



Haptik Rehabilitasyon Uygulamaları Applications on Haptic Rehabilitation

M.Erkan KÜTÜK¹, L.Canan DÜLGER¹, M.Taylan DAŞ²

¹Makine Mühendisliği Bölümü, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep, Türkiye
{mekutuk,dulger}@gantep.edu.tr

²Makine Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye
mtdas@kirikkale.edu.tr

Özetçe— Üst ekstermite fiziksel rehabilitasyon ihtiyacı olan hasta popülasyonu artış göstermektedir. Bu işlemleri yapan terapist sayısındaki daralmanın yakın gelecekte büyük bir problem yaratacağı ön görülmektedir. Bu çalışmada üst ekstermite rehabilitasyon robotları üzerinde durulmuş, haptik rehabilitasyon üzerine örneklemeler yapılmıştır. Haptik aygıtlar insan ve bilgisayar arasında üç boyutlu bilgi alışverişini sağlayabilmektedir. Gerçek ortamda algılanan dokunma duyusunun sanal ortamda modellenmesiyle kuvvet geri beslemesi gerçekleştirilmektedir. Makine Mühendisliği Bölümü ile Tıp Fakültesinin işbirliği çerçevesinde devam eden çalışmanın içeriği ve altyapı olanakları hakkında bilgiler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler — haptik robot, rehabilitasyon robotiği, yörünge planlama, üst ekstermite

Abstract—Population of patients who need upper extremity physical rehabilitation is increasing. It is foreseen in near future that contraction in the number of therapist will create a huge problem. In this study, upper extremity rehabilitation robots are focused and some examples are given on haptic rehabilitation. Haptic devices can provide three-dimensional information exchange between human and computer. Force feedback is implemented by modeling sense of touch perceived in real environment. Information about contents and infrastructure facilities of the work in progress in cooperation with Mechanical Engineering and Medicine Faculty are given.

Keywords — haptic robot, rehabilitation robotics, trajectory planning, upper extremity.

I. GİRİŞ

Rehabilitasyon robotiği son dönemlerde insan-robot etkileşiminin doğrudan örneklediği bir alandır. Uygulama alanları, hedef kitle, mekanik tasarım, denetim sinyal ve stratejileri konularında çeşitlilik içermesi araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Rehabilitasyonla görevli terapistler ellerini kullanarak tedavi esnasında ciddi zaman ve efor harcamaktadırlar. Robotik cihazlar programlanabilirlik yetenekleriyle tedavi uzmanlarında sınırlı düzeyde olan hız, his, mukavemet ve hareketlerin tekrar edilebilirliği konularında çok daha başarılıdırlar. Robot destekli rehabilitasyonun farklı tipte uygulama

alanları mevcuttur. Bunlar sırasıyla robot destekli tedavi, robot ile hareketin zor hale getirilmesi, sanal gerçeklik uygulamalarının ilave edilmesi ve cihaz ile beynin bir ara yüz ile birleştirilmesi şeklindedir [1]. Robotik cihazlar terapide kullanılabilirlikleri gibi hastaların klinik olarak değerlendirilmelerinde de kullanılmaktadır [2, 3].

Bu çalışma yapılması planlanan işlemleri ve elde bulunan altyapı olanaklarını anlatan bir ön çalışma niteliği taşımaktadır. Her hastanın farklı fiziksel özellikleri olduğu göz önüne alındığında, robotların uygulayacakları yörüngelerin de hastalara göre değişkenlik göstermesi normal ve gerekli bir durumdur. Çalışmada robotun yapması gereken hareket ilk etapta haptik cihaz vasıtasıyla robota öğretilmektedir. Hazırlanacak olan yörünge planlama algoritması bu hareketi hastadan gelecek olan geri besleme sinyalleri ve belirlenecek olan sınır koşullarına göre, hareketin genel karakteristiğine sadık kalmak kaydıyla yeniden yapılandırarak uygulayacaktır.

