

Kinect ile Farklı İnsan Hareketlerinin Radar Benzetimi

Radar Simulation of Different Human Activities via Kinect

Barış Erol¹, Cesur Karabacak^{1,2}, Sevgi Zübeyde Gürbüz^{1,3}, Ali Cafer Gürbüz¹

1. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara

2. Meteksan Savunma Sanayii A.Ş., Ankara

3. TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, Ankara

baris-erol@outlook.com, cesurkarabacak@gmail.com, {szgurbuz, acgurbuz}@etu.edu.tr

Özetçe—Radar kullanarak farklı insan hareketlerinin sınıflandırılması son yıllarda yoğun olarak araştırılan bir konudur. İnsan hareketlerini sınıflandırırken deneysel radar verilerinin olmadığı durumlarda benzetim verilerinden de sıkça yararlanılmaktadır. İnsan hareketlerinin radar benzetimini yapmak için Thalmann Modeli gibi kinematik modeller ve hareket yakalama verileri sıkça kullanılan veri tipleridir. Thalmann Modeli, insan yürümesi için bir model sunarken hareket yakalama verilerinde farklı insan hareketlerine ait verileri de elde etmek mümkündür. Ancak ticari hareket yakalama sistemleri pahalı olduğu için bu verilerin elde edilmesi kolay değildir. Bu bildiride ekonomik, kolay temin edilebilir ve pratik olan Kinect sensörü kullanılarak bir iskelet takibi algoritması geliştirilmiştir. Böylece, düşük maliyetle çeşitli insanlar ve hareketler için radardan elde edilen mikro-Doppler verisi simüle edilmiştir.

Anahtar Kelimeler — radar; insan; mikro-Doppler; benzetim; Kinect.

Abstract—The classification of different human activities with radar has been a widely researched topic in recent years. Oftentimes, when no experimental data is available, simulated data can be exploited to test classification algorithms. Kinematic models such as the Thalmann Model and motion capture (MOCAP) data are frequently used to simulate radar signatures of human movements. While the Thalmann Model provides a model only for human walking, MOCAP data has the capability to supply data for almost any type of human activity. However, most commercial MOCAP data acquisition systems are quite expensive, making it difficult to obtain MOCAP data. In this paper, economical, easily obtainable and practical Kinect sensor is used to develop a skeleton tracking algorithm. In this way, simulated radar micro-Doppler signatures for different people and activities are computed.

Keywords—radar; human; micro-Doppler; simulation; Kinect.

I. GİRİŞ

Bir bölgede insan olup olmadığının tespiti, sınır güvenliği ve arama kurtarma çalışmaları gibi uygulamalarda kritik öneme sahiptir. Uzak mesafelerde tespit yapabilmesi, gece gündüz çalışabilmesi, bitki örtüsü, duvar gibi engellerin arkasına sızabilme kabiliyetinin olması ve yağmur, sis gibi doğa olaylarından az etkilenmesi, radarı insan tespiti için sık

kullanılan bir araç hâline getirmiştir. Son yıllarda yürüme, koşma, zıplama gibi farklı insan hareketlerinin otomatik sınıflandırmasını yapan pek çok çalışma yayınlanmaktadır. Tespit edilen insanın yaptığı hareketin de özel olarak belirlenmesi uygulamaya bağlı olarak verilecek alarm seviyesini büyük oranda değiştirebilir. Örneğin, sınıra doğru gelen bir kişinin hareketlerine bağlı olarak tehdit oluşturup oluşturmadığı, şüpheli davranışlar sergileyip sergilemediği ve silahlı veya silahsız olması durumlarının tespiti bu konunun işlenmesindeki asıl amaçlardandır.

