

Veri Bağımlı Mikro-Doppler Öznitelik Seçimi

Data-Dependent Micro-Doppler Feature Selection

Barış Erol¹, Bahri Çağlıyan^{1,2}, Bürkan Tekeli¹, Sevgi Zübeyde Gürbüz^{1,3}

¹TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi., Ankara, Türkiye

²TÜBİTAK İleri Teknolojiler Araştırma Enstitüsü, Ankara, Türkiye

³TÜBİTAK Uzay Teknolojiler Araştırma Enstitüsü, Ankara, Türkiye

bariserol@etu.edu.tr, bahri.cagliyan@tubitak.gov.tr, btekeli@etu.edu.tr, szgurbuz@etu.edu.tr

Özetçe—Mikro-Doppler imzalarının sınıflandırılması için pek çok sayıda öznitelik önerilmektedir. Ancak öznitelik setlerinin sınıfları belirlemedeki katkı dereceleri operasyonel değişimlere -anten hedef açısı, sinyal-gürültü oranı (SNR), hedef üzerinde odaklanma süresi (dwell time)- bağlı olarak değişmektedir. Bundan dolayı, tüm öznitelik setinin her durum için kullanılması optimal sınıflandırma başarımına ulaşılması anlamına gelmemektedir. Bazı durumlarda Gürbüz özniteliklerden seçilmiş öznitelik kümeleri daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada, bazı operasyonel değişimler altında mikro-doppler özniteliklerinin değişimleri incelenmiş ve buna göre öznitelik seçimi uygulanmıştır. Veriye bağlı olarak ortaya çıkartılan öznitelik kümesi ile herhangi bir öznitelik seçimi yapılmayan durumda ortaya çıkan sınıflandırma sonuçları karşılaştırılmıştır. Farklı operasyonel durumlar için ortaya çıkan sonuçlar incelendiğinde veriye bağlı olarak iyi seçilmiş bir öznitelik kümesinin daha yüksek başarımla sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler- Mikro-Doppler imzaları, öznitelik seçimi, insan hareket tanıma

Abstract—A vast number of features have been proposed over the years for classification of radar micro-Doppler signatures. However, the degree to which a feature may contribute in discriminating between classes depends upon a variety of operational considerations, such as antenna-target aspect angle, signal-to-noise ratio (SNR), and dwell time. Moreover, utilization of all features in every circumstance does not necessarily ensure optimal classification performance. Oftentimes a well-selected subset of robust features yield better results. In this work, the variance of micro-Doppler feature estimates are examined under a variety of operational conditions and used to select feature subsets. The classification performance of data-dependent feature subsets are compared to that attained without any feature selection. Results show that data-dependent feature selection yields higher correct classification rates over a wider range of operational situations.

Anahtar Kelimeler- Micro-Doppler signatures, feature selection, human activity classification

GİRİŞ

Geçtiğimiz on yıl içinde, otomatik hedef tanıma için bir hedefin mikro-Doppler imzasının kullanılması yoğun araştırılan bir konu haline gelmiştir. Radar ile tespit edilen bir cismin dönen veya titreşen küçük hareketli parçaları geri yansıyan radar sinyalinde frekans kiplemesine neden olmaktadır. Hedefin radyal hareketinden kaynaklı Doppler frekans kaymasına ek olarak yan bantlar oluşturan bu etkiye “Mikro-Doppler” etkisi denir. Örneğin, helikopterin pervanelerinin dönmesi, bir aracın

tekerlerinin hareketi gibi hareketler birbirinden farklı mikro-Doppler imzaları yaratmaktadır. Aslında, dört ayaklı hayvanlar, kuşlar ve insanlar gibi biyolojik hedef hareketlerinin mikro-Doppler imzaları özgün olduğundan hedef tanınması ve sınıflandırılması uygulamalarında kullanılabilir.

