

# Hareketli radar hedeflerinde görüntü işlenmesi üzerine bir yaklaşım

Aşkın DEMİRKOL<sup>\*,1</sup>

<sup>1</sup> Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya

Makale Gönderme Tarihi: 10.04.2016

Makale Kabul Tarihi: 26.04.2016

## Öz

*Hedef algılama ve hedef izleme, radar sinyal işleme alanının en önemli yaklaşımlarından olup, bu alanların günümüz radar çalışmalarına önemli katkıları söz konusudur. Bunlara ek olarak radar hedefleriyle ilgili daha fazla ve hassas bilgilerin elde edilmesini sağlayan radar kesit alanları, özellikle radar hedeflerinin imgeleştirilmesi, bir anlamda görüntülenmesi üzerine yeni kazanımlar sağlamıştır. Radar imgesinin elde edilmesi, en az diğer çalışmalar kadar anlamlıdır. Son yıllarda radar formunda aktif sensör görüntüleme olarak karşımıza çıkan çalışmalardan günümüzde yalnızca radar değil, biyomedikal alanındaki tıbbi alanlarda da istifade edilmektedir. Hava (boşluk), kara ve deniz olarak düşünülebilecek her ortamda nesne veya objeye ait görüntünün elde edilmesi son yıllarda önemle üzerinde çalışılan alanların başında gelmektedir. En uygun tekniğin seçimi ve kullanımı önem taşımaktadır. Temel olarak durağan, zamanla değişim göstermeyen hedeflerin imge olarak elde edilmesine dair teknikler varsa da, reel durumda durağan olmayan, dolayısıyla hareket kabiliyetine sahip hedeflerin görüntülerinin elde edilmesine yönelik çalışmalar son yıllarda daha fazla önem arz etmektedir. Bu çalışmada vurgulandığı gibi manevra kabiliyetindeki hedeflerin bulunduğu bir ortamda aktif sensör olarak radar görüntüleme üzerine bir yaklaşım ele alınmıştır. Bunun için açı ve menzil içerikli zamanla değişir özel bir hedef yoğunluk fonksiyonundan yararlanılmıştır. Bunu sağlamak üzere lineer fazlandırılmış radar dizilerinden istifade edilmiştir. Tüm bunların sonucunda standart olmayan daha karmaşık yöntemleri temel alan yaklaşımlar yerine, Fourier tabanlı standart yaklaşımlarla çözüm aranmıştır.*

**Anahtar Kelimeler:** Durağan olmayan yoğun hedef ortamı, manevra özellikli radar görüntüleme, hedef yoğunluk fonksiyonu, fazlandırılmış lineer radar dizisi;

## Giriş

Görüntüleme, obje uzayından imge uzayına olan bir dönüşümdür. İki boyutlu imge, üç boyutlu uzayın özellik uzayı üzerinden olan dönüşümdür. Görüntü sensörler veya sensör dizileri ile elde edilir. Hedef görüntüleme amacıyla aktif sensör olarak radar kullanılmaktadır. Radar görüntüleme yansıyan sinyallerden görüntü oluşturma işlemidir. Bu anlamda radar görüntüleme veya radar imgesi hedef ortamındaki objelerin bir tür reflektörlerle oluşturulmasıdır. Buna göre radar imgesi hedef yansılarının özel bir uzay veya düzleme dönüştürülmesi olarak düşünülebilir (Chen ve Ling 2002; Ausherman vd, 1984; Prickett, 1980; Siebert, 1956; Cook ve Bernfeld, 1967; Hovanessian, 1980; Birk vd, 1995; Yang vd, 2003).

Hedef yoğunluk fonksiyonu, radar görüntülemenin önemli bir özelliği olup, belirsizlik fonksiyonu, yoğunluk fonksiyonu, obje yansıma fonksiyonu ve yansıma katsayısı gibi çeşitli isimlerle anılır (Chen ve Qian, 1996; Sowelam ve Tewfik, 2000).

Hedef yoğunluk fonksiyonları üzerine genel olarak iki metod mevcuttur. Birincisi hedef saçıcı merkezlerinden yansıyan nokta saçıcılar olup, buna ilişkin ters Fourier dönüşümünü göz önüne alan ISAR yaklaşımı göz önüne alınabilir.

