

Tek-Kanallı SAR Datada Spektrogram Temelli İnsan Tanıma

Spectrogram-Based Methods for Human Identification in Single-Channel SAR Data

Sevgi Zübeyde Gürbüz¹, William L. Melvin², and Douglas B. Williams¹

¹Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

²Georgia Tech Araştırma Enstitüsü

Georgia Institute of Technology, Atlanta/GA, A.B.D.

gtg973c@prism.gatech.edu

Özetçe

Radar, görsel yada sismik algılayıcılar gibi, diğer algılayıcılara nazaran insan bulma ve tanıma konusunda benzersiz avantajlar sunmaktadır. Radar olası hedeflere göre çok uzaktan, gündüz, gece ve hemen hemen bütün hava koşullarında çalışabilmektedir. Bu makalede, tek-kanallı, yapay açıklıklı radar datası kullanılarak insan bulma ve tanıma problemini inceliyoruz. Beklenen hedef yansımalarının ve spektrogramın hesaplanması için 12-noktalı bir insan modeli, her bir vücut parçasının kinematik hareket denklemleriyle birlikte kullanılmıştır. İnsan spektrogramının ayırdedici özellikleri tahlil edilerek otomatik bir cinsiyet ayırma sisteminin bir örneği tasarlanmıştır. Simülasyonlar erkekler için %83.97 ve kadınlar için %91.11 doğru tanıma sonucuna ulaşılmıştır. Spektrogram-temelli metodların doğasında olan eksiklikler incelenmiştir. Gelecek çalışmalar bu eksiklikleri gideren yeni bir çözüm çerçevesi üzerinde yoğunlaşacaktır.

Abstract

Radar offers unique advantages over other sensors, such as visual or seismic sensors, for human target detection and identification. Radar can operate far away from potential targets, and functions during the daytime as well as nighttime in virtually all weather conditions. In this paper, we examine the problem of human target detection and identification using single-channel synthetic aperture radar (SAR) data. A 12-point human model, together with kinematic equations of motion for each body part, is used to calculate the expected target return and spectrogram. The unique characteristics of the human spectrogram are analysed and used to design a prototype for an automated gender discrimination scheme. Simulation results show a 83.97% detection rate for males and 91.11% detection rate for females. Inherent deficiencies of spectrogram-based methods are discussed. Future work will focus on the development of an alternative solution for overcoming these deficiencies.

1. Giriş

Radar, görsel yada sismik algılayıcılar gibi, diğer algılayıcılara nazaran insan bulma ve tanıma konusunda benzersiz avantajlar sunmaktadır. Bazı durumlarda gözetlenen bir bölgeye video kameralar yada sismik algılayıcılar yerleştirmek mümkün

olmayabilir. Örneğin, askeri uygulamalarında güvenlik sorunlarından dolayı uzaktan gözetim istenmektedir. Radar, hem hedefleri uzaktan rahatlıkla görüntüleyebilmekte, hem de her türlü hava koşulu altında çalışabilmektedir. Bu sebeplerden dolayı, radarla insan bulma ve tanıma konusuna zamanla ilgi artmaktadır.

Şimdiye dek yapılan araştırmaların çoğu alınan sinyalin frekans spektrumunun tahlili üzerine yoğunlaşmaktadır. Yarvoy [1] bir ultra-geniş bantlı (UWB) radar sinyalinin frekans spektrumunu inceleyip insanların nefes alıp verişini sezerek insanları bulma problemini çözmeye çalışmıştır. Falconer [2] sinyalin güç spektral yoğunluğunun (PSD) kurtosis ve enerji özelliklerine bakarak bulunan insanların hareket tarzını (örneğin: yürüyorlarmıydı yoksa sabitlermiydi) keşfetmeye çalışmıştır. Sabatini [3] ise dalgacık dönüşümü uygulayarak sinyalin yüksek frekans kısmını çıkartıp kalan düşük frekans kısmını bir bulma eşiği belirlemek için kullanmıştır. Ancak, bu tarz algoritmaların hiçbiri insanları başka canlılardan ayırt edecek kabiliyette değildir. Yavaş dönen bir tavan fanı veya rüzgarda sallanan bir ağaç algoritmaları yanlış sonuçlar vermesine neden olabilmektedir.