Ülkemizde yapılan çalışmaların incelemeleri neticesinde üst ekstermite bölgesinde, alınacak geri besleme sinyalleriyle rehabilitasyon robotlarının gerçek zamanlı olarak yörüngelerinin planlanması konusunda yeterli çalışma bulunmamaktadır. Uluslararası literatürde denetim sinyalleri olarak uygulanan kuvvet ya da torça göre dinamik sinyallerin, cihazın ya da kişinin uzvunun pozisyon, hız, ya da ivmesine göre kinematik sinyallerin ya da EMG gibi tetikleyici sinyallerin kullanıldığı görülmüştür [4]. Çalışmada edinilen hedef, elde bulunan altı serbestlik dereceli seri robotla haptik cihazı uyumlu halde çalıştırarak, yazılacak olan yörünge planlama algoritmalarının sisteme gömülmesiyle akıllı bir robot sistemi elde etmektir. Hastadan anlık olarak alınan geri beslemelerle gerçek zamanlı yeni yörüngeler hesaplanıp, robota uygulanacaktır. Farklı bir durum çalışması olarak haptik cihaz yardımıyla altı serbestlik dereceli seri robot eş zamanlı kontrol ettirilerek hastalara doğrudan pasif hareketler yaptırılmak istenmektedir[5, 6, 7].

İnteraktif Sunumlar

2. Gün / 28 Ekim 2016, Cuma

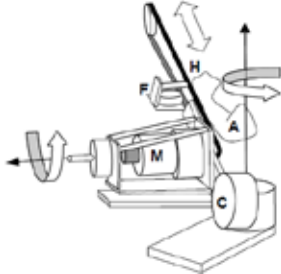
II. ROBOTİK REHABİLİTASYON

Üst ekstremité bölgesinde kullanılmak üzere hazırlanmış robotik sistemlerle ilgili örneklemeler yapılabilir. Chang ve Kim motor rehabilitasyonu için kullanılan robotik cihazların klinik kullanımı üzerine çalışmışlardır. Bunlar eksoskeleton ve son-eyleyici tiplerdir [8]. Şekil 1'de gösterilmiştir.



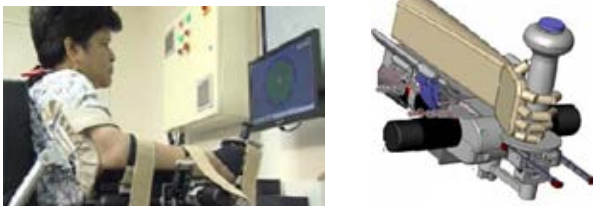
Şekil 1. (a) Eyleyici tipi, (b) Eksoskeleton Tipi

Kahn vd. (2004) üst ekstremité kronik felçli hastalar için yeni bir robotik tedavi üzerine çalışmışlardır. Hemiparetik kol uç noktalarının oluşturulan kuvvetleri düzenlemek adına eğitim görevleri hipotezlenmiştir. Tedavi sonunda fonksiyonel yeteneklerde ciddi anlamda artışlar gözlemlenmiştir. Yardım miktarının ayarlanması adına adaptif bir algoritma oluşturulmuştur ve ARMGuide isimli robotik cihaz üzerinde uygulanmıştır [9]. Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. ARM Guide [9]

Krebs vd. (2007) bilek rehabilitasyonunda kullanılmak üzere üç döner serbestlik derecesine sahip bir robot üzerinde çalışmışlardır. Mevcut protokole göre 160 gönüllü felç hastası MIT-MANUS isimli el ve bilek rehabilitasyonunda kullanılan robot ile eğitim alacaklardır. Tamamlanan 52 hasta tedavisinden 36 tanesinin sonuçları incelenmiştir. Sonuçlara göre diğer uzuv bölümlerine ilave tedavilerle daha iyi sonuçlar beklenmektedir [10]. MIT-MANUS robot Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. MIT-MANUS Robot [10]

