

Artırılmış Gerçeklik Tabanlı El Bileği Rehabilitasyon Sistemi

Augmented Reality Based Wrist Rehabilitation System

Adem Hacıoğlu^{1,3}, Ömer Faruk Özdemir^{1,3}, Ali Kürşad Şahin^{2,3} ve Yusuf Sinan Akgül³

¹Yapay Nazar Yazılım Limidet Şirketi, Kocaeli, Türkiye
{adem.hacioglu, omerfaruk.ozdemir}@yapaynazar.com.tr

²INSENS Bilişim Teknolojileri San. ve Tic. Ltd. Şirketi, İstanbul, Türkiye
kursad.sahin@inosens.com.tr

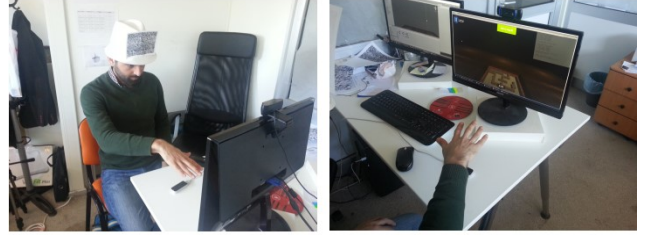
³Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye
akgul@gtu.edu.tr

Özetçe— Fizyoterapi, ihtiyacı olan kişiler için uzun zamanlar hayatının parçası olabilecek bir süreçtir. Günümüz teknolojisinde ortaya çıkan dokunmasız sensörler rehabilitasyon konforunu ve iyileşme sürecini olumlu yönde etkilemektedir. Bununla birlikte sanal/artırılmış gerçeklik teknolojileri ile birlikte bu süreçlerin göreceli olarak daha iyi noktalara geleceği düşünülmektedir. Bu çalışma, oluşturulan sanal sahnenin üç boyutlu yapısının kişi konumu ile eşleştirilerek kişinin sahne ile etkileşimini artıran bir fizyoterapi sistemi ortaya koymaktadır. Ayrıca, dokunmasız sensörlerden biri olan Leap Motion yardımı ile gerçekleştirilen oyun artırılmış gerçeklik için yeni bir ölçümleme tekniği de tanımlanmaktadır. Sonuç olarak bu bildiri artırılmış gerçeklik kavramının fizyoterapi alanında bir örneğini teşkil etmektedir.

Anahtar Kelimeler — artırılmış gerçeklik; fizyoterapi; rehabilitasyon; oyun

Abstract— Physiotherapy is a long period that becomes a part of the life of people who need it. Today, the new touchless sensors have positive influence on the comfort of the rehabilitation and healing period. In addition, with the virtual/augmented reality technology, these processes are expected to be relatively more advanced. This study presents a novel physiotherapy system that increases the interaction of the subject with the virtual scene by matching the 3D geometry of the scene with the subject's position. Besides, the developed game based on the Leap Motion, a touchless sensor, describes a new measuring metric for augmented reality. Finally, this article represents an example of augmented reality concept in the field of physiotherapy.

Keywords — augmented reality; physiotherapy; rehabilitation; game.

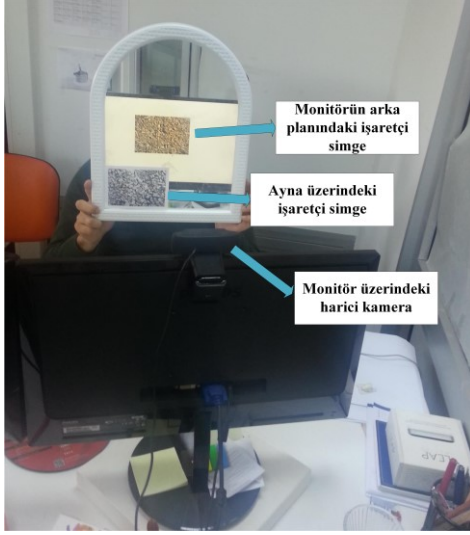


Şekil 1. (a) İnsanın kafasına yerleştirilen işaretçi simge (marker) ve işaretçi simgeyi takibi için kullanılan monitörün üzerinde bulunan kamera. (b) Leap Motion ile geliştirilen oyun ve insanın bakış açısı