Literatürde mikro-Doppler imzalarının kullanılarak yapılan sınıflandırma çalışmaları için birçok öznitelik önerilmiştir. Ancak sınıflandırma sonuçları hedefin radarın karşısında ve radara doğru hareket etmesi (görüş açısı 0°), yüksek SNR değerleri kullanılarak ve uzun durma süreleri (dwell-time) için sunulmuştur. Birçok çalışmada, öznitelikler gözlemsel olarak çıkarılmakta ve sınıflandırıcıya girdi olarak verilmektedir ancak bunlardan farklı olarak bir çalışmada boyut indirilmesi yapılmak amacıyla Temel Bileşen Analiz (PCA) yöntemi kullanılmıştır [1]. Boyut indirilmesi yapıldıktan sonra çıkarılan sınıflandırma başarımları, optimal sınıflandırma başarımları için bütün özniteliklerin kullanılmasının gerekli olmadığını fakat özenle seçilmiş öznitelik kümelerinin kullanılması gerektiğini göstermiştir [2-3].

PCA ve Linear Discriminant gibi öznitelik çıkarım teknikleri orjinal öznitelik setini daha küçük boyutlu öznitelik kümelerine indirir. Bu yüzden seçilen yeni öznitelik kümesi orjinal öznitelik setinin alt kümesi olmaktadır. Radar mikro-Doppler imzalarından çıkarılan özniteliklerin birbirinden farklılık derecesi işlevsel olarak antenle hedef arasındaki görüş açısı, sinyal-gürültü oranı (SNR) ve kalış süresi gibi parametrelere bağlı olmaktadır.

Bu bildirinin amacı farklı operasyonel koşullar altında çıkartılan özniteliklerin değişimlerini incelemek ve öznitelik seçimi ile sınıflandırma başarımlarını arttırmaktır. Bildirinin ikinci bölümünde Mikro-Doppler imza veri tabanı, üçüncü bölümünde çıkartılan öznitelikler, dördüncü bölümde özniteliklerin görüş açısı, SNR ve hedef üzerinde kalma süresine göre değişimleri, beşinci bölümde ise belirlenen operasyonel koşullar altında ortaya çıkan sınıflandırma sonuçları anlatılmaktadır.

MİKRO-DOPPLER İMZA VERİ TABANI

Bu çalışmada, veri tabanı olarak KinectTM sensörü ile oluşturulan insan mikro-Doppler imzaları kullanılmıştır. Literatür incelendiğinde insan mikro-Doppler imzalarının simüle edilmesi için iki ana yöntem bulunmaktadır: Kinematik model tabanlı yaklaşımlar ve hareket yakalama (MOCAP) tabanlı yaklaşımlar. Boulic modeli genel olarak kullanılan bir kinematik model yapısıdır [4], ancak bu model yalnızca yürüme hareketleri için

geçerlidir; aynı boy ve hıza sahip denekler için aynı imzayı üretmektedir. Belirtilen durumlar dışında bu model ile veri elde edilememektedir.

Buna karşılık, MOCAP tabanlı imzalar her türlü insan aktivitesi için üretilebilmekte ve kişiye bağlı olan farklılıkları imzalarda ortaya çıkarabilmektedir; çünkü alınan veriler zamana bağlı olarak her denek için ayrıdır. MOCAP sistemleri, OpenStage2 Organic Motion [5] veya MVN/BIOMECH Xsens [6], hassas ölçüm yapabilen masraflı sistemlerdir. Masrafı az ancak hassaslığı düşük olan KinectTM -video ve infrared sensörlerinden oluşan [7]- insan mikro-Doppler imzalarının oluşturulması için kullanılmaktadır.

