

Çok Gövdeli Sistemlerde Hareket Analizi

Nusrettin Güleç¹, Eray Doğan², Mustafa Ünel³

Sabancı Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Orhanlı-Tuzla, 34956, İstanbul

^{1,2}{nusrettin,eraydogan}@su.sabanciuniv.edu

³munel@sabanciuniv.edu

Özetçe

Çok gövdeli sistemlerin hareket analizi son yıllarda önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bunun sebebi performans analizi, otomatik güvenlik ve izleme sistemlerinin gerçekleştirilmesi, gerçekçi insan-makine arayüzlerinin oluşturulması, içerik tabanlı imge depolanması ve erişimi gibi motive edici uygulama alanlarının varlığıdır. Bu alanda çok sayıda çalışma yayınlanmış olsa da bu araştırmanın henüz geliştirilebilecek yönleri vardır. Bu çalışmada, çok gövdeli bir sistemin hareketini, sistemi her biri birer robotik kol şeklindeki çok sayıda alt sisteme ayırıştırarak incelemeyi öneriyoruz. Çok gövdeli bir sistemin hareketini tanımak için her bir robotik kolun eklemlerinden gelecek algılayıcı bilgisini, yani eklem açılarını kullanıyoruz. Önerilen yöntem herbir ayırıştırılmış parçanın periyodik hareketini analiz etmek için eklem açılarının birbirine göre çizdirilmesiyle elde edilen imza eğrilerini kullanmaktadır. Aktör ayırt etme ve aksaklık tesbiti örnekleri sunulmuş ve önerilen yöntem benzetimlerle doğrulanmıştır.

1. Giriş

Son yıllarda, insanlar ya da hayvanlar tarafından sergilenen yürüme, koşma, zıplama ya da benzer vücut hareketlerinin tanınmasına ve analizine yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır [1]- [6]. Bu problem, bilgisayarla görü, robotik ve çok gövdeli sistemler gibi farklı mühendislik alanlarıyla yakından ilgilidir. Bu alandaki araştırmaların öncelikli amacı sergilenen hareketin sınıflandırılması iken geçmiş veya gelecek hareketlerin tahmini ya da bir çoklu gövde sisteminin işleyişindeki olası aksaklıkların öngörülmesi genel olarak ikincil bir görev olarak düşünülmektedir.

Problemin önemi, performans analizi (iyileşen bir hastanın ya da yarışa hazırlanan bir koşucunun performansı), özel mülkiyetlerde güvenlik, kalabalık umumi mekanlarda gözetleme, gerçekçi insan-makine arayüzlerinin (MMI) inşası, içerik tabanlı imge depolanması ve daha önemlisi erişimi gibi geniş uygulama alanlarının varlığından kaynaklanmaktadır. Araştırmacılar, genel olarak şu üç temel problemin üzerinde durmuşlardır: insan vücudunun bölümlerini içeren hareketlerin analizi, insan hareketlerinin takibi, ve son olarak insan faaliyetlerinin tanınması [1].

Hareket veritabanları oluşturmak için “imza eğrileri” [2] yaklaşımı geliştirilmiş ve erkek ve bayan aktörleri ayırt etmek için kullanılmıştır. İnsanların dans ederken sergiledikleri hareketler, hareket dizileri olarak düşünülmüş ve hareketin

basit parçaları olan “hareket ilkelerine”ne indirgenmiştir [5]. Her hareket ilkeli, tüm dansçıların yaptığı temel bir hareketin yanında dansçının kendine has özelliklerini ifade eden bir dans stiline oluşmaktadır. Bu yaklaşım verilen iki poz arasında gerçekçi hareket yörüngeleri belirlemek için önerilmiş ve kullanılmıştır. Hareket analizi için model tabanlı teknikler de sıklıkla kullanılmıştır [6], [7]. [6]’da yazarlar insan hareketini, vücut tanımlama parametrelerinin (VTP) uygun bir şekilde tahmin edilmesi ve vücut animasyon parametrelerinin (VAP) düzgün şekilde entegrasyonu sayesinde düzenlemiş ve analiz etmişlerdir.

