



EMG Tabanlı İnsan Robot Etkileşimi

Kenan ERİN^{1*}, Barış BORU²

¹ Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye

² Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye

ÖZ

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte insan vücudundaki sinyalleri algılayabilen sensörler geliştirilmektedir. Sensörler vasıtasıyla alınan sinyaller işlenerek çeşitli sistemler kontrol edilebilmektedir. Yapılan çalışmada Thalmic Labs tarafından üretilen MYO Armband ürünü ile EMG(Elektromiyografi) ve IMU(Inertial Measurement Unit) sinyalleri toplanarak endüstriyel robot kolunun kontrolü gerçekleştirilmiştir. EMG sinyalleri ilk önce ön işlemde geçirilmiş ve PCA (Principle Component Analysis) algoritması ile boyutu azaltılmıştır. EMG sinyallerini sınıflandırmak için Random Forest algoritması kullanılmıştır. Sınıflandırma sonucunda 3 farklı hareket tespit edilmiş olup bu hareketler ile endüstriyel robot kolu kontrol edilmiştir. Çalışmada ABB robot firmasına ait IRB120 endüstriyel robot kolu kullanılmıştır. Geliştirilen yazılım ile EMG ve IMU sinyalleri hareket ve konum bilgisine dönüştürülerek robot kolunun gerçek zamanlı kontrolü sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İnsan Robot Etkileşimi, Makine Öğrenmesi, Elektromiyografi, Endüstriyel Robot

EMG Based Human Computer Interaction

ABSTRACT

With the recent advances in technology, sensors that can detect signals in the human body are being developed. Various systems can be controlled by processing the signals received from the sensors. In the study, the control of the industrial robot arm was analyzed by using the MYO Armband device produced by Thalmic Labs, EMG (Electromyography) and IMU (Inertial Measurement Unit) signals. EMG signals are preprocessed first and the size is reduced with the PCA (Principle Component Analysis) algorithm. Then, Random Forest algorithm is used to classify EMG signals. Three different movements are determined from the classification result and the industrial robot arm is controlled with these movements. IRB120 industrial robot arm belonging to ABB robot company was used in the study. With the developed software, EMG and IMU signals are transformed into motion and position information, allowing real-time control of the robot arm.

Keywords: Human Robot Interaction, Machine Learning, Electromyography, Industrial Robot

1 Giriş

İnsan robot etkileşimi (HRI) son zamanlarda araştırmacıların ilgisini çeken bir konu olmaktadır. HRI sistemleri cerrahi müdahale, insanların girmesinin zor olduğu yerlerde ve özellikle robotik ve biyomedikal alanında yapılan çalışmalarda kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde giyilebilir sensörlerin

* Sorumlu Yazar e-mail: kenanerin@subu.edu.tr

üretiminin yaygınlaşması ile insan robot etkileşim sistemleri geliştirilmektedir. Bu tip sensörlerin kullanımıyla hareket algılama, ses algılama gibi insan davranışları rahatlıkla tespit edilebilmektedir.

İnsan vücudu çok sayıda biyolojik bilgi içeren mükemmel bir kontrol mekanizmasına sahiptir. Vücudun belirli kaslarına yerleştirilen sensörler ile alınan sinyaller makine öğrenmesi algoritmalarıyla sınıflandırılıp anlamlı hale geldikten sonra istenilen sistemler kontrol edilebilmektedir.

Literatürde insan robot etkileşim sistemleri ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda ilk önce sensörler vasıtasıyla alınan verilerden gerekli özellikler çıkarılmış olup daha sonra bu sinyaller sınıflandırılarak anlamlandırılmıştır. Anlamlandırılan sinyaller ile robotlara bazı işlemler yaptırılarak insan robot etkileşimi gerçekleştirilmiştir.