Kinect sensörü derinlik ölçümlerine bağlı olarak insan iskeletini tanımlayan noktaların zamanla değişen pozisyon bilgilerini oluşturmaktadır. Bu ölçümler ile her bir iskelet noktası hedef alınarak radar dönüş sinyali -darbe Doppler radar için iletilen sinyalin sadece zaman alanında frekans kaymalı gecikmiş kopyası- olarak modellenmektedir. Birçok çalışmada süperpozisyonun insan dönüşleri için etkin olduğu gösterilmiştir [8]. Bundan dolayı, tüm insan vücudunun radar dönüş sinyali tüm iskelet noktalarından dönen sinyallerin toplamı olarak hesaplanmaktadır:

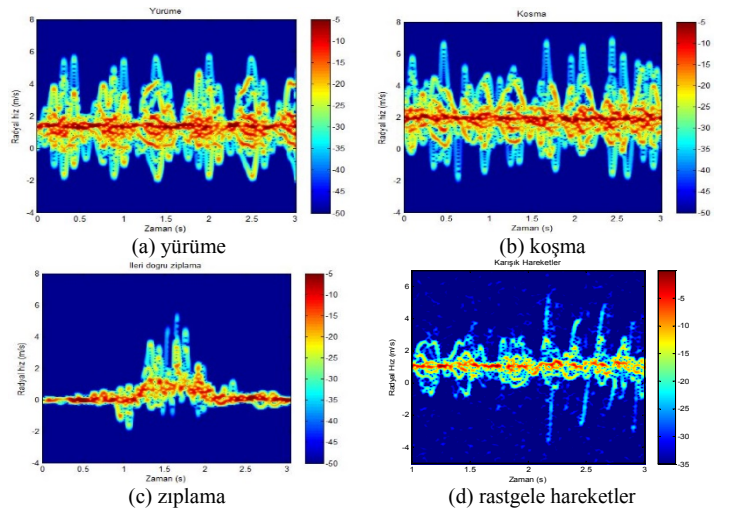
$$s_h(n, t) = \sum_{i=1}^{10} a_{t,i} \text{rect}\left(\frac{\hat{t} - t_{d,i}}{\tau}\right) e^{j[-2\pi f_c t_{d,i} + \pi \gamma (\hat{t} - t_{d,i})^2]} \quad (1)$$

burada zaman t darbe tekrarlama sıklığı (PRI) cinsinden ifade edilmiş $t = T(n - 1) + \hat{t}$, T , darbe sayısı, n , ve her bir PRI başlangıcına bağlı olarak zaman, \hat{t} ; $a_{t,i}$ ve $t_{d,i}$ her bir vücut parçasından dönen sırasıyla genlik ve zaman gecikmesini temsil etmektedir; τ darbe uzunluğu; c ışık hızı; γ chirp eğimi; f_c iletilen sinyalin merkez frekansını temsil etmektedir.

Benzetimlerde kullanılan radar, taşıyıcı frekansı 15 GHz, darbe tekrarlama sıklığı 2400 Hz, menzil çözünürlüğü ise 1 m olan monostatik bir radardır. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşüm (KZFD) işlemi, 512 noktalı Hamming pencereleri üzerinden 256 noktada örtüşme olacak şekilde alınmıştır. Kullanılan Hızlı Fourier Dönüşümü uzunluğu 1024'tür. Çalışmada dört farklı insan hareketi için ölçümler yapılmıştır: yürüme, koşma, zıplama ve rastgele hareketler. Her bir aktivite 9 saniyelik süre aralığında alınmış olup 4 farklı insan verisi toplanmıştır. Örnek mikro Doppler imzaları Şekil 1'de gösterilmektedir.

