



Alt Kol Aktivitesi için Histogram Yöntemi Tabanlı Rehabilitasyon Sistemi

Histogram Method Based Rehabilitation System for Lower Arm Activity

Mutlu BAYRAKTAR¹ ve Savaş ŞAHİN²

¹Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomedikal Teknolojileri Bölümü
²Müh. ve Mim. Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Bölümü, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi (İzmir, Türkiye)

¹bayraktar.mutlu@windowslive.com

²sahin.savas@yahoo.com

Erkin GEZGİN³

Müh. ve Mim. Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi
(İzmir, Türkiye)

³erkin.gezgin@ikc.edu.tr

Özetçe— Bu çalışmada alt kol aktivitesi için elektromiyografi (EMG) işaretlerini kullanan histogram yöntemi tabanlı rehabilitasyon sistemi geliştirilmiştir. EMG kaslarda meydana gelen elektriksel aktivitenin ölçüldüğü biyomedikal bir sinyal olup, elde edilen verilerle histogram yöntemi kullanılarak eşik seviyesi belirlenebilmektedir. Sağlıklı alt koldan alınan gerçek zamanlı EMG verilerini kullanarak diğer kolun alt kol kas aktivitesini geliştirilmek için el rehabilitasyon sistemi test edilmiştir. Sağlıklı elin açma ve kapama hareketleri tekrarlanarak, kişiye özgü eşik değeri histogram yöntemi ile belirlenmiş ve diğer alt kolun gelişimi için uygun kontrol işaretleri üretilmiştir. Sistemin performans analizi normalize ortalama kare hatası, normalize kök ortalama kare hatası ve ortalama mutlak değeri yöntemleri ile test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler — EMG, rehabilitasyon, histogram yöntemi.

Abstract— In this study, a histogram-based rehabilitation system using electromyography (EMG) signs for lower arm activity was developed. EMG is a biomedical signal that measures the electrical activity in the muscles and the threshold level can be determined using the histogram method with the data obtained. The hand rehabilitation system was tested to improve lower arm muscle activity of the other arm using real-time EMG data from the healthy lower arm. The opening and closing movements of the healthy hand were repeated, the individual threshold was determined by the histogram method and appropriate control signs were produced for the development of the other lower arm. Performance analysis of the system was tested with normalized mean square error, normalized root means square error and mean absolute value methods.

Keywords — EMG, rehabilitation, histogram method.

I. GİRİŞ

Rehabilitasyon uygulamalarında hastalık, kaza veya yaralanma sonucunda kaybedilen fonksiyonlarının yeniden kazandırılması amaçlanmaktadır. Rehabilitasyon yardımı ile hasta kişiler günlük normal aktivitelerine geri dönebilmektedir [1]. Günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte rehabilitasyon

uygulamalarında elektromiyografi (EMG) verileri ile desteklenmeye başlamıştır [2,3]. EMG sinir ve kaslardan elde edilen elektriksel işaretlerin ölçülüp kaydedildiği biyomedikal sinyaldir. Kasları ve sinirleri etkileyen hastalıkların tanısında kullanılmaktadır [4,5]. EMG verileri aynı zamanda biyomedikal cihaz tasarımında kullanılmakla birlikte rehabilitasyon uygulamalarında da kullanılmaktadır [6,7]. EMG verileri Hodgkin-Huxley matematiksel modeli kullanılarak yapay olarak üretilebilmektedir. Üretilen bu yapay EMG verisi ile DC motor kontrol edilebilmektedir [8]. Aynı zamanda gerçek zamanlı EMG verileri ile DC motor kontrol yapılabilmektedir.

El rehabilitasyon sistemlerinde EMG verilerinden anlamlı parametreler elde ederek sistem tasarımı yapılmaktadır. EMG verilerinden anlamlı parametreler elde etmek için eşik belirleme gibi çeşitli analiz yöntemleri kullanılmaktadır [9,10]. Eşik belirleme işlemi kullanılarak EMG sinyalleri sınıflandırılabilir ve bu sınıflandırma işlemi ile el protez ve rehabilitasyon sistemlerinin kontrolü yapılabilmektedir [11,12]. Bu çalışmada gerçek zamanlı EMG verileri kullanılarak kişiye özgü eşik seviyesi histogram yöntemi ile belirlenmiş ve gerçek bir el rehabilitasyon sistemi kontrolü sağlanmıştır. Bildirinin geri kalan bölümleri sırasıyla ikinci bölümde; kasın kasılması, EMG, histogram metodu ve eşik değerinin belirlenmesi oluşturmaktadır. Üçüncü bölümde ise el rehabilitasyon sisteminin özelliklerinde bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde, gerçek zamanlı EMG verisinin elde edilmesi, bu elde edilen verilerle eşik değerinin belirlenmesi eşik değerinin belirlenmesi ve rehabilitasyon sisteminin mekanik kısmının kontrolünden elde edilen bulgular anlatılmıştır. Beşinci bölümde ise geliştirilen sistem üzerinden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