Lum vd. (2006) omuz ve dirsek nörorehabilitasyon tedavisinde kullanılmak üzere tasarlanan ve iki taraflı da kullanılabilen Ayna Görüntü Hareket Sağlayıcısı (MIME) isimli robotik cihazı sunmuşlardır. MIME kusurlu uzva tek taraflı ya da iki taraflı kuvvet uygulayabilen Puma 560 tipi robot ile beraber çalışmaktadır. Çalışmada robot yardımcı tedavi tekniği (tek taraflı, çift taraflı ya da kombine) geleneksel tekniklerle kıyaslanmıştır [11]. Robotik sistem Şekil 4 (a,b)'de gösterilmiştir.



(a) Tek Taraflı Hareket (b) Çift Taraflı Hareket
Şekil 4. MIME Sistemi [11]

Rosati vd. (2005) 'MariBot' (MARIsarobOT) isimli yeni bir tel bazlı robot sundular. Bir kaç yıl önce NeReBot (NeuroREhabilitation roBOT) isimli robotu geliştirmişlerdi. Fakat sistemin bazı kısıtlamaları mevcuttu. Bu sebepten ötürü MariBot üretildi. Fazladan iki serbestlik derecesinin eklenmesi ve mekanik yapının değiştirilmesiyle çalışma uzayı genişletilmiştir. Elektronik donanım ve denetim yapılan yenilikler insan makine etkileşiminde gözle görülür katkılar sağlamıştır [12].

III. HAPTİK REHABİLİTASYON

İşitsel, haptik (dokunsal), görsel uyarım şeklinde kullanıcıya temin edilebilir geri besleme türleri bulunmaktadır. Görsel ve haptik [13] örnekler literatürde mevcuttur.

Haptik sistemler dokunma duyusunu kullanan insan-bilgisayar arayüzleridir. Fiziksel nesnelere dinamik etkileşim sonucu kullanıcıya dokunma hissi verir. Haptik geri beslemeli sistemler son dönemlerde rehabilitasyon terapilerinde de kullanılır hale gelmiş ve popülerite kazanmıştır. Elde edilen olumlu sonuçlar teşvik edici niteliktedir. Lum vd. [14] üst ekstremité bölgesinde kullanıcıları aktif ve pasif olarak yönlendiren ve aynı zamanda performans kaydı yapan bir cihaz tasarlamışlardır. Loureiro vd. [15] haptik ve sanal gerçeklik uygulaması içeren GENTLE/s isimli Şekil 5'te gösterilen ev tipi modüler robot üzerinde çalışmışlardır.

Takahashi vd. [16], kol rehabilitasyonunda kullanılmak üzere bir haptik cihaz sunmuşlardır. Kuvvet geri beslemeli eldiven tasarımı yapılmış olup el terapilerindeki hareket senaryolarında kullanılmıştır. [17-18]. Rehabilitasyonda kullanılan ticari haptik ürünler de mevcuttur. Paralel robotlar Phantom Omni ve Premium [13, 19, 20], Falcon

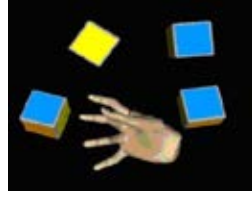
İnteraktif Sunumlar

2. Gün / 28 Ekim 2016, Cuma

[21] ve kuvvet geri beslemeli eldiven CyberGrasp [22] verilebilecek örneklerdir.



Şekil 5. Gentle/S



Şekil 6. SG Uygulamaları

Haptik sistemlerin büyük çoğunluğunun Sanal Gerçeklik (SG) senaryoları ile bir arada çalışır olduğu gözlenmiştir. Şekil 6'da örneklenen, SG'nin olduğu uygulamalar geleneksel yöntemlere göre daha ilgi çekici olmaktadır. Egzersize olan motivasyonu ve hasta dikkatini arttırmakta olup, hastaların terapilere daha çabuk uyum sağlanmasını mümkün kılmaktadır. Böylece terapilerden daha olumlu sonuçlar alınmaktadır [23].

