{r(0)} + \frac{n(k_1)}{r(0)}$ 'dir. Yapılan tahminin ortalama değeri yan loblardan

kaynaklanan α_2 katsayısından etkilenir. Tahmin edilen hedefi MF çıktısından çıkardığımızda yeni MF çıktısı:

$$m'(k) = m(k) - \alpha_1 r(k - k_1) = \alpha_2 r(k - k_2) - \alpha_2 \frac{r(k_1 - k_2)}{r(0)} r(k - k_1) + n(k) - \frac{n(k_1)}{r(0)} r(k - k_1). \quad (6)$$

Benzer biçimde ikinci hedefin $k=k_2$ konumunda olduğunu düşünürsek, ikinci hedefin tahmini değeri şöyle olur:

$$\hat{\alpha}_2 = \frac{m'(k_2)}{r(0)} = \alpha_2 - \alpha_2 \frac{|r(k_1 - k_2)|^2}{r^2(0)} + \frac{1}{r(0)} n(k_2) - \frac{r(k_2 - k_1)}{r^2(0)} n(k_1). \quad (9)$$

Eşitlik (9)'dan da anlaşıldığı gibi $\hat{\alpha}_2$ 'in üzerinde birinci hedefin hiçbir etkisi yoktur. Ayrıca eşitliğin yan loblardan kaynaklanan 2. terim ile gürültüden kaynaklanan üçüncü ve 4. terimler, birinci terime oranla çok küçük kalmışlardır. Böylece yan loblardan kaynaklanan maskeleye problemi büyük ölçüde halledilmiştir. Buna rağmen, bir miktar yan lob etkisi MF çıktısında mevcuttur. Bu etki daha sonraki döngülerde aynı hedef tekrar sezimlenerek daha da düşük seviyeye çekilebilir. Buna ek olarak, diğer döngülerde eklenecek aşım terimleri düzeltme terimleri gibi davranıp tahminin kesinliğini arttırabilirler.

Yukarıda yapılan işlemlerde de görüldüğü gibi, AHE algoritması toplama çıkarma gibi basit işlemlere dayanır. LS algoritması büyük boyutlara sahip bir matris çarpımıyla, MMSE algoritması da yüksek sayıda seyleyle ve matris evirmeciyle uğraşmak zorunda oldukları için AHE algoritmasına göre daha karmaşıktırlar.

AHE algoritması aşağıdaki gibi adımlara ayrılabilir:

1. MF çıktısı $m(k)$ elde edilir ve bütün tahminler $h(k)$ sıfıra eşitlenir.
2. $|m(k)| > \tau$ koşulunu sağlayan tepe değeri bulunur. Böyle bir değer bulunamazsa algoritma sona erer.
3. Tepe değeri τ 'yu geçmişse ve konumu u ise $h(u) = h(u) + \frac{m(u)}{r(0)}$ eşitlenerek $k=u$ 'da hedef tahmini yapılır.
4. En son tahmin edilen hedef sinyali, $m(k) = m(k) - h(u)r(k - u)$ ile elenmiş olur.
5. Adım 2'ye git.

Eğer bir hedefin Doppler frekansı sıfırdan farklıysa alınan sinyal frekans kaymasından dolayı bozulmaya uğrar. AHE yönteminde, Doppler etkisinden kaynaklanan bu bozulmalara karşılık hızlı Fourier dönüşümü (FFT), MF

çıkıtısına uygulanmıştır ve öziliniti $c(k)$, $c(k) = (e^{j2\pi PRFT} e^{-\frac{b-1}{K}(0:K-1)} \otimes s(k)) * s^*(-k)$ şeklinde

değiştirilmiştir. Burada b FFT süzgeç numarasını, PRF darbe yineleme frekansını, K bir çoğuşmadaki darbe sayısını ve \otimes ise Kronecker çarpımını ifade eder. AHE algoritması her FFT süzgeci için çalıştırılabilir.

MF işlemi LS yönteminin içinde yer aldığı için, LS yönteminde FFT doğrudan geri alınan sinyallere uygulanır.

MF işlemi FFT'den önce uygulanmadığı için, hangi FFT süzgecinin çıktısının kullanılacağına bütün FFT süzgeçleri kontrol edildikten sonra karar verilir. Oysa AHE yönteminde, FFT MF işleminden sonra uygulandığından, sadece FFT süzgeçlerinin en yüksek değerleri kontrol edilerek hangi FFT süzgecinin kullanılacağına karar verilebilir.