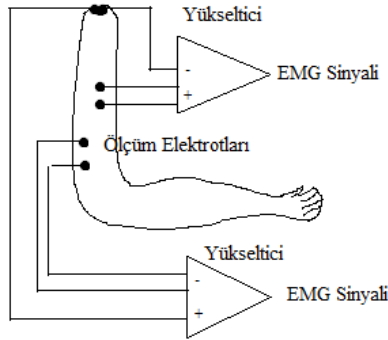
II. MATERYAL VE METOT

A. Kasın Kasılması

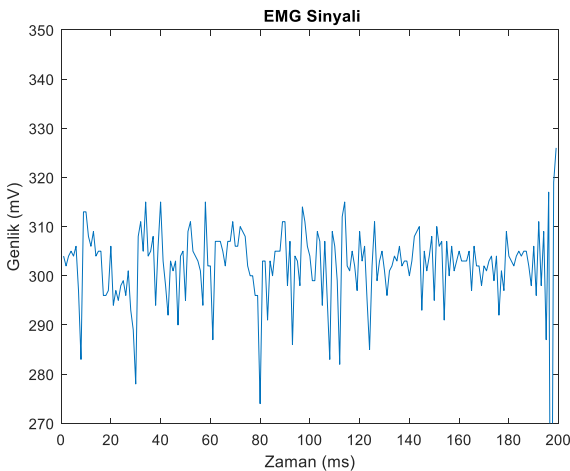
İskelet kası sinir sisteminde gelen motor nöronlarla uyarılır. Sinir ucu iskelet kası lifiyle sinir kas kavşağı denilen bir bağlantı yapar ve sinir boyunca yayılan aksiyon potansiyeli, kas lifinin uçlarına doğru iki yönde yayılır. Aksiyon potansiyeli kas lifi içinde sarkoplazmik retikulumda depolanmış kalsiyum iyonlarının serbest kalmasına neden olur. Kalsiyum ve magnezyum iyonları yer değiştirir. Kalsiyum iyonları aktin ve miyozin arasında yayılır ve kasın kasılması gerçekleşir. Kasın kasılması sırasında meydana gelen elektriksel aktivitenin ölçülmesiyle EMG sinyalleri elde edilir [4].

B. Elektromiyografi (EMG)

EMG sinir ve kaslarda meydana gelen elektriksel aktivitenin ölçülmesiyle elde edilen biyomedikal bir sinyaldir. EMG sinyali, kas üzerine yerleştirilmiş olan iğneli veya yüzey elektrotları kullanılarak elde edilir [13,14]. Referans elektroda göre her bir kas elektrotu kullanılarak elektriksel aktivite ölçülür. Sırasıyla EMG sinyalinin ölçüm prosedürü ve EMG sinyal örneği Şekil 1 ve Şekil 2' de gösterilmektedir.