IV. HAPTİK DENEYSSEL SİSTEM

Çalışmada Makine Mühendisliği Bölümü Mekatronik Laboratuvarı'nda bulunan Denso robot kullanılmaktadır. Şekil 7'de sunulan DENSO VP-6242G 6 Eksenli Robot ile sonlandırıcıyı geniş bir çalışma alanı dâhilinde konumlandırmak ve yönlendirmek mümkündür. Robot motorları Quanser denetim modülü ile denetlenmektedir. Kullanıcılar Simulink ortamında denetim kazançlarını kendileri tasarlayabilir ya da QUARC ara yüzü sayesinde denetim kazanç değerlerini ayarlayabilirler. Bu robot medikal tedavi ve cerrahi işlerde kullanılabilmesi gibi fizik tedavi-rehabilitasyon ve kuvvet geri beslemeli teleoperatif sistemler için uygundur.

Mekatronik Laboratuvarı'nda mevcut bulunan robot çalışma istasyonuna dâhil olan sistemler; Denso VP-6242G robot, Denso denetleyici, Quanser, açık mimari denetim modülü- yazılımı, 3D görselleştirme, PC, Kuvvet-tork sensörü ve HD2 Yüksek Çözünürlüklü Dokunsal Cihaz (alınma aşamasında). HD2 HIGH DEFINITION HAPTIC DEVICE (HD2 Yüksek Çözünürlüklü Dokunsal Cihaz) ticari ismine sahiptir. Şekil 8'de gösterilmiştir. Cihaz görsel medikal simülasyonlar ve tele operasyon gibi gelişmekte olan alanlarda oldukça esnek çözümler sağlamaktadır. Laboratuvarımızda bulunan DENSO VP-6242G robot ile uyumlu olarak çalışabilen HD2, programlanabilir kuvvet geri beslemesi sayesinde araştırmacıların görsel ve uzaktaki ortamlarla iletişim kurmalarını sağlamaktadır. Robot uç noktasına ergonomik bir tutucu tasarlanarak, rehabilitasyon amaçlı kullanılmak üzere üç boyutlu yazıcı yardımıyla üretilmesi konusunda çalışmalar devam etmektedir.

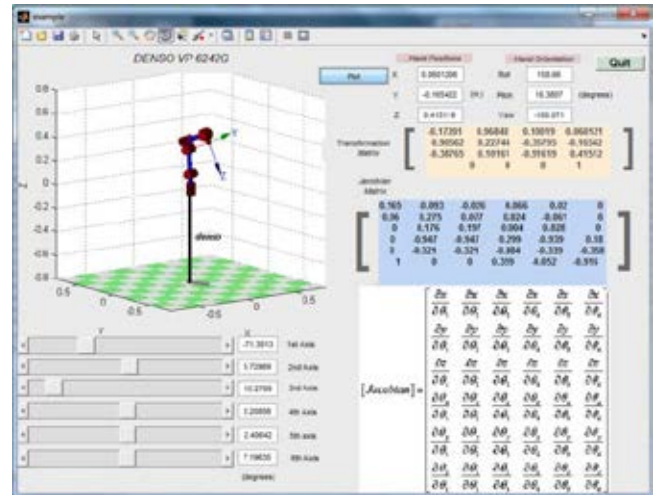


Şekil 7. Denso Robot



Şekil 8. Haptik Cihaz

Robotik sistem üzerindeki çalışmalar robot kinematiki alanında devam etmektedir. Düz ve ters kinematik denklemler çıkarılmış olup Jakobiyen matrisi analitik olarak elde edilmiştir. Matlab Robotik Araç Kutusu kullanılmıştır. Matlab yardımıyla kullanıcı arayüzü (GUI) oluşturulmuş, Robotik Araç Kutusu içine gömülmüştür. Robot eklemlerinde yapılan anlık değişiklikler sonucu robot oryantasyonu görsel olarak değişmekte ve kinematik veriler yenilenmektedir. Analitik sonuçlarla Araç Kutusundan elde edilen sonuçlar doğrulanmıştır. Hazırlanan GUI Şekil 9'da gösterilmiştir. Model yapılacak eklemlerle geliştirilerek rehabilitasyon uygulamalarına uygun hale getirilecektir.