ÖZNETELİK ÇIKARIMI

Yüksek başarımlı performansı elde etmek için hassas öznetelik çıkarımı büyük önem arz etmektedir. Bu bölümde çıkarılan Mikro-Doppler öznetelikleri verilmektedir. Çıkarılan öznetelikler sırasıyla; Fiziksel öznetelikler (Mikro Doppler spektrogramlarından ve türevlerinden çıkarılan öznetelikler) ortalama radyal gövde hızı, gövde salınımlarının bant genişliği, üst zarfın ortalama değeri, üst zarfın maksimum değeri, alt zarfın ortalama değeri, alt zarfın maksimum değeri, temel hareket frekansı, 2. ve 3. harmonikler. Konuşma ve transform tabanlı öznetelikler ise cepstrum katsayıları, doğrusal tahmin kodlama (LPC) katsayıları, ayrık kosinus transform katsayılarıdır.



Şekil 1. Kinect sensörle oluşturulmuş değişik insan Mikro Doppler İmzaları

VERİ BAĞIMLI ÖZNETELİK SEÇİMİ

Mikro-Doppler imzalarından çıkartılan özneteliklerin sınıf ayırıcılık dereceleri operasyonel koşullara - anten görüş açısı, SNR, hedef üzerinde kalma süresi - bağlı olarak değişmektedir. Anten görüş açısı radar tarafından ölçülen radyal hızı etkileyen geometrik bir parametredir. Radyal hız ile kaydedilen Doppler frekans verisi arasında direk bir bağlantı bulunmaktadır. Hedefin ortalama hızı hedef Doppler frekans ortalamasına, Doppler bant genişliği ise kolların ve bacakların periyodik hareketleri sonucu Mikro-Doppler imzasında oluşan kiplemelere karşılık gelmektedir. Radyal hız azaldıkça kolların ve bacakların periyodik salınımları daha az olacağından Mikro-Doppler bant genişliği azalmaktadır. Sonuç olarak daha sıkışık bir Mikro-Doppler imzası ortaya çıkmakta ve buna bağlı olarak çıkartılan öznetelikler ayırıcı özelliklerini kaybetmektedirler. Hedef üzerinde kalma süresinin kısa olması durumunda ise Mikro-Doppler imzası üzerinde periyodikliğin yakalanması zorlaşacağından özneteliklerin ayırıcılıkları azalmaktadır. Hedefin uzak mesafe de olması durumunda ise Mikro-Doppler imzası üzerine menzile bağlı gürültü ekleneceğinden öznetelik çıkartılması zorlaşacaktır. Bu bölümde çıkartılan grafikler belirli öznetelikler için oluşturulmuş olup operasyonel koşulların etkilerini göstermektedir.

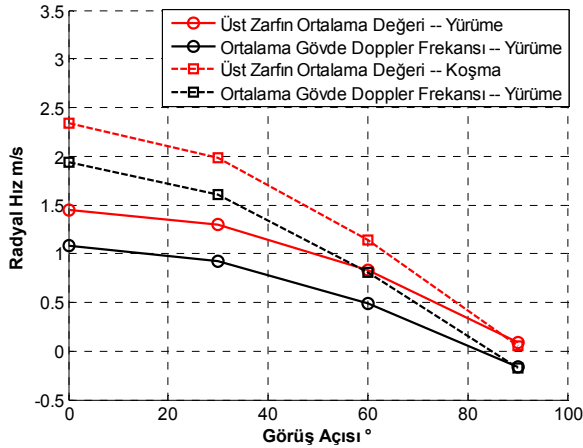
A. Anten Açısına Bağlılık

Şekil 2'de, üst zarfın ortalama değeri ve ortalama gövde hızı değişimleri, değişik iki hareket için görüş açısına bağlı bir fonksiyon olarak gösterilmiştir. Görüş açısı 0° olduğu durumda hedef direk olarak radara doğru yürümektedir. Buna bağlı olarak kullanılan özneteliklerin maksimum değerlerine ulaştığı ve sınıflara göre ayrıldığı görülebilmektedir. Ancak görüş açısı yükseldikçe Doppler bant genişliği ve ortalama mikro-Doppler imzaları arasındaki farklar azalmaktadır. Sonuç olarak, iki öznetelik hareketlerin değişik olmasına rağmen görüş açısı dolayısıyla aynı değere yakınsayacaktır. Şekil 2 incelendiğinde, özneteliklerin görüş açısı 30 dereceden büyük olduğu durumda maksimum değerlerinden uzaklaştığı görülmektedir. Şekil 2'de gösterilen öznetelikler 90 derecede ayırt edici özelliklerini kaybetmektedir.