İnsan hareketleri için sınıflandırma çalışmaları yapılırken deneysel verilerin yanında benzetim verilerinden de sıkça yararlanılmaktadır. Benzetim verilerinin varlığı, deneysel radar verilerine ulaşma imkânının olmadığı akademik ortamlarda veya sistem henüz geliştirme aşamasında olduğu için veri toplamanın mümkün olmadığı endüstriyel ortamlarda çalışma yapmayı mümkün kıldığı için son derece önemlidir.

Radar ile insan hareketi sınıflandırması çalışmalarında yaygın olarak kullanılan benzetim verisi Thalmann Modeli'dir [1-3]. Bu model, insan vücudundaki 17 noktanın uzaydaki konumunu zamana bağlı olarak kinematik denklemler ile hesaplamaktadır. İnsan vücudu gövde, ayaklar, alt ve üst bacaklar, alt ve üst kollar ve kafa olmak üzere 12 parçadan oluşmuştur. Daha sonra, vücuttaki bu 12 parça radar kesit alanı bilinen elipsoid, silindir ve küre gibi şekillerden uygun olanlardan biri ile modellenip her birinden yansıyıp dönen sinyal hesaplanmaktadır. Son olarak ise geri dönen bu 12 sinyal toplanarak insan vücudundan dönen radar sinyali oluşturulmaktadır.

İnsan hareketi benzetimlerinde kullanılan bir diğer veri tipi ise hareket yakalama verileridir [4-5]. Hareket yakalama verileri, insan vücudu üzerine yerleştirilen işaretçilerin konumlarının kızılötesi kameralar kullanılarak kaydedilmesiyle oluşturulur. Bu veriler, çoğunlukla animasyon filmlerde ve bilgisayar oyunlarında gerçekçi insan davranışı efektleri oluşturmak için kullanılmaktadırlar. İnsan vücudundaki noktaların konum bilgileri hareket yakalama verilerinden alındıktan sonra radar benzetimi Thalmann Modeli kapsamında anlatılan ile aynı şekilde yapılmaktadır.

İnsan hareketlerinin radar benzetim çalışmalarında kaynak olarak kullanılan veri tiplerinden biri olan Thalmann Modeli, sadece insan yürümesi için bir model sunmaktadır. Dolayısıyla bu modelle yapılan sınıflandırma çalışmaları genellikle kol sallama ve kol sallamama durumlarının ayrılması üzerinedir. Hareket yakalama verilerinde ise koşma, emekleme gibi farklı insan hareketleri için de veriler yer almaktadır. Her ne kadar hareket yakalama verileri ücretsiz veri tabanlarından [6-8] temin edilebilse de bu veri tabanlarında istenen harekete ait veri sayısı genelde kısıtlı olmaktadır. Kendi hareket yakalama sistemini kurmak ise maliyeti çok yüksek olduğu için çoğunlukla mümkün olmamaktadır.

Bu çalışmada, Thalmann Modeli ve hareket yakalama verilerinin zayıf yönlerini ortadan kaldırmayı hedefleyen bir benzetim verisi önerilmektedir. Çalışma kapsamında insan vücuduna ait noktaların uzaydaki konumları Kinect ile kaydedilmekte ve bu noktalar kullanılarak hareketin radar benzetimi yapılmaktadır. Kinect, yürümeye ek olarak koşma, zıplama gibi hareket verilerinin alınmasına olanak sağlamaktadır. Kinect ile veri alınırken insan vücuduna herhangi bir işaretçi takılmamaktadır. Kinect, kurulumu kolay, ekonomik ve hızlı veri toplamak için elverişli bir algılayıcıdır.

