

Hedef Yoğunluk Fonksiyonuyla Aktif Sensör Görüntüleme

Active Sensor Imaging by A Target Density Function

Rıdvan Fırat Çınar¹, Aşkın Demirkol²

1. Mühendislik Fakültesi - Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Sakarya Üniversitesi
ridvan.cinar@ogr.sakarya.edu.tr

2. Mühendislik Fakültesi - Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Sakarya Üniversitesi
askind@sakarya.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada radar görüntüleme kullanılması amacıyla farklı özellikte bir hedef yoğunluk fonksiyonu ele alınmıştır. Menzil ve tarama açısı değişkenlerinden oluşturulan hedef yoğunluk fonksiyonu, diğer yaklaşımlardan farklı olarak lineer fazlandırılmış radar dizisinden yararlanılarak daha pratik bir yaklaşımla elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: fazlandırılmış radar dizisi sistemleri, aktif sensör görüntüleme, hedef yoğunluk fonksiyonları, belirsizlik fonksiyonları.

Abstract

In this work, a various target density function for active sensor imaging is investigated via a linear phased array system. The target density function is produced as a range and scanning angle density function. Although the active sensor imaging is generally based on complicated processes, the studied method here is improved in a more effect manner.

Keywords : phased array radar system, active sensor imaging, target density function, ambiguity functions.

1. Giriş

Hedef yoğunluk fonksiyonları obje veya hedeflerin görüntülenmesinde önemli yeri olan fonksiyonlardır [1,2]. Özellikle aktif sensör görüntüleme amacıyla yararlanılan radar görüntüleme yansıma fonksiyonu veya yansıma katsayısı gibi isimlerle kullanılmaktadır [3,4,5]. Aydınlatılan hedeflerden yansıyan genlik şiddetlerinin göz önüne alınmasıyla uygun bir senaryoya göre hedef yoğunluk fonksiyonlarının elde edilmesine çalışılmaktadır. Bu çalışmanın göz önüne aldığı radar hedeflerinin görüntülenmesi amacıyla hedef yoğunluk fonksiyonlarından yararlanılarak yapılan çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar genellikle ya belirsizlik fonksiyonu olarak anılan çok daha karmaşık cebirsel işlemlerle veya Fourier tabanlı yaklaşımlarla yerine getirilmiştir [6,7,8]. Bu çalışmada hedef yoğunluk fonksiyonu bilinen her iki yaklaşımdan farklı ve daha efektif bir yaklaşımla ele alınmış ve geliştirilmiştir.

2. Klasik yaklaşımlarla görüntüleme

Bu çalışmada hedef yoğunluk fonksiyonlarına vurgu yapan iki temel çalışma ele alınmıştır.

2.1. Fowle – Naparst Yaklaşımı

Bu yaklaşım hedef yoğunluk fonksiyonunu ilk olarak ortaya koyan çalışmalardandır [6,7]. Buna göre. Bu çalışmada hedefin bulunduğu uzaydaki yoğunluğu Belirsizlik Fonksiyonundan (Ambiguity Function) yararlanılarak ortaya konulmuştur. Yararlanılan belirsizlik fonksiyonunun genel görünümü aşağıdaki gibidir.

$$A(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} u\left(t - \frac{x}{2}\right) \bar{u}\left(t + \frac{x}{2}\right) e^{-j2\pi y t} dt \quad (1)$$

Fonksiyondaki x ve y sırasıyla görüntülenmek istenen hedefe dair hız ve mesafeyi göstermektedir. Bu daha ziyade Fowle [4] tarafından ortaya konulan bir yaklaşım olup, bu daha sonraları Naparst tarafından hedef yoğunluk fonksiyonunu da içine katarak geliştirilmiştir [5]. Belirsizlik fonksiyonunu göz önüne alarak geliştirilen çalışmada hız ve mesafe değişkenlerini içerecek $D(x, y)$ hedef yoğunluk fonksiyonu geliştirilmiştir.