İnsan hareketlerinin analizinden elde edilen sonuçlar insansı robotlar için uygun yörüngeler belirlemede de sıklıkla kullanılmıştır [7]- [9]. Bunun sebebi, insansı robotların insanlarla birlikte çalışabilmek için insan hareketlerini mümkün olduğunca benzer şekilde taklit etme gereksinimleridir. Pollard et al. [8] eklem hız sınırları ve serbestlik derecesi gibi insan hareket parametrelerini belirleyip, bu parametreleri bir insansı robotun gerçekleyebileceği seviyeye ölçeklemeyi önermiştir. Hareketi sergileyen insanları birbirinden ayırt etmek amacıyla Elman ağları (EN) ve gizli Markov modelleri (HMM) [7] eklem açısı yörüngelerinin kısa parçalarına uygulanmıştır. Öte yandan, anahtarlamalı doğrusal dinamik sistemlerin insan hareketlerinin analizi ve izlenmesi için gizli Markov modellerinden daha gürbüz olduğu gösterilmiştir [10].

İnsan yürüyüşünün tanınması son dönemde popüler bir araştırma konusu haline gelmiştir [11], [12]. İnsan hareketlerinin analizini gerçek-zamanlı olarak başarma yönünde de çalışmalar vardır; ancak, bu yöndeki çalışmalar henüz erken bir araştırma evresindedir ve sonuçlar genellikle kısıtlı senaryolarda elde edilmiştir [13], [14].

Bu çalışmada, çok gövdeli bir sistemin hareketini, sistemi her biri birer robotik kol şeklindeki çok sayıda alt sisteme ayırıştırarak analiz etmeyi öneriyoruz. Sistemin çeşitli hareketleri esnasında bu robotik kolların herbiri farklı yörüngelerde hareket edeceklerdir. Tüm sistemin hareketini tanımlamak için herbir robotik kolun eklemlerinden gelen algılayıcı bilgisini (eklem konumlarını ve eklem hızlarını) kullanıyoruz. Bunun için gereken eklem bilgisi, eklemlere tutturulmuş optik algılayıcılarla ya da sistemin etrafına yerleştirilmiş bir çoklu kamera sistemiyle elde edilebilir; ancak bu problemler bu çalışmanın kapsamı dışındadır.

Bu bildiri şu şekilde düzenlenmiştir: 2. Bölüm’de çok gövdeli sistemlerin basit alt sistemlere ayırıştırılması açıklanmıştır. 3. Bölüm çok gövdeli sistemler için kul-

landığımız hareket analiz teknikleri sunmaktadır. Önerilen yöntem benzetimlerle doğrulanmıştır ve benzetim sonuçları 4. Bölüm'de verilmiştir. Son olarak, 5. Bölüm'de sonuçlar tartışılmış ve bildiriye tamamlanmıştır.

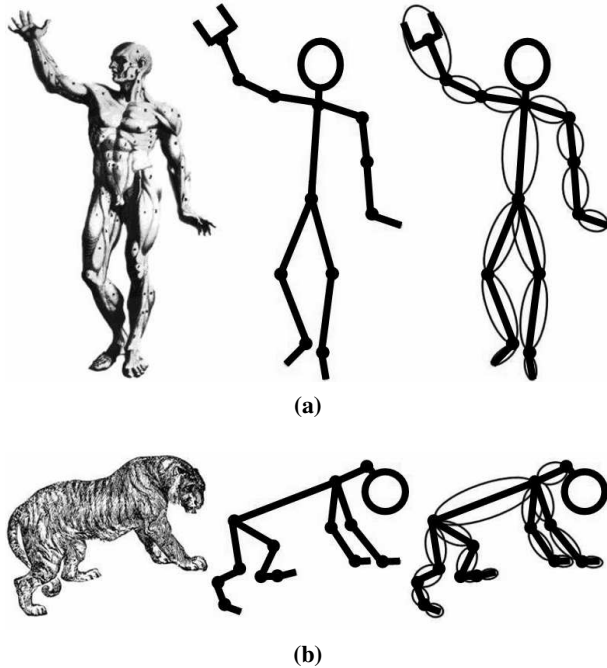
2. Çok Gövdeli Sistemlerin Ayrıştırılması

Çok gövdeli bir sistem çok sayıda bağlı parçadan oluşur. Bu parçalardan herbiri farklı serbestlik derecelerine ve eklemleri üzerinde farklı hareket kısıtlarına sahip olabilirler. Bu çalışmada, insanları ve hayvanları birer çok gövdeli sistem olarak düşünüyor ve Şekil 1'de gösterildiği gibi bunları herbiri birer robotik kol olarak modellenebilecek alt sistemlere ayırıyoruz.