Bu bildiriye, Kinect kullanılarak çeşitli insan hareketlerinin radar benzetimi yapılmakta ve elde edilen sonuçlar yorumlanmaktadır. Bildirinin ikinci bölümünde Kinect hakkında bilgi sunulmuştur. Üçüncü bölümde Kinect kullanılarak geliştirilen iskelet takibi algoritması ve veri toplama süreci hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde radar benzetimi ile ilgili bilgi verilirken beşinci bölümde benzetimden elde edilen spektrogramlar sunulmuş ve spektrogramların farklılıkları üzerine yorumlamalar yapılmıştır. Altıncı bölümde ise makaleden elde edilen sonuçlar özetlenerek gelecekte yapılması planlanan çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

II. KINECT

Kinect, içinde renkli kamera, dâhili bir mikrofon, kızılötesi ışın (IR) projektörü ve kızılötesi kamera (IR) barındıran Microsoft, Rare ve PrimeSense kuruluşları tarafından ortak oluşturulan bir hareket algılayıcısıdır (Şekil 1). Piyasaya oyun konsollarının bir parçası olarak çıkmasına rağmen biyomedikal ve robotik gibi farklı alanlarda kullanılır hâle gelmiştir.

Kinect'in içinde bulunan kızılötesi projektörü, görüş alanında olan cisimlerin üstünde kızılötesi noktalardan oluşan bir alan yaratmaktadır. Oluşturulan IR noktaları insan gözü tarafından algılanamasa da bu noktalar tarafından oluşturulan alanın görüntüsü IR kamera kullanılarak algılanabilir. Algılanan bu görüntüden, iskelet yapısı ve insan vücudundabulunan eklemlerin büyük bir kısmının 3 boyutlu uzayda bulunduğu pozisyon çıkartılabilmektedir.



Şekil 1 Kinect algılayıcısının görünümü

Tablo 1 Kinect donanım özellikleri

Özellik	Değer
Açısal görüş alanı	57° yatay, 43° dikey
Kare sayısı	Yaklaşık olarak 30 Hz
Nominal uzamsal çözünürlük (2 metre uzaklıktan)	3 mm
Nominal derinlik menzili	0.8m – 3.5m
Nominal derinlik çözünürlüğü (2 metre uzaklıktan)	1 cm
Bağlantı tipi	USB (+harici güç)

Kinect'in görüntü kaydetme hızı, çözünürlüğe bağlı olarak 9 Hz ile 30 Hz arasında değişmektedir [9]. Kinect'in ayrıca günümüzde kullanılan webcam ve dijital kameralara benzeyen bir renkli kamerası da bulunmaktadır. Kinect'in teknik özellikleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

III. İSKELET TAKİBİ ALGORİTMASI VE VERİLERİN TOPLANMASI

İskelet takibi, günümüzde önemli bir problem olup insan bilgisayar etkileşimi, hareket yakalama ve hareket tanımlama dâhil birçok kullanım ve araştırma alanı bulunmaktadır. Ancak geniş uzay parametreleri ve bazı kısıtlamalardan dolayı iskelet takibinde zorluklar yaşanmaktadır. Kinect ile iskelet takibi yapılırken karşılaşılan diğer zorluklar ise kızılötesi kamerasının görüş alanı, hatasız veri alabilmek için doğru ayarlanması gereken Kinect'in pozisyonu ve deneyin yapıldığı ortamdan kaynaklanan sorunlar olarak sıralanabilmektedir. Bu sorunlar düzeltilmediği takdirde oluşturulan derinlik haritasını etkileyerek çıkarılan verilerin doğruluk oranını düşürmektedir.

Yapılan çalışmada, iskelet takibini sağlayan yazılım MATLAB programı kullanılarak hazırlanmıştır. Oluşturulan yazılım Kinect'den alınan derinlik haritasına erişebilmekte ve derinlik haritasından çıkartılan bilgiler ile iskelet takibi yapabilmektedir. Yazılım insan vücudunda bulunan on yedi farklı eklemi ve uç noktayı bulabilmekte ve gerçek zamanlı olarak bu noktaların 3 boyutlu uzayda buldukları pozisyonu kaydetmektedir.