Wangcheng Cao[1] yaptığı çalışmada el hareketlerini görüntü işleme yöntemiyle tespit etmiş ve makine öğrenmesi algoritmaları ile hareketleri sınıflandırmıştır. El hareketlerini belirlemek için kameradan aldıkları görüntülerle YCgCr renk uzayı kullanarak tespit etmiştir. Daha sonra belirlediği 6 farklı hareket için SVM (Support Vector Machine) ve HMM (Hidden Markov Model) algoritmaları ile hareketleri sınıflandırıp başarı performanslarını %99.2 ve %90 olarak belirlemiştir. Tanaka ve ark.[2] EEG (Elektroensefalografi) sinyallerini kullanarak elektrikli sandalyenin kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar EEG sinyallerini toplamak için insan kafasına 14 adet elektrot yerleştirmişlerdir. Alınan EEG sinyallerini sınıflandırarak elektrikli sandalyeyi sağa ve sola doğru hareket ettirmişlerdir. Yapılan çalışmada istenilen koordinata gitme başarısını %80 olarak hesaplamışlardır. Bousseta ve ark.[3] yaptıkları çalışmada EEG tabanlı insan robot etkileşimi gerçekleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında EEG başlık kullanarak sağ el, sol el, her iki el ve ayak oynatma hareketleri olarak 4 farklı hareketi sınıflandırmışlardır. Yazarlar boyut azaltma işlemi olarak PCA ve sınıflandırma algoritması olarak da SVM algoritmalarını kullanmış olup sınıflandırma başarısını %85 olarak belirlemişlerdir. Zhiyuan ve ark.[4] yaptıkları çalışmada ivmeölçer ve EMG sensörleriyle giyilebilir cihaz tasarlayıp cihazdan aldıkları verilerle hareket kestirimi yapmışlardır. 19 farklı hareket kestirimi için Bayes sınıflandırıcı kullanmışlardır. Çalışma sonunda sınıflandırma başarısını %95 olarak belirlemişlerdir. Zhiyuan ve Ping[5] yaptıkları çalışmada el kabiliyetini sınırlı kullanabilen veya kullanamayan hastalar için EMG sensörleriyle insan bilgisayar arayüzü sistemi geliştirmişlerdir. Çalışma kapsamında yüze yerleştirdikleri EMG sensörleriyle 5 farklı hareket belirleyip bunları sınıflandırmışlardır. Bu hareketlerle bilgisayarın mouse kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Tamura ve ark.[6] yaptıkları çalışmada yüz kaslarına yerleştirdikleri EMG sensörleriyle tekerlekli sandalyenin kontrolünü sağlamışlardır. Kaslardan aldıkları EMG sinyallerini ilk önce yükselticiden geçirip daha sonra yüksek geçiren filtre ile gürültüleri gidermişlerdir. Daha sonra elde edilen sinyallerle tekerlekli sandalyeyi sağa, sola, öne ve arkaya hareket ettirmişlerdir. Shi ve ark.[7] yaptıkları çalışmada yüzey EMG elektrot kullanarak biyonomik el kontrol etmişlerdir. Yazarlar 2 kanallı elektrotlardan 4 farklı hareket tespit etmek için ilk önce veri toplamışlardır. Daha sonra toplanan sinyallerden özellik çıkarımı yapmışlardır. Sınıflandırma aşamasında KNN (K - Nearest Neighbour) algoritmasını kullanıp sınıflandırma başarısını %94 olarak belirlemişlerdir. Sınıflandırılan sinyallerle Arduino mikroişlemci kullanarak biyonomik eli kontrol eden servo motorlara sinyal göndermişlerdir. Mohammad ve Kumar[8] yaptıkları çalışmada kol kasına yerleştirdikleri tek kanallı EMG elektro ile hareket tespiti gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar aldıkları EMG sinyalini önce filtreden geçirip daha sonra özellik çıkarımı yapmışlardır. Daha sonra 6 farklı hareket tespiti için KNN algoritması kullanıp sınıflandırma başarısını %96.6 olarak belirlemişlerdir. Zhang ve ark. [9] yaptıkları çalışmada EMG ve electrooculography (EOG) sinyalleri ile soft robot kontrol etmişlerdir. Yazarlar çalışmalarında %93.83 başarı oranına ulaşmışlardır. Sathiyarayanan ve Rajan[10] yaptıkları çalışmada MYO Armband kullanarak EMG verisiyle interaktif fizik tedavi uygulaması geliştirmişlerdir.

Bu çalışmada EMG ve IMU sensörleri ile endüstriyel robot kontrol edilerek bir insan robot etkileşimi sistemi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında üzerinde EMG ve IMU sensörleri bulunduran Myo Armband cihazı kullanılmıştır. İlk önce Python ortamında geliştirilen yazılım ile belirlenen 3 farklı hareket için EMG verileri toplanmıştır. Daha sonra toplanan EMG verileri Random Forest algoritmasıyla sınıflandırılmıştır. Çalışma için ABB firmasının IRB120 endüstriyel robotu kullanılmıştır. Sınıflandırılan hareketlerden yumruk hareketi robotu çalıştırma eli serbest bırakma hareketi ise robotu durdurma ve eli germe hareketi robotu başlangıç pozisyonuna göndermek için kullanılmıştır. Ayrıca kolun oryantasyonu IMU sensörüyle belirlenmiş olup robotun 3 ekseninde hareketi için kullanılmıştır.

