

# İnsan Hareketlerinden Mikro-Doppler Özelliklerin Çıkartılması

## The Extraction of Micro-Doppler Features from Human Motions

Özge Topuz Alemdaroğlu  
REHİS / Radar Sistem Mühendisliği Bölümü  
Aselsan  
Ankara, Türkiye  
otopuz@aselsan.com.tr

Çağatay Candan, Sencer Koç  
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
Ankara, Türkiye  
{ccandan, skoc}@metu.edu.tr

**Özetçe**—Bu çalışmada, radar sistemlerinde mikro-Doppler özelliklerin kullanımının insan hareketlerinin sınıflandırılmasına uygunluğu deneysel olarak araştırılmıştır. İlk aşamada V. Chen'e ait insan yürüme simülatörü ile sentetik veri üretilmiş, veriye farklı zaman-frekans dönüşümleri uygulanmıştır. Daha sonra saha deneyleri yapılmış ve koşma, emekleme, sürünme ve  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  gibi farklı yaklaşma açılarıyla yürüme verileri alınmış ve spektrogramlar elde edilmiştir. Spektrogramlardan insan gövdesi frekansı, sinyalin bant genişliği, sinyalin ofseti, mikro-Doppler etkiler olmayan sinyalin bant genişliği, sinyal gücünün standart sapması ve uzuvlara ait periyot değeri olmak üzere altı adet özellik çıkartılıp, bu özelliklerin sınıflandırmadaki etkinlikleri kıyaslanmıştır.

**Anahtar Kelimeler** — Mikro-Doppler; İnsan Hareketi Sınıflandırması; Özellik Çıkarımı.

**Abstract**—This study aims to experimentally investigate the feasibility of discriminating human motions with the help of micro-Doppler features by using radar. In the first phase of the work, the synthetic data is generated through the human walking simulator by V. Chen and different time-frequency transformations are applied on the data. In the following phase, several field experiments are conducted and the experimental data for running, crawling, creeping and walking with the aspect angles of  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  are collected and spectrograms are obtained. Lastly, six features, which are torso frequency, bandwidth of the signal, offset of the signal, bandwidth without micro-Dopplers, the standard deviation of the signal strength, the period of the arms or legs motions are extracted from the spectrograms and the efficiencies of the features in motion classification are compared.

**Keywords** — Micro-Doppler; Human Motion Classification; Feature Extraction.

### I. GİRİŞ

Radar kullanarak insan hareketlerinin sınıflandırılması özellikle son dönemlerde hem askeri hem de sivil alanlarda önemli bir araştırma konusu olmuştur. Radarın gündüz ve gece, her türlü hava koşulunda ve uzun mesafelerden çalışabilmesi, insan hareketleri sınıflandırılmasında radar kullanımını diğer sensörlerden daha üstün kılmaktadır. Ayrıca insan niyetinin, insan hareketlerinden anlaşılabilmesi değerlendirilmektedir. Bu ve benzeri sebeplerle radar ile insan hareketlerinin sınıflandırılması, üzerinde oldukça çalışılan bir konu olmuştur.

Literatürdeki mikro-Doppler etkiler kullanarak sınıflandırma çalışmaları incelenmiştir. Öncelikle zaman-frekans dönüşümleri incelenmiş ve STFT (Short Time Fourier Transform), WVD (Wigner Ville Distribution), Cohen Dönüşümlerinin mikro-Doppler çalışmalarında kullanıldığı görülmüştür [1]. Mikro-Doppler özniteliklerin çıkartılması metotları incelenmiştir. Bu metotlardan Youngwook ve Kim'e ait olan metotta insan hareketlerinin sınıflandırılması için insan gövdesi frekansı, sinyalin bant genişliği, sinyalin ofseti, mikro-Doppler etkiler olmayan sinyalin bant genişliği, sinyal gücünün standart sapması ve uzuvlara ait periyot değeri olmak üzere altı adet özellik çıkartılmıştır [2], [3]. Bu metoda ek olarak parçacık süzgeci kullanılarak hedefin konumu ve mikro-Doppler öznitelikleri eş zamanlı olarak kestiren yöntemler bulunmaktadır [4], [5].