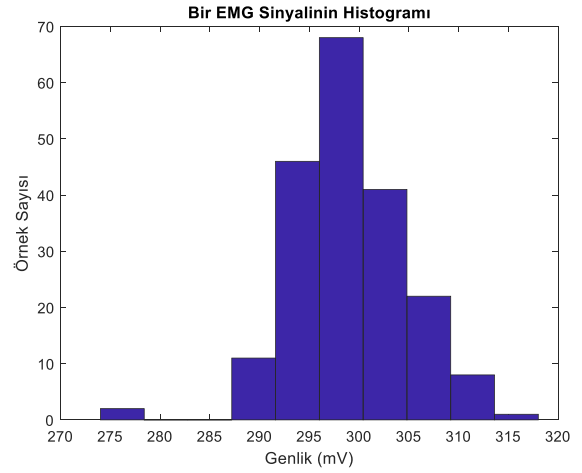
Şekil 1: EMG ölçüm prosedürü



Şekil 2: EMG sinyal örneği

C. Histogram Metot

Rehabilitasyon sistemlerinde EMG sinyallerinden anlamlı parametreler elde etmek için eşik değeri belirleme yöntemleri kullanılmaktadır. Histogram yöntemi EMG sinyallerinin sınıflandırılmasında kullanılan bir eşik değeri belirleme yöntemidir [12,15]. Histogram metodunda, genlik değerleri eşit aralıklara bölünür. Bu metot sonucunda elde edilen grafikte bir eksen bölünmüş aralıktaki genlik değerlerini gösterirken diğer eksen ise aralıklardaki genlik değerleri sayılarını gösterir. Başka bir deyişle histogram metodu belirli bir genliğe sahip veri gruplarındaki verilerin sayılarının kullanılmasıyla elde edilen sütun grafikleridir. Örnek bir EMG sinyalinin histogramı Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3: EMG sinyalinin histogramı

D. Eşik Değerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada eşik değeri belirlemek için histogram metodu kullanılmıştır. 6 farklı kişiden bireysel eşik değeri belirlemek için deney setinde sağlıklı koldan el açık ve kapalı haldeyken EMG kayıtları alınmıştır. El açık ve kapalı halde alınan EMG sinyallerinin ayrı ayrı histogramları hesaplandı. Elde edilen histogramların maksimum ve minimum değerleri hesaplandı. Eşik değerinin minimum değeri el açık haldeyken ki histogramının minimum değeridir. Eşik değerinin maksimum değeri ise el kapalı haldeyken ki histogramının maksimum değeridir. Eşik değeri belirlendikten sonra hard eşik değeri algoritması uygulandı [16]. Hard eşik uygulaması eşik değerinin altında olan verileri eşik değerinin minimum değerine eşitler. Aynı şekilde eşik değerinin üzerinde olan verileri ise eşik değerinin maksimum değerine eşitler.

E. Performans Analizi

Performans analizleri normalize ortalama kare hatası (NMSE), normalize kök ortalama kare hatası (NRMSE), ve ortalama mutlak değeri (MAV) yöntemleri ile belirlenmiştir. NMSE ortalama kare hatasının normalize edilmiş halidir. NRMSE ise hata sinyallerinin büyüklüğünün normalize

edilmiş halidir. MAV verilen sinyalin mutlak değerinin ortalamasını hesaplar [17,18].

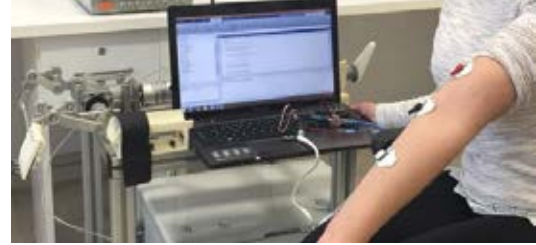
$$NMSE = 1 - \frac{\sum_{n=0}^{N-1} [x(n) - x_m(n)]^2}{\sum_{n=0}^{N-1} [x(n)]^2} \quad (1)$$

$$NRMSE = 1 - \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} [x(n) - x_m(n)]^2}{\sum_{n=0}^{N-1} [x(n)]^2}} \quad (2)$$

$$MAV = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |x_m(n)| \quad (3)$$

burada N veri uzunluğu, $x(n)$ EMG sinyalinin istenilen cevabı, $x_m(n)$

yüzeyinden toplandı. Sistemin deneysel kurulumu Şekil 6'da gösterilmektedir.

