

Durağan İnsan Hedef Yankılarının İnsan Benzeri Hedef Yankılarından Ayrıştırılması

Yunus Emre Acar, İsmail Sarıtaş, Ercan Yıldız*
Selçuk Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Konya
yacar@selcuk.edu.tr, isaritas@selcuk.edu.tr,

*Konya Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Konya
eyaldiz@ktun.edu.tr

Özet: Radar ile engel arkasındaki insan hedefleri algılanmak istendiğinde, sistemsel ve çevresel birçok nedenle hayalet hedefler oluşmaktadır. Bu yanlış hedeflerin tespit edilmesi ve elenmesi birçok uygulama için büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada engel arkasındaki hedeflerin algılanması amacıyla homodin yapıda bir Adım Frekanslı Sürekli Dalga Radar inşa edilmiştir. Deneyler hareketli plaka ve insan hedefleri ile gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, hedeflerin Doppler-meniz profilleri elde edilmiştir. Sonra, bu profillerin yönelimli gradyanlarının histogramları özellik olarak çıkarılmıştır. İnsan ve insan olmayan hedefler bu özellikleri kullanarak Destek Vektör Makinesi ile sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma doğruluğu % 94.05 olarak kaydedilmiştir.

Abstract: When human targets behind the wall are attempted to be detected by radar, ghost targets occur for many systematic and environmental reasons. Identifying and eliminating these false targets is of great importance for many applications. In this study, a homodyne Step Frequency Continuous Wave Radar has been constructed to detect the targets behind the wall. Experiments have been carried out with moving-plate and human targets. First, the Doppler-range profiles of the targets have been obtained. Then, Histograms of Oriented Gradients of these profiles have been extracted as feature. The human and non-human targets are classified by Support Vector Machine by using these features. The accuracy of the classification has been recorded as 94.05%.

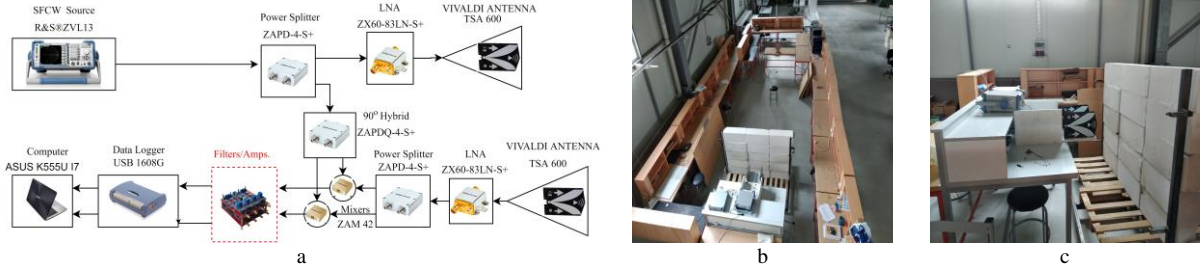
1. Giriş

Son yıllarda, insan hedefli birçok uygulamada radarlar alternatif sistemlere karşı öne çıkmaktadır. Mesafe tespiti, konumlandırma, hayati sinyal izleme ve hareketlerin sınıflandırılması gibi uygulamalar için radar araştırmacıları birçok sistem ortaya koymuştur. Sadece hayati sinyal izlemenin amaçlandığı çalışmalarda Sürekli Dalga (SD) radarları uzun yıllardır kullanılırken, mesafe tespiti için de ultra-geniş bant radar yoğun şekilde çalışılmıştır. Son birkaç on yılda ise Frekans Modüleli Sürekli Dalga (FMSD) radarları ve Adım Frekanslı Sürekli Dalga (AFSD) radarları hem mesafe hem de hız tespitine olanak sağladıkları için öne çıkmaktadır [1-4]. AFSD radarlarda bant genişliğinin daha fazla olabilmesi daha yüksek meniz çözünürlüğü sağlarken, FMSD radarlar tarama sürelerinin daha kısa olması nedeniyle daha kısa gözlem süreleriyle çalışabilmektedir [4]. Bu iki yapının birbirlerine karşı farklı avantaj ve dezavantajları olsa da donanımsal olarak birbirlerine çok benzemektedir. Hem FMSD hem de AFSD radarlar homodin ya da heterodin yapıda inşa edilebilmektedir. Heterodin yapılar yüksek frekanslı geri dönüş sinyalinin ara bir frekansa düşürerek DC gürültü ve dağınıklık reddine daha kolay çözüm sunarken, homodin yapılar geri dönüş sinyalinin doğrudan temel banda düşürdükleri için donanım karmaşıklığı, maliyet ve fiziksel büyüklük açısından avantajlıdır [5].