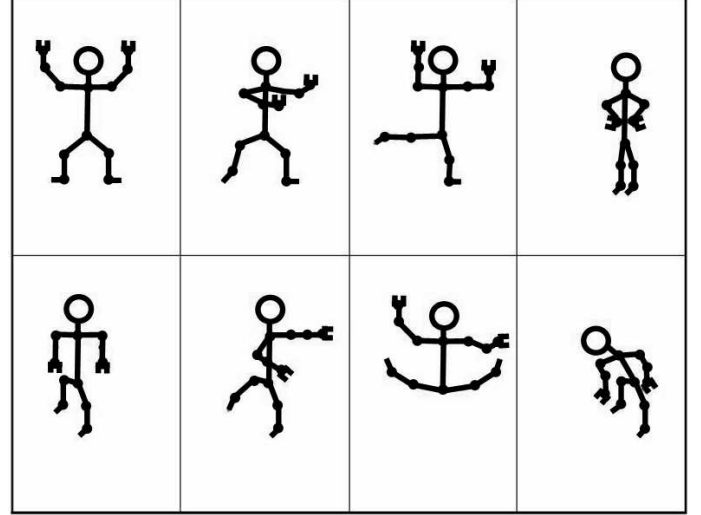
Herhangi bir anda, herbir robotik kolun eklem açıları tüm çok gövdeli sistemin duruşunu belirler. Farklı eklem açıları, muhtemelen farklı vücut hareketlerinin birer parçası olan farklı duruşlar ortaya çıkaracaktır. Şekil 2 insan vücudunun birtakım duruşlarını göstermektedir.

Önerilen yaklaşım çok gövdeli sistemleri birer robotik kol olarak ifade edilebilecek küçük parçalara ayırmaktır. Belirli bir vücut hareketi esnasında vücudun farklı bölümleri muhtemelen farklı hareketler sergileyeceğinden herbir parçayı tek başına incelenecektir. Burada amaç, öncelikle bu parçaların hareketlerini anlayıp sonrasında çok gövdeli sistemin hareketine açıklama getirmektir. Yukarıda anlatılan ayırıştırma metodunun örnekleri Şekil 3'de gösterilmiştir.

Bu çalışmada insan vücudunun hareketleri incelenecektir. Yürüme, koşma ya da zıplama gibi hareketler esnasında vücudun herbir parçası farklı hareketler sergilese de, tüm çok gövdeli sistem belirli bir hareketi yapmaktadır ve bu hareket



Şekil 1: Çok gövdeli sistemler ve ayrıştırıldıkları alt sistemler (a)İnsan vücudu (b)Kaplan vücudu



Şekil 2: İnsan vücudunun farklı duruşları

eklem açıları ve eklem açısal hızları ile ifade edilebilir. Daha detaylı olarak, serbestlik dereceleri $\{n_1 \dots n_k\}$ olan k tane robotik kola ayrıştırılmış bir çok gövdeli sistem için, durum değişken vektörü şu şekilde yazılabilir:

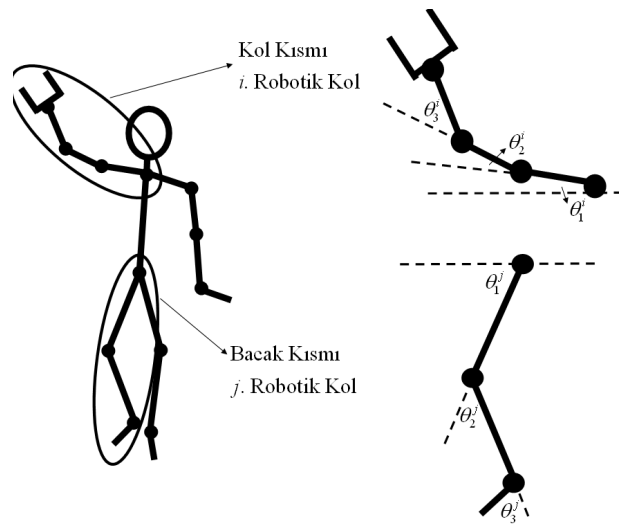
$$\Xi = [\Theta \quad \dot{\Theta}]^T \quad (1)$$