Bu çalışmada temel olarak radar sistemlerinde mikro-Doppler özniteliklerinin insan hareketleri spektrogramlarından çıkartılması konusu işlenmiştir. Öncelikle insan simülatörü üzerine yapılan çalışmalar üzerine bilgi verilmiştir. Daha sonra insan hareketlerinin deneysel olarak toplanması, işlenmesi, hareket spektrogramlarından özelliklerin çıkartılması ve bu özelliklerin kıyaslanmasından bahsedilmiştir.

## II. İNSAN HAREKET SPEKTROGRAMLARI

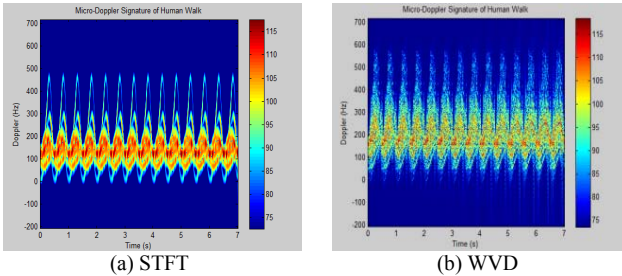
Bu bölümde öncelikle V. Chen'in yürüme simülasyonu üzerine yapılan çalışmalardan bahsedilmiş, ardından yapılan deneysel çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

### A. İnsan Yürüme Simülasyonu

V. Chen'e ait insan yürüme simülasyonu 17 yansıma noktasına ait, ayarlanabilir bir yürüme hızındaki insan modelinden gelen radar yankı sinyalini modellemektedir [6]. Bu aşamadaki amaç saha deneylerinde elde edilecek veri hakkında bilgi edinmek ve simülasyon çıktısı ile gerçek verileri karşılaştırmak için bir alt yapı hazırlamaktır.

#### 1) İnsan Yürüme Simülasyonu Üzerine Farklı Zaman-Frekans Dönüşümlerinin Uygulanması

İnsan yürüme simülasyonu üzerine STFT (Short Time Fourier Transform) ve WVD (Wigner Ville Distribution) yöntemleri uygulanmıştır. Şekil 1'deki spektrogramlar elde edilmiştir. STFT ve WVD yöntemlerinden elde edilen spektrogramlar incelendiğinde, bu spektrogramların zarflarının birbirine çok benzer olduğu görülmüştür. Ancak WVD yöntemine ait spektrogramda karışmaların olduğu görülmüştür. Sinyalin birden fazla birleşenden oluşması durumunda WVD'nin doğası gereği böyle karmaşalar oluştuğu bilinmektedir [7]. İnsan yürümesi de çok birleşene sahip bir hareket olduğu için insan yürüme simülasyonuna uygulanan WVD, karmaşık bir spektrograma neden olmuştur. Bu sebeple insan hareketleri spektrogramları için STFT yöntemi kullanımının daha uygun olduğuna karar verilmiştir.

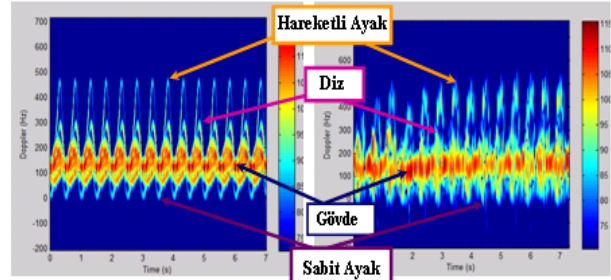


Şekil 1. Farklı zaman-frekans dönüşümlerinin insan yürüme simülasyonu çıktısına uygulanması