2 Materyal ve Yöntem

İnsan robot arayüzü insanların robotlarla biyolojik sinyalleri kullanarak iletişim kurmasını amaçlayan sistemler olarak tanımlanmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle beraber birçok sensör birlikte kullanılarak giyilebilir cihazlar geliştirilmektedir. Bu cihazlar vasıtasıyla insan vücudundan alınan sinyaller ile fiziksel sistemlere müdahale yapılabilmektedir.

Kas hücreleri kasılma ve gevşeme özelliğine sahip hücre demetlerinden oluşmaktadır. EMG sinyali ise kasların kasılması ve gevşemesi ile ortaya çıkan elektriksel sinyaller olarak tanımlanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında EMG sinyallerini ölçmek için Myo armband kullanılmıştır. Myo armband Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Myo armband[11]

Myo Armband Thalmic Labs firması tarafından üretilen düşük enerjili kablosuz bağlantı (Bluetooth Low Energy) ile çalışmaktadır. Cihaz üzerinde 8 adet EMG elektrot, 3 eksenli ivmeölçer, 3 eksenli jiroskop ve 3 eksenli manyetometre bulunmaktadır. Çalışmada Python ortamında geliştirilen yazılım ile 8 kanallı EMG verisini ve 3 eksenli ivmeölçer verisi kol bandından toplanabilmektedir. Bu çalışmada gerçek zamanlı kontrolün gerçekleştirilebilmesi için ABB firmasının ürettiği IRB120 6 eksenli endüstriyel robotu kullanılmıştır. Kullanılan endüstriyel robot Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. IRB120 Endüstriyel Robot[12]

3 Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesi verilen bir probleme ait ortamdan edinilen veriye göre modelleyen bilgisayar algoritmalarının genel adıdır. Popüler bir çalışma olduğu için önerilmiş birçok yaklaşım ve algoritma mevcuttur. Bu yaklaşımların bir kısmı tahmin ve kestirim bir kısmı da sınıflandırma yapabilmeye yeteneğine sahiptir. EMG sinyallerinden hareket tespiti yapmak için sinyal filtreleme, özellik çıkarımı, boyut azaltımı ve sınıflandırma olmak üzere 4 aşamadan geçirilmelidir.

3.1 Sinyal Filtreleme

Sinyal filtreleme sinyal işlemede yapılan en önemli ön adımlardan birisidir. Toplanan sinyalden gürültünün arındırılması daha sonraki aşamalarda ortaya çıkabilecek olan hatanın önüne geçilmesini sağlar. Ayrıca sinyal filtreleme sınıflandırılacak sinyalin başarısını önemli derece arttırmaktadır. Yapılan çalışmada Myo Armband vasıtasıyla 8 kanallı EMG verisi bilgisayar ortamına alınmıştır. Daha sonra Python ortamında tasarlanan kayan ortalama filtresi ile sinyal üzerinde oluşan gürültüler giderilmiştir.

3.2 Özellik Çıkarımı

Özellik çıkarımı elde edilen sinyalden farklı özellikte veri kümeleri elde edilmesidir. Özellik çıkarımı sayesinde sinyalin farklı özellikleri sınıflandırma algoritmasına gönderilerek sınıflandırma başarısının yükseltilmesi sağlanmaktadır. Yapılan çalışmada 3 farklı özellik çıkarımı yöntemi kullanılmıştır.

- **Integrated EMG (IEMG):** Bu yöntem elde edilen sinyalin genliğinin toplamından elde edilmektedir. IEMG hesaplama Denklem 1’de gösterilmiştir. Denklemdeki X_m ifadesi EMG sinyalinin örneklerini ifade etmektedir.

$$IEMG = \sum_{m=1}^N |X_m| \quad (1)$$

- **Root Mean Square (RMS):** RMS değeri hesaplama literatürde en çok kullanılan özellik çıkarma yöntemlerinden birisidir. RMS hesaplama Denklem 2’de gösterilmiştir.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{m=1}^N X_m^2} \quad (2)$$

- **Waveform length(WL):** Waveform length ardışık iki örneğin genliğinin farkından oluşmaktadır. WL hesaplama Denklem 3’de gösterilmiştir.