Şekil 9. Denso GUI

V. SONUÇLAR

Profesyonel terapist sayısının azlığı, bilimsel ve teknik potansiyelin artışı araştırma gruplarını rehabilitasyon işlemlerinin yapılabileceği potansiyel cihaz arayışına itmiştir. Robotik sistemlerin en önemli avantajı tekrar eden egzersizleri terapistleri yormadan hassas bir şekilde yapabilmeleridir. Sayısal veri alımı ve sanal gerçeklik uygulamaları sonucu egzersizlere kolay adapte olunması hastaların motivasyonunu artırmaktadır.



İnteraktif Sunumlar

2. Gün / 28 Ekim 2016, Cuma

Bu çalışma üst ekstremitte rehabilitasyon robotları ve haptik uygulamalar üzerinedir. Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde devam eden çalışma hakkında ön bilgiler verilmiştir. Tıp fakültesi Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Ana Bilim Dalı'ndan gerçek hareket senaryoları alınarak, aktif ve pasif hareketlerin yaptırılacağı akıllı bir rehabilitasyon robotu yapılacaktır. Sonuçların uygulanabilir tabanda sunulması neticesinde, çalışma pratikte uygulanabilecektir.

VI. TEŞEKKÜR

Projenin maddi kaynağı Gaziantep Üniversitesi Araştırma Projeleri Yönetim Biriminin (BAP) MF 16.03 kodlu projesinden sağlanmıştır. Gaziantep Üniversite Rektörlüğü'ne teşekkür ederiz. Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalında görevli Öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Özlem ALTINDAĞ'a teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- [1] Turner, D. L., Ramos-Murgialday, A., Birbaumer, N., Hoffmann, U. And Luft, A. " Neurophysiology of robot-mediated training and therapy: a perspective for future use in clinical populations", *Frontiers in Neurology - Neuroprosthetics.*, Vol. 4, Article 184, 2013.
- [2] Riener, R., Nef, T. and Colombo, G. "Robot-aided neurorehabilitation of the upper extremities", *Med Biol Eng Comput*, 43, 2005.
- [3] Brewer, B.R., McDowell, S.K., Worthen-Chaudhari, L.C. "Poststroke upper extremity rehabilitation: a review of robotic systems and clinical results". *Top Stroke Rehabil*, 14(6):22-44, 2007.
- [4] Maciejasz, P., Eschweiler, J., Gerlach-Hahn, K., Jansen-Troy, A. and Leonhart, S. " A Survey on robotic devices for upper limb rehabilitation". *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 11(3), 2014.
- [5] Ming-Shaung, J., Chou-Ching, K. L., Dong-Huang, L., Ing-Shiou, H. and Shu-Min C. "A rehabilitation robot with force-position hybrid fuzzy controller of rehabilitation robot". *IEEE Transactions On Neural Systems And Rehabilitation Engineering*, Vol. 13(3),349-358, 2005.
- [6] Erol, D., Mallapragada, V., Sarkar, N., Uswatte, G. and Taub E. "Autonomously Adapting Robotic Assistance for Rehabilitation Therapy". *The First IEEE/RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics*: 567 – 572, 2006.
- [7] Covarrubias, M., Elia, G., Bordegoni, M., Cugini, U. and Mansutti, A. " Improving manual skills in persons with disabilities (PWD) through a multimodal assistance system ". *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 9(4): 335-343, 2014.
- [8] Chang, W. H., Kim, Y. "Robot-assisted Therapy in Stroke Rehabilitation", *Journal of Stroke*, 15(3), 174-181. 2013.
- [9] Kahn, L. E., Rymer, W. Z., Reinkensmeyer, D. J. Adaptive Assistance for Guided Force Training in Chronic Stroke", *IEEE EMBS*, 4, 2722-2725, 2004.