#### 2) İnsan Yürüme Simülasyonu ile Deneysel Yürüme Verisinin Karşılaştırılması

Şekil 2'de verilmiş olan V. Chen'e ait insan yürüme simülasyonu ile araziden alınan gerçek yürüme spektrogramları karşılaştırılmıştır. Spektrogramlar incelendiğinde, ikisinin birbirine oldukça benzer olduğu görülmektedir. Öncelikli olarak gerçek yürüme spektrogramındaki çizgilerin simülasyonla göre daha dağınık olduğu görülmüştür; çünkü simülasyonda insan uzuvları noktasal hedef şeklinde alınıp toplam 17 noktadan alınan yansımalar ile spektrogram oluşturulmuştur; ancak gerçek veride bütünden gelen yansımalar kullanılmıştır. İki spektrogram incelendiğinde hareketli ayakların

oluşturduğu şekiller ve sabit ayakların uzantı miktarları çok benzerdir. Gövde dağılımına bakıldığında gerçek yürüme verisinde dağılım daha fazla olmasına rağmen, gövdenin genel formu ve pozisyonu için insan simülasyonu, gerçek yürüme verisi ile tutarlıdır. Dizi ayırt etmek gerçek veride daha zor olmasına rağmen dizin pozisyonu ve şekli kontrol edildiğinde iki spektrogramın yine benzer olduğu görülmektedir. Kısacası, insan yürüme simülasyonu gerçek yürüme verisine oldukça benzer bir spektrograma sahiptir ve V. Chen'e ait insan yürüme simülasyonu etkili bir araç sayılabilir.



Şekil 2. Simülasyon ile Deneysel Yürüme Spektrogramlarının Karşılaştırılması

### B. Deneysel Hareket Verileri

Simülasyon çalışmalarından sonra, bir kara gözetleme radarı kullanılarak deneysel veri toplanmıştır. Radarın çalışma frekansı Ku bant olup, verilerde darbe sayısı 256'dır. Mikro-Doppler öncesindeki sinyalin gürültüye oranı ortalama olarak 40-50 dB civarındadır. Deneysel veriler 3 farklı insana ait 7'şer tekrara sahip yürüme, koşma, emekleme, sürünme hareketlerinin verilerini ve 0°, 30° ve 60° yanca açılarındaki yürüme verilerini içermektedir.

#### 1) İşleme Adımları

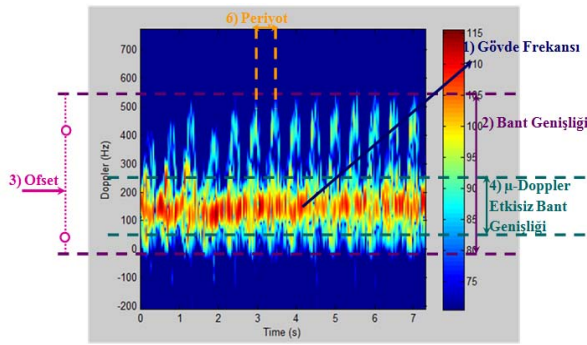
Deneysel veri toplama işlemi tamamlandıktan sonra, eşleştirilmiş filtreden geçirme, hareketli algılama filtresinden geçirme, pencereleme yapma, FFT (Fast Fourier Transform) ve CFAR (Constant False Alarm Rate) tekniklerini uygulama gibi sinyal işleme adımları uygulanarak hedefin menzili bulunmuştur. Daha sonra mikro-Doppler özellik çıkarma işlemlerine geçilmiştir. Bir yüksek geçiren filtre tasarlanmış ve eşleştirilmiş filtre sonrasındaki matrise uygulanmıştır. Pencereleme yapıldıktan sonra da hedef menzillerinin bulunduğu sütunlar matrislerden çekilip birleştirilmiştir. Hedef menzillerinden oluşturulmuş matrisin üzerine STFT yöntemi uygulanarak insan hareket spektrogramları elde edilmiştir.

#### 2) Spektrogramlardan Özellik Çıkartılması

Elde edilen spektrogramlardan mikro-Doppler özelliklerin çıkartılması amaçlanmıştır. Öncelikle bazı özellik çıkartma yöntemleri incelenmiş ve Youngwook ve Kim tarafından tanımlanmış olan altı adet özellik

seçilmiştir [2], [3]. İnsan gövdesi frekansı, sinyalin bant genişliği, sinyalin ofseti, mikro-Doppler etkiler olmayan sinyalin bant genişliği, sinyal gücünün standart sapması ve uzuvlara ait periyot değeri bu altı özelliği oluşturmaktadır ve bu özellikler Şekil 3'te gösterilmiştir.