Bu denklemde,

$$\Theta = [\Theta^1 \quad \Theta^2 \quad \dots \quad \Theta^k]^T \quad (2)$$

olarak tanımlıdır ve $\dot{\Theta}$ bunun zamana göre türevini göstermektedir. (2)'de, Θ^i ayrıştırılmış çok gövdeli sistemdeki i numaralı robotik kolun eklem açılarından oluşmaktadır:

$$\Theta^i = [\theta_1^i \quad \theta_2^i \quad \dots \quad \theta_{n_i-1}^i \quad \theta_{n_i}^i]^T, 1 \leq i \leq k \quad (3)$$



Şekil 3: Vücudun bölümleri ve ilgili eklem açıları tanımlamaları

Robotik kolların sadece eklem açılarıyla ilgilenilerek, kinematik seviyede bir hareket analiz yöntemi geliştirilecektir. *i*. robotik kolun ucunun (kol için yüzük parmağının ucu ya da bacak için ayak başparmağının ucu gibi) kartezyen uzaydaki koordinatları (X_i) ile eklem açıları (Θ^i) arasındaki ileri yöndeki ilişki şöyle bir kinematik denklemle verilir:

$$X^i = G_i(\Theta^i). \quad (4)$$

Burada G_i eklem uzayından kartezyen uzaya tanımlı düzgün bir fonksiyondur.

3. Çok Gövdeli Bir Sistemin Hareket Analizi

İnsan vücudu günlük hayatta çok çeşitli hareketler sergiler. Bu farklı hareketlerin en sık görülenlerinden birçoğu ise periyodiktir; yürüme, koşma, klavye kullanma gibi. Periyodu T olan böylesi bir hareket esnasında, kullanılan uzvun ucunun kartezyen uzaydaki koordinatları şu denklemi sağlar:

$$X^i(t) = X^i(t + T), \quad (5)$$

Eğer ilgilenilen robotik kolun geri yönde tek bir kinematik denklemi varsa, ucun belirli bir yörüngeyi takip etmesini sağlayacak eklem açıları şöyle hesaplanabilir:

$$\Theta^i = G_i^{-1}(X^i). \quad (6)$$

Bu denklem ancak G_i^{-1} hesaplanabiliyorsa geçerlidir. Geri yönde tek bir kinematik denklemi olan robotik sistemler için ise, bu koşul sağlanmaktadır. Bu durumda, ilgilenilen robotik kolun eklem açıları da sergilenen hareketle aynı periyoda sahip bir periyodik salınım gerçekleştirirler ve

$$\Theta^i(t) = \Theta^i(t + T) \quad (7)$$

olarak yazılabilir.

Dolayısıyla, Θ^i vektörünün elemanlarının birbirine göre çizdirilmesi [2]'de hareketin "imza eğrileri" olarak adlandırılan kapalı eğriler oluşturacaktır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, tüm çok gövdeli sistemin periyodik bir hareketi boyunca vücudun farklı bölümlerinin muhtemelen farklı periyotlarla hareket edeceğidir. Dolayısıyla, sadece ayrıştırılmış sistemdeki aynı robotik kola ait eklem değişkenlerinin birbirine göre çizdirilmesi kapalı eğriler ortaya çıkaracaktır.

Bu şekilde oluşturulan imza eğrileri hareketi sergileyen aktörün tanınmasında kullanılabilir. Aynı hareketi (örneğin koşma) sergileyen iki farklı aktörün ilgili eklem açılarının birbirine karşı çizdirilmesiyle elde edilecek kapalı eğrilerin özellikleri birbirinden farklı olacaktır. Bu eğriler kullanılarak aktörler arasında ayırım yapılabilir. Böylesi bir ayırım yöntemi, bilgisayarla görü kullanılarak insan tanıma sistemleri oluşturulması üzerine yapılan araştırmalara katkı sağlayacaktır.