Spektrogram-temelli metodlar ise son on yıl içinde yaygınlaşmaya başlamıştır. 2002 yılında, Geisheimer [4] deneylerde ölçülen bir insan spektrogramının ayrı ayrı vücut parçalarından yansıyan sinyallerin spektrogramlarının toplamına eşit olduğunu göstermiştir. Van Dorp [5] 2003 yılında Thalmann'ın geliştirdiği matematiksel insan yürütme modelini [6] kullanarak Geisheimer'in deneysel sonuçlarını da analitik bir şekilde doğrulamıştır. Dolayısıyla, artık spektrogram analizi yeni geliştirilen bir çok insan tanıma sisteminde kullanılmaya başlanmıştır. Mesela, Greneker [7] intihar bombacı bulma sisteminin spektrogramları inceleyerek tasarlanmasını önermiştir. Hatta, Otero [8] spektrogramın insanları başka canlılardan, hatta kadını erkekten ayırt etmek için bile kullanılabileceğini öne sürmüştür. Fakat, önerilerin pratik bir sistem içinde çalışabilirliği gösterilmemiştir.

Bu makalede spektrogram özelliklerinin gerçek radar uygulamalarında kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. MATLAB da Thalmann'ın yürüten insan modeli oluşturulmuş ve bir insanın radar yansımaya sinyali hesaplanmıştır. Elde edilen radar sinyaline uygun gürültü ve parazit yansımaları eklenmiştir. Spektrogram özelliklerini kullanarak bir cinsiyet ayırma sistemi geliştirilmiştir. Simülasyonlarla elde ettiğimiz sonuçlardan spektrogram-temelli yöntemlerin eksik yönleri aydınlatılmıştır. İleride yapılacak çalışmalar bu

eksiklikleri gideren yeni bir çözüm çerçevesi üzerine yoğunlaşacaktır.

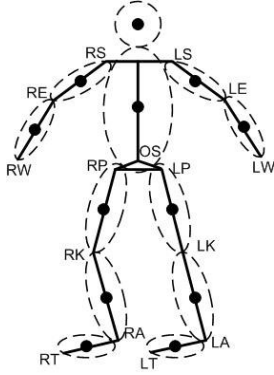
2. Radar Sinyal Modelleme

Ölçülen radar yansıma sinyali üç temel parçadan oluşmaktadır: hedeften yansıyan sinyal, gürültü ve parazit yansımalar. Aşağıda bu sinyal parçalarının ayrıntılı matematiksel modelleri açıklanmaktadır.

2.1. 12-Nokta Yürüyen İnsan Modeli

Vücüdün değişik parçaları farklı pozisyonlardan, farklı hızlarla, ve farklı şekillerde hareket ettiklerinden dolayı insan radar için karmaşık bir hedeftir. Ancak vücut parçalarını nokta hedefler olarak modelleyerek uygun bir yaklaşım elde edilebilir [5,6]. Şekil 1'de gösterildiği gibi, vücut 12 parçaya bölünmüştür: baş, üst kollar, alt kollar, gövde, baldırlar, bacaklar ve ayaklar.

Standart tablolardan [9] kadınların ve erkeklerin %5 ve %95'lik vücut ölçümleri bulunabilir. Ölçümlerin Gauss dağılımına uyduğunu varsayarak arzu edilen herhangi boyda olan bir insan için simülasyonlarda gerekli bütün vücut parça uzunlukları hesaplanabilir.



Şekil 1: İnsan modelini oluşturan 12 ayrı nokta hedefi.

Her bir nokta hedefinin zamanla değişen pozisyonu ise vücut ölçümleri ve Thalman'nın kinematik modelinde [6] verilen zamanla değişen açılar kullanılarak bulunabilmektedir. İlk bakışta model çok ayrıntılı gözükse de kullanılan bütün denklemler ve çizelgeler sadece iki değişkene (hız ve bel uzunluğu) bağlıdır. Bu sebepten dolayı, insan keşif ve tanıma probleminde hızın ve bel uzunluğunun doğru kestirilmesi önemli rol oynamaktadır.