İnsan hareket spektrogramlarındaki en güç sinyal seviyesi insan gövdesine aittir; bu sebeple ilk özellik olan insan gövdesi frekansı en güçlü sinyallerin seçilip, zaman örneklerinin toplamına bölünmesinden elde edilir. 2., 3. ve 6. özellikler için öncelikle spektrograma ait yüksek ve düşük zarflar çıkartılır. Sinyalin bant genişliği, yüksek zarfa ait en üst nokta ile düşük zarfa ait en alt nokta arasındaki fark ile bulunur. Sinyalin ofset değeri için yüksek zarfın ortalama değeri ve düşük zarfın ortalama değerinin ortalaması alınır. Mikro-Doppler etkiler olmayan sinyalin bant genişliği, gövdenin bant genişliğidir; gövde zarfının üst ve alt noktaları arasındaki farktan bulunur. 5. özellik olarak gürültü üzerinde kalan sinyalin standart sapması hesaplanır. Uzuvlara ait periyot değeri için yüksek zarfta bulunan iki ardışık üst nokta arasındaki zaman farkı hesaplanır.



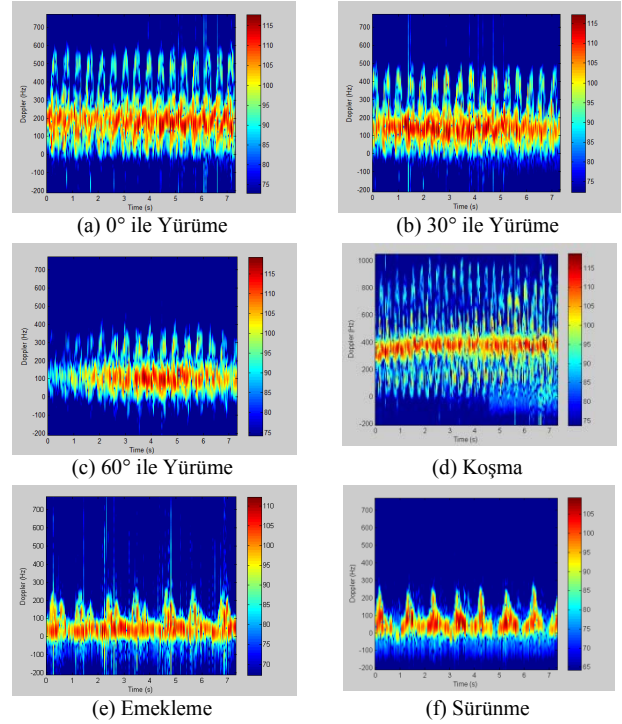
Şekil 3. DeneySEL Yürüme Verisi Üzerinde Özellikler

### 3) Farklı Hareketlerin Spektrogramları

Araziden alınmış olan  $0^\circ$ ,  $30^\circ$  ve  $60^\circ$  açılar ile yürüme ve koşma, emekleme ve sürünme verilerine ait spektrogramlar Şekil 4'te gösterilmiştir.

Öncelikli olarak emekleme ve sürünme hareketleri yürüme ve koşma verilerinden ayrılabilir. Emekleme ve sürünme verileri çok yavaş hareketler oldukları için insan gövdesi frekansı değerleri 0 Hz civarındadır. Ayrıca emekleme ve sürünme hareketlerinde geriye doğru bir hareket olmadığı için bu spektrogramlar pozitif değerlere doğru kaymış durumdadır. Emekleme ve sürünme verilerinin sinyal bant genişlikleri, yürüme ve koşma verilerinden az iken; uzuvların periyot değerleri yürüme ve koşmadan büyüktür. Bu özellikler dikkate alındığında emekleme ve sürünme verileri yürüme ve koşmadan ayırt edilmiş olmaktadır. Emekleme ve sürünme verilerini ayırmak için spektrogramlardaki ardışık tepe sayısına bakılabilir. Emekleme verisinde kol ve diz hareketleri bulunduğu için iki tepe bulunurken, sürünme verisinde sadece kol hareketleri baskın olduğu için tek tepe bulunmaktadır. Koşma ve yürüme verilerini birbirlerinden

ayırt etmek için birkaç özellik kullanılabilir. Koşma verisinin sinyal bant genişliği ve insan gövdesi frekansı değerleri yürüme verilerine ait değerlerden büyüktür. Ayrıca koşma verisinin periyot değeri, yürüme değerinden küçüktür. Bu durumlar göz önünde bulundurularak insan spektrogramlarının ayırt edilebileceği görülmektedir.