Çıkarılan her bir öz niteliğin görüş açısına bağlılığı farklı olmaktadır. Burada örnek olarak verilen öz niteliklerde açığa bağımlılık fazla olurken çıkarılan diğer öz niteliklerin görüş açısına olan bağımlılıklarının daha az olduğu görülmektedir.

B. SNR'a olan Bağlılık

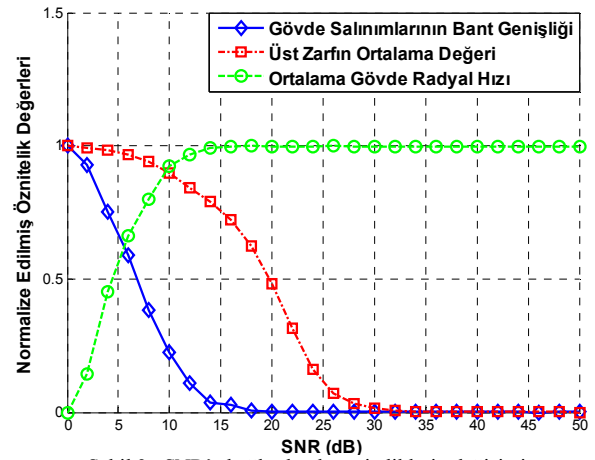
Çıkarılan öz niteliklerin SNR'a olan bağımlılıkları Şekil 3'de gösterilmektedir. Bu grafikte örnek olarak seçilen öz niteliklerden ortalama gövde hızı ve gövde salınım bant genişliği, üst zarfın ortalama değerine göre daha gürbüzdür. Grafik incelendiğinde bu iki gövdeye bağlı öz niteliğin yaklaşık olarak 15dB SNR'da gerçek değerlerine, diğer taraftan ortalama üst zarf öz niteliğinin yaklaşık olarak 30dB SNR'da gerçek değerine ulaştığı görülmektedir. Buradan kullanılan öz niteliklerin bazıları SNR'a daha hassas iken bazıları ise daha gürbüzdür. Bu durumda düşük SNR'da her öz niteliğin kullanılması başarımlı performansı olumsuz yönde etkileyecektir.



Şekil 2 Aynı kişinin yürüme ve koşma hareketlerinden çıkarılmış iki öz niteliğin görüş açısına göre aldıkları değerler

C. Hedef Üzerinde Kalma Süresine olan Bağlılık

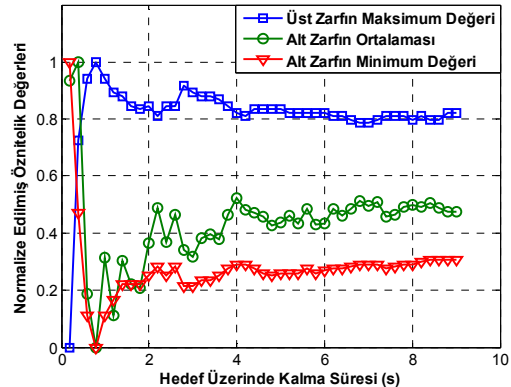
SNR'a olan bağımlılık gibi hedef üzerinde kalma süresine göre de çıkarılan öz niteliklerin davranışları değişecektir. Şekil 4 (a)'da fiziksel öz niteliklerden seçilen 3 tanesinin hedef üzerinde kalma süresine göre değerleri gösterilmiştir. Bu şekilde kolaylıkla anlaşılabilmesi gibi öz nitelik değerleri yaklaşık olarak 4 saniyeden sonra belli bir değerde sabit kalmaktadır. Bundan dolayı 1 saniye zaman aralığında inceleme yapılırsa öz niteliklerin varyansı çok yüksek olacağından başarımlı sonuçları da bu doğrultuda etkilenecektir. Şekil 4 (b)'de ise cadence-hız diyagramından çıkarılan 3 öz nitelik karşılaştırılmaktadır. Cadence diyagramları hareketlerin periyodikliği ile ilgili olduğundan 3 saniyeden düşük bir hedef üzerinde kalma süresinde Mikro-Doppler imzasında herhangi bir periyodiklik oluşmadığından öz niteliklerin varyansı çok yüksek olacaktır.