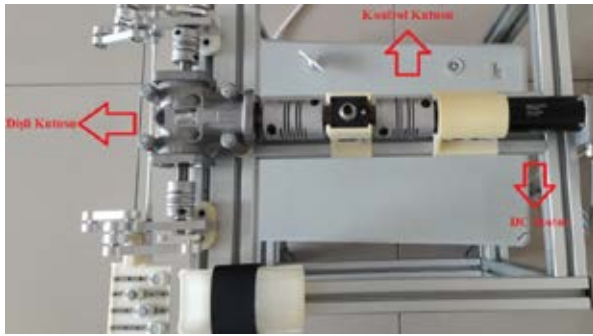


Şekil 6: Sistemin deney seti

III. EL REHABİLİTASYON SİSTEMİ

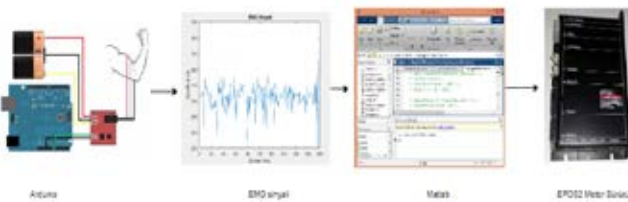
A. Mekanik Kısım

Bu çalışmada kullanılan rehabilitasyon sistemi, temel olarak kinematik sentez prosedürleri kullanılarak tasarlanmış tek serbestlik dereceli Watt II altı çubuklu bağlantıdan oluşmaktadır [19]. Şekil 4'de ana bileşenleri ile birlikte rehabilitasyon sistemi gösterilmektedir. Mekanik sistem, Maxon BLDC motor ve EPOS2 motor sürücü ile kontrol edilmektedir.



Şekil 4: Rehabilitasyon sisteminin mekanik kısımları

B. Yazılım



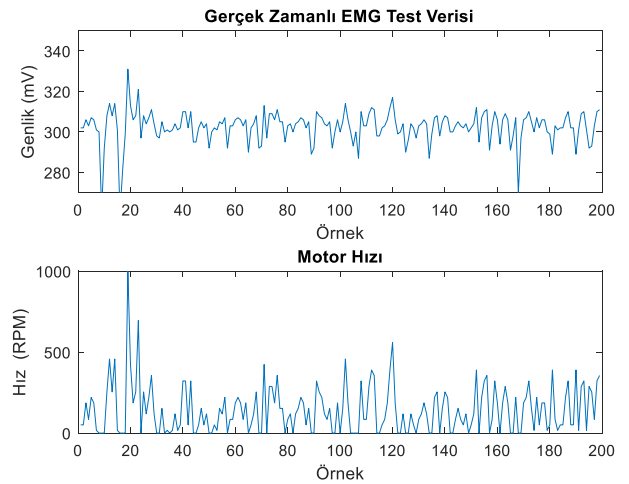
Şekil 5: Rehabilitasyon sistemin yazılım kısmı

EMG sinyali Arduino tabanlı EMG sensörüyle yüzey elektrotları kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen EMG sinyalinin eşik belirleme prosedürü Matlab R2017b yazılımında yapılmıştır. Elde edilen eşik belirleme sonuçlarına göre rehabilitasyon sisteminin motoru kontrol edilmiştir.

IV. BULGULAR

Geliştirilen EMG tabanlı el rehabilitasyon sisteminin kontrol edilmesi için gerekli olan EMG sinyali sağlıklı alt kol

Eşik değeri belirlenirken sağlıklı koldan el açık ve kapalı haldeyken EMG sinyallerin alınmıştır. Eşik değerinin minimum ve maksimum değerleri hesaplanmıştır. Eşik değerinin minimum değeri 289,5 mV, maksimum değeri ise 314,6 mV'dur. Sağlıklı elde alınan test EMG verisine eşik değerleri kullanılarak hard eşik algoritması uygulanmıştır. Test verisi ile rehabilitasyon sisteminin mekanik kısmı kontrol edilmiştir. Test EMG verisi ve bu test verisine ait sistemin mekanik kısmının hız cevabı Şekil 7'de gösterilmiştir. Sağlıklı elden alınan test EMG verisi ile elin açma ve kapama hareketleri tekrar edilerek güç azalması olan elin rehabilitasyonu gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7: Gerçek zamanlı test EMG verisi ve ona ait sistemin motor hız cevabı

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, gerçek zamanlı EMG verileri kullanılarak alt kol kası aktivitesini güçlendirmek için uygulanmaktadır. Eşik değerini belirlemek için gerçek zamanlı EMG veriler sağlıklı alt koldan el açık ve kapalı haldeyken alınmıştır. Eşik değeri belirlenirken histogram metodu kullanılmıştır. Alınan test verisine hard eşik algoritması uygulanmıştır. Eşik belirleme yönteminin NMSE, NRMSE ve MAV, performansı sırasıyla 0,4068, 0,2298 ve 214,27 olarak hesaplanmıştır.