Bir $s(t)$ sinyalinin hedefe gönderilmesiyle, hedeften yansıyan $e(t)$ sinyali aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$e(t) = \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} D(x, y) \sqrt{y} s(y(t-x)) dx dy \quad (2)$$

Bu yansıyan sinyalin barındırdığı $D(x, y)$ hedef yoğunluk fonksiyonu yukarıda verilen belirsizlik fonksiyonunu da içerecek biçimdeki karmaşık sayılabilecek vektör uzayındaki işlemlere dayanılarak aşağıdaki adımlardan sonar üretilebilmiştir.

$$D(x, y) = \sum_{n,m=0}^{\infty} \langle e_n, s_m \rangle A_{nm}(x, y) \quad (3)$$

İfadedeki s_m gönderilen, e_n ise yansıyan sinyaller (ekolar) olarak göz önüne alınmıştır. Yararlanılan belirsizlik fonksiyonu $A_{nm}(x, y)$ aşağıdaki gibi düşünülmektedir.

$$A_{nm}(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} s_n(y(t-x))\bar{s}_m(t)dt \quad (4)$$

2.2. SAR – ISAR Yaklaşımı

Yapay açıklı radarlar (SAR (Synthetic Aperture Radar)/ISAR (Inverse Synthetic Aperture Radar)) üzerine kurulu görüntüleme yaklaşımında anten boyutunun yapay olarak artırılmasına dayanılarak belirli aralıklarla hedeften alınan bilgiler birleştirilerek hedefe dair görüntüye ulaşılmaya çalışılmaktadır. Bu yaklaşımlarla ya yeryüzündeki hedefin üzerinden uçularak (SAR) ya da havadaki hedefin yer istasyonundan görüntülenmesi (ISAR) amaçlanmaktadır [8,9,10]. Burada amaca birinci yaklaşımdan daha farklı ve pratik olan Fourier tabanlı işlemlerle ulaşılmaya çalışılmaktadır.

Bu yaklaşımda üç boyutlu bir hedefin iki boyutlu görüntüsünü ele alan ISAR yaklaşımı aşağıdaki temel adımlardan oluşmaktadır.

$$s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \rho(x, y) e^{-j2\pi f_0 \frac{2R_p(t)}{c}} dx dy \quad (5)$$

Bu bağıntı $2R_p(t)/c \leq t \leq T_{PRI} + 2R_p(t)/c \leq f_0$ ifadesiyle göz önüne alınmıştır. İfadelerdeki $\rho(x, y)$ ifadesi, görüntülenmek istenen hedefin yoğunluk fonksiyonu iken, T_{PRI} darbe tekrarlama periyodu, $R_p(t)$ menzil, f_0 taşıyıcı frekansı ve c ise ışık hızıdır. Menzil aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$R_p(t) = R(t) + x \cos[\theta(t) - \alpha] - y \sin[\theta(t) - \alpha] \quad (6)$$

İfadedeki α azimut, $\theta(t)$ ise dönme açısıdır. Bu işlemlerin sonucunda $s(t)$ sinyalinin ters Fourier transformasyonu alınarak aranan $\rho(x, y)$ hedef yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilmiştir [11].

$$\rho(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} X(f_x, f_y) e^{j2\pi(x f_x - y f_y) f_0 \frac{2R_p(t)}{c}} df_x df_y \quad (7)$$

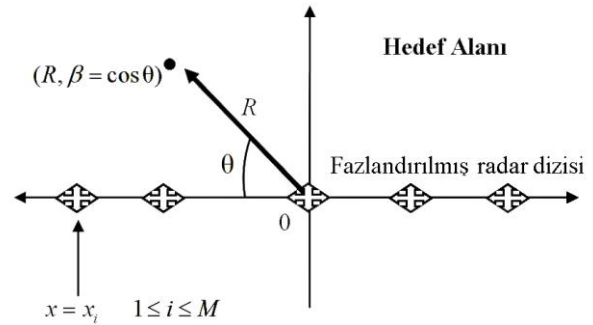
$$f_x = \frac{2f_0}{c} \cos \theta(t) \text{ ve } f_y = \frac{2f_0}{c} \sin \theta(t) \quad (8)$$