Bir nokta hedefinden yansıyan radar sinyali, gönderilen sinyalin zamanda geciktirilmiş ve frekansta kaydırılmış kopyasıdır. Zaman gecikmesi (t_d) hedefinin uzaklığı (R) ve ışığın hızına (c) bağlıdır: $t_d = 2R/c$.

Çoğu SAR sistemleri darbeli Doppler türünden olup ötüş (chirp) sinyali göndermektedir. Dolayısıyla, alınan radar sinyali taban banta kaydırıldıktan sonra matematiksel olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$s_r(n, t) = \sum_{k=1}^{12} a_{t,k} \text{rect} \left(\frac{\hat{t}_k - t_{d,k}}{\tau} \right) e^{j[-2\pi f_c t_{d,k} + \pi \gamma (\hat{t}_k - t_{d,k})^2]} \quad (1)$$

Burada n: yavaş-zaman indeksi (darbe numarası)
t: hızlı-zaman indeksi (örnekleme hızının tersi)
k: vücut parça indeksi
 \hat{t}_k : her darbenin gönderilme anına referans edilmiş

hızlı-zaman indeksi
 τ : ötüş sinyalin darbe genişliği
 f_c : ötüş sinyalin merkez frekansı
 γ : ötüş sinyalin frekansta eğilimi
ve $a_{t,k}$: alınan sinyalin genliği.

Alınan sinyalin genliği radar menzil denklemiyle belirtilmektedir:

$$a_{t,k} = \frac{G\lambda\sqrt{P_t}\sigma_k\sigma_n}{(4\pi)^{1.5}R_k^2\sqrt{L_s}\sqrt{L_a}\sqrt{T_{sys}}} \quad (2)$$

Burada G: anten kazancı; λ : dalga uzunluğu
 P_t : gönderilen sinyalin gücü
 σ_k : vücut parçanın radar kesidi (RCS)
 σ_n^2 : gürültünün gücü; L_s : sistem kaybı
 L_a : hava kaybı; T_{sys} : sistem sıcaklığıdır.

Gerçek sistemlerde anten kazancı alım açısına, sistem ve hava kayıpları menzile göre değişirler; ancak basitlik için simülasyonumuzda bu parametreler sabit katsayı olarak modellenmiştir. Radar kesidi ise vücut parçalarının şekillerine göre modellenmiştir. Baş küre olarak ve diğer parçalar silindir olarak modellenmiştir [5]. Böylece, (1)'de verilen insan sinyali modeli tamamlanmıştır.

2.2. Gürültü ve Parazit Yansıma Modelleri

Gürültü, ölçülen radar sinyalinde rastgele değişikliklere sebebiyet verebilen bir kaynaktır. Çeşitli gürültü kaynakları mevcuttur: örneğin, elektronik gürültü ve termal gürültü. Simülasyonumuzda, sistem gürültüsü karmaşık beyaz Gauss gürültü olarak modellenmiştir.

Parazit yansımalar ise çevrede bulunan ve hedef olmayan nesnelerin yansımalarından kaynaklanmaktadır; örneğin ağaçlar, asfalt yollar, binalar, ve çok-yollu yansımalar. Dolayısıyla, ortama bağlı olarak radarın aldığı parazit yansımalar çok değişebilir. Çöle göre ormanda olabilecek parazit yansımalar çok daha fazladır ve farklı niteliktedir.

Ancak, sistemimiz belirli bir çevre için özellikle tasarlanmadığı için, genel bir renkli Gauss parazit yansıma modeli uygulanmıştır. Parazit yansımaların frekans spektrumu (S_c) sinc fonksiyonu olarak modellenmiş olup parazit yansıma örnekleri

$$c_k = \mathfrak{S}^{-1}[S_c \mathfrak{S}(w_k)] \quad (3)$$

olarak hesaplanmıştır. Burada $\mathfrak{S}(\cdot)$ parantez içindeki değişkenin Fourier dönüşümüdür; w bir rastgele karmaşık Gauss sayısıdır ve k örnek indeksidir.