I. GİRİŞ

Fizyoterapi sırasında sinir, heyecan veya aşırı dikkat gibi etkenler teşhis ve tedavi süreçlerinde aşılması gereken problemlerdir [10]. Hali hazırda kapı kolu, stres topu gibi nesnelere yardımcı ile hastaların zihinleri dağıtılırken gerekli ölçümler yapılmaya çalışılmaktadır. Son zamanlarda oyun konsolları yardımcı ile oyun oynatılarak hastaların gözlemlenmesi yöntemleri de kullanılmaktadır. Fakat oyun konsolları genellikle eğlence amaçlıdır. Bu sebeple, ölçüm ve gözlem için kullanıldığında çeşitli zorluklar oluşturmaktadır. Dokunmasız sensörler ile birlikte fizik tedavi ve rehabilitasyon odaklı geliştirilen uygulamaların başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [1,7]. Bu tür uygulamalar mücadele ve ödüllendirme gibi teşvik edici unsurlar içerdiği için özellikle çocuk hastalarda egzersiz programına uyumu artırır [8]. Bununla birlikte, uygulamaların tamamen sanal ortamda olması göreceli olarak bir süre sonra hastaların isteklerini ve dikkatlerini düşürecektir. Fizyoterapi amaçlı sanal/artırılmış gerçeklik uygulamaları, kullanıcının vücut bölümlerinin hareketlerini referans alarak gerçek dünya ile etkileşim kurarlar. Bu tip uygulamalar belirli bir görevin yerine getirilmesi esasına dayandırılır.

Bu bildiri sanal gerçeklik tabanlı bir fizyoterapi ve rehabilitasyon sistemi ortaya koymaktadır. Bunu yaparken Leap Motion [9] dokunmasız sensör tabanlı bir oyun geliştirilmiştir. Geliştirme esnasında hareket analizi yöntemlerinden faydalanılmıştır. Sanal gerçeklik için pahalı cihazlar kullanmak yerine benzer etkiyi sağlayabilecek işaretçi simge (marker) tabanlı bilgisayar ekranı üzerinden bir çözüm üretilmiştir (Şekil 1). Gerçek dünya ölçümlemesi için ayna tabanlı yeni bir yöntem ortaya koyulmuştur (Şekil 2). Sonuç olarak sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik teknolojilerinin dokunmasız sensörler yardımı ile fizyoterapi alanında yeni bir uygulaması ortaya koyulmuştur.



Şekil 2. Ölçümleme için geliştirilen sistem. Monitörün arka planında bulunan işaretçi simgenin ayna üzerindeki görüntüsü ve ayna üzerindeki işaretçi simge ile ayna düzleminin bulunması.

Bildiri şu şekilde şekillendirilmiştir. II. Bölümde bu alandaki geçmiş çalışmalar ele alınmıştır. III. Bölüm sistem için geliştirilmiş oyun ve sistem kısıtları ele alınmıştır. IV. Bölüm artırılmış gerçeklik modülü ve gerekli hesaplamaları açıklamıştır. V. Bölüm ise sonuç ve gelecek çalışmalarını içermektedir.

II. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde çok farklı çeşitte sanal gerçeklik tabanlı fizyoterapi çalışmaları bulunmaktadır. İncelenen çalışmalar dokunmasız sensör tabanlı çalışmalardır.

[1]'deki çalışmada bir mutfak sahnesi tasarlanmış ve gündelik hayat işleri görevler olarak tanımlanmıştır. Microsoft Kinect sensörü yardımı ile üst ekstremité ölçümleri oyun esnasında kaydedilmektedir. Gündelik işleri yapabiliyor olmaları hastaların egzersizleri daha motive ve kurallarına uygun olarak gerçekleştirmelerini sağlamaktadır.

Sanal gerçekliğin fizyoterapi üzerindeki etkisini araştıran çalışma [3], üç ana konuyu vurgulamaktadır. Sanal gerçeklik terapistlere yeni egzersiz programları ve yöntemleri geliştirmelerinde yardımcı olur. Otomatik sanal

asistan ile birlikte evde egzersizlerin yapılması terapi sürecinin daha sağlıklı ilerlemesini sağlar. Ve son olarak kayıt altına alınmış terapiler iyileşme sürecinin izlenmesini kolaylaştırır.