3. Menzil – Açık Hedef Yoğunluk Fonksiyonuyla Görüntüleme

Bu çalışmada yukarıda kısaca izah edilen mevcut hedef yoğunluk fonksiyonlarından daha farklı özellikteki bir hedef yoğunluk fonksiyonu ele alınmıştır. Menzili göstermek üzere

R , tarama açısını ise $\beta = \cos \theta$ olarak gösteren $g(R, \beta)$ tipli yeni bir hedef yoğunluk fonksiyonu ele alınmıştır. Tanımlanan yeni $g(R, \beta)$ hedef yoğunluk fonksiyonu, bir (R, β) noktası civarından yansıyan sinyalin bu alana gönderilen sinyalin genlik şiddetlerine oranı olarak düşünülmüştür.

Bu çalışmada diğer bir yeni yaklaşım ise radar görüntülemenin fazlandırılmış radar dizisi kullanılarak yerine getirilmesidir. Bu temelde göz önüne alınan hedef yoğunluk fonksiyonuna dair senaryomuz aşağıdaki temel şekli göz önüne almaktadır.



Şekil 1. Fazlandırılmış radar dizisiyle görüntüleme

Görüldüğü gibi yararlanacağımız yaklaşım koordinat sisteminin üst yarı düzlemini göz önüne almaktadır. Bu koşullarda hedefe gönderilen darbe sinyali $p(t)$ olarak alınırsa,

$$p(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} A_k e^{j k \omega_0 t} \quad (9)$$

$$\omega_0 = 2\pi \times PRF \quad (10)$$

İfadedeki PRF , darbe tekrarlama frekansıdır. Bu sinyal $s_c(t)$ taşıyıcı sinyal ile modüle edilerek gönderilirse,

$$s_c(t) = e^{j \omega_c t} \quad (11)$$

Modüle edilmiş halde gönderilen $s_m(t)$ sinyali aşağıdaki görünümde olacaktır.

$$s_m(t) = p(t)s_c(t) \quad (12)$$

$g(R, \beta)$ yoğunluk fonksiyonuyla ifade edilen bir noktadaki yansıma,

$$s_r(x, t) = s_m(t - 2R/c - \beta x/c)g(R, \beta) \quad (13)$$

Buna göre bu yansıma maksimum R_1 uzaklığındaki bir noktanın yansıması ise, bu koşullarda radar sistemi tarafından içinde radar görüntüsünü de barındıran sinyal aşağıdaki biçimde alınır.

$$\begin{aligned} s_r(x, t) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} s_m(t - 2R/c - \beta x/c) g(R, \beta) dR d\beta \\ &= \int_{-1}^1 \int_0^{R_1} s_m(t - 2R/c - \beta x/c) g(R, \beta) dR d\beta \\ &= \int_{-1}^1 \int_0^{R_1} p(t - 2R/c - \beta x/c) \\ &\quad \times e^{j\omega_c(t - 2R/c - \beta x/c)} g(R, \beta) dR d\beta \\ &= \int_{-1}^1 \int_0^{R_1} p(t - 2R/c - \beta x/c) \\ &\quad \times e^{-j\omega_c(2R/c + \beta x/c)} e^{j\omega_c t} g(R, \beta) dR d\beta \end{aligned} \quad (14)$$

$s_r(x, t)$ ifadesi, fazlandırılmış radar dizisinden oluşan radar sisteminin çıkışıdır. Algoritma çözümü elde etmek üzere aşağıdaki adımlarla devam ettirilir.

$$\begin{aligned} s_r(x, t) &= \int_{-1}^1 \int_0^{R_1} \sum_{k=-\infty}^{\infty} A_k e^{j k \omega_0 (t - 2R/c - \beta x/c)} \\ &\quad \times e^{-j\omega_c(2R/c + \beta x/c)} e^{j\omega_c t} g(R, \beta) dR d\beta \\ &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} A_k e^{j k \omega_0 t} \int_{-1}^1 \int_0^{R_1} e^{-j k \omega_0 (2R/c + \beta x/c)} \\ &\quad \times e^{-j\omega_c(2R/c + \beta x/c)} e^{j\omega_c t} g(R, \beta) dR d\beta \\ &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} A_k e^{j(\omega_c + k\omega_0)t} \int_{-1}^1 \int_0^{R_1} e^{-j k \omega_0 (2R/c + \beta x/c)} \\ &\quad \times e^{-j\omega_c(2R/c + \beta x/c)} g(R, \beta) dR d\beta \\ &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} A_k e^{j(\omega_c + k\omega_0)t} \int_{-1}^1 \int_0^{R_1} e^{-j(\omega_c + k\omega_0)(2R/c + \beta x/c)} \\ &\quad \times g(R, \beta) dR d\beta \end{aligned} \quad (15)$$