Histogram metodu gerçek zamanlı test EMG verisi olarak adlandırılan istenen hız paternine yakın cevap vermiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Ito, S., Kawasaki, H., Ishihiguro, Y., Natsume, M., Mousiri, T., & Nishimoto, Y. "A design of fine motion assist equipment for disabled hand in robotic rehabilitation system", *Journal of the Franklin Institute*, 348, 79-89, 2011.
- [2] Ma, W., Zhang, X., & Yin, G. "Design on intelligent perception system for lower limb rehabilitation exoskeleton robot", *IEEE, 13th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligent (URAI)*, Xian, China, 2016.
- [3] Zhang, F., Hou, Z. G., Cheng, L., Wang, W., Chen, Y., Hu, J., Peng, L., & Wang, H. "A lower limb rehabilitation robot: A proof of concept", *IEEE Transactions on Human-Machine System*, Vol.46, No.5, 2016.
- [4] Guyton, A.C., Hall, J.E. "Textbook of Medical Physiology", 11. Edition, W.B. Saunders Company, 2006.
- [5] Khushaba, R.N., Al-Timemy, A., Kodagoda, S., Nazarpou, K. "Combined influence of forearm orientation and muscular contraction on EMG pattern recognition", *Expert Systems with Applications*, 61, 154-161, 2016.
- [6] Barsotti, M., Dupan, S., Vujaklija, I., Dosen, S., Frisoli, A., & Farina, D. "Online finger control using high-density EMG and minimal training data for robotic applications", *IEEE Robotic and Automation Letters*, Vol. 4, No. 2, 2018.
- [7] Al-Quraishi, M. S., Ishak, A. J., Ahmad, S. A., Hasan, M. K., Al-Qurishi, M., Ghanpanchizadeh, H., & Alamri, A. "Classification of ankle joint movements based on surface electromyography signals for rehabilitation robot applications", *Medical and Biological Engineering Computation*, 2017.
- [8] Şahin, S., Bayraktar, M., Evren Şahin, K. "Design and Implementation of Experimental Setup For Neural Data Based Stimulator By Using LabVIEW", *Studies in Politics, Education, Health, Engineering and Sociology (SPEHES2016)*, 22-23 April 2016 İzmir, Turkey
- [9] S Xu, Q., Quan, Y., Yang, L., & He, J. "An adaptive algorithm for the determination of the onset and offset of muscle contraction by EMG signal Processing", *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, Vol. 21, No.1, 2013.
- [10] Thakur, A., Reshwanth, M., & Suhasini, S. "Real-time robot control using gesture recognition via electromyography signals", *IEEE, 2nd International Conference on Communication and Computational Technologies (ICICCT2018)*, 2018.
- [11] Shima, K., Fukuda, O., Tsuji, T., Otsuka, A., & Yoshizumi, M. "EMG-based control for a feeding support robot using a probabilistic neural network", *4th IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics*, 2012.
- [12] Silva, J., Heim, W., & Chau, T. "MMG-based classification of muscle activity for prosthesis control", *26th Annual International Conference of the IEEE EBMS*, San Francisco, CA, USA, 2004.
- [13] Weiss, J., Weiss, L., & Silver, J. "Easy EMG a guide to performing nerve conduction studies and electromyography", *Elsevier*, 2nd Edition, 2015.
- [14] Merletti, R., & Torino, P. D. "Standards for reporting EMG data", *International Society of Electrophysiology and Kinesiology*, 1999.
- [15] Akben, S. B. "Classification of hand movements related o grasp by using EMG signals", *IEEE*, 2015.
- [16] Awal, A. M., Mostofa, S. S., Ahmad, M., & Rashid, M. A. "An adaptive level independent wavelet thresholding for ECG denoising", *ELSEVIER, Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 34, 238-249, 2014.
- [17] Waris, A., & Kamavuako, E. N. "Effect of threshold values on the combination of EMG time domain features: surface versus intramuscular EMG", *ELSEVIER, Biomedical Signal Processing and Control*, 45, 267-273, 2018.
- [18] Al-Angari, H. M., Kanitz, G., Tarantino, S., & Cipriani, C. "Distance and mutual information methods for EMG feature and channel subset selection of hand movements", *ELSEVIER, Biomedical Signal Processing and Control*, 27, 24-31, 2016.
- [19] Gezgin, E., Chang, P. H., & Akhan, A. F. "Synthesis of a Watt II six-bar linkage in the design of a hand rehabilitation robot", *ELSEVIER, Mechanism and Machine Theory*, 104, 177-189, 2016.