

İnersiyal Algılayıcı Tabanlı Hareket Yakalama

Inertial Sensor Based Motion Capture

Tuba Kurban¹, Erkan Beşdok¹

¹Mühendislik Fakültesi
Erciyes Üniversitesi
tubac@erciyes.edu.tr, ebesdok@erciyes.edu.tr

Özet

Biyomekanik, navigasyon, simülasyon, sanal gerçeklik ve animasyon gibi birçok alanda kullanılan hareket yakalama teknolojisinin önemi giderek artmaktadır. Hareket yakalama için farklı algılayıcılar kullanan birçok farklı sistem geliştirilmektedir. İnersiyal tabanlı hareket yakalama sistemleri yüksek hassasiyet, yüksek hareket kabiliyeti gibi özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir. Bu çalışmada, Xsens Moven inersiyal hareket yakalama sistemi ile biyomekanik uygulamaları, kapalı alanlarda yaya navigasyonu ve karakter animasyonu gibi uygulamalara yönelik hareket verileri elde edilmiş ve bu veriler Moven Studio ortamında sayısallaştırılmıştır. Elde edilen veriler, biyomekanik analiz, navigasyon ve 3 boyutlu karakter animasyonu uygulamaları için hazır hale getirilmiştir.

Abstract

Motion capture technology has been widely used in biomechanics, navigation, simulation, virtual reality and animation areas. Several motion capture systems have been developed using different motion sensors. Inertial sensor based motion capture systems have high accuracy and mobility. In this paper, motion data of biomechanical, indoor pedestrian navigation and character animation movements are captured with Xsens Moven inertial motion capture system. Obtained data can be used for biomechanical analysis, navigation and 3D character animation in future works.

1. Giriş

Hareket yakalama teknolojisi son yıllarda biyomekanik, yaya navigasyonu, eğitim ve simülasyon, sanal gerçeklik ve karakter animasyonu alanlarında oldukça önem kazanmıştır. Hareket yakalama (motion capture / mocap) hareketin kaydedilmesi ve sayısal bir modele dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir. Bir hareket yakalama sistemi, aktör veya aktörlerin hareketlerini saniyede pek çok kez örneklemektedir. Burada kaydedilen bilgi aktörün dış görünüşü değil sadece yaptığı hareketlerdir [1].

Hareket yakalama 1970'lerden itibaren biyomekanik sahasındaki fotogrametrik analiz araçları ile başlamış ve

eğitim, spor, sinema, bilgisayar animasyon ve bilgisayar oyunları gibi pek çok teknolojik alanda kullanılmaya başlamıştır. Akustik, inersiyal, LED, manyetik veya reflektif işaretleyicili veya bunların kombinasyonu şeklinde pek çok hareket yakalama sistemi geliştirilmiştir. Hareket yakalama yazılımları pozisyon, açı, hız, ivmelenme ve darbe gibi pek çok ölçümü kaydetmektedir. Biyomekanik, spor ve eğitimde, gerçek zamanlı veriler problemlerin çözümü için gerekli bilgiyi sağlamaktadır [1].

Hareketli bir durumda insan vücut hareketlerinin harici kameralar olmaksızın yakalanmasını sağlayan sistemler bulunmaktadır. Mekanik algılayıcılar insan vücuduna giyilen açılabilirler kullanılır. Bu açı ölçüm aygıtları eklemlerdeki açı bilgilerinden kinematik algoritmalar kullanarak vücut pozisyonunu algırlarlar. Vücudun yumuşak dokusu algılayıcılarda pozisyon hataları meydana getirir ve bu aygıtların yerleşimi de oldukça problemlidir. İnersiyal algılayıcıların hareket analizinde kullanımı tercih edilen bir yöntemdir [2,3]. Kesin bir şekilde oryantasyon bilgisinin elde edilmesinde pek çok yöntem önerilmiştir [4]. Akselerometreler yerçekimine göre dikey ivmeyi ölçerek yön bilgisi üretirler. Manyetik algılayıcılar yatay ekseninde bir pusula gibi kararlılığı sağlarlar. Bunun gibi pek çok algılayıcıdan gelen bilgiler sürekli olarak oryantasyon bilgisinin elde edilmesini sağlar. Her bir vücut eklemlerinden hesaplanan oryantasyonlar kullanılarak vücut pozisyonu tespit edilir [5].