Bu çalışmada, yukarıda verilen bilgiler göz önüne alınarak, insan hedeflerini tespit edebilecek bir radar yapısı oluşturulmuştur. Bu yapı, daha önce [6] oluşturduğumuz yapının engel arkasındaki hedeflerin tespiti için güncellenmiş halidir. Önceki çalışmamızda [6], radarın doğrudan görüş alanındaki hedeflerin radyal mesafeleri tespit edilmiş ve hayati sinyalleri çıkarılmıştır. Bazı deneylerde hayalet hedefler oluşmuş ve bu sistem performansına olumsuz etki etmiştir. Bu çalışmamızdaki temel motivasyon, insan hedefleri ile benzer geri dönüş sağlayan yankı ve hedefleri ayrıştırabilmektir. Bu amaçla, deneylerde hedef olarak insan göğüs kafes hareketini taklit eden hareketli plaka düzeneği ve gerçek insan kullanılmıştır. Hedefler iki ayrı sınıf olarak değerlendirilmiştir. Hedeflere ait Doppler-meniz profilleri görüntü olarak kaydedilmiş ve sınıflandırma bu görüntüler ile gerçekleştirilmiştir.

2. Radar Mimarisi

Bu çalışma için kullanılacak donanım, [6]'da paylaşılan yapıya filtre ve yükselteç bloğu eklenerek oluşturulmuştur. Bu sayede alıcı tarafta sinyal yaklaşık 100 kat güçlendirilmiş ve 10 kHz kesim frekanslı 7. dereceden eliptik alçak geçiren filtre ile filtrelenmiştir. Oluşturulan radar yapısının blok şeması, deney ortamının üstten ve yandan görüntüleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1 Oluşturulan radarın blok şeması (a), deney ortamının üstten (b) ve yandan görüntüsü (c)

Şekil 1'de verildiği üzere sinyal kaynağı olarak Vektör Ağ Analizörü kullanılmıştır. 2-4 GHz arasında, 101 noktalı frekans taraması yapılmıştır. Bu sinyal, bir kısmı verici anten ile ortama yaymak, bir kısmı da I/Q demodülasyon yapısında kullanılmak üzere ikiye ayrılmıştır. Alıcı ve verici anten olarak özdeş Vivaldi antenler kullanılmıştır. Verici anten öncesinde ve alıcı anten sonrasında yine özdeş düşük gürültülü yükselteçler ile sinyaller yükseltilmiştir. I/Q demodülasyon yapısıyla alınan sinyal eş-fazlı ve kuadratik fazlı bileşenlere ayrılmıştır. Temel bantta yükseltilip filtrelenen sinyaller 20 kHz örnekleme frekansı ile sayısallaştırılarak bilgisayara aktarılmıştır.