İkinci yaklaşım ise Fowle ve Naparst tarafından ileri sürülen hedef yoğunluk ortamıdır. Bu yöntemde menzil ve hız değişkenlerini içeren belirsizlik fonksiyonu üzerine kurulu hedef yoğunluk ortamı/çevresi dikkate alınmaktadır (Fowle vd, 1961; Naparst, 1991).

Bu çalışmada manevra yapabilir özellikteki hedeflerin görüntülenmesini sağlayan hedef yoğunluk fonksiyonu belirtilen iki yaklaşımdan farklı tarzda ele alınmış ve geliştirilmiştir. Bu fonksiyon hüzme oluşturma sürecine ihtiyaç duymayacak lineer radar dizisi kullanılarak geliştirilmiştir.

Makale beş bölüm halinde organize edilmiştir. Önceki çalışmalar ikinci bölümde ele alınırken, geliştirilen yeni yaklaşımın tanıtımı dördüncü bölümde işlenmiştir. Ayrıca karşılaştırmalar ve sonuçlar ise son bölümde ele alınmıştır.

## Önceki Çalışmalar

Çalışmanın öncesine dayalı araştırmalar, dizi radar işleme ve radar görüntü işleme olarak anılan iki alt bölüm halinde ele alınmıştır.

### Dizi radar işleme

Radar görüntü işleme amacıyla kullanılan dizi radar işleme statik radar statik hedef yapısını göz önüne almaktadır. Genel fazlandırılmış dizi radarları hüzme oluşturma prensibine göre çalışmaktadır. Lineer fazlandırılmış dizi radarlarda dizinin her bir elemanı belirli aralıklarla konuşlandırılmış ve tek başına belirli yönde ışın yayma kabiliyetindeki elemanlardan oluşmaktadır. Bilindiği gibi hüzme oluşturma prensibinde belirli yöndeki ışınlar kuvvetlendirilirken istenmeyen yöndekiler zayıflatılmaktadır (Skolnik, 2001; Brookner, 2002; Smith, 1989).

Aşağıdaki Şekil.1 de genel bir lineer dizi radarı verilmiştir. Buna göre  $m$  tane sayıdaki kaynaktan farklı açılardan  $\theta_k, (k=1,2,\dots,m)$  sinyalin lineer dizilmiş  $n$  tane radar elemanından oluşan sistem tarafından işlenmesi görülmektedir.

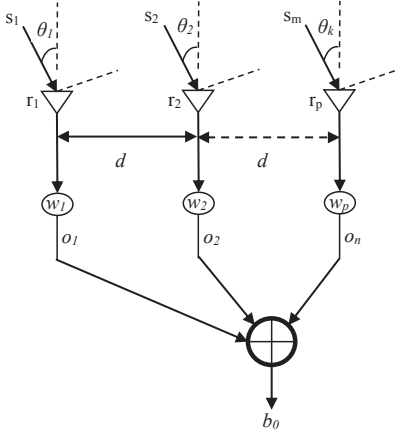
Buna göre herhangi bir  $t$  anında  $i$ .sensörün aldığı sinyal,  $m$  tane kaynaktan düşen sinyal ve gürültünün toplamı olarak aşağıdaki gibi olacaktır.

$$o_i(t) = \sum_{k=1}^M s_k(t) e^{j\omega_0(t-1)\tau_k} + n_i(t) \quad (1)$$

$$\tau_k = d \sin \theta_k / \lambda \quad (2)$$

İfadedeki  $d$ , sensörler arası mesafe,  $\lambda$  ise dalga boyudur. (1) üzerinden alınan sinyalin vektör formu aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