[9]'da Leap Motion sensörü kullanılarak oluşturulmuş sanal bir ortamın gerçek dünyada kontrol edilmesine dayalı bir sistem ortaya koyulmuştur. Burada ortaya çıkan dezavantaj sistemin tamamen ekrandan sabit bir pencereden takip edilmesi zorunluluğudur.

Ortaya koyduğumuz sistem tasarladığımız sanal sahnenin üç boyutlu yapısının kişi konumu ile eşleştirilerek kişinin sahne ile etkileşimini artırmak temeline dayanmaktadır. Bu sayede kişi motivasyonu ve dikkati artacak ve fizyoterapi daha etkili olacaktır.

III. SİSTEM OYUN MODÜLÜ

Sistem genel olarak iki ana yapıyı barındırmaktadır. Bunlardan ilki Sanal gerçeklik içeren ve el bilekleri ile kontrol edilen bir oyun ikincisi ise artırılmış gerçeklik modülüdür. Tanımlanan sistem Fizyosoft markası altında var olan ticari ürünlerin parçalarıdır [6].

A. Geliştirilen Oyun



Şekil 3. Oyun sahnelerinden örnek bir görüntü.

Sistemin bir parçası olan fizyoterapi ve rehabilitasyon amaçlı oyun, üç boyutlu ortamda sağ veya sol el bileklerinin fleksiyon ve ekstansiyon (Şekil 4) hareketleri ile birlikte oynanacak şekilde tasarlanmıştır. Oyunun amacı belirtilen süre içerisinde tasarlanan labirent tahtasının bir ucundan diğer ucuna yuvarlanan top ile birlikte varabilmektir. Oyun artırılmış gerçeklik modülü ile birlikte ve kendi başına kullanılabilir şekilde deneylerde kullanılmak ve sistemin etkisini gözlemleyebilme olanağı sunmuştur. Şekil 3 oyun sahnelerinden bir örnek içermektedir.



Şekil 4. (a) Bilek fleksiyon hareketi. (b) Bilek ekstansiyon hareketi.

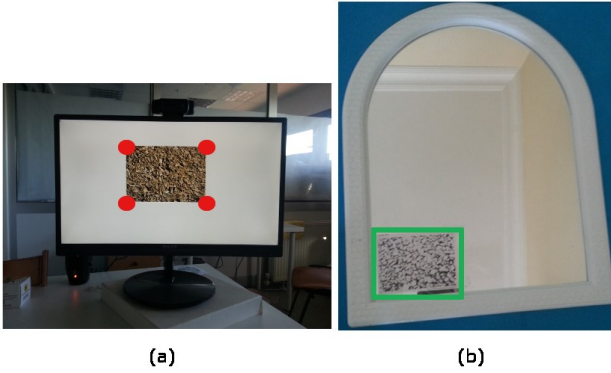
B. Sistem Kısıtları

Geliştirilen sistem 2.4Ghz işlemcili ve 8 GB ram bulunan bir bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir. 1920x1080 piksel genişliğinde bir ekran sanal/artırılmış gerçeklik uygulamalarında kullanılmıştır. El bileği hareketleri Leap Motion [9] sensörü yardımı ile algılanmıştır. Kalibrasyon ve kişi algılama için ise 5MP web kamera kullanılmıştır.

IV. ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK MODÜLÜ

İki farklı uzayı birbiri ile etkileştirebilmek için işaretçi simgeler (marker) kullanılmaktadır. Bu çalışmada gerçek dünya ile oluşturulmuş sanal dünya arasında etkileşim yapabilmek için ölçümleme yapılmaktadır. Yeni bir yöntem olarak ortaya koyulan ayna tabanlı ölçümleme için Şekil 2'deki gibi düzenek geliştirilmiştir. 1 adet monitör, 1 adet ayna, monitörün üzerinde bulunan 1 adet kamera ve 2 adet işaretçi simge bulunmaktadır.

A. Nokta Kümelerinin Belirlenmesi



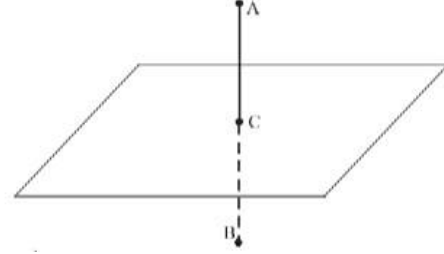
Şekil 5 (a) 1920x1080 çözünürlüklü monitör için işaretçi simgenin konumu. Kırmızı noktalar işaretçi simgenin köşe noktalarını göstermektedir. (b) Yeşil ile çizilen alan, ayna üzerine yerleştirilmiş işaretçi simge.