İmza eğrileri aktörler arasında ayırım yapmak için kullanılabilir gibi, çok gövdeli bir sistemdeki hareket bozukluklarının belirlenmesinde de kullanılabilir. Çok gövdeli sistemin periyodik hareketi esnasında eklemlerden biri aksıyorsa, bu eklem açısının diğerlerine göre farklı bir değişim geçirmesine, dolayısıyla da, oluşturulan kapalı eğrinin şeklinde bozulmalara ve normal imza eğrisinden sapmalara yol açar.

Hareket bozukluklarının yeri (hangi eklemden kaynaklandığı) bu şekilde tespit edildikten sonra ortopedistlerin teşhis koyması önemli ölçüde kolaylaşacaktır. Aynı eğriler kullanılarak, hareketin hangi safhasında aksama olduğu da eklem açılarının anlık değerleri sayesinde rahatça tespit edilebilir. Bu sayede aksama görülen duruş kesin olarak belirlenip, bunun etrafında detaylı bir uzman incelemesiyle probleme kolayca teşhis konabilir. Bunun da ötesinde, eğrilerin sapma parametreleri üzerinden anlamlı aksama ölçütleri belirlenerek problemin ne kadar ciddi olduğu anlaşılabilir.

4. Benzetim Sonuçları

MATLAB ortamında, hem hareketi sergileyen aktörleri ayırtma hem de hareketteki bozuklukları belirleme amaçlarına yönelik benzetimler yapılmıştır.

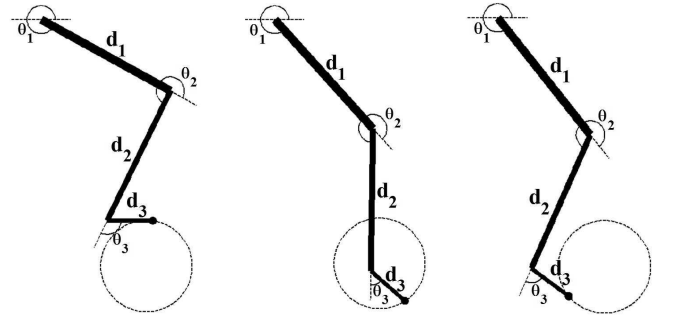
Benzetimlerde insan bacağı, kalçada, dizde ve ayak bileğinde eklemleri olmak üzere 3 parçalı bir robotik kol olarak modellenmiş ve kullanılmıştır. Benzetim sonuçlarının gerçekçi olması için insan bacağındaki (dizin tek yönlü çalışması, ayak bileğinin belirli bir açıdan fazla açılmaması gibi) hareket kısıtları da benzetime dahil edilmiştir.

İlk eklem açısı (θ_1) kalça ve bacak arasında, ikinci eklem açısı (θ_2) dizde ve son eklem açısı (θ_3) alt baldırla ayak arasında tanımlanmıştır. Bacığın bu şekilde bir robotik kol olarak modellenmesi ve koordinat sisteminin merkezinin kalçada düşünülmesi halinde, (4) şu şekilde yazılabilir:

$$X^i = \begin{bmatrix} d_1 \cos(\theta_1^i) + d_2 \cos(\theta_1^i + \theta_2^i) + d_3 \cos(\theta_1^i + \theta_2^i + \theta_3^i) \\ d_1 \sin(\theta_1^i) + d_2 \sin(\theta_1^i + \theta_2^i) + d_3 \sin(\theta_1^i + \theta_2^i + \theta_3^i) \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Bu denklemde d_k ($k = 1, 2, 3$) Şekil 4'te θ_k ile birlikte gösterildiği gibi sırasıyla üst baldırın, alt baldırın ve ayağın uzunluklarını göstermektedir.

İnsan bacağı için bisiklet sürme hareketi benzetim ortamında kodlanmış ve animasyonlarla görsellik kazandırılmıştır. Ayak başparmağının ucu robotik kolun ucu olarak düşünülmüş ve bisiklet sürme hareketinde olduğu gibi dairesel bir yörünge üzerinde hareket etmesi sağlanmıştır. Bacığın, pedalin farklı konumlarındaki farklı duruşları Şekil 4'te gösterilmiştir.