## Hareketli radar hedeflerinde görüntü işlenmesi üzerine bir yaklaşım



Şekil 1. Fazlandırılmış lineer radar dizisi

$$\mathbf{o}(t) = \mathbf{A}(\theta)\mathbf{s}(t) + \mathbf{n}(t) \quad (3)$$

Son ifadedeki  $\mathbf{A}(\theta) = [\mathbf{a}(\theta_1), \dots, \mathbf{a}(\theta_M)]$  kontrol matrisi iken,  $\mathbf{s}(t) = [s_1(t), \dots, s_M(t)]^T$  sinyal ve  $\mathbf{n}(t) = [n_1(t), \dots, n_N(t)]^T$  ise gürültü matrisidir. Hüzme oluşturmadaki  $\mathbf{a}(\theta_k)$  yönlendirme vektörü ise,  $\mathbf{a}(\theta_k) = [1, e^{j\omega_0 \tau_k}, \dots, e^{j\omega_0 (N-1)\tau_k}]^T$ , buradaki  $T$ , devrik alma operatörüdür. Bu koşullarda dizi radar çıkışındaki hüzme,

$$b_0(t) = \sum_{i=1}^N w_i^* o_i(t) \quad (4)$$

ifadedeki  $w_i$ ,  $o_i(t)$  çıkışını oluşturmada kullanılan kompleks ağırlıktır. Bu koşullarda (4) numaralı denklem vektörel formda aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\mathbf{b}_0(t) = \mathbf{w}^* \mathbf{o}(t) \quad (5)$$

### Hedef yoğunluk fonksiyonları

Hedef Yoğunluk Fonksiyonları SAR/ISAR ve Naparst - Fowle çalışmaları olarak iki yaklaşım üzerinden ele alınabilir.

### SAR-ISAR Tabanlı Hedef Yoğunluk Fonksiyonu

Yapay açıklı radarlar (SAR, Synthetic Aperture Radar/ISAR, Inverse Synthetic Aperture Radar) özellikli görüntüleme yaklaşımında anten boyutunun yapay olarak artırılmasına dayanılarak belirli aralıklarla hedeften alınan bilgiler birleştirilerek hedefe dair görüntüye ulaşılmaya çalışılmaktadır Prickett (1980). Amaca Fourier tabanlı işlemlerle ulaşılmaya çalışılmaktadır.

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

$$s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \rho(x, y) e^{-j2\pi f_0 \frac{2R_p(t)}{c}} dx dy \quad (6)$$

Bu bağıntı  $2R_p(t)/c \leq t \leq T_{PRI} + 2R_p(t)/c \leq t f_0$  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. Bu işlemlerin sonucunda  $s(t)$  sinyalinin ters Fourier transformasyonu alınarak aranan  $\rho(x, y)$  hedef yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilmiştir [11].

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

### Fowle-Naparst Tabanlı Hedef Yoğunluk Fonksiyonu

Hedef yoğunluk fonksiyonu ilk olarak (Fowle vd, 1961) tarafından kullanılmıştır. Bu kavram belirsizlik fonksiyonundan esinlenilerek ele alınmıştır. Tipik belirsizlik fonksiyonu bir radarın bir nokta hedefe yönelik menzil-hız çözünürlüğünü tanımlamaktadır. Eğer bir  $u(t)$  fonksiyonuna karşılık gelen belirsizlik fonksiyonu  $A(x, y)$  olarak düşünülürse aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$A(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} u \left( t - \frac{x}{2} \right) \bar{u} \left( t + \frac{x}{2} \right) e^{-j2\pi y t} dt \quad (8)$$

$\bar{u}$ , mevcut  $u$  fonksiyonunun kompleks eşleniği iken,  $x$  ve  $y$  ise mesafe ve hız olarak belirsizlik fonksiyonunun değişkenlerini oluşturmaktadır.

Bu anlamda söz konusu  $A(x, y)$  radar belirsizlik fonksiyonu aslında eşleştirme filtresinin çıkışı görevini yerine getirmektedir. Buna göre  $x$  mesafesinde  $y$  dopler kaymasıyla oluşan iki boyutlu bir fonksiyondur. Eğer  $|A(x, y)|^2$  düşünülürse, hedeften yayılan enerji seviyeleriyle bilgi sağlayabilmektedir.

Bu çalışmadan yararlanarak daha sonraları, hedef yoğunluk fonksiyonu Naparst (1991) tarafından da kullanılmıştır. Bu kullanımda hedef yoğunluk fonksiyonunun mesafe ve hız olarak birbirlerine yakın görünen hedefler göz önüne alınmıştır. Buna göre  $x$  mesafesinde ve  $y$  hızındaki hedeflerin yoğunluk fonksiyonu  $D(x, y)$  ile ifade edilmiştir.