- [10] Krebs, H. I., Volpe, B. T., Williams, D., Celestino, J., Charles, S. K., Lynch, D. and Hogan N.. "Robot-Aided Neurorehabilitation: A Robot for Wrist Rehabilitation". *IEEE Transactions On Neural Systems And Rehabilitation Engineering*, 15(3), 327, 2007.
- [11] Lum, P. S., Burgar, C. G., Loos, M.V. d., Shor, P.C., Majmundar, M. and Yap, R. "Mime Robotic Device For Upper-Limb Neurorehabilitation In Subacute Stroke Subjects: A Follow-Up Study", *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 43(5), 631-642. 2006.
- [12] Rosati, G., Gallina, P., Masiero, S., Rossi, A. "Design of a New 5 d.o.f. Wire-based Robot for Rehabilitation", *IEEE 9th International Conference on Rehabilitation Robotics*, 430-433. 2005.
- [13] Casellato, C., Pedrocchi, A., Zorzi, G., Vernisse, L., Ferrigno, G. and Nardocci, N. "EMG-based visual-haptic biofeedback: a tool to improve motor control in children with primary dystonia". *IEEE Trans. Neural Syst Rehabil Eng*, 21(3):474-480, 2013.
- [14] Lum, P. S., Burgar, C. G., Kenney, D. E., and Van der Loos, H. F. M., " Quantification of force abnormalities during passive and active-assisted upper-limb reaching movements in post-stroke hemiparesis ", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 46, 199.
- [15] Loureiro, R., Amirabdollahian, F., Topping, M., Driessen, B. and Harwin, W. " Upper Limb Robot Mediated Stroke Therapy—GENTLE/s Approach ", *Autonomous Robots* 15, 35-51, 2003.
- [16] Takahashi, Y., Terada, T., Inoue, K., Ito, Y., Ikeda, Y., Lee, H., and Komeda, T. "Haptic Device System for Upper Limb Motor and Cognitive Function Rehabilitation: Grip Movement Comparison between Normal Subjects and Stroke Patients", *IEEE 10th International Conference on Rehabilitation*, 736-741, 2007.
- [17] Popescu, V.G., Burdea, G.C., Bouzit, M. and Hentz, V.R. "A virtual-reality-based telerehabilitation system with force feedback", *IEEE Trans Inf Technol Biomed*, 4:45-51, 2000.
- [18] Jack, D., Boian, R., Merians, A.S., Tremaine, M., Burdea, G.C., Adamovich, S.V., Recce, M. and Poizner, H. " Virtual reality-enhanced stroke rehabilitation ", *Neural Syst Rehabil Eng, IEEE Trans*, 9(3):308-318, 2001.
- [19] Xydas, E.G. and Louca, L.S. " Design and Development of a Haptic Peg-Board Exercise for the Rehabilitation of People with Multiple Sclerosis ", *IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics*, 906-916, 2007.
- [20] Brewer, B.R., Klatzky, R., Matsuoka, Y. " Visual feedback distortion in a robotic environment for hand rehabilitation", *Brain Res Bull*, 75(6), 804-813, 2008.
- [21] Palsbo, S.E, Hood-Szivek, P. " Effect of robotic-assisted three-dimensional repetitive motion to improve hand motor function and control in children with handwriting deficits: a nonrandomized phase 2 device trial ", *Am J Occup Ther*, 66(6), 682-690, 2012.
- [22] Adamovich, S., Fluet, G.G, Merians, A.S, Mathai, A. and Qiu, Q. " Recovery of hand function in virtual reality: Training hemiparetic hand and arm together or separately ", *Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, 3475-3478, 2008.
- [23] Alamri, A., Eid, M., Iglesias, R., Shirmohammadi, S. and El Saddik, A. " Haptic Virtual Rehabilitation Exercises for Poststroke Diagnosis ", *IEEE Transactions On Instrumentation and Measurement*, 57(9), 2008.