Şekil 1: Xsens Moven hareket yakalama donanımı.

Karmaşık vücut eklemlerinin ve sırt, omuz gibi sabit olmayan

vücut bölgelerinin doğru bir şekilde izlenmesi üçten fazla serbestlik derecesi ile mümkün olabilir. Oryantasyon tabanlı bir hareket yakalama sisteminde koşma ve zıplama esnasındaki ayakların analizi mümkün olmamaktadır [2].

İnersiyal algılayıcı modülleri ile vücut eklemlerinin altı serbestlik derecesinde izlenebilmesi ancak jiroskop ve akselerometrelerin dahil edilmesiyle gerçekleştirilebilir. Ancak birleştirmede meydana gelen kaymalardan dolayı, elde edilen kestirimler ancak birkaç saniyelik süre için doğrudur [6]. Akustik veya manyetik izleyiciler gibi diğer vücuda giyilen sistemler ile inersiyal kestirimlerin birleştirilmesi ile kaymalar önlenabilir.

Xsens Moven hareket yakalama sistemi tamamen giyilebilir algılayıcılardan oluşan bir hareket yakalama sistemidir. Sistem vücut bölümlerinin oryantasyon ve pozisyon değişikliklerini jiroskop ve akselerometre işaretlerinin birleştirilmesiyle vücudun biyomekanik karakteristiğini ortaya koymaktadır. Aynı zamanda sistem, 120 Hz güncelleme hızı ile gerçek zamanlı olarak çalışmaktadır. Moven Studio yazılımı sayesinde hareketlerin üç boyutlu olarak incelenmesi ve kaydedilmesi sağlanabilmektedir [2].

Bu çalışmada inersiyal algılayıcı tabanlı bir hareket yakalama sistemi ile yürüyüş, folklor ve merdiven iniş/çıkış hareketlerinin yakalanması uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

2. İnersiyal Hareket Yakalama Arabirimi

Xsens Moven hareket yakalama arabirimi 16 MTx algılayıcı ve 2 Xbus Master aktarıcından meydana gelmektedir [7]. MTx; 3B jiroskop, akselerometre ve manyetometrelerden oluşan bir inersiyal ölçüm modülüdür. Bütün algılayıcılar Xbus Master cihazlarına bağlıdır ve senkronize edilen tüm algılayıcı bilgileri kablolu olarak en yakın bilgisayara iletilir. Algılayıcı ve kablolar bir likra elbiseye entegre edilmiştir ve sistemin toplam ağırlığı 1.9 kg'dır.

Algılayıcı modüller ayaklar, alt bacaklar, üst bacaklar, pelvis, omuzlar, kafa, üst kollar, ön kollar ve ellere Şekil 1'deki gibi yerleştirilir. Algılayıcıların vücuda yerleştirilmesinde hangi algılayıcının vücutta hangi bölgede olduğu bilinmediği için bir kalibrasyon aşamasına ihtiyaç duyulmaktadır. Algılayıcıdan elde edilen bilgiler kestirim ve düzeltme adımları içeren bir algılayıcı füzyon mekanizması ile birleştirilir. Kestirim aşamasında bütün algılayıcılardan elde edilen bilgiler inersiyal navigasyon sistemi (INS) algoritmaları ile işlenir. Daha sonra vücut bölgelerinin kinematiki kestirilir ve vücudun biyomekanik modeli ortaya çıkarılır. Zamanla inersiyal algılayıcılardan gelen bilgilerin birleştirilmesi sırasında gürültü, işaret kayması veya oryantasyon hatalarından kaynaklanan kayma hataları meydana gelir. Oryantasyon, hız ve pozisyon gibi bilgilerin elde edilmesi algılayıcı füzyon mekanizması sürekli olarak güncellenir [2].