Bu durumda yoğunluk fonksiyonunu içerecek biçimde hedeften yansıyan sinyale ait fonksiyon aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$y(x, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} s_r(t - \beta x / c - 2R / c) g(\beta, R) dR d\beta \quad (11)$$

$y(x, t)$  radar çıkışı,  $c$  ışık hızı ve  $s_r(t)$  alınan ekodur. Gerek  $D(x, y)$  gerekse yeni  $g(R, \beta)$  hedef yoğunluk fonksiyonlarının ortak özelliği hareketsiz, zamanla değişmez özellikte oluşlarıdır. Bu çalışmada manevra kabiliyetine sahip hedeflerin görüntülenmesini sağlayacak, zamanla değişir  $g(R, \beta, t)$  tipinde alternatif bir hedef yoğunluk fonksiyonu elde edilmeye çalışılmıştır. Yöntemin ayrıntıları aşağıdaki bölümde ele alınmıştır.

$$e(t) = \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} D(x, y) \sqrt{y} s(y(t-x)) dx dy \quad (9)$$

Aynı çalışmada zamandan bağımsız hedef yoğunluk fonksiyonu  $D(x, y)$ , Fourier çözümlerinden uzak son derece karmaşık tekniklerle aşağıdaki formda elde edilmiştir.

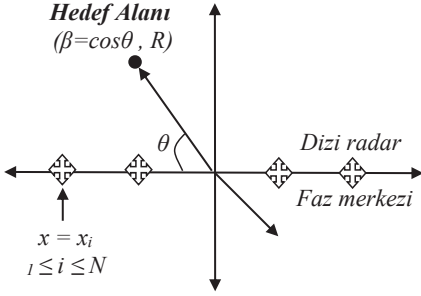
$$D(x, y) = \sum_{n,m=0}^{\infty} \langle e_n, s_m \rangle A_{nm}(x, y) \quad (10)$$

Bunlara ek olarak benzer işlevdeki hedef yoğunluk fonksiyonu  $R$  menziline ve  $\beta = \cos \theta$  tarama açısını (doğrultu kosinüsü) içeren yeni bir hedef yoğunluk fonksiyonu  $g(R, \beta)$  olarak elde edilmiştir (Demirkol vd, 2009). Elde edilirken daha standart formdaki Fourier tabanlı tekniklerden istifade edilmiştir. Bu yeni hedef yoğunluk fonksiyonunu içeren alınan sinyal aşağıdaki formda düşünülmüştür.

## Durağan olmayan hedefler ve zamanla değişir hedef yoğunluk fonksiyonunun geliştirilmesi

Burada manevra kabiliyetine sahip hedeflerin görüntülenmesini sağlayabilecek zamanla değişir bir hedef yoğunluk fonksiyonu geliştirilecektir. Söz konusu yoğunluk fonksiyonu  $R$  menziline ve  $\beta$  tarama açısını göz önüne alan standart  $g(R, \beta)$  açı yoğunluk fonksiyonunun zamanla değişir formundaki  $g(R, \beta, t)$  olarak düşünülmüştür. Bunun için öngörülen hedef düzlemi aşağıda verilmiştir.

## Hareketli radar hedeflerinde görüntü işlenmesi üzerine bir yaklaşım



Şekil 2. Radar görüntüleme hedef düzlemi

Tek hedef için öngörülen yapı, çoklu hedefleri de içerecek biçimde geliştirilebilir. Bu düzlem üzerine kurulu iki tip hedef yoğunluk fonksiyonu ele alınacaktır.

• *Menzil – açı yoğunluk fonksiyonu:* Bu fonksiyon menzil  $R$  ve  $\beta$  tarama açısı

$$y(x, t) = \int_{-1}^1 \int_0^{R_1} p(t - 2R/c - \beta x/c) g(\beta, R, t) dR d\beta \quad (12)$$