Radar çıkışını gösteren son ifade $S_d(t)$ ile demodüle edilirse,

$$\begin{aligned} s_d(t) &= e^{-j(\omega_c + k\omega_0)t} / A_k \quad (16) \\ s_r(x, t) &= (e^{-j(\omega_c + k\omega_0)t} / A_k) \left[\sum_{k=-\infty}^{\infty} A_k e^{j(\omega_c + k\omega_0)t} \right. \\ &\quad \times \left. \int_{-1}^1 \int_0^{R_1} e^{-j(\omega_c + k\omega_0)(2R/c + \beta x/c)} g(R, \beta) dR d\beta \right] \\ S(k, x) &= \int_{-1}^1 \int_0^{R_1} e^{-j(\omega_c + k\omega_0)(2R/c + \beta x/c)} g(R, \beta) dR d\beta \\ &= \int_{-1}^1 \int_0^{R_1} e^{-j(\omega_c + k\omega_0)/c(2R/c + \beta x/c)} g(R, \beta) dR d\beta \end{aligned} \quad (17)$$

Son ifade k ve β için $G(k, \beta)$ olarak göz önüne alınabilir.

$$G(k, \beta) = \int_0^{R_1} g(R, \beta) e^{-j(\omega_c + k\omega_0)2R/c} dR \quad (18)$$

$$S(k, x) = \int_{-1}^1 G(k, \beta) e^{-j(\omega_c + k\omega_0)\beta x/c} d\beta \quad (19)$$

$$S_k(x) = \int_{-1}^1 G_k(\beta) e^{-j(\omega_c + k\omega_0)\beta x/c} d\beta \quad (20)$$

Burada önemli olan $g(R, \beta)$ hedef yoğunluk fonksiyonunun bulunmasıdır. Bu yüzden bunu sağlamak üzere (20) ifadesini aşağıdaki gibi göz önüne alabiliriz.

$$G_k(\beta) = \int_0^{R_1} g(R, \beta) e^{-j(\omega_c + k\omega_0)2R/c} dR \quad (21)$$

Son ifadeden ilgili hedef yoğunluk fonksiyonunu elde etmek üzere daha önceki bölümde (1) ile ele aldığımız belirsizlik fonksiyonundan istifade etmeye çalışacağız. Bunun için hedefe gönderilen $s_m(t)$ sinyalini göz önüne alarak bu sinyalin otokorelasyon fonksiyonu – spektral güç yoğunluğu ilişkisinden yararlanmaya çalışacağız. Bilindiği gibi bir $s_m(t)$ sinyalinin otokorelasyon fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

$$R(\tau) = s_m(t) * s_m(-t) = \int_{-\infty}^{\infty} s_m(\tau) \bar{s}_m(t + \tau) dt \quad (22)$$

veya ;

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s_m\left(\tau - \frac{t}{2}\right) \bar{s}_m\left(\tau + \frac{t}{2}\right) dt \quad (23)$$

Eğer spektral güç yoğunluğu otokorelasyon fonksiyonunun Fourier transformasyonu ise aşağıdaki adımlar oluşturulabilir.

$$\begin{aligned} S(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} R_x(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} u(\tau) \bar{u}(t + \tau) dt e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (24) \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} u(\tau) \bar{u}(t + \tau) e^{-j\omega\tau} d\tau dt \end{aligned}$$