Hata düzeltme aşaması insan vücudunun biyomekanik karakteristikleriyle güncellenir. Eklemler vücudun dış dünyaya temas noktaları pozisyon ve hız ve diğer yardımcı algılayıcılar da bu adımda kullanılır. Elde edilen kinematikler INS algoritmasına ve kinematik adımına her aşamada geri beslenir [2].

Kalibrasyon aşamasında algılayıcı modülünün vücut bölümüne göre oryantasyonu ve eklemler arasındaki rölatif uzaklıkların hesaplanması gerekir. Daha önceden belirlenmiş olan bir pozisyonun kullanıcı tarafından gerçekleştirilmesi istenmektedir. T pozisyonu adı verilen duruş Şekil 2' de verilmiştir. Algılayıcının vücut bölgesine olan rotasyonu (BA_q), küresel çerçevedeki algılayıcının oryantasyonu (KA_q) ile her bir bölgedeki bilinen oryantasyonlar (KB_q) eşleştirilerek bulunur [2]:

$$KB_q = KA_q \otimes BA_q^* \quad (1)$$

Burada $\otimes$ kuaterniyon çarpımını ve $*$ kuaterniyonun kompleks eşleniğini belirtmektedir [8]. Bir sonraki aşamada kişiye belli bir hareket yaptırılarak oryantasyon ve açısal hız bilgileriyle algılayıcı oryantasyonu hesaplanır.



Şekil 2: T pozisyonu.

Hız jiroskopları, açısal hızı ölçer (ω). Açısal hızın zamana göre integrali alınırsa, açıdaki ve oryantasyondaki değişimi bulunur:

$$KA_{q_t} = \frac{1}{2} KA \otimes \Omega_t \quad (2)$$

Burada (KA_q), t anında algılayıcıdan (A) küresel çerçeveye (K) olan rotasyonu tanımlayan kuaterniyondur. $\Omega_t = (0, \omega_x, \omega_y, \omega_z)^T$ ise ω_t açısal hızının kuaterniyon gösterimidir. Lineer akselerometreler ivme (a) ve yer

çekimini (g) algılayıcı koordinatlarından vektör olarak ölçerler. Algılayıcı işaretleri eğer algılayıcının oryantasyonu (KA_{q_i}) biliniyorsa küresel referans sisteminde şu şekilde ifade edilir [2]:

$$(K_{a_i} - K_g) = KA_{q_i} \otimes (A_{a_i} - A_g) \otimes KA_{g^*} \quad (3)$$

Yer çekimi bileşeni denklemden çıkarılırsa ivmenin (a_i) hızı (v_i) göre bir kez ve pozisyona (p_i) göre iki kez integrali alınır [2]:

$$\ddot{(K_{p_i})} = K_{a_i} \quad (4)$$

INS kinematikleri vücut bölümlerinin kinematiklerine aktörün vücudunun vücut bölümlerinden meydana geldiği ve bu bölümlerin birbirine eklemler ile bağlı olduğu bir biyomekanik model kullanılarak transfer edilir.

U ile isimlendirilmiş bir vücut bölümüne ait eklem orjini pozisyonu (P_{U0}), oryantasyon (KB_{qU}), uzunluk (A_U), bilinirse, küresel çerçevedeki bir noktanın pozisyonu (P_{U1}), şu şekilde hesaplanır [2]:

$$K_{P_{U1}} = K_{P_{U0}} + KB_{qU} \otimes B_{SU} \otimes KB_{qU}^* \quad (5)$$

$t=0$ 'da L vücut bölümünün orjini (P_{L0}), noktasından U vücut bölgesinin (P_{U1}), noktasına bağlıdır.