İfadedeki  $y$  radar çıkışı,  $R_1$  maksimum menzil iken  $p(t)$  ise gönderilen sinyaldir. Denklemdeki zamanla değişir hedef yoğunluk fonksiyonu  $g(R, \beta, t)$ , çeşitli tekniklerle hesaplanabilir. Eğer  $p(t)$  zamana bağlı periyodik bir darbe dizisi formundaki sinyal ise,

$$p(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \alpha_k e^{j k \omega_0 t} \quad (13)$$

$$\omega_0 = 2\pi \times PRF \quad (14)$$

$PRF$  darbe tekrarlama frekansıdır. Eğer  $s_c(t)$  modülasyon amacıyla kullanılacak taşıyıcı sinyal ise,

$$s_c(t) = e^{j \omega_c t} \quad (15)$$

değişkenlerine sahip  $g(R, \beta)$  formundadır. Bu yaklaşımda ilgili hedef yoğunluk fonksiyonu sonsuz küçük  $(R, \beta)$  noktası civarındaki yansıyan sinyalin genliğinin, hedef üzerine düşen sinyalin limit olarak genliğine oranı olarak düşünülmektedir. Bu durumda çıkıştaki yansıma (11)'deki gibidir.

• *Zamanla değişir menzil – açı yoğunluk fonksiyonu:* Hareketli hedefler için göz önüne alınan  $g(R, \beta, t)$  formundaki bu fonksiyon hedeften yansıyan zamanla değişir sinyalin genliğinin, hedefe düşen sinyalin genliğine oranı olarak düşünülebilir.

Bu çalışmada bu fonksiyon üzerinde durulacaktır. Bu durumdaki alınan sinyal aşağıdaki gibi göz önüne alınır.

Bu durumda gönderilecek modüle edilmiş  $s_m(t)$  sinyali aşağıdaki formda olacaktır.

$$s_m(t) = p(t) s_c(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \alpha_k e^{j k (\omega_c + k \omega_0) t} \quad (16)$$

$(R, \beta, t)$  noktasındaki yansıma,

$$y(x, t) = s_m(t - \beta x/c - 2R/c) g(\beta, R, t) \quad (17)$$

Şimdi (13) ifadesini, süperpozisyon prensibi ile tüm radar-hedef üst yarı düzlemine göre geliştirebiliriz.

Eğer  $g(R, \beta, t)$  fonksiyonu,  $(R, \beta, t)$  noktasının yansıması ise, ve  $R_1$  hedef alanına olan maksimum menzilsen,

Hareketli radar hedeflerinde görüntü işlenmesi üzerine bir yaklaşım

$$\begin{aligned} y(x, t) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} s_m(t - \beta x / c - 2R / c) g(\beta, R, t) dR d\beta \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} p\left(t - \frac{\beta x + 2R}{c}\right) e^{j \omega_c (t - \beta x / c - 2R / c)} g(\beta, R, t) dR d\beta \end{aligned} \quad (18)$$

$y(x, t)$  merkezdeki sensor çıkışı ve  $c$  ise ışık hızıdır. Algoritma aşağıdaki gibi oluşur:

$$y(x, t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \alpha_k e^{j (\omega_c + k\omega_0) t} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j (\omega_c + k\omega_0) \left(\frac{2R + \beta x}{c}\right)} g(\beta, R, t) dR d\beta \quad (19)$$

(16) ifadesi  $s_d(t)$  ile demodüle edilirse,

$$s_d(t) = e^{-j (\omega_c + k\omega_0) t} \quad (20)$$

$$y(x, t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \alpha_k e^{j (\omega_c + k\omega_0) t} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j (\omega_c + k\omega_0) \left(\frac{2R + \beta x}{c}\right)} g(\beta, R, t) s_d(t) dR d\beta \quad (21)$$

buradan,

$$Y_k(x, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(\beta, R, t) e^{-j (\omega_c + k\omega_0) \left(\frac{2R + \beta x}{c}\right)} dR d\beta \quad (22)$$

Her bir  $k$  ve  $\beta$  için, aşağıdaki kabulü yapalım.

$$G_k(\beta) = G(k, \beta) \quad (23)$$

$$G_k(\beta, t) = \int_{-\infty}^{\infty} g(\beta, R, t) e^{-j (\omega_c + k\omega_0) \frac{2R}{c}} dR \quad (24)$$

Sabit  $k$  ve  $\beta$  için, ifade aşağıdaki forma dönüşür.