$\tau = \tau - \frac{t}{2}$ için

$$\begin{aligned}
 S(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} u\left(\tau - \frac{t}{2}\right) \bar{u}\left(\tau - \frac{t}{2} + t\right) e^{-j\omega\left(\tau - \frac{t}{2}\right)} d\tau dt \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} u\left(\tau - \frac{t}{2}\right) \bar{u}\left(\tau + \frac{t}{2}\right) e^{-j\omega\tau} d\tau e^{j\omega\frac{t}{2}} dt \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} \left(\int_{-\infty}^{\infty} u\left(\tau - \frac{t}{2}\right) \bar{u}\left(\tau + \frac{t}{2}\right) e^{-j\omega\tau} d\tau \right) e^{j\omega\frac{t}{2}} dt
 \end{aligned} \quad (25)$$

$$A(t, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u\left(\tau - \frac{t}{2}\right) \bar{u}\left(\tau + \frac{t}{2}\right) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (26)$$

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} A(t, \omega) e^{j\omega\frac{t}{2}} dt \quad (27)$$

Buna göre spektral güç yoğunluğu (1) de $A(t, \omega)$ ile tanımlanan belirsizlik fonksiyonuna bağlı olarak elde edilmiştir.

Bizim aradığımız $g(R, \beta)$ hedef yoğunluk fonksiyonunun bulunduğu (21) ifadesi (27) ile karşılaştırıldığında,

$$g(R, \beta) \equiv A(t, \omega) \quad (28)$$

olduğundan, aranan hedef yoğunluk fonksiyonunun bir tür belirsizlik fonksiyonuna eşdeğer olduğu fark edilmektedir. Buna göre hedef yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$G(R, \beta) = \int_{-\infty}^{\infty} s_m\left(t - \frac{R}{2}\right) \overline{s_m\left(t + \frac{R}{2}\right)} e^{j\beta t} dt \quad (29)$$

Böylelikle hedef yoğunluk fonksiyonu belirsizlik fonksiyonu – otokorelasyon fonksiyonu ve spektral güç yoğunlukları yaklaşımından yararlanılarak elde edilmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada radar görüntüleme üzerine yararlı olan hedef yoğunluk fonksiyonu farklı bir yaklaşımla ele alınmıştır. Mevcut yaklaşımlarla karşılaştırıldığında fazlandırılmış radar dizisinden faydalanılması ve de menzil – tarama açısını göz önüne alan özellikteki farklı bir hedef yoğunluk fonksiyonu ele alınırken, aynı zamanda daha pratik bir yaklaşımla elde edilmiştir.

5. Kaynakça

- [1] Skolnik, M.I., *Introduction to radar systems*, 1980.
- [2] Woodward, P.M., *Probability and information theory with applications to radar*, 1957.
- [3] Demirkol, A., “Range Density Function for Active Sensor Imaging”, *Defence Science Journal*, vol.57, no. 3, pp. 305-313, May 2007.
- [4] Chen, V.C., Qian, S.: Time frequency transform vs. fourier transform for radar imaging. *Time-Frequency and Time-Scale Analysis*, 1996., *Proceedings of the IEEE-SP International Symposium on*, pp.389-392, 18-21 June 1996.
- [5] Sowelam, S. M., Tewfik, A. H.: Waveform selection in radar target classification. *IEEE Transactions on information theory*, vol. 46, no. 3, pp. 1014-1029, May 2000.
- [6] Fowle, E. N., Kelly, E. J., Sheehan, J. A.: Radar system performance in a dense-target environment. *IRE Int.Convention record*, no. 4, pp.136-145, 1961.
- [7] Naparst, H.: Dense target signal processing. *IEEE Transactions on information theory*, v. 37, no. 2, March, 1991.
- [8] Birk, R., Camus, W., Valenti, E.: Synthetic aperture radar imaging systems”, *Aerospace and Electronic Systems Magazine*, IEEE, vol.10, No. 11, pp.15-23, Nov. 1995.
- [9] Prickett, M. J.: Principles of inverse synthetic aperture radar (ISAR) imaging. *IEEE EASCON*, pp. 340-344, 1980.
- [10] Ausherman, D.A., Kozma, A., Walker, J., Jones, H.M., Poggio, E.C.: Developments in radar imaging. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 20, No. 4, pp. 363-400, 1984.
- [11] Chen, V. C., Ling, H.: *Time-Frequency transforms for radar imaging and signal analysis*, 2002.