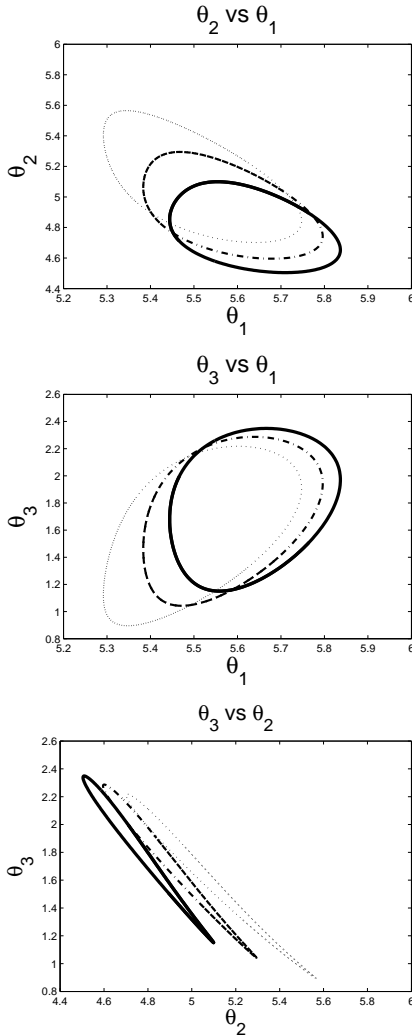
Şekil 4: Bisiklet sürme hareketi esnasında bacağın farklı duruşları

4.1. Aktörlerin Ayırt Edilmesi

(3)'te tanımlanan Θ^i vektörünün farklı elemanlarının birbirine göre çizdirilmesi ile elde edilen imza eğrileri hareketi sergileyen aktörlerin farklılıklarının ortaya konulması için kullanılabilir.

Bu bölümde, aynı pedal yörüngesi üzerinde farklı bacak uzunluklarıyla benzetimler yapılmıştır. Şekil 5'te verilen sonuçlardan da görüldüğü üzere, oluşan kapalı eğrinin uzun yöndeki çapı bacak uzunluğu ile ters orantılıdır. Başka bir deyişle; bisikleti süren insanın bacağı ne kadar uzunsa, sonuçta ortaya çıkan imza eğrisinin uzun yöndeki çapı o kadar küçülmektedir.

Bu sonuç, eklem açılarının birbirine karşı çizdirilmesi ile elde edilen imza eğrilerinin farklı boylardaki insanların birbirinden ayırt edilmesi için kullanılabilirliğini göstermektedir.



Şekil 5: Bacak uzunluklarının ayırt edilmesi. (Düz çizgi:Uzun - Kesikli çizgi:Orta - Noktalar:Kısa)

4.2. Hareket Bozukluklarının Belirlenmesi

Çok gövdeli sistemin hareketindeki bozukluklar imza eğrilerinin Şekil 5'te gösterilen normal imza eğrilerinden sapmalarının incelenmesi ile tespit edilebilir. Bunun yanında, (4)'teki G_i fonksiyonun bilinmesi hareketteki bozukluğun olduğu duruşun imza eğrisinin normal eğriden saptığı açı değerleri kullanılarak belirlenmesini sağlar.

Yapılan benzetimlerde, hareket bozuklukları eklemler üzerinde doğal kısıtlardan farklı pozisyon kısıtları oluşturan yaralanmalar olarak düşünülmüştür. Eklemlerinden biri sakatlanmış olan bir aktör o eklemi normal bir insan kadar geniş açılarda kullanamayacağından ve bu sebeple hareketinde bozulmalar meydana geleceğinden, bu oldukça doğal bir yaklaşımdır. Örneğin; Şekil 4'te gösterilen θ_2 sağlıklı bir insan için yaklaşık 240° 'ye kadar düşebileceken, dizdeki bir yaralanmadan ya da rahatsızlıktan dolayı 270° 'den daha aşağı düşemiyor olabilir. Bu durumda θ_2 daha da azalması gerekirken bu değerde sabit kalacak ve başparmak hedeflenen yörüngeyi izleyemeyecektir. Bunun sonucu olarak, oluşacak imza eğrisi de Şekil 5'te gösterilen sağlıklı imza eğrisinden farklı olacaktır ve bu farklılık kullanılarak hareketteki aksaklık tespit edilebilecektir.