$$Y_k(x, t) = \int_{-\infty}^{\infty} G_k(\beta, t) e^{-j (\omega_c + k\omega_0) \frac{\beta x}{c}} d\beta \quad (25)$$

Beklenen hedef yoğunluk fonksiyonunu üretmek için (24) ifadesi Fourier serisi formunda düşünülürse, aşağıdaki ifadeye ulaşılabilir.

$$g(\beta, R, t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} G_k(\beta, t) e^{-j (\omega_c + k\omega_0) \frac{2R}{c}} \quad (26)$$

Eğer  $x = x_i$  noktasında  $N$  sensor mevcutsa,  $G_k(\beta, t)$  ifadesi aşağıdaki gibi  $Y_k(x, t)$  fonksiyonunun Fourier serisi olarak elde edilebilir.

$$G_k(\beta, t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{i=1}^N Y_k(x_i, t) e^{j (\omega_c + k\omega_0) \frac{\beta x_i}{c}} \quad (27)$$

İstenen  $g(\beta, R, t)$  sonucuna fazlandırılmış radar dizisi üzerinden ulaşılmasına karşın, gerekli gibi görünen hüzme oluşturma işlemine gerek duyulmaması yöntemin başarısından kaynaklanmaktadır.

## **Karşılaştırma ve Sonuçlar**

Bu çalışmada ele alınan hedef yoğunluk fonksiyonu, algılama ve hedef izleme problemlerine ek olarak, radar görüntü işleme anlamlı katkı yapmaktadır. Bu fonksiyon farklı bir yaklaşımla zamanla değişir içerikteki manevra kabiliyetine sahip hedeflerin görüntülerinin oluşturulmasını sağlamaktadır. Çalışmanın katkıları iki genel başlık altında toparlanabilir.

1.  $g(\beta, R)$  biçimindeki genel hedef yoğunluk fonksiyonları zamandan bağımsız formda elde edilmesine karşın, bu çalışmada  $g(\beta, R, t)$  gibi zamanla değişir formda ele alınmıştır.

2. Zamanla değişir hedef yoğunluk fonksiyonu, sabit özellikli zamanla değişmeyen hedeflerden ziyade, daha sık karşılaşılan hareketli, dolayısıyla zamanla değişir hedefleri göz önüne aldığından diğerine kıyasla daha gerçekçi bir yaklaşımın sonucudur.

Bunlara ek olarak çalışmanın diğer katkıları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Aktif radarlarla görüntüleme işlemi, durağan olmayan radar-durağan olmayan hedef için ele alınmıştır.

- Zamanla değişir özellikteki yeni hedef yoğunluk fonksiyonu, hedef alanındaki yansımanın açısal dağılımı olarak elde edilmiştir.

- Lineer fazlandırılmış radar dizisinden radar görüntüleme amacıyla yararlanılmıştır.

- Çözümler açısından SAR/ISAR yaklaşımındaki fonksiyonun daha etkin, kompleks yapıdaki Fowle-Naparst tekniğinden ise daha standart formdaki Fourier tekniklerinden istifade edilmiştir.

- Radar olarak aktif sensör görüntüleme işlemi fazlandırılmış radar dizisi üzerinden yapılmasına karşın, daha kompleks yapıda olan standart hüzmeye oluşturma işlemine ihtiyaç duyulmamıştır.