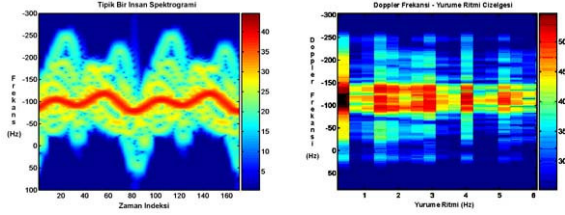
3. Spektrogram Analizi

Her ne kadar yapay açıklığı çözünürlüğü artırmak için kullanmıyor olsak da, yapay açıklıkla veri topladığından

menzil-Doppler haritasını elde etmek için SAR sinyal işleme yöntemleri uygulanmıştır:

1. Darbe Sıkıştırması
2. Menzil Göç (Range Migration) Düzeltmesi
3. Fazın İkinci Derece Eğilimin Düzeltmesi
4. Doppler Sıkıştırması

İnsan spektrogramı menzil-Doppler haritasından hesaplanır. İlk önce hedefin olduğu menzildeki yavaş-zaman eksenini üzerinden bir kesit alınır. Sonra bu kesitin kısa zaman dilimlerinin hızlı Fourier dönüşümünün ard arda dizilmesiyle spektrogram oluşturulur. Gürültüsüz insan spektrogramın bir örneği Şekil 2a'da gösterilmektedir. Şekil 2a'daki kırmızı renkli sinüs yapı gövde yansımalarından kaynaklanmaktadır. Diğer yapılar ise diğer vücut parçalarının hareketinden kaynaklanmaktadır. Örneğin en büyük sallanma genliği olan tepki ayaklara karşılık gelmektedir.



Şekil 2: a) Tipik bir insan spektrogramı. b) FYR çizelgesi

Spektrogramda görülen dönemliliğin niceliğini ölçebilmek için her bir frekans için zaman üzerinde hızlı Fourier dönüşümü alınmıştır. Gövde yaklaşık sabit bir hızla ilerlediği için, Frekans-Yürüme Ritmi (FYR) çizelgesinde sıfır ritimde ve yürüme hızına bağlı sabit bir frekansta görülmektedir. Bacakların ritmi ise frekansdaki (f_m) ilk zirveyi oluşturmaktadır. İkinci ve üçüncü harmonikler ise diğer vücut parça hareketlerinden kaynaklanmaktadır. Otero [8] yürüme hızını (v), adım uzunluğunu (l_s), ve uzanti-gövde (U/G) radar kesit oranını FYR çizelgesi kullanarak şu şekilde hesaplamayı önermiştir:

$$v = \frac{cf_{Dgovde}}{2f_c} \quad (4)$$

$$l_s = \frac{v}{f_m} \quad (5)$$

$$U/G \text{ Oranı} = \frac{\sum RCS_{uzanti}}{RCS_{govde}} \quad (6)$$

Ayrıca, Otero bu parametrelerin aldığı değerlerin köpek ve insan arasında veya kadın ve erkek arasında farklılık belirttiklerini göstermeye çalışmıştır. Mesela, bir köpeğin bacakları gövdesine göre küçüktür, fakat insanların bacakları gövdesine göre çok daha uzundur. Dolayısıyla hesaplanan U/G oranının köpek ve insan için çok farklı olması beklenir ve bu fark insan tanıma için kullanılabilir.

Kadını erkekten ayırt edebilmek için de ortalama büyüklük farkı kullanılabilir. İkinci bölümde yürüme modelinin temel

parametrelerinden birinin bel uzunluğu olduğu belirtilmiştir. Bel uzunluğu (HT) Otero'nun önerdiği özelliklerden insan modelinin denklemleriyle birleştirerek şu şekilde hesaplanabilir:

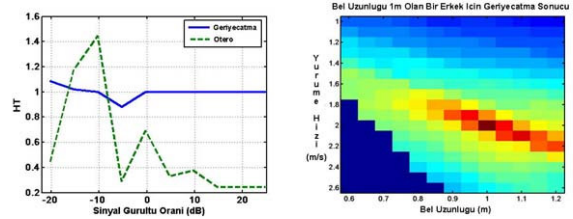
$$HT = \left(\frac{4}{1.346^2} \right) \frac{v}{f_m} \quad (7)$$