Her inersiyal ve vücut kinematiki kestirimi aşamasında eklem pozisyonu ve rotasyonunun hatası artarak birikir. Bu hataya neden olan etmenler algılayıcı gürültüsü ve hareketlerle ilgili gürültülerdir. Bu hatalar eklem ölçüm güncelleştirmeleri sırasında düzeltilir. Hataların düzeltilmesinde Kalman filtresi kullanılır. Her bir eklem için pozisyon ilişkisi şu şekilde tanımlanır [2].

$$y_t = Cx_t + \omega_t \quad (6)$$

Burada x_t U ve L ile isimlendirilen vücut bölgelerinin t anındaki pozisyonlarını ihtiva eden durum vektörüdür. C y_t ölçümündeki durum vektörüyle ilişkili olan matristir. ω_t ölçüm gürültüsüdür. İki vücut bölümü birleştiğinde ölçüm matrisi olan C şu şekilde tanımlanır:

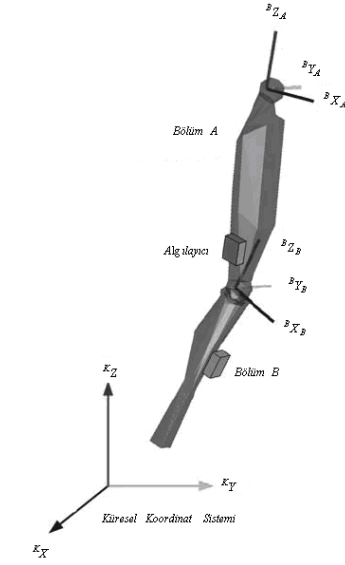
$$C = [I_3 - I_3] \quad (7)$$

burada I_3 3x3' lük birim matrisi sembolize eder.

Bir Kalman filtresi kullanılarak durum kestirimi şu şekilde yapılabilir:

$$\hat{x}_t^+ = \hat{x}_t^- + G(y_t - C\hat{x}_t^-) \quad (8)$$

Burada $\hat{x}_t^-$ ve $\hat{x}_t^+$ Kalman güncellemesinden önceki ve sonraki durumları ve G ise Kalman kazancını belirtir [9].



Şekil 3: Global koordinat sisteminde vücut bölümleri koordinat sistemleri [2].

Moven füzyon motoru her bir vücut bölümü için pozisyon, oryantasyon ve diğer kinematik verisi B 'yi dünya sabit referans koordinat sistemi K 'ye göre hesaplamaktadır. Global koordinat sisteminde vücut bölümleri koordinat sistemleri Şekil 3'de gösterilmektedir. Varsayılan dünya sabit referans koordinat sistemi kullanımı aşağıdakilerle birlikte sağ el kartezyen koordinat sistemi olarak tanımlanır [2]:

- Manyetik kuzey işaret edildiği zaman X pozitifdir.
- Y sağ el koordinatlarına göre (Batı).
- Yukarı işaret edildiği zaman Z pozitifdir.

Genellikle, bir ortak rotasyon merkezden uzak bir KB_{B_q} bölümü ile birlikte yakınsal KB_{A_q} segmentinin oryantasyonuyla tanımlanır:

$$B_A B_{B_q} = KB_{A_q}^* \otimes KB_{B_q} \quad (8)$$

Burada x kuaterniyon çarpmayı ve $*$ kuaterniyonun kompleks eşleniğini temsil etmektedir. Ortak açıları tanımlayan, ortak rotasyon $B_A B_{B_q}$ 'nin birkaç ortak parametresi vardır:

- Cardan/Euler gösterimi [10]
- Ortak koordinat sistemi [11]
- Sarmal açı [12]

Kaydedilen mocap verisi uluslararası standartlar haline dönüşmüş BVH [13] veya FBX formatlarına dönüştürebilir. Bu formatlar 3d studio max, XSI ve Motion Builder gibi popüler 3 boyut uygulamaları tarafından direkt olarak kullanılabilir. Özellikle Motion Builder uygulaması Moven Studio yazılımı ile birlikte çalışarak gerçek zamanlı karakter animasyonunu sağlayabilir.