## Kaynaklar

- Ausherman, D. A., Kozma, A., Walker, J., Jones, H.M., Poggio, E.C., (1984). "Developments in radar imaging," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol.20, no.4, pp.363-400.
- Birk, R., Camus, W., Valenti, E., (1995). "Synthetic aperture radar imaging," Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE, vol.10, Issue. 11, pp.15-23.
- Brookner, E., (2002). "Phased array radars-past, present and future," RADAR 2002, pp.104-113.
- Chen, V.C., Ling, H., (2002). Time - Frequency transforms for radar imaging and signal analysis, 2002.Chen, V.C.
- Coo, C.E., Bernfeld, M., (1967). Radar signals; An introduction to theory and application.
- Demirkol, A., Demir, Z., Emre, E., (2009). "Angle density functions for active sensor imaging", IET Radar, Sonar and Navigation, vol.3, Issue.3, ISSN: 1751-8784, p.224-232.
- Fowle, E.N., Kelly, E.J., Sheehan, J.A. (1961). Radar system performance in a dense-target environment. IRE Int. Convention record, no.4, pp.136-145.
- Hovanessian, A., (1980). Introduction to synthetic array and imaging radars, Artech House.
- Naparst, H., (1991). Dense target signal processing. IEEE Transactions on information theory, v.37, no.2.
- Prickett, M.J., (1980). "Principles of inverse synthetic aperture radar (ISAR) imaging," IEEE EASCON, pp.340-344
- Qian, S., (1996). 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.
- Siebert, W.Mc., (1956). "A radar detection philosophy," IEEE Transactions on Information Theory, vol.2, Issue.3, pp.204-221.
- Skolnik, M.I., (2001). Introduction to radar systems, McGraw-Hill, New York, 3rd ed.
- Smith, M.S., (1989). "Phased array fundamentals," Phased Array Radar, IEEE Tutorial Meeting on, pp.1/1 - 133.
- Sowelam, S.M., Tewfik, A.H., (2000). Waveform selection in radar target classification. IEEE Transactions on information theory, v.46, no.3, pp.1014-1029.
- Yang, W., Jianwen, C., Zhong, L., (2003). "Research on radar imaging of manoeuvring targets," Radar Conference 2003, Proceedings of the International, pp.42-44.
- Prickett, M.J.: Principles of inverse synthetic aperture radar (ISAR) imaging. IEEE EASCON, pp.340-344, 1980.



## An approach on imaging of maneuvering targets

### Extended abstract

Imaging is a mapping process from an object space to an image space. Radar imaging is a reconstruction process which extracts the radar echo signals off the targets. The image is a dense group of reflectors that target environment is composed of several objects, or a physically large object with continuum of reflectors.

Target density function (TDF) represents of an important property of radar imaging. In general there are two approaches on TDF. Whereas first one considers point scatterers reflected off the target scatterer centers. This approach is based on inverse Fourier transform (IFT) referred to ISAR principles.

In this study, an active sensor imaging is studied by considering a radar imaging system as the phased array radar system. The radar imaging is developed via by the imaging system by taking advantage of a new function called angle density function which is angular distribution of target area. Two target density functions can be derived from the radar imaging plane as follows;

- Range-Direction density function: This depends on both range  $R$  and angle  $\beta$  variables. In this approach, the target density function,  $g(R, \beta)$  is the limit of the ratio of the amplitude of the signal reflected from an infinitesimally neighborhood about the point  $(R, \beta)$  to the amplitude of the incoming signal.
- Time Varying Range-Angle Density Function: This depends on range  $R$ , direction angle  $\beta$  and time  $t$  variables as  $g(R, \beta, t)$ .

In this study, a time varying angle density function was investigated as the angular distribution of reflectivity of the maneuvering target area for active sensor imaging. The imaging system was taken as a nonstationary radar-target configuration. Then the Range-Direction Density Function and Time Varying Range-Angle Density Function approaches were obtained respectively. The main contributions of this study is summarized as follows :

1. Whereas general target density functions as  $g(\beta, R)$  are produced in a time invariant environment by taking the targets fixed at some range and angle,  $g(\beta, R, t)$  is reached in a time varying one as maneuverable form. On the other hand, the new approach is also generated in a more practical way.

2. The proposed approach with the time varying property is more realistic compared to the time invariant case in the previous works.

In addition to them, the other contributions of the work can be taken as the following ;

- Active radar sensor imaging of maneuvering targets was applied to the nonstationary radar-stationary target configuration.
- A linear phased array radar system was used for the radar imaging.
- Instead of pointwise approach, the whole target area was considered at one time.
- The standard Fourier transform for conventional imaging techniques was used by generalizing to the nonstandard and complex problems.
- The general case of standard Fourier theory makes use of simpler functions possible for radar imaging.
- A generalized target density function defined for imaging by the reflectivity of spatially, continuously and distributed targets, was presented on a range-angle plane.
- Although the imaging approaches were obtained by phased array radars, beamforming was not necessary with the proposed techniques.

**Keywords:** Nonstationary target density environment, maneuverable radar imaging, target density function, linear phased array radar.

# mühendislik dergisi