İnsan hareketlerinin radar benzetiminin yapılabilmesi için vücuttaki eklem ve uç noktalarının 3 boyutlu uzaydaki pozisyonunun bilinmesi gerekmektedir. Bildiri için oluşturulan yazılımda her bir noktanın 3 boyutlu koordinat düzlemindeki pozisyonları otomatik olarak kaydedilmektedir. Hareketin radar benzetimini yapmak için Thalmann Modeli'nde tanımlanmış olan 17 noktanın bilgisi kaydedilmektedir. Bu noktalar, kafa, boyun, omuzlar, dirsekler, eller, kalçalar, omurga başlangıç noktası (kök noktası), dizler, bilekler ve ayak uçlarıdır. Programda veri alım süresi kullanıcıya bağlıdır ve veri alımı sonlandığında program otomatik olarak veri alım zamanı ve örnekleme frekansını vermektedir. Bu iki çıktı, hareketin radar benzetiminin doğru şekilde yapılabilmesi için girdi olarak kullanılmaktadır.

Veri alımı TOBB ETÜ Uzaktan Algılama Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Kinect, Şekil 2'de görüldüğü gibi konumlandırılmıştır. Veri alımı için Kinect'in laboratuvar içindeki konumu kritik bir öneme sahiptir. Bundan dolayı yapılan deneylerde koşu bandı sabit tutularak Kinect'in

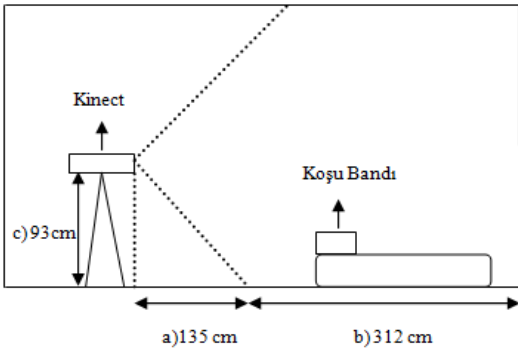
iskelet takibini en isabetli gerçekleştirdiği mesafe bulunmuş ve bu işlemde sonra veri alınmaya başlanmıştır.

Tablo 1'den de görülebileceği gibi Kinect'in derinlik menziline alt ve üst limitleri bulunmaktadır. İskelet takibi için derinlik menzili büyük bir önem taşımaktadır. Koşu bandı olmadan yapılan deneylerde Kinect menziline yaklaşık olarak 3.5 m olmasından dolayı kısa süreli veriler alınabilmektedir. Aynı zamanda Kinect'in derinlik üst menziline yaklaşıldığı zaman alınan verilerin doğruluk oranı ve kalitesi azalmaktadır. Bu sorunları gidermek amacıyla koşu bandı kullanılarak alınan verilerin daha uzun süreli ve doğru olarak depolanması amaçlanmıştır. Koşu bandıyla alınan verilerin işlenebilmesi için zaman ve koşu bandının hızının da kaydedilmesi gerekmektedir. Bu değişkenler, oluşturulan yazılım sayesinde otomatik olarak tutulmaktadır. Koşu bandı kullanılması dezavantaj ise koşu bandında bulunan ön konsolun eklem verilerinin alınmasını etkilemesidir. Bu sorunun çözümü için koşu bandının ön konsolu çıkartıldı ve uygun kablolarla yapılarak konsol ile koşu bandı arasındaki bağlantı uzaktan sağlandı.

Kinect ile radar benzetiminin yapılabilmesi için 1.75 m boyunda, 70 kg ağırlığında bir erkek denek üzerinden yürüme, koşma, ileriye doğru zıplama ve ayaklar sabitken kollarla boks egzersizleri yapma verileri toplandı. Tüm benzetimlerde denegin 100 m uzaklıktan radara doğru hareket ettiği senaryo esas alındı.