3. Uygulama

3.1. Biyomekanik hareket yakalama

Biyomekanik uygulamalarında insanın hareketlerinin çok hassas bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir. Biyomekanik hastalık, yıpranma, yaşlanma, kaza ve zorlamalar sonucunda oluşan işlev bozukluklarını tanımlamak amacıyla, fizyolojik işlevleri izlemek ve bunlarla ilgili veri toplamak için kullanılmaktadır. Diğer taraftan, canlı sistemlerin tedavi ve rehabilitasyonu, protez ve yapay organların tasarımı, anatomik yapıların incelenmesi ve işlevlerin tanımlanması uygulamalarında kullanılabilir [14].

Şekil 4’de merdiven iniş/çıkış hareketine ait mocap verilerinin elde edilmesi uygulaması görülmektedir. Uygulamaya başlamadan önce algılayıcıların kalibrasyonu için aktör T-pozisyonuna getirilerek sistemin ilklendirme işlemi gerçekleştirilir. Daha sonra aktörün belirli hareketleri yapması istenir. Bu uygulamada merdiven inme çıkma hareketine ait 3 boyutlu mocap verileri elde edilmiştir. Hareket esnasında elde edilen veriler kablosuz olarak aktör yakınında bulunan bilgisayar istasyonuna gerçek-zamanlı olarak aktarılmaktadır.



Şekil 4: Merdiven iniş/çıkış hareketine ait mocap verilerinin toplanması.

3.2. Kapalı alanlarda yaya navigasyonu

Açık alanlarda navigasyon için GPS başta olmak üzere pek çok teknoloji geliştirilmiştir. Ancak kapalı alanlarda bu teknolojiler kullanılamamaktadır. Özellikle iftayeçilik gibi kapalı alanlarda icra edilen ve tehlike arz eden meslek gruplarında kapalı alan navigasyonu oldukça önemlidir. En kötü durum senaryoları şu şekilde özetlenebilir: bina yerleşim planının bilinmiyor olması, zarar görmüş veya uygun olmayan çevre koşulları, muhtemel sıfır görüş alanı (duman, sis vb.), RF iletişimi bozucu etkenler, hassasiyet kısıtlamaları ve uzak mesafelerdir [15].

Şekil 5’da görülen uygulamada kapalı alanlarda navigasyon için bilinmediği varsayılan binanın planının çıkartılmasına yönelik bir hareket yakalama işlemi görülmektedir.

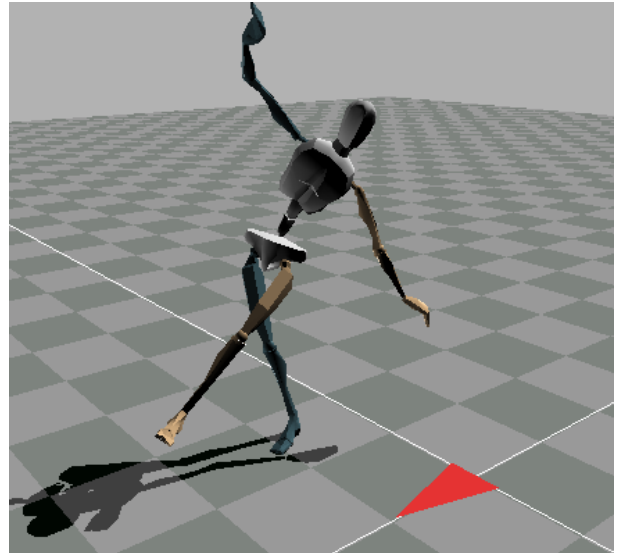


Şekil 5: Kapalı alanlarda yaya navigasyonu için mocap verilerinin toplanması.

3.3. Karakter animasyonu

Bilgisayar oyunları genellikle sporcuların veya doğa üstü güçleri olan karakterlerin animasyonu için hareket yakalama sistemlerini kullanırlar. Sinema filmlerinde bilgisayar grafik efektleri için yine hareket yakalama sistemleri tercih edilmektedir.