3. Yöntem

Homodin yapıda bir AFSD radar ile durağan bir insan hedefi tespit edilmek istendiğinde, karıştırıcı çıkışındaki temel bant I ve Q sinyalleri aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [7].

$$I_i(t) = \cos\left(-\frac{4\pi}{\lambda}(R + x(t))\right) \quad (1)$$

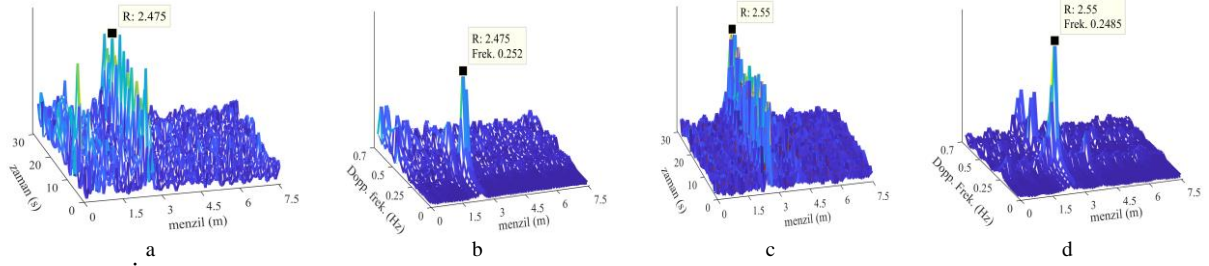
$$Q_i(t) = \sin\left(-\frac{4\pi}{\lambda}(R + x(t))\right) \quad (2)$$

Burada i taranan frekans indisini gösterirken, λ dalga boyuna, R hedefin radyal mesafesine ve $x(t)$ durağan hedefin titreşimsel yer değiştirmesine karşılık gelmektedir. Eşitlik (1) ve (2)'den de açıkça görüldüğü üzere hedefin mesafe bilgisi temel bant sinyalinin fazını çıkararak elde edilebilir. Yalnızca bir kanal kullanıldığında (I ya da Q) bazı menzil değerleri için kör noktalar oluşur ve menzil tespit edilemez [4]. Bu nedenle I ve Q kanallarının birlikte kullanıldığı arktanjan dönüşümü [8] ve karmaşık FFT/IFFT yöntemleri [9, 10] literatürde oldukça yaygındır. Bu çalışmada, kör noktaları önlemek için öncelikle I ve Q sinyalleri birlikte kullanılarak karmaşık bir $C = I + jQ$ sinyali üretilmiştir. Bu sinyal, her bir frekans taramasının geri dönüşü bir satıra yerleşecek şekilde matris formuna dönüştürülmüştür. Bu matrisin satırlarına IFFT uygulanarak hedefin yavaş zaman- menzil matrisi çıkarılmıştır. Menzil matrisinin hızlı zaman (menzil) eksenine 2-hat gecikme iptali yöntemi uygulanarak durağan yansımalar elenerek duvarın etkisi azaltılmış ve hedef belirginleştirilmiştir. 2-hat gecikme iptali yöntemi aşağıda verilen eşitlikteki gibi uygulanmıştır.

$$RM[i, n] = RM[i, n + 2] - 2 \times RM[i, n + 1] + RM[i, n] \quad (3)$$

Burada RM menzil profilini ifade ederken, i, n çifti sırasıyla yavaş zaman ve hızlı zaman (menzil) indisleridir. Oluşan RM matrisinin yavaş zaman ekseninde FFT uygulanarak, Doppler-menzil profili DP elde edilmiştir. Duvarın 2.5 m arkasına konumlandırılmış, gerçek insan hedefi ve hareketli plaka hedefine ait RM ve DP görselleri Şekil 2'de verilmiştir. Plaka hedefinin frekansı, insan hedefinin nefes alma sıklığına benzer şekilde 0.25 Hz olarak ayarlanmıştır.

İnsan ve plaka hedeflerinin ayrıştırılması için görüntülerinin önce Yönelimli Gradyanlarının Histogramı (YGH) özellikleri çıkarılmıştır. Daha sonra bu özellikler Destek Vektör Makinesi (DVM) sınıflandırıcısı ile sınıflandırmıştır.