3. Benzetim Sonuçları

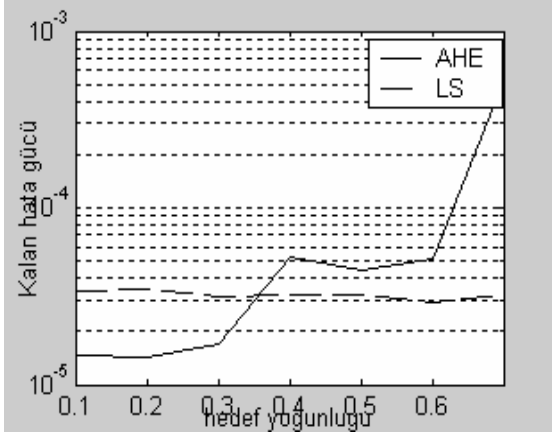
AHE metodunun LS metoduna göre performansını göstermek için, ilki bir çok hedeften oluşan ikincisi ise büyük hedef ve büyük hedefin yan lobu tarafından maskelenen küçük bir hedeften oluşan iki ana senaryo incelenmiştir. Her iki senaryoda da vericiden gönderilen dalga biçimi $N=30$ uzunluğunda P4 kodundan oluşmaktadır. Gürültü ise güç spectrum yoğunluğu $N_0=10^{-4}$ olan beyaz, dairesel simetrik, karmaşık Gauss gürültüsü olarak modellenmiştir. Çevre yanıtı 90 çip uzunluğundadır.

Bütün benzetimlerde, hızlı Fourier dönüşümü (FFT), hiçbir pencereleyici sistem yapılmadan, Doppler sürecini hesaba katmak için MF çıktısına uygulanmıştır. 8 darbe gönderildiği için FFT süzgeç sayısı da 8'dir. Darbe yineleme frekansı 8000Hz'dir. AHE'deki eşik değeri (τ), yanlış kabul hızının 0.1 değeri için belirlenmiştir.

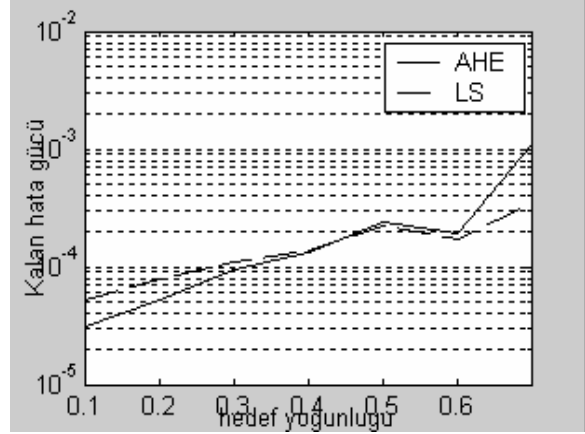
3.1 Çoklu hedef senaryosu

Bu kısımda, hedef yoğunluğu ile kalan hata gücü arasındaki ilişkiyi inceledik. Kalan hata gücü, gerçek radar dürtü yanıtı ve tahmini radar dürtü yanıtı sinyalleri arasındaki farkın gücü olarak ifade edilir. Hedef yoğunluğu ise ortamda bulunan hedef sayısını belirtmek için kullanılmıştır. Bu senaryo üzerinden, parazit yankılardan kaynaklanan bir çok dürtünün oluştuğu sıfır Doppler süzgecinde performansı inceleyebiliriz. Bu durum sıfır