Şekil 6’da görülen uygulamada folklor yapan aktörün halay çekme hareketi sayısallaştırılarak Moven Studio ortamına aktarılmıştır. Bu aşamadan sonra elde edilen model, Motion Builder veya 3D Studio Max gibi bir 3 boyutlu animasyon yazılımına BVH veya FBX formatında aktarılarak iskelet üzerine arzu edilen karakter giydirilebilmektedir. Diğer taraftan, elde edilen veriler uygun OpenGL ortamlarına aktarılarak bilgisayar oyunlarında kullanılabilmektedir.



Şekil 6: Halay çekme hareketinin Moven Studio ortamına aktarılması.

4. Sonuçlar

Hareket yakalama teknolojisi son yıllarda biyomekanik, yaya navigasyonu, eğitim ve simülasyon, sanal gerçeklik ve karakter animasyonu alanlarında oldukça önem kazanmıştır. Akustik, inersiyel, LED, manyetik veya reflektif işaretleyicili veya bunların kombinasyonu şeklinde pek çok hareket yakalama sistemi geliştirilmiştir. İnersiyel tabanlı hareket yakalama arabirimlerinin yüksek hassasiyet, yüksek hareket kabiliyeti gibi özellikleri ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada, Xsens Moven inersiyel hareket yakalama sistemi ile aktör üzerinde kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Biyomekanik, kapalı alanlarda yaya navigasyonu ve karakter animasyonuna yönelik hareket verileri elde edilmiş ve Moven Studio ortamında sayısallaştırılmıştır. Elde edilen veriler, daha sonraki çalışmalarda biyomekanik analiz, navigasyon ve 3 boyutlu karakter animasyonu uygulamalarında kullanılacaktır.

5. Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 107Y159 kodu ile desteklenmektedir.

6. Kaynaklar

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Motion_capture -
- [2] Roetenberg, D., Luinge, H., Slycke, P., "Moven: Full 6DOF Human Motion Tracking Using Miniature Inertial Sensors", *Xsens Technologies*, 2007.
- [3] Morris, J., "Accelerometry – A technique for the measurement of human body movements", *Journal of Biomechanics*, vol. 6, pp 729-736, 1973.
- [4] Foxlin, E., "Inertial-head tracker sensor fusion by a complementary separate-bias Kalman filter", in *Proceedings of VRAIS '96*, 1996, pp. 185-194.
- [5] Bachmann, E., "Inertial and magnetic tracking of limb segment orientation for inserting humans into synthetic environments", *PhD Thesis*, Naval Postgraduate School, 2000.
- [6] Giasanti, D., Macellari, V., Maccioni, G., Macellari, V., "The development and test of a device for the reconstruction of 3-D position and orientation by means of a kinematic sensor assembly with rate gyroscopes and accelerometers", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 52, no. 7, pp. 1271-1277, 2005.
- [7] Xsens Technologies, <http://www.xsens.com>
- [8] Kuipers, J., *Quaternions and Rotation Sequences*, Princeton University Press, 1999.
- [9] Gelb, A., *Applied Optimal Estimation*, The M.I.T. press, 1974.
- [10] Cole, G., Nigg, B., Ronsky, J., Yeadon, M., "Applications of the joint coordinate system to three-dimensional joint attitude and movement representation: a standardization proposal", *Journal of Biomechanics*, vol. 115, no. 4A, pp. 344-349, 1993.
- [11] Grood, E., Suntay, W., "A joint coordinate system for the clinical description of three dimensional motions: application to the knee", *Journal of Biomechanics*, vol. 105, no. 2, pp. 136-144, 1983.
- [12] Kinzel, G., Hall, A., Hillberry, B., "Measurement of the total motion between two body segments . I Analytical development", *Journal of Biomechanics*, vol. 5, no. 1, pp. 93-105, 1972.

- [13] Lander, J., "Working with motion capture file formats", *Game Developer*, no. Jan., pp. 30-37, 1998.
- [14] <http://biomechanics.me.metu.edu.tr/Presentations/Anatomy-Biyomekanik-150504.ppt>
- [15] http://www.xsens.com/Static/Documents/UserUpload/papers/beauregard_WPNC_omnidirectionalPDR.pdf