IV. RADAR BENZETİMİ

İnsan hareketlerinin radar benzetimi daha önce Thalmann Modeli [1-3] ve hareket yakalama verileri kullanılarak farklı çalışmalarda yapılmıştır [4-5]. Bu bildiri de gerçekleştirilen süreçte de bu benzetim çalışmaları örnek alınmıştır. Kinect kullanılarak insan vücudundaki 17 kritik noktanın uzaydaki konumlarının zamana bağlı olarak kaydedilmesinden sonra kaydedilen veriler üzerinden insanın 4 farklı hareketinin radar benzetimi yapıldı.



Şekil 2 (a) Kinect'in ölçü bölgesi (b) Doğru ve kesin veri alınan takip alanı (c) Kinect'in yüksekliği

Benzetim sürecinin ilk adımı Kinect'den alınan verilere öteleme hareketinin eklenmesidir. Kinect ile alınan veriler koşu bandı üzerinde kaydedildiğinden hareket boyunca denegin yer değiştirmesi sıfırdır. Koşu bandının hız değeri ve verinin

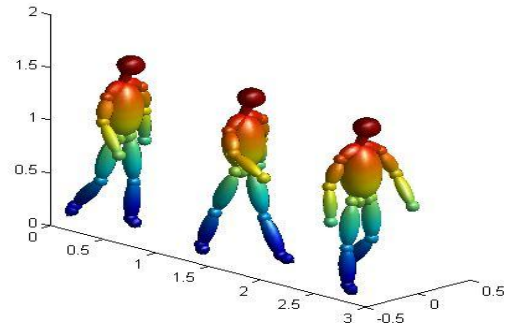
toplam süresi bilgileri kullanılarak alınan 17 noktanın her birinin ilerleme yönündeki koordinatına gerekli eklemeler yapılarak benzetimde denegin öteleme hareketi yapması sağlandı.

Kinect'den gelen verilerin örnekleme frekansı çok küçük olduğu (9-30 Hz) için kübik şerit aradeğerlemesi yöntemi ile verinin frekansı 2400 Hz olacak şekilde yeniden düzenlendi [4-5]. Daha sonra 17 noktadan gelen bilgiler kullanılarak insan vücudu 12 parça olarak modellendi. Bu parçalar baş, gövde, üst kollar, alt kollar, üst bacaklar, alt bacaklar ve ayaklardır [1-5]. Bu parçalardan kafa küre ile diğerleri elipsoidler ile temsil edilecek biçimde modellenerek insan vücudu Şekil 3'de görüldüğü gibi oluşturulmuştur. İnsanın hareketi boyunca her bir darbe için vücuttaki 12 parçaya çarparak dönen radar sinyalleri hesaplanmıştır. Bu 12 parçadan dönen radar sinyalleri toplanarak da o darbe için insandan gelen cevap elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen kompleks radar verilerinin birleşik zaman-frekans analizini yapabilmek için Kısa Zaman Fourier Dönüşümü (KZFD) alınmıştır. KZFD'nin mutlak değer karesi ile spektrogram elde edilmiştir.

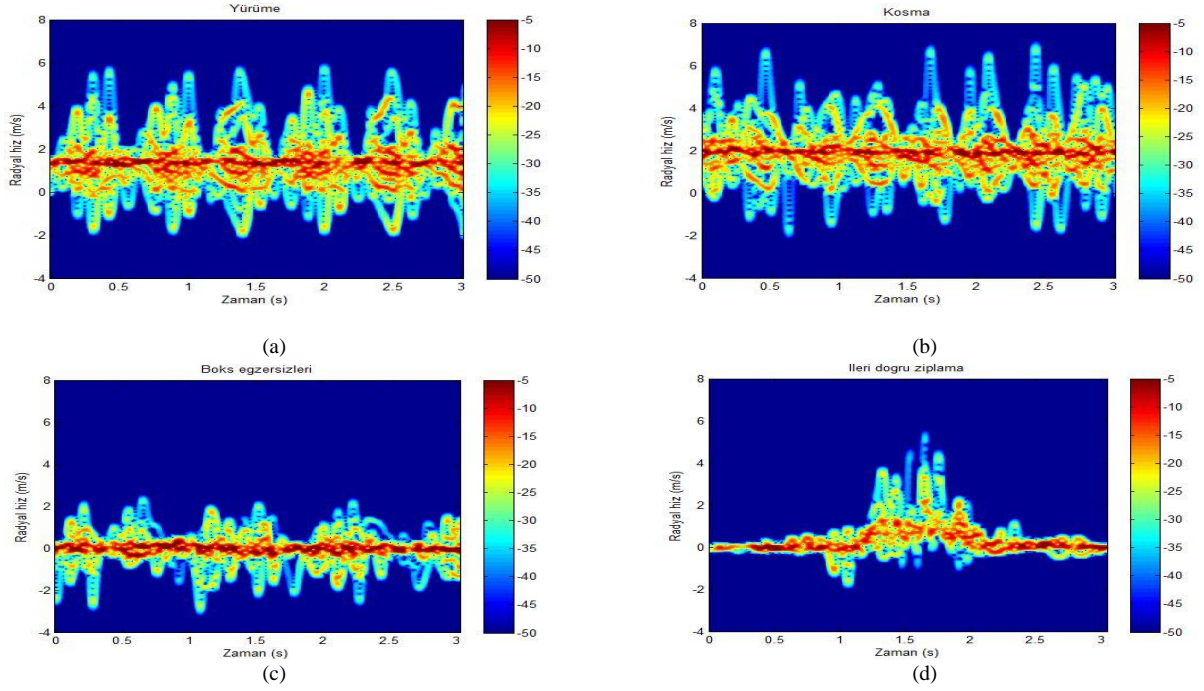
Benzetimlerde kullanılan radar, taşıyıcı frekansı 15 GHz, darbe tekrarlama sıklığı 2400 Hz, menzil çözünürlüğü ise 1 m olan monostatik bir radardır. KZFD işlemi, 512 noktalı Hamming pencereleri üzerinden 256 noktada örtüşme olacak şekilde alınmıştır. Kullanılan Hızlı Fourier Dönüşümü uzunluğu 1024'dür.

V. BENZETİM SONUÇLARI VE YORUMLAR

Kinect'den alınan koordinat verileri kullanılarak yürüme, koşma, ileriye doğru zıplama ve ayaklar sabitken kollarla boks egzersizleri yapma hareketlerinin radar benzetimi yapılmıştır. Benzetim sonucu elde edilen spektrogramların 3 saniyelik kısımları aynı radyal hız aralığı için Şekil 4'de sunulmuştur. Spektrogramın yatay eksenini zamanı, dikey eksenini radyal hız değerini, renk kodları ise dönen sinyalin gücünü temsil etmektedir. İnsan vücudunda radar kesit alanı en büyük bileşen olan gövdeden dönen sinyal diğer parçalardan çok daha fazla güç içerdiği için spektrogramlarda kırmızı renkli görülmektedir. Hareket esnasında salınım yapan kol ve bacaklardan dönen sinyaller ise kırmızı renkli gövde çizgisinin etrafında kiplenmeler oluşturmaktadır.



Şekil 3 Kinect verileri kullanılarak elde edilen insan yürüme animasyonunun farklı anlarda alınmış görüntüleri



Şekil 4 Farklı insan hareketlerine ait spektrogramlar (a) yürüme (b) koşma (c) boks egzersizleri (d) ileriye doğru zıplama

Spektrogramlar incelendiğinde dört hareketin radar imzalarının birbirinden bir hayli farklılıklar gösterdiği göze çarpmaktadır. Yürüme hareketinin spektrogramında kol ve bacakların periyodik hareketinin sonucu spektrogramda da periyodik salınımlar oluşmuştur. Yürüme esnasında kolların geriye doğru da hareket etmesi nedeniyle negatif hızlarda da bileşenlerin olduğu göze çarpmaktadır. Koşmanın yürümeden daha hızlı bir hareket olması nedeniyle gövdeden dönen sinyalin hızı koşma spektrogramında gövdeden dönen bileşen daha yukarıdadır. Ayrıca aynı sürede yürümeye oranla daha fazla sayıda salınım görülmektedir. Boks egzersizleri hareketinde bacaklar ve gövde sabit durduğu için bu parçalardan dönen sinyalin hızı sıfırdır. Hareket boyunca sadece kollar ileri ve geriye doğru hareket ettiği için kollarından dönen sinyaller bir miktar salınım neden olmuştur fakat bunlar diğer hareketlerdeki salınımlara oranla oldukça küçüktür. İleriye doğru zıplama hareketinde denek başlangıçta sabit dururken, sonra iki bacağı birbirine yapışık şekilde ileri doğru sıçramıştır. Bu hareketin spektrogramı incelendiğinde hedefin sabit durduğu ve zıplama hareketini gerçekleştirdiği yerleri gözle ayırmak son derece kolaydır. Zıplama hareketi esnasında yapılan öteleme hareketinden ötürü gövdenin radar cevabında meydana gelen artış açıkça göze çarpmaktadır.

VI. SONUÇ VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu bildiri insan hareketlerinin radar benzetimini yapabilmek için yeni bir benzetim kaynağı sunulmuştur. Önerilen yöntem, yürüme dışındaki hareketler için de kullanılabilmesinin yanı sıra ekonomik, temini kolay ve pratik bir algılayıcı olan Kinect ile gerçekleştirilmiştir. Radar benzetimi sonucu elde edilen spektrogramlar incelendiğinde spektrogramların Kinect ile kaydedilen hareketin yapısıyla uyumlu olduğu görülmüştür.

Gelecekteki çalışmalarda yalnızca bu bildiriye ele alınan hareketlerle sınırlı kalmayıp farklı birçok insan hareketi için benzetimler yapılacaktır. Alınan sonuçlar yüksek kaliteli hareket yakalama verileri, kinematik modellerden çıkarılan veriler ve gerçek veriler ile istatistiksel olarak karşılaştırılarak analizi yapılacaktır. Ayrıca farklı insanlardan toplanan farklı hareket verileri kullanılarak oluşturulacak veri tabanı ile sınıflandırma çalışmaları ve yürüme dışındaki hareketler için kinematik model oluşturma çalışmaları yapılacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] Boulic, Ronan, Nadia Magnenat Thalmann, and Daniel Thalmann. "A global human walking model with real-time kinematic personification." *The visual computer* 6.6 (1990): 344-358.
- [2] Van Dorp, P.; Groen, F. C. A, "Human walking estimation with radar," *Radar, Sonar and Navigation, IEE Proceedings -*, vol.150, no.5, pp.356,365, 2 Oct. 2003
- [3] Chen, Victor. *The micro-Doppler effect in radar*. Artech House Publishers, 2011
- [4] Karabacak, C.; Gurbuz, S.Z.; Gurbuz, A.C., "Radar simulation of human micro-Doppler signature from video motion capture data," *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2013 21st, vol., no., pp.1,4, 24-26 April 2013
- [5] Ram, S.S., Hao Ling, "Simulation of human microDopplers using computer animation data," *Radar Conference, 2008. RADAR '08. IEEE*, vol., no., pp.1,6, 26-30 May 2008
- [6] <http://mocap.cs.cmu.edu/>
- [7] http://accad.osu.edu/research/mocap/mocap_data.htm
- [8] <http://motion.cs.bilkent.edu.tr>
- [9] M.R. Andersen, T. Jensen, P. Lisouski, A.K. Mortensen, M.K. Hansen, T. Gregersen and P. Ahrendt. *Kinect Depth Sensor Evaluation for Computer Vision Applications*, Feb. 2012, Technical report ECE-TR-6.