Şekil 4. Farklı hareketler için spektrogramlar

İnsan hareket spektrogramlarından özellikler çıkartılmıştır. Öncelikle farklı yanca açılarda alınan yürüme spektrogramlarından çıkartılan özellikler karşılaştırılmıştır:

- Yanca değeri  $0^\circ$ 'den  $60^\circ$ 'ye çıkartıldığında, insan gövdesi frekansı değeri ve sinyalin bant genişliği azalmaktadır. İnsan gövdesi frekansı insan hızına; sinyalin bant genişliği uzuvların hızına bağlıdır.  $0^\circ$ 'den farklı açılarda bu hız değerlerinin sadece radara doğru olan hız birleşenleri alınmaktadır; bu sebeple  $0^\circ$ 'den yükseğe çıkartıldıkça radara doğru hız birleşenleri azalır ve öznelik değerleri azalır.

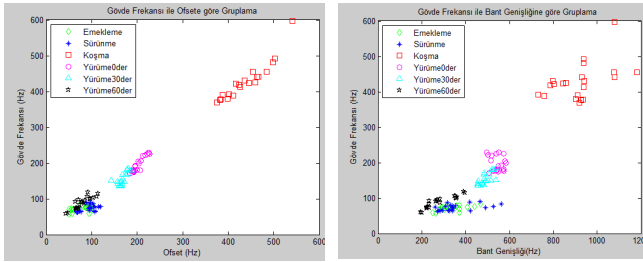
Tüm hareket spektrogramlarından çıkartılan özellikler kıyaslandığında şöyle sonuçlar elde edilmiştir:

- İnsan gövdesi frekansı özelliği insanın hızına bağlıdır. En hızlı hareket koşma olduğu için bu özellik koşma için en yüksektir.
- Sinyalin bant genişliği değeri, uzuvların hızına bağlıdır; bu sebeple koşma değeri diğer hareketlerin bant genişliklerinden büyüktür.

- Sinyalin ofset değeri, hareketin simetrik olduğu durumlarda insan gövdesi frekansına yaklaşılmaktadır. Emekleme hareketi asimetrik bir hareket olduğu için bu harekete ait ofset değeri ile insan gövdesi frekansı arasındaki fark büyüktür.
- Mikro-Doppler etkilere bağlı olmayan sinyalin frekans değeri, gövdenin yukarı aşağı salınımının bir ölçütüdür. Bu değer koşma için en büyük, sürünme için en küçük olarak elde edilmiştir.
- Sinyalin standart sapması, hareketin dinamik alanına bağlıdır; bu sebeple bu özelliğin de en yüksek değeri koşma için elde edilmiştir.
- Periyot değeri, uzuvların salınım hızlarına bağlıdır; insan uzuvları en yavaş olarak sürünme hareketinde salınım gösterdiği için en yüksek periyot değerleri sürünme için elde edilmiştir.

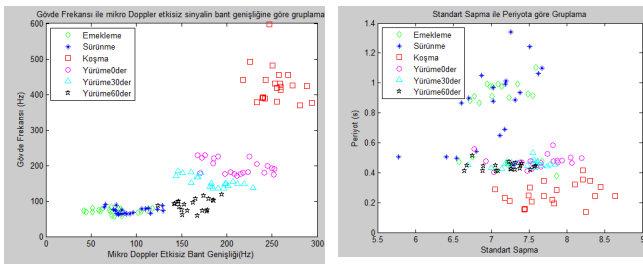
#### 4) Özelliklerin Etkinlikleri

İnsan hareket spektrogramlarına uygulanan özellikler incelendiğinde bu özelliklerin hepsinin hareketleri sınıflandırılabilirlik etkinliğinin eşit olmadığı görülmüştür. Bu özelliklerin etkinliklerinin görülebilmesi için ikili gruplar halinde Şekil 5'teki gibi incelenmiştir.



