

Kablosuz EEG Ölçümlerine Dayalı Beyin Bilgisayar Arayüzü Tasarımı ve Uygulaması: Pilot Çalışma

Design and Implementation of Brain Computer Interface Based on Wireless EEG Measurements: A Pilot Study

Sena Ilgın¹, Dilek Göksel Duru²

¹ Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
İstanbul Arel Üniversitesi

² Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
İstanbul Arel Üniversitesi
dilekgokselduru@arel.edu.tr

Özetçe

Beyin-bilgisayar arayüzü (BBA), genellikle bilişsel ve duyuşsal motor fonksiyonların desteklenmesi amacıyla beyin sinyalleri ile harici bir cihaz arasındaki doğrudan iletişimi sağlayan sistemdir. Bu çalışmada, kablosuz EEG cihazı yardımıyla elde edilen beyin sinyallerinin anlık gerçek zamanlı işlenmesi ile uyarılmışlık düzeyi-valans (Arousal-Valence) seviyeleri ve göz açık-kapalı durumları baz alınarak geliştirilen bir BBA uygulaması sunulmuştur. Kablosuz EEG sisteminden gelen sinyallerin bilgisayar üzerinden Arduino kullanılarak işlenmesi ile ilki göz açık-kapalı durum için, ikincisi uyarılmışlık düzeyi-valans seviyeleri tespiti için sonuçlar sunulmuştur. Tanımlanan işleme göre, devre üzerindeki LED'lerin yanıp sönmeleri sağlanmış ve bireyin arousal-valence seviyesini gösteren sinyallerin işlenmesi ile elektronik devreyi kontrol edebilmesi sağlanmıştır. Önerilen BBA sistemi çok amaçlı düşünülmüş olup, davranış bilimleri, rehabilitasyon mühendisliği ve diğer birçok alandaki ilgili problemlere çözüm sunabilmesi için temel olması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler — Beyin bilgisayar arayüzü; kablosuz EEG; Arduino; öznitelik çıkarımı.

Abstract

Brain computer interface (BCI), is a direct communication pathway between brain signals and an external device which often serves to support cognitive and emotional motor functions. The implementation and design of a human computer interface (HCI) based on opened-closed eye movements and arousal – valence measurements are aimed. The goal is to develop a system that working with wireless EEG headset and Arduino board as electronic device or data acquisition based on eye movements and arousal levels. It is a multidisciplinary research area, where computer science, behavioral sciences and several other fields of study are intersecting. The HCI system aimed in this study, it will be useful in rehabilitation research and treatment, and enhance daily life quality of the disabled people. The concept of the study is being used Arduino test kit and wireless EEG sensors.

978-1-4673-7765-2/15/\$31.00 ©2015 IEEE

After the adjustment of the hardware components, an embedded code is implemented for the data transmission between the sensor and the Arduino board. Also serial port of the computers is adjusted to listen the transmitted data in order to visualize the sensed movements. This data is projected on a hardware component such as a led or diode.

Keywords — BCI; wireless EEG; Arduino board; feature extraction.

1. Giriş

Beyin bilgisayar arayüzü (BBA), insan beyni ile dış dünyanın, beynin elektriksel aktivitesine dayanarak iletişime geçtiği bir uygulamadır. Elektriksel aktivitenin elektroensefalogram (EEG) ile ölçüldüğü bu sistem sayesinde ciddi motor bozuklukları olan kişilerin çevreleri ile bağlantı kurması sağlanmaktadır [1]. Bu çalışmada, prototip bir donanım oluşturulmuş, bu donanımla veri toplanması ve MATLAB ortamında geliştirilen yazılım ile veri işlenmesi gerçekleştirilmiştir.

Önerilen sistem, uygulama alanlarının ve kullanılabilirliğin artırılması amacıyla Emotiv Epoch kablosuz EEG sistemi ile tasarlanmıştır. EEG ile 0,5-100 Hz arasındaki sinyallerin zaman serileri görüntülenebilmekte olup [2], bu çalışmada 0,5-30 Hz arasındaki fizyolojik sinyallerin aktivasyonları incelenmiş ve analizlerde alfa ve beta dalgalarının frekans aralıkları referans frekansları olarak kabul edilmiştir. Alfa dalgası, 8-13 Hz ile normal fiziksel aktiviteyi, 13-30 Hz arasında yer alan Beta dalgası ise stres, mental aktivite, odaklanma aktivelerini simgelemektedir [3]. Bu iki farklı beyin dalgasının analizinde standart 10-20 elektrot sistemine bağlı olarak ölçüm gerçekleştirilmiştir [4].

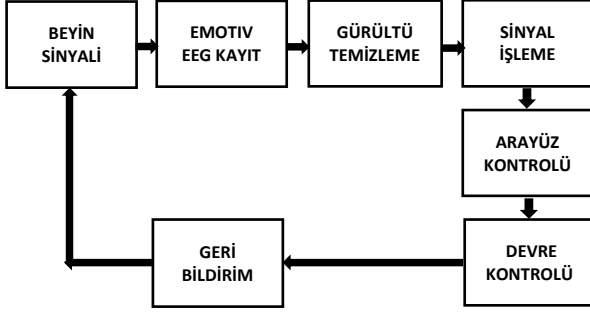
2. Materyal ve Metodlar

Düşük genlikteki (1-400µV) ve 0,5-100 Hz aralığındaki elektriksel beyin sinyallerini ölçmek ve görüntülemek için kullanılan EEG; delta, teta, alfa, beta, gama dalgaları olarak standart frekans aralıklarında incelenmektedir [5]. EEG'den elde edilen farklı frekans ve genliklere sahip ham sinyalden özellik çıkarma işlemi yapılırken bu belirli dalga frekansları kullanılmaktadır.