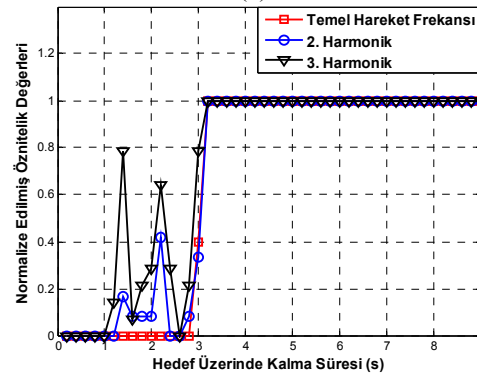
Şekil 3. SNR'a bağlı olarak öz niteliklerin değişimi.

SINIFLANDIRMA SONUÇLARI

Öz niteliklerin belirli operasyonel koşullar altında gösterdikleri ayrıntı dereceleri bir önceki bölümde işlenmiştir. Buradan çıkan sonuca bakıldığında belirli koşullar altında tüm öz nitelik setinin kullanılması sistemi kompleks hale getirecek ve büyük olasılıkla sınıflandırma başarımlı düşürecektir. Bundan dolayı önceden belirlenen operasyonel koşullar altında wrapper yöntemi kullanılarak [9] öz nitelik seçimi yapılmış ve elde edilen sonuçlar, tüm öz nitelik kümesi kullanıldığında ortaya çıkan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Operasyonel koşullar; görüş açısı 60° , SNR 20 dB ve hedef üzerinde kalma süresinin 1.5 saniye olarak belirlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4. Mikro-Doppler öz niteliklerinin hedef üzerinde kalma süresine olan bağımlılıkları

Belirtilen operasyonel koşullarda elde edilen benzetim verilerinden çıkarılan öznelikler kullanılarak, tüm özneliklerin bulunduğu küme ile öznelik seçimi kullanılarak belirlenen kümenin başarımları hesaplanmış ve sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de sonuçlar verilerek karşılaştırılmıştır. Tablo 1 incelendiğinde dört hareket için genel başarımlarının %77.75 olduğu, Tablo 2 incelendiğinde ise genel başarımlarının %86.75 olduğu görülmektedir. Karışıklık matrisleri hareketler bazında incelendiğinde öznelik seçimi yapılan durumda yürüme hareketi için %5’lik, koşma hareketi için %14’lük, karışık hareketler için %9’lük bir başarımların sağlanmaktadır. Durum öznelik seçiminin başarımlarını artırıcı bir etken olduğu görülmektedir. Ancak, zıplama hareketi incelendiğinde ise öznelik seçimi yapıldığı durumda başarımlarında %2’lik bir düşüş görülmektedir. Bunun sebebi olarak kullanılan öznelik seçim yönteminin aç gözlü bir yapıya sahip olmasıdır. Kullanılan öznelik seçim yöntemi belirli öznelik kombinasyonlarına bakmamakta ve böylelikle bazı durumlar için global optimumu bulamamaktadır. Ancak, zıplama hareketi için tüm özneliklerin kullanılmasına göre öznelik seçimi sonucunda ortaya çıkan %2’lik başarımların düşüşü, her iki durumda da başarımların %90’a ulaşması özneliklerin kullanılmasının getireceği kompleks yapı ve zamansal masraf düşünüldüğünde önemsenicek bir fark oluşturmamaktadır. Bu durumda iyi seçilmiş bir öznelik kümesinin zor operasyonel koşullar altında tüm öznelik kümesine göre daha yüksek sonuçlar verdiği ortaya çıkmaktadır. Aynı zamanda tüm öznelik kümesinin kullanılması durumunda boyut artacağından dolayı sınıflandırıcının kompleks yapısı artacak ve geliştirilecek sistemin gerçek zamanlı çalışması zorlaşacaktır.