(a) İnsan Gövdesi Frekansı-Ofset

(b) İnsan Gövdesi Frekansı- Bant Genişliği



(c) İnsan Gövdesi Frekansı- Mikro Doppler Etkiler Olmayan Sinyalin Bant Genişliği

(d) Standart Sapma-Periyot

**Şekil 5.** Farklı hareket verilerinin, seçilen özellik ikililerine göre gruplandırılması

Bu şekiller incelendiğinde hareketleri ayırık yapan insan gövdesi frekansının insan hareket sınıflandırmasında diğer özelliklerden daha etkili olduğu görülmüştür. İkinci etkin özellik olarak ofset değeri sayılabilir. Bant genişliği değeri için koşma ve  $0^\circ$  ile  $30^\circ$  yürüme değerleri ayırt

edilebilirken; emekleme, sürünme ve  $60^\circ$  ile yürüme değerleri karışmıştır; bu sebeple etkinlik sıralamasında üçüncü olarak sayılabilir. Mikro-Doppler etkiler olmayan sinyalin bant genişliği için koşma ve yürüme değerleri benzerdir, ayrıca emekleme ve sürünme değerleri yine karışmıştır; bu özellik dördüncü sırada düşünülebilir. Periyot değeri için koşma, yürüme verilerinden kısmen ayrılabilmiştir; ancak emekleme ve sürünme verileri oldukça karışmıştır, bu yüzden beşinci sırada sayılabilir. Standart sapma değerleri, bütün hareket değerleri için benzer olduğu için etkinliği en düşük özellik olarak düşünülebilir.

### III. SONUÇLAR

Temel olarak çıkartılan sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Öncelikle V. Chen'in insan yürüme simülasyonunun gerçek yürüme verileriyle oldukça tutarlı olduğu görülmüştür.
- Zaman-frekans dönüşümleri arasında insan hareket spektrogramları için STFT yönteminin WVD'ye göre daha uygun olduğu görülmüştür.
- İnsan yürüme açılarının spektrogramlara etkisi incelendiğinde, yürüme yanca açısı değerleri  $0^\circ$ 'den  $60^\circ$ 'ye artarken, spektrogramlardan mikro-Doppler etkilerin ayırt edilmesinin zorlaştığı görülmüştür.
- İnsan hareket spektrogramlarından altı adet özellik çıkartılıp, bu özelliklerin etkinlikleri insan gövdesi frekansı, sinyalin ofset değeri, bant genişliği, mikro-Doppler etkiler olmayan sinyalin bant genişliği, periyot değeri ve sinyalin standart sapması olarak sıralanmaktadır.

### KAYNAKÇA

- [1] Chen V.C., Ling H., Time-Frequency Transforms For Radar Imaging and Signal Analysis, Artech House, 2002.
- [2] Kim Y., Ling H., "Human Activity Classification Based on Micro-Doppler Signatures Using a SVM," *IEEE Geoscience and Remote Sensing*, vol.47, pp. 1328-1337, 2009.
- [3] Youngwook K., Hao L., "Human Activity Classification Based on Micro-Doppler Signatures Using an Artificial Neural Network," *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp. 1-4, 2008.
- [4] M. B. Güldoğan, F. Gustafsson, U. Orguner, S. Björklund, H. Petersson, and A. Nezirovic, "Human Gait Parameter Estimation Based on Micro-Doppler Signatures Using Particle Filters," *Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'11)*, p5940-5943, May 2011.
- [5] M. B. Güldoğan, F. Gustafsson, U. Orguner, S. Björklund, H. Petersson, and A. Nezirovic, "Radar Micro-Doppler Parameter Estimation of Human Motion Using Particle Filters (In Turkish)," *Proceedings of IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU'11)*, p395-399, Apr. 2011.
- [6] Chen V.C., *The Micro Doppler Effect in Radar*, Artech House, 2011.
- [7] Cohen L., *Time-Frequency Analysis*, Prentice Hall, 1995.