Bevinde Bağlantısallık 2

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

Çalışmamızda iki temel filtre esaslı, iki ana nitelik belirleme ile BBA planlaması gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla, kablosuz EEG cihazından alınan sinyaller öncelikle gürültüden arındırılıp ön işleme yapılmaktadır. Sonraki aşamada arayüz oluşturulması ile işlenen sinyaller test edilerek, mikrokontrolör Arduino üzerindeki LED'lerin önceden tanımlı ayrıma göre çalışması kontrol edilmiştir. Çalışma protokolünü özetleyen akış şeması Şekil 1' de gösterilmiştir.



Şekil 1: BBA Sistem Akış Şeması

2.1 Emotiv Epoc EEG Cihazı

Beyin sinyalleri, Emotiv Epoc Kablosuz EEG cihazı kullanılarak kaydedilmiştir. Cihazın bant genişliği 0,2-35 Hz arasında olup, 16 adet elektrot ile ölçüm yapılabilen cihazın 2 adet referans elektrotu (CMS/DRL P3 ve P4 üzerinde) bulunmaktadır [6]. Uluslararası elektrot konumları olarak nitelendirilen 10-20 sistemine dayalı olan elektrotlar konumlarına göre AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4 olarak adlandırılır [7]. Örnekleme hızı 128 Hz olup, ardışık örnekleme oranı 2048 Hz' tir.

Sistemin kendi arayüzü olan Emotiv Testbench programı, kayda başlamadan tüm elektrotların aktif sinyal alma durumunu kontrol etmek için kullanılmış ve elektrot durumu, sistemin başlatılabilmesi için proje kapsamında tasarlanan arayüze görsel olarak aktarılmıştır.

2.2 Arduino Mikrokontrolör ve Devre Tasarımı

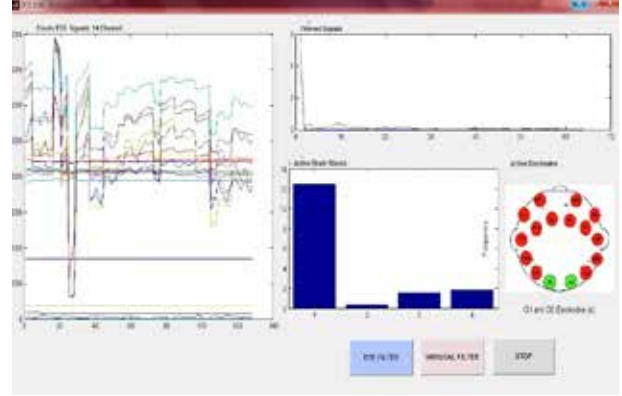
Arduino Uno 8 bit işlemciye sahip olan ATmega328 çipi ile çalışan bir mikrokontrolör kart olup, 14 adet dijital giriş/çıkış pinine sahiptir [8]. Bir adet 16MHz seramik rezonatör, bir Universal Serial Bus (USB), bir adet güç girişi, bir adet In-Circuit Serial Programming (ICSP) başlığı ve bir adet sıfırlama düğmesinden oluşan 6 adet analog girişi mevcuttur ve 6. Pin PWM olarak kullanılabilir. Donanımı ve yeterliliği sebebiyle bu mikrokontrolör tercih edilmiştir.

USB kablo üzerinden bağlanan Arduino'nun Matlab Programını destekleyici paketini kullanarak programlama için devre aktif hale getirilmiştir. Devre kurulumu için kullanılan materyaller breadboard, 2 adet 3,2 kΩ direnç, USB kablo, 5 adet bağlantı kablosu ve 2 adet renkli LED şeklindedir. Giriş/çıkış pinleri COM6 portu aracılığı ile 5V besleme gerilimi uygulanarak veri aktarımı sağlanmıştır.

2.3 Arayüz Tasarımı

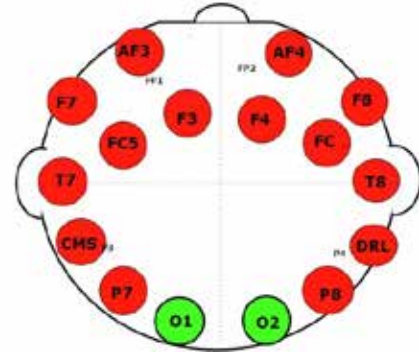
İlk uygulama olarak sistemin çalışmasını basit olarak test etme amacı ile kırmızı ve yeşil renkteki LEDlerin arayüzdeki düğmeler ile çalıştırılması kontrol edilmiştir. Geliştirilen algoritmada, aktifleştirilecek seçenekler (düğmeler) ile sistem çalışacak şekilde arayüzün kullanılabilirliği ve etkinliği

artırılması amaçlanmıştır. Arayüzde, beyin dalgalarının aktifliğini göstermek amacı ile bar histogramı bulunmaktadır. Burada amaç, ölçüm esnasında beyin aktif veya pasif olduğu dalga frekansının gözlemlenebilmesidir. Bu sayede, aktif elektrotlar ve bu elektrotların çalışmasına bağlı beyin dalgalarının zamana bağlı frekans değişimi arayüzde kontrol edilebilmektedir (Şekil 2). Arayüzde ayrıca uygulama esnasında aktif olan elektrotların gösterimi de sağlanmıştır.