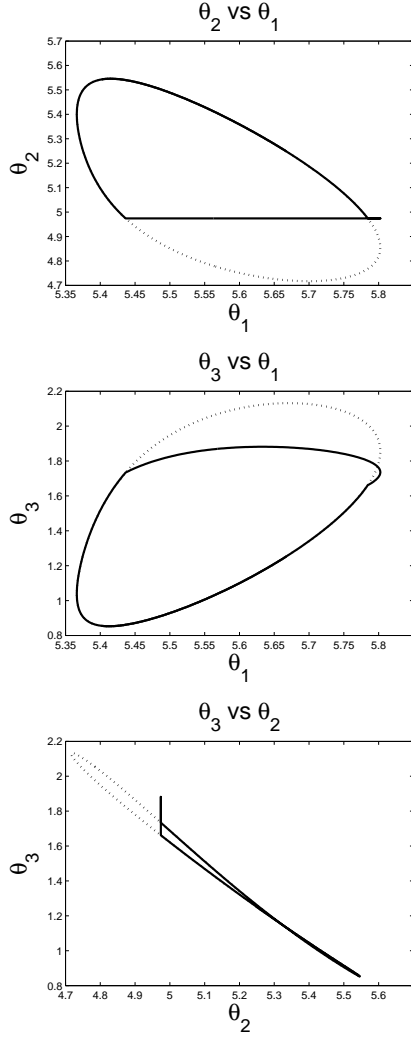
Şekil 6 ve Şekil 7 sırasıyla dizde ve ayak bileğinde rahatsızlık olan bir bacak için ortaya çıkan imza eğrilerini göstermektedir. Bu sonuçlardan da görüldüğü üzere imza eğrileri kısıtlanan eklemlerin kısıt açılarında kesiklenmiş olarak oluşacaktır.

Bu sonuçlardan anlaşılan bir başka özellik ise Şekil 6'daki ikinci imza eğrisinde görüldüğü gibi dizdeki ek kısıtın diğer eklem açılarını da etkilediğidir. Diğer yandan, Şekil 7'deki ilk imza eğrisinde görüldüğü gibi, ayak bileğindeki bir ek kısıt kalça ve diz açılarının imza eğrisini bozmamaktadır. (8)'den görülebileceği gibi her eklemdaki aksaklık, kendisinden sonraki eklemler arasındaki imza eğrisini bozmaktadır. Dolayısıyla, ayak bileğindeki aksaklık kendisinden önceki ilk iki eklem birbirine karşı çizdirilmesiyle elde edilen imza eğrisini etkilememektedir.

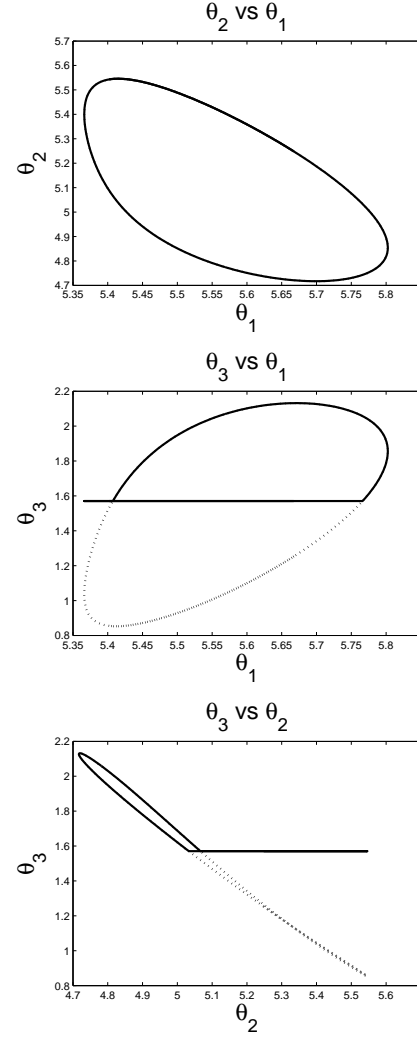
5. Sonuç

Bu çalışmada çok gövdeli sistemlerinin hareketinin incelenmesi için bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemle göre çok gövdeli sistem, herbiri birer robotik kola benzeyen çok sayıda alt-sisteme ayrıştırılmaktadır. Çok gövdeli sistemin farklı hareketleri esnasında bu alt-sistemlerden herbiri muhtemelen farklı hareket yörüngeleri izleyecektir. Çok gövdeli sistemin sergilediği hareket, bu robotik kolların herbirinin eklem açıları ile kodlanabilir. Periyodik hareketler esnasında, eklem açılarının birbirine göre çizdirilmesinin tek bir ters kinematik çözüm olduğu sürece kapalı eğriler ortaya çıkaracağı gösterilmiştir.