Ancak pratikte FYR'a dayanarak yapılan parametre hesapları güvenilir sonuçlar vermemektedir. Simülasyonlarımızda 4 saniye süren spektrogramlar incelendiğinde bile bu süre net bir FYR çizelgesi verecek kadar uzun olmadığından kestirilen parametre değerleri de yanıltıcı olabilmektedir. Otero'nun önerdiği kestirim yönteminin çalışabilmesi için çok uzun süreli bir veri alınıp insan yürüme ritim frekansının daha doğru kestirilmesi gerekmektedir. Fakat çoğu radar sistemlerinde bir hedef üzerinde çok uzun bir süre veri almak mümkün olmadığından Otero'nun yöntemi kısa zamanlı veriler için çok kullanışlı olmamaktadır (Şekil 3a).

Otero yöntemi yerine 'geriyeçatma' metodu kullanılarak kısa zamanlı verilerde dahi başarılı parametre kestirimleri elde edilmiştir (Şekil 3a). Geriyeçatma metodunda bütün spektrogram HT ve hız parametrelerinin kestirimi için kullanılmaktadır. Thalmann modelini kullanarak, çeşitli hız ve bel yükseklikleri için beklenen spektrogram hesaplanmakta ve ölçülen spektrogramda beklenen spektrograma karşılık gelen veriler toplanarak bir istatistik elde edilmektedir. Beklenen spektrogram ölçülen spektrogram ile tam denk olunca istatistik en yüksek değerini almaktadır (Şekil 3b). Böylece hem insanın radyal hızı hemde bel yüksekliği kestirilebilmektedir.

4. Cinsiyet Ayırıştırma Sistemi

Geriyeçatma metoduyla tahmin edilen HT değeri Neyman-Pearson dedektöründe cinsiyet keşfinin test istatistiğini hesaplamak için kullanılmaktadır. İnsanların boyu Gauss dağılımına uyduğu için, kadınların ve erkeklerin bel yüksekliklerinin dağılımı da Gauss olarak modellenmiştir. Böylece dedektörün uyguladığı test şu şekilde ifade edilebilir:



Şekil 3: a) Geriyeçatma ve Otero metodlarının performans karşılaştırılması. b) Bel yüksekliği 1 m ve hızı 2 m/s olan bir insan için geriyeçatma metodunun verdiği sonuç.

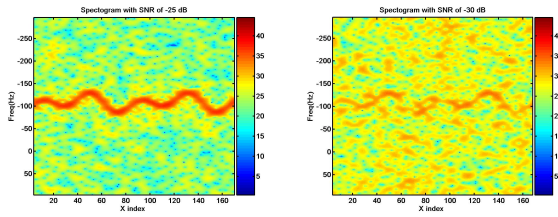
$$\frac{(HT - \mu_2)^2}{\sigma_2^2} - \frac{(HT - \mu_1)^2}{\sigma_1^2} > 2 \left(0.5 + \ln \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2} \right) \right) \quad (7)$$

Burada $\mu_{1,2}$ ve $\sigma_{1,2}$ bayan ve erkeğin bel yükseklik dağılımının ortalaması ve varyansdır. Gürültüsüz ortamda bel yükseklikleri rastgele seçilen 100,000 kişi içinden erkekler

%83.97 oranda doğru tespit edilirken ve bayanlar ise %91.11 oranda doğru olarak bulunmuştur.

5. Spektrogramın Kısıtlamaları

Şu noktaya kadar spektrogramın insan özelliklerini çıkartabilmek için kullanılabilirliğini inceledik. Bunu yaparken hedefin bulunup insan olarak nitelendirilmiş olduğu varsayımını yaptık. Gürültü ve parazit yansımaların az olduğu durumlarda yada yakın mesafelerde insan bulma bir problem teşkil etmemektedir. Ancak çok gürültülü veya uzak mesafeler için spektrogram-temelli yöntemler yetersiz kalmaktadır. Şekil 5'de gürültü, spektrogramı nerdeyse tamamen örterek kullanışsız hale getirmiştir.



Şekil 5: İnsan spektrogramı. a) SNR=-25dB. b) SNR=-30dB.