$$WL = \sum_{m=1}^N |\Delta x_m| \quad \Delta x_m = x_m - x_{m-1} \quad (3)$$

3.3 Boyut Azaltımı

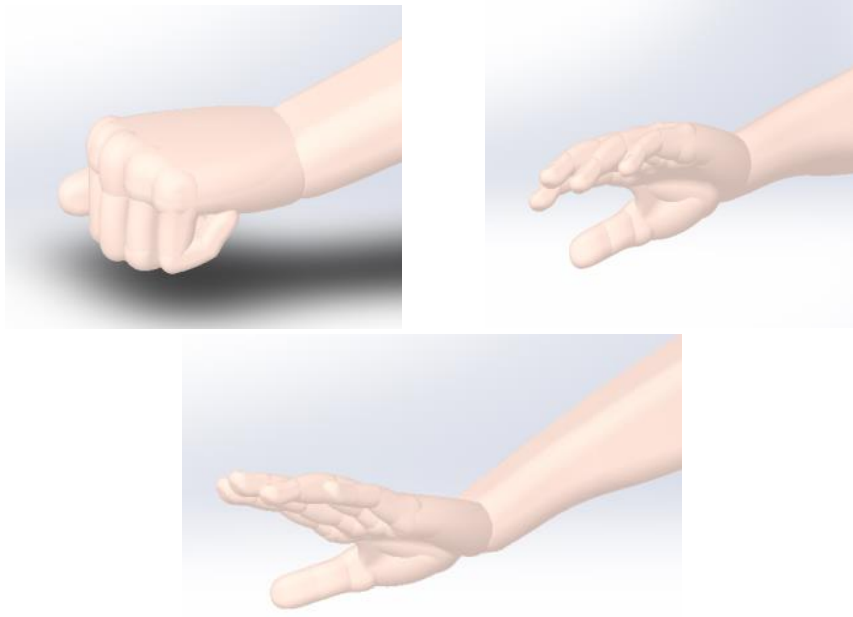
Boyut azaltmada amaç eldeki verinin gereksiz özelliklerinin veriden atılmasıdır. PCA en yaygın kullanılan boyut azaltma yöntemidir. PCA yönteminde verinin özelliklerini temsil eden özvektör ve özdeğerler hesaplanır. Daha sonra özvektörler verinin yeni özelliği olarak kabul edilir ve verinin boyutu azaltılmış olur. Bu çalışmada PCA yöntemiyle Myo Armband ile alınan EMG verisi ve bundan elde edilen IEMG, RMS, WL verilerinin boyutu azaltılmıştır.

3.4 Sınıflandırma

Sınıflandırma yapmada amaç probleme ait uzayın belirli sayıda sınıfa bölünmesidir. Sınıflandırma algoritmaları verilen eğitim kümesiyle nasıl sınıflara ayrılacağını öğrenirler daha sonra sınıfı belirli olmayan veri geldiğinde hangi sınıfa ait olduğu tahmin etmeye çalışırlar.

Bu çalışmada Random Forest algoritması ile sınıflandırma yapılmıştır. Random Forest Leo Breiman [13] tarafından geliştirilen ve birden fazla karar ağacının birleştirilmesiyle sınıflandırma başarısı yükseltmeyi amaçlayan bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Rastgele orman sınıflandırmasında veri seti tek bir sınıfa ayrılan kadar düğümlere bölünür ve sonucunda tüm verinin birbirinden ayrılmasıyla sonuçlanır.

Yapılan çalışmada ilk önce belirlenen 3 farklı hareket için Myo Armband’den EMG verisi toplanmıştır. Daha sonra 5 farklı kişiden toplanan EMG verileri sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılan hareketler Şekil 3’de gösterilmiştir



Şekil 3 . Sınıflandırılmış Hareketler

Sınıflandırma sonucu karışıklık matrisi elde edilerek sınıflandırmanın performansı belirlenmiştir. Karışıklık matrisi Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1 . Random Forest Karışıklık Matrisi