Farklı uzaylarda eşleştiğini bildiğimiz en az 3 nokta ile birlikte ölçümleme yapılabilir [5]. Bu bildiride işaretçi simgenin köşe noktaları iki farklı uzay için eşleşen noktalar olarak kullanılmıştır.

Şekil 5 (a)'da köşe noktalarının koordinatları belirlenmiş olan işaretçi simge, monitörün arka plan resmi yapılmıştır. Arka planının beyaz olması işaretçi simgenin daha güvenilir bir şekilde bulunmasını sağlamaktadır. Ayna üzerine görüntüyü engellemeyecek şekilde 1 tane işaretçi simge yerleştirilmiştir (Şekil 5 (b)). Bu işaretçi simge, aynanın düzlem denklemi olan $ax + by + cz + d = 0$ hesaplanabilir için kullanılmıştır.

Ayna, monitörün üzerinde bulunan kameranın karşısına getirilmektedir. Kameradan alınan görüntü içerisinde, ayna üzerindeki işaretçi simge ve monitörün arka planında bulunan işaretçi simge bulunmaktadır. Ayna üzerindeki işaretçi simgeye göre düzlem denklemi [2]

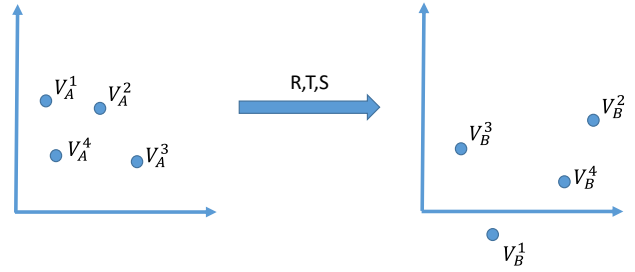
hesaplanmaktadır. Monitörün üzerindeki işaretçi simgenin ayna üzerindeki görüntüsünün düzlem denklemine göre yansımaları bulunmaktadır (Şekil 6). Bu şekilde 3B gerçek dünya ortamı ile 2B monitörün ölçümlemesi tamamlanmış olur.



Şekil 6. A noktasının düzleme göre (C) yansımaları (B)

B. Nokta Kümelerinin Eşleştirilmesi

Gerçek dünya ve monitör üzerinde eşleşmiş 4 nokta Şekil 7'de gösterilmiştir. Hesaplanan bu 4 nokta arasındaki ilişki rotasyon, öteleme (translation) ve ölçek faktörü ile ifade edilmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. İki farklı uzayda nokta kümesi eşleştirilmesi

V_A Gerçek dünyadaki nokta kümesini temsil etmektedir. V_B Monitör üzerindeki nokta kümesini temsil etmektedir. Eşleştirilmesi yapılacak V_A ve V_B aynı ölçeğe getirilir. S , nokta kümelerini aynı ölçeğe getiren fonksiyondur. $S(V_A, V_B)$, V_A üzerindeki noktalar arasında en küçük öklid uzaklığına sahip noktaları referans alır. Ardından V_B üzerinde eşleştiği noktaları kullanarak ölçek faktörünü hesaplar. C_A Gerçek dünyadaki nokta kümesinin merkezini temsil etmektedir. C_B monitör üzerindeki nokta kümesinin merkezini temsil etmektedir.

$$M_{3 \times 3} = \sum_{i=1}^N (V_A^i - C_A)(V_B^i - C_B)^T, \quad (1)$$

Denklem 1'de tanımlanan $M_{3 \times 3}$, rotasyon ve öteleme bilinmeyenlerini içeren matristir. M Matrisi kullanılarak SVD (Singular Value Decomposition) [4] yardımı ile $[U, S, V]$ değerleri elde edilmiştir. U ve V sırasıyla, sol ve sağ tekil değerleri ifade eder.

$$R = VU^T, \quad (2)$$

Denklem 2'deki gibi R rotasyon matrisi elde edilir.