Ayrıca, spektrogram yöntemi sadece doğrusal sinyal fazları için optimal uyumlu süzgeçleme sonucu vermektedir. Halbuki, insan yansıma sinyalinin fazı ikinci derecedendir. Gerçek fazın ideal uyumlu süzgeçlenmesine göre spektrogramın SNR kaybı şu şekilde ifade edilebilir:

$$SNR_{kaybi} = \frac{SNR_{spek}}{SNR_{ideal}} = \frac{|S_{h,dog}^H S_{h,hedef}|^2}{|S_{h,hedef}^H S_{h,hedef}|^2} = |k|^2 < 1 \quad (9)$$

$$\text{Burada } N \text{ veri noktası için } k = \frac{1}{N} \left[1 + \sum_{i=1}^{N-1} e^{j(\theta_i - i\phi)} \right] < 1$$

çünkü hedefin gerçek fazı ile spektrogramın doğrusal fazı farklıdır.

Thalmann modelini kullanarak hedefin gerçek fazına uyumlu bir süzgeç uygulayabilmek mümkün ancak bunun için bir kaç kritik parametrenin değerlerini bilmek gerekmektedir - örneğin, insanın pozisyonu, hızı ve büyüklüğü - ki bu parametrelerin hiçbiri bilinmemektedir. Bu durumda doğru parametre değerlerini seçecek bir süzgeç bankası uygulamak zorunda kalıyoruz. Böyle bir süzgeç bankası örnekleme inceliğine göre binlerce süzgeçten oluştuğu için hem yavaş olmakta hem de büyük miktarda hafıza harcamaktadır. Ancak parametreleri başka yöntemlerle yaklaşık olarak tahmin edebilirsek iteratif bir şekilde bu tahminleri ayarlayarak uyumlu süzgeç çıktısını büyütebilmek mümkündür. Bu süreci insanın başka özelliklerini niteleyen parametrelere genişleterek sadece insan bulma problemi değil aynı zamanda insan tanıma problemi de çözülebilir.

6. Sonuç

12-noktalı yürüyen insan modeliyle spektrogram analizi yapılarak insan bulma ve tanıma problemi incelenmiştir. Otero'nun parametre kestirim metodunun yerine geriyeçatma yöntemi uygulanmıştır. Tahmin edilen parametreyi kullanarak bir cinsiyet ayrıştırma sistemi tasarlanmıştır. Ancak spektrogram-temelli yöntemler doğrusal faz varsayımını kullandığı için ikinci dereceli faza sahip insan hedefleri için en iyi çözüm değildir. İdeal uyumlu süzgeci uygulamak için de hızlı yinelemeli bir yöntem hedeflenmiştir.

7. Kaynakça

- [1] Yarvoy, A.G., Lighthart, L.P., Matuzas, J., and Levitas, B., "UWB radar for human detection", *IEEE Aerospace and Electronic Sys. Mag.*, 21(3):10-14, 2006.
- [2] Falconer, D.G., Ficklin, R.W., and Konolige, K.G., "Robot-mounted through-wall radar for detecting, locating and identifying building occupants", *IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation*, 2:1868-1875, 2000.
- [3] Sabatini, A.M., and Colla, V., "A method for sonar based recognition of walking people", *Robotics and Autonomous Systems*, 25:117-126, 1998.
- [4] Geisheimer, J.L., Grenaker, E.F., and Marshall, W.S., "A high-resolution doppler model of human gait", *Proc. of SPIE*, Vol. 4744, 2002.
- [5] Van Dorp, P., and Groen, F.C.A., "Human walking estimation with radar", *IEE Proc. on Radar, Sonar and Nav.*, 150(5):356-365, 2003.
- [6] Boulic, R., Thalmann, M.N., and Thalmann, D., "A global walking model with real-time kinematic personification", *Vis. Comput.*, 6:344-358, 1990.
- [7] Grenaker, G., "Very low cost stand-off suicide bomber detection system using human gait analysis to screen potential bomb carrying individuals", *Proc. of SPIE*, Vol. 5788, 2005.
- [8] Otero, M., "Application of a continuous wave radar for human gait recognition", *Proc. of SPIE*, Vol. 5809, pp. 538-548, 2005.
- [9] http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Human/Human_sizes.html