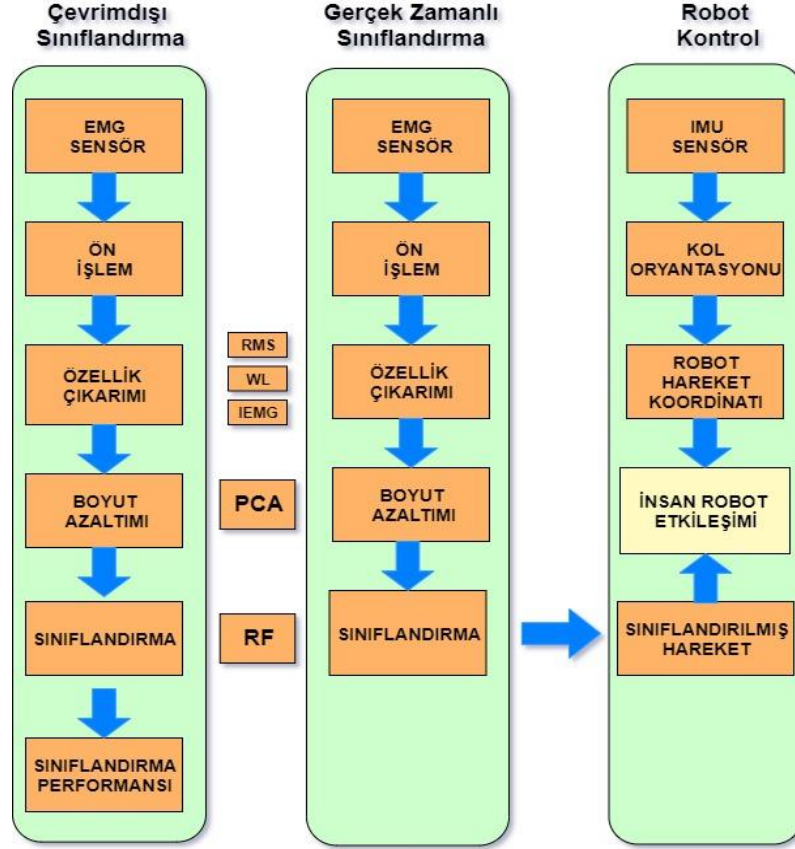
Kişiler	Sınıflandırılmış Hareket	El Serbest	Yumruk	El Germe
1. Kişi	El Serbest	113	3	2
	Yumruk	0	120	8
	El Germe	2	3	115
2. Kişi	El Serbest	114	3	1
	Yumruk	4	118	6
	El Germe	1	3	110
3. Kişi	El Serbest	113	1	3
	Yumruk	2	122	4
	El Germe	1	2	115
4. Kişi	El Serbest	114	2	2
	Yumruk	2	119	7
	El Germe	0	5	115
5. Kişi	El Serbest	110	6	2
	Yumruk	0	126	2
	El Germe	3	0	115

Sınıflandırma sonucunda Random Forest algoritmasının başarı oranı %95.9 olarak belirlenmiş olup daha sonra gerçek zamanlı uygulamada kullanılmıştır.

4 Gerçek Zamanlı Çalışma

Pratik uygulama için ABB firması tarafından üretilen 6 eksenli IRB120 endüstriyel robotu kullanılmıştır. Myo Armband ile alınan veriler gerçek zamanlı olarak Python ortamında işlenmiştir. İşlenen veriler anlık olarak robota gönderilmektedir. Robotu kontrol etmek için geliştirilen yazılım ile robot ethernet haberleşmesi kullanılarak kontrol edilmiştir. Gerçek zamanlı sınıflandırmada sınıflandırılan 3 farklı hareketten yumruk hareketi robotu çalıştırma, eli serbest bırakma hareketi robotu durdurma ve eli germe hareketi ise robotu başlangıç pozisyonuna götürmek için kullanılmıştır.

EMG sinyalinin işlenmesinin yanında Myo armband üzerinde bulunan IMU sensörü ile kolun oryantasyonu belirlenmiştir. IMU sensöründen elde edilen açılardan roll açısı robotu x ekseninde, pitch açısı y ekseninde ve yaw açısında z ekseninde hareket ettirmek için kullanılmıştır. Çalışmanın akış diyagramı Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Akış Diyagramı

Şekil 4’de gösterilen insan robot etkileşimi kısmında robota el hareketleriyle gerçek zamanlı pozisyon bilgisi gönderilmiştir. Myo Armband hareket ettirildiğinde roll, pitch ve yaw açısı -90 ile +90 arasında değişim göstermektedir. Bu açı değişiminin robot için hareket koordinatlarına dönüştürülmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmada robotun 3 ekseninde gidebileceği maksimum koordinatlar tespit edilmiş olup euler açıları robot için koordinat bilgisine dönüştürülmüş ve robot kolunun hareketi sağlanmıştır.