Şekil 2 İnsan hedefin RM (a) ve DP (b) görüntüleri, plaka hedefinin RM (c) ve DP (d) görüntüleri

4. Sonuçlar

İnsan ve plaka hedeflerinden alınan 30 saniyelik sinyaller bölüm 3'te anlatılan işlemler sonrasında görüntü formatına dönüştürülmüştür. Hem insan hem de plaka hedefleri 1.5-3.3 m arasında farklı radyal uzaklıklara konumlandırılmışlardır. Her iki hedef için de 42 adet ölçüm yapılmıştır. Toplam 84 görüntü ile sınıflandırma gerçekleştirilmiş olup, 5-katlamalı çapraz doğrulama ile sonuçlar doğrulanmıştır. YGH özelliği çıkarırken kullanılan pencere boyutunun farklı değerleri için sonuçlar kaydedilmiştir. Karmaşıklık matrisleri Çizelge 1'de verilmiştir (İ: insan, P: plaka).

Çizelge 1 Farklı YGH pencere boyutları için sınıflandırma sonuçları

Pencere boyutu= 2x2				Pencere boyutu= 2x4				Pencere boyutu= 4x4				Pencere boyutu= 4x8			
Doğruluk= %92.86		Gerçek Sınıf		Doğruluk= %94.05		Gerçek Sınıf		Doğruluk= %94.05		Gerçek Sınıf		Doğruluk= %86.90		Gerçek Sınıf	
		İ	P			İ	P			İ	P			İ	P
Tahmin Edilen Sınıf	İ	41	1	Tahmin Edilen Sınıf	İ	42	0	Tahmin Edilen Sınıf	İ	42	0	Tahmin Edilen Sınıf	İ	38	4
	P	5	37		P	7	35		P	7	35		P	7	35

Çizelge 1'deki sonuçlar, Doppler-menzil profillerinin YGH metodu ile çıkarılan özelliklerinin insan ve insan benzeri yankılar oluşturan hedefleri ayırmada kullanılabileceğini göstermektedir. Farklı özellik çıkarma ve sınıflandırma yöntemlerinin performansı çalışmanın genişletilmiş halinde ele alınacaktır.

Kaynaklar

- [1] Su W., Tang M., Arif R. E., Horng T., ve Wang F., "Stepped-frequency continuous-wave radar with self-injection-locking technology for monitoring multiple human vital signs," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, s. 1-10, 2019.
- [2] Li Y.-C., Oh D., Kim S., ve Chong J.-W., "Dual channel S-band Frequency modulated continuous wave through-wall radar imaging," Sensors, cilt 18, no. 1, s. 311, 2018.
- [3] Han K. ve Hong S., "Phase-extraction method with multiple frequencies of FMSD Radar for human body motion tracking," IEEE Microwave and Wireless Components Letters, cilt 30, no. 9, s. 927-930, 2020.
- [4] Amin M., Radar for Indoor Monitoring: Detection, Classification, and Assessment. CRC Press, 2017.
- [5] Nguyen C. ve Park J., Stepped-frequency radar sensors: theory, analysis and design. Springer, 2016.
- [6] Acar Y. E., Saritas I., ve Yaldiz E., "An experimental study: Detecting the respiration rates of multiple stationary human targets by stepped frequency continuous wave radar," Measurement, cilt 167, s. 108268, 2021.
- [7] Wehner D. R., High Resolution Radar, Norwood, MA, Artech House, Inc., 1987.
- [8] Seflek I., Acar Y. E. ve Yaldiz E., "Small motion detection and non-contact vital signs monitoring with continuous wave doppler radars," Elektronika ir Elektrotehnika, cilt 26, no. 3, s. 54-60, 2020.
- [9] Acar Y. E., Yaldiz E. ve Saritaş İ., "An algorithm to detect the vital signs of multiple humans in the presence of high static clutters," International Conference on Advanced Technologies (ICAT'19), Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, s. 373-378, August 26-30, 2019.
- [10] Y. E. Acar, I. Seflek, ve E. Yaldiz, "Wavelet Based Denoising of the Simulated Chest Wall Motion Detected by AFSD Radar," Advanced Electromagnetics, cilt 8, no. 2, s. 85-91, 2019.