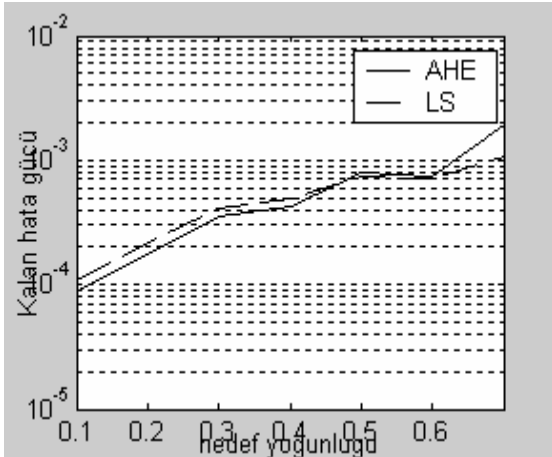
civarında hıza sahip hedefler gibi de düşünülebilir. Ayrıca başka filtrelerdeki çoklu hedefler de bu senaryoda incelenmektedir. Hedef yoğunluğu değerinin 0 olması ortmada hedef olmadığını, 1 olması her bir erim selesinde hedef sinyali bulunduğunu gösterir. Hedef sinyalleri, dairesel simetriye sahip sıfır ortalamalı değişintisi 1 olan karmaşık Gauss rasgele değişkenleri olarak oluşturulmuştur. Gürültü ve hedef sinyalleri her bir hedef yoğunluğu için rasgele 1000 kez oluşturulmuştur. Bu durum için -500-500Hz aralığında çalışan 8 FFT süzgecinden ilki kullanılmıştır. AHE ve LS algoritmalarının kalan hata performansları Şekil 1-4’de karşılaştırılmıştır.



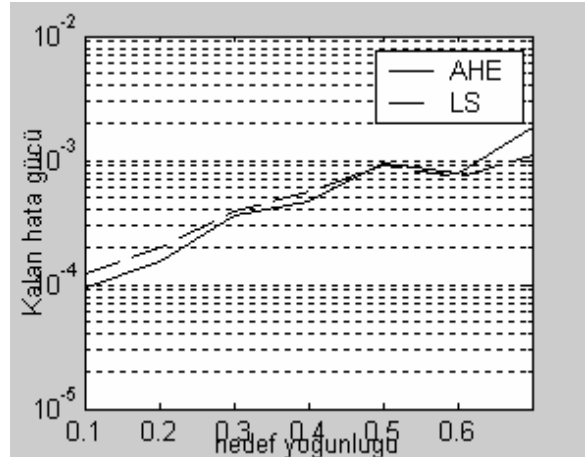
Şekil 1: Bütün hedefler sıfır Doppler frekansında



Şekil 2 : Hedeflerin Doppler frekansı -200-200Hz arasında birörnek yoğunlukla rasgele dağıtılmış



Şekil 3 : Hedeflerin Doppler frekansı -500-500Hz arasında birörnek yoğunlukla rasgele dağıtılmış



Şekil 4 : Hedeflerin Doppler frekansı 1500-2500Hz arasında birörnek yoğunlukla rasgele dağıtılmış

Doppler frekansı sıfır olduğunda (Şekil 1), hedef yoğunluğunun 0.35’ten düşük olduğu durumda AHE’nin performansının, 0.35’ten yüksek olduğu durumda LS’in performansının daha yüksek olduğu görülmüştür. Ama erim seleslerinin yarıdan fazlasının hedef sinyalleriyle dolu olması, sıfır Doppler süzgeci için bile alışlagelmiş bir durum değildir. Hedefler üzerinde Doppler olduğu zaman (Şekil 2-4), iki algoritmanın performansları birbirine yaklaşmaktadır. Şekil 2,3’den anlaşılacağı gibi, Doppler frekansı arttıkça iki algoritmanın da performanslarında azalma olmaktadır ama LS’deki performans düşüklüğü AHE’dekenden daha fazladır. Şekil 4’te oluşturulan hedeflerin Doppler frekansları 1500Hz ve 2500Hz arasında bir dağılıma sahip olduğu için üçüncü FFT süzgeci kullanılmıştır. Şekil 3 ve 4’ün kalan hata performansları birbirinden pek farklı değildir. Sonuç olarak, Doppler etkisinin olmadığı durumda eğer erim seleslerinin yarıdan fazlası hedef sinyalleriyle dolu değilse ve Doppler etkisi varken ilinti fonksiyonu, kullanılan FFT süzgecinin merkez frekansına göre ayarlanırsa AHE metodunun performansı LS metodunun performansından daha iyi olduğu gözlemlenmektedir..

3.2 İkili hedef senaryosu

Bu senaryoda ortamda büyük bir hedef ve onun yüksek yan lobları tarafından bastırılan küçük bir hedef olduğu varsayılmıştır. Bu kısımdaki benzetimlerde, küçük hedefin sezim olasılığının (Pd) kendi sinyal gürültü oranına