Robotun çalışma performansının ölçülmesi için robota dairesel patika çizdirilmiştir. RobotStudio üzerinde belirli aralıklarla yapılan ölçüm çalışmasında robotun patikadan sapma miktarı ölçülmüş ve çalışmanın hareket performansı belirlenmiştir. 5 farklı kişiden yapılan ölçüm çalışmasında robotun dairesel patikadan sapma miktarı ortalama 15.91mm olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre robotun sapma oranı çok düşük olup hassas bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir.

5 Sonuç

Bu çalışmada giyilebilir ürün olan EMG bileklik kullanılarak insan ile endüstriyel robot arasında etkileşim üzerinde çalışılmıştır. İlk önce EMG bileklikten belirlenen 3 farklı hareket için veri toplanmış olup daha sonra bu veriler 3 farklı sınıflandırma algoritması ile sınıflandırılmıştır. Algoritmalar sonucundan en başarılı sonuç veren Random Forest algoritması gerçek zamanlı uygulama için seçilmiştir. Gerçek zamanlı uygulamada sınıflandırılan hareketlerden yumruk hareketi robotu çalıştırma, eli serbest bırakma hareketi robotu durdurma ve eli germe hareketi robotu başlangıç pozisyonuna hareket ettirmek için kullanılmıştır. Robotun 3 boyutlu hareketi için IMU verisi

kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca robotun izleyeceği patika çizdirilmiş, robotun patikadan sapma miktarı ölçülmüş ve çok küçük hata miktarı ile robotun patikayı çizdirilmesi sağlanmıştır. Çalışma sonunda robotun insan hareketlerini taklit etmesi sağlanmıştır.

Kaynaklar

- [1] W. Cao, “Application of support vector machine algorithm based gesture recognition technology in human-computer interaction,” *Informatica*, vol. 43, no. 1, Jan. 2019.
- [2] K. Tanaka, K. Matsunaga, and H. Wang, “Electroencephalogram-based control of an electric wheelchair,” *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 21, no. 4, pp. 762–766, 2005.
- [3] R. Bousseta, I. E. Ouakouak, M. Gharbi, and F. Regragui, “EEG Based Brain Computer Interface for Controlling a Robot Arm Movement Through Thought,” *Irbm*, vol. 39, no. 2, pp. 129–135, 2018.
- [4] Z. Lu, X. Chen, Q. Li, X. Zhang, and P. Zhou, “A Hand Gesture Recognition Framework and Wearable Gesture-Based Interaction Prototype for Mobile Devices,” *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, vol. 44, no. 2, pp. 293–299, 2014.
- [5] Z. Lu and P. Zhou, “Hands-Free Human-Computer Interface Based on Facial Myoelectric Pattern Recognition,” *Frontiers in Neurology*, vol. 10, 2019.
- [6] H. Tamura, T. Murata, Y. Yamashita, K. Tanno, and Y. Fuse, “Development of the electric wheelchair hands-free semi-automatic control system using the surface-electromyogram of facial muscles,” *Artificial Life and Robotics*, vol. 17, no. 2, pp. 300–305, 2012.
- [7] W.-T. Shi, Z.-J. Lyu, S.-T. Tang, T.-L. Chia, and C.-Y. Yang, “A bionic hand controlled by hand gesture recognition based on surface EMG signals: A preliminary study,” *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, vol. 38, no. 1, pp. 126–135, 2018.
- [8] Mohammad, S., & Kumar, G. V. (2016, May). Development of sEMG based human machine interface control system for robotic watch. In *2016 International Conference on Research Advances in Integrated Navigation Systems (RAINS)* (pp. 1-5). IEEE.
- [9] Zhang, J., Wang, B., Zhang, C., Xiao, Y., & Wang, M. Y. (2019). An EEG/EMG/EOG-based multimodal human-machine interface to real-time control of a soft robot hand. *Frontiers in neurobotics*, 13, 7.
- [10] Sathiyarayanan, M., & Rajan, S. (2016, January). MYO Armband for physiotherapy healthcare: A case study using gesture recognition application. In *2016 8th International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS)* (pp. 1-6). IEEE.
- [11] “Thalamic Labs,” *The Lab*. [Online]. Available: <https://developerblog.myo.com/author/thalamic-labs/>. [Accessed: 21-Jan-2020].
- [12] “ABB Robotics,” *Manufacturer & Supplier of Industrial Robots*. [Online]. Available: <https://new.abb.com/products/robotics/>. [Accessed: 21-Jan-2020].
- [13] L. Breiman, *Machine Learning*, vol. 45, no. 1, pp. 5–32, 2001.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).