$$T = -RC_A + C_B, \quad (3)$$

Rotasyon matrisi ve nokta kümelerinin merkez noktaları kullanılarak Denklem 3 ile öteleme matrisi hesaplanmıştır.

$$B = (R_{3 \times 3}A + T_{3 \times 1})S, \quad (4)$$

A , V_A düzlemine ait noktadır. B , A 'nın V_B düzlemindeki karşılığıdır. Elde edilen rotasyon, öteleme matrisleri ve ölçek faktörü ile birlikte gerçek dünya ve sanal dünya arası etkileşim sağlanmış olur (Denklem 4). Denklem 4 ve Şekil 8 kullanılarak işaretçi simge ile birlikte gerçek dünya etkileşimi sağlanmış olur.



Şekil 8. Gerçek dünya ile etkileşimi sağlayan işaretçi simge yerleştirilmiş şapka.

V. SONUÇ VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Artırılmış gerçeklik içeren kullanıcı etkileşimli bir fizyoterapi uygulaması geliştirilmiştir. Uygulama insanların duruşlarının sisteme etkisini sağlayarak dokunmasız sensörler yardımıyla fizyoterapi ve rehabilitasyon sürecinin daha sağlıklı ilerlemesini sağlamayı amaçlamaktadır. Aynı zamanda artırılmış gerçeklik alanının gerçek dünyada bir uygulaması olmuştur. Sistemi geliştirebilmek ve gerçek hastalar üzerindeki etkisini belirleyebilmek için belirli hasta kümeleri üzerinde deneyler yapılacak ve iyileşme süreçleri üzerindeki etkileri ortaya koyulacaktır. Ayrıca sistem deneysel ispatların ardından teknolojik fizyoterapi için iyi bir referans olacağı düşünülmektedir.

VI. BİLGİLENDİRME

Bu çalışma, Tübitak 3001 programı kapsamında 215S191 numaralı ve "Çocuklarda Üst Ekstremitte

Rehabilitasyonunda Leap Motion Sensörü Yardımı Ile Yapılan Egzersizlerin Etkinliğinin Arastırılması" isimli projesi çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Adams, R. J., Lichter, M. D., Krepkovich, E. T., Ellington, A., White, M., & Diamond, P. T. (2015). Assessing upper extremity motor function in practice of virtual activities of daily living. *Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on*, 23(2), 287-296.
- [2] Anton, H. (2010). Elementary linear algebra. John Wiley & Sons.
- [3] Camporesi, C., Kallmann, M., & Han, J. J. (2013, March). VR solutions for improving physical therapy. In *Virtual Reality (VR), 2013 IEEE* (pp. 77-78). IEEE.
- [4] De Lathauwer, L., De Moor, B., & Vandewalle, J. (2000). A multilinear singular value decomposition. *SIAM journal on Matrix Analysis and Applications*, 21(4), 1253-1278.
- [5] Fitzpatrick, J. M., West, J. B., & Maurer Jr, C. R. (1998). Predicting error in rigid-body point-based registration. *Medical Imaging, IEEE Transactions on*, 17(5), 694-702.
- [6] fizyosoft™ LeapMaze, <http://www.fizyosoft.com/index.php/urunler-ve-cozumler/>, 2015.
- [7] Lv, Z., & Li, H. (2015, June). Imagining in-air interaction for hemiplegia sufferer. In *Virtual Rehabilitation Proceedings (ICVR), 2015 International Conference on*(pp. 149-150). IEEE.
- [8] Mousavi Hondori, H., & Khademi, M. (2014). A review on technical and clinical impact of microsoft kinect on physical therapy and rehabilitation. *Journal of Medical Engineering*, 2014.
- [9] Regenbrecht, H., Collins, J., & Hoermann, S. (2013, November). A Leap-supported, hybrid AR interface approach. In *Proceedings of the 25th Australian Computer-Human Interaction Conference: Augmentation, Application, Innovation, Collaboration* (pp. 281-284). ACM.
- [10] Tarakci, E., Yeldan, I., Mutlu, E. K., Baydogan, S. N., & Kasapcopur, O. (2011). The relationship between physical activity level, anxiety, depression, and functional ability in children and adolescents with juvenile idiopathic arthritis. *Clinical rheumatology*, 30(11), 1415-1420.