Tablo 1. Tüm Öznelikler Kullanıldığında Ortaya Çıkan Karışıklık Matrisi

Hareket \ Sınıf	Yürüme	Koşma	Karışık Hareketler	Zıplama
Yürüme	0.78	-	0.22	-
Koşma	0.20	0.76	0.4	-
Karışık Hareketler	0.35	-	0.65	-
Zıplama	0.8	-	-	0.92

Tablo 2. Öznelik Seçimi Yapıldığında Ortaya Çıkan Karışıklık Matrisi

Hareket \ Sınıf	Yürüme	Koşma	Karışık Hareketler	Zıplama
Yürüme	0.83	-	0.17	-
Koşma	-	1.0	-	-
Karışık Hareketler	0.26	-	0.74	-
Zıplama	-	-	0.10	0.90

SONUÇ VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu bildiriye belirli operasyonel koşullar altında iyi seçilmiş bir öznelik kümesinin başarımlarını yükselteceği gösterilmiştir. Önerilen yöntem, operasyonel koşullar değiştirilerek farklı senaryolar için uygulanabilir ve otomatik bir hareket tanıma sistemi oluşturulabilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde öznelik seçimi yapıldığı durumda, zor koşullar altında bile insan hareket sınıflandırma başarımlarının yükseldiği görülmektedir. Gelecekteki çalışmalarda farklı öznelikler ve öznelik seçim algoritmaları ile, farklı operasyonel koşullar altında insan hareketlerinin otomatik olarak sınıflandırılması üzerine çalışılacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TUBİTAK Proje No. 113E105 tarafından desteklenmiştir.

REFERANSLAR

- [1] Miller, A.W., Celemente, C. Robinson, A., Greing, D., Kinghorn, A.M., Soraghan, J., “Micro-doppler based target classification using multi-feature integration,” in *Proc. IET Intelligent Signal Processing Conference*, 2013.
- [2] Janecek, A.G., Gansterer, W.N., Demel, M.A., Ecker, F., “On the relationship between feature selection and classification accuracy,” in *JMLR: Workshop and Conference Proceedings 4*, pp. 90-105, 2008.
- [3] Tang, J., Alelyani, S., Liu, H., “Feature selection for classification: a review,” in *Data Clustering: Algorithms and Applications*, Ed. C. Aggarwal and C. Reddy, CRC Press, 2013.
- [4] R. Boulic, M.N. Thalmann, and D. Thalmann, “A global walking model with real-time kinematic personification,” *Visual Computing*, Vol. 6, 1990, pp. 344-358.
- [5] <http://www.organicmotion.com/motion-capture>
- [6] <http://www.xsens.com/en/mvn-biomech>
- [7] Erol, B., Karabacak, C., Gürbüz, S.Z., “A kinect-based human micro-doppler simulator,” *Aerospace and Electronic Systems Magazine*, submitted June 2014.
- [8] Geisheimer, J.L., Marshal, W.S., and Greneker, E., “A continuous-wave (CW) radar for gait analysis,” *Signals, Systems and Computers*, 1 (2001), 834—838.
- [9] R. Kohavi, G.H. John, “Wrappers for feature subset selection”, *Artificial Intelligence*, Vol. 97, No. 1-2, pp. 273-224, December 1997.