Bu çalışmanın olası uzantısı hastanın rahatsızlık seviyesini belirlemek için hareketteki aksaklıklara dair ölçütler tanımlamak olacaktır. Bu yönde imza eğrileri arasındaki farkın tanımlanması için Hausdorff uzaklığı benzeri tanımların kullanılması planlanmaktadır.



Şekil 6: Dizdeki bir rahatsızlık durumunda oluşan imza eğrileri. (Noktalar:Sağlıklı - Düz çizgi:Sakat)



Şekil 7: Ayak bileğindeki bir rahatsızlık durumunda oluşan imza eğrileri. (Noktalar:Sağlıklı - Düz çizgi:Sakat)

6. Teşekkür

Bu çalışma 106E040 numaralı proje kapsamında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir. Ayrıca, birinci yazar Unisantıs FZE Grubu'na Yousef Jameel doktora bursu dolayısıyla teşekkür eder.

7. Kaynakça

- [1] J.K. Aggarwal, Q. Cai, "Human Motion Analysis: A Review", *Journal of Computer Vision and Image Understanding*, No. 3, March 1999, 428-440.
- [2] W.A. Wolovich, M. Unel, N. Pollard, "The Shape of Multi-Body Motion", *Proceedings of International Conference on Recent Advances in Mechatronics*, May 1999.
- [3] C. Theobalt, J. Carranza, M.A. Magnor, "Enhancing Silhouette-Based Human Motion Capture with 3D Motion Fields", *Proceedings of 11th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications*, October 2003, 185-193.

- [4] R. Bodor, B. Jackson, O. Masoud, N. Papanikolopoulos, "Image-Based Reconstruction for View-Independent Human Motion Recognition", *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Vol. 2, October 2003, 1548-1553.
- [5] A. Nakazawa, S. Nakaoka, T. Shiratori, K. Ikeuchi, "Analysis and Synthesis of Human Dance Motion", *Proceedings of IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, July 2003, 83-88.
- [6] Chung-Lin Huang, Chia-Ying Chung, "A Real-Time Model-Based Human Motion Analysis System", *Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, Vol. 2, July 2003, 477-480.
- [7] J. Moldenhauer, I. Boesnach, T. Beth, V. Wank, K. Bos, "Analysis of Human Motion for Humanoid Robots", *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, April 2005, 311-316.

- [8] N.S. Pollard, J.K. Hodgins, M.J. Riley, C.G. Atkeson, "Adapting Human Motion for the Control of a Humanoid Robot", *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 2, May 2002, 1390-1397.
- [9] Y. Nakamura, K. Yamane, "Dynamics Computation of Structure-Varying Kinematic Chains and Its Application to Human Figures", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*. Vol. 16, No. 2, April 2000, 124-134.
- [10] V. Pavlovic, J.M. Rehg, "Impact of Dynamic Model Learning on Classification of Human Motion", *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Vol. 1, June 2000, 788-795.
- [11] Han Su, Feng-Gang Huang, "Human Gait Recognition Based on Motion Analysis", *Proceedings of 2005 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Vol. 7, August 2005, 4464-4468.
- [12] S.J. Hwang, H.S. Choi, Y.H. Kim, "Motion Analysis Based on a Multi-Segment Foot Model in Normal Walking", *Proceedings of 26th Annual International Conference on Engineering in Medicine and Biology Society*, Vol. 2, 2004, 5104-5106.
- [13] S. Yonemoto, D. Arita, R. Taniguchi, "Real-Time Human Motion Analysis and IK-Based Human Figure Control", *Proceedings of Workshop on Human Motion*, December 2000, 149-154.
- [14] F.S. Khan, S.A. Baset, "Real-Time Human Motion Detection and Classification", *Proceedings of IEEE Students Conference*, Vol. 1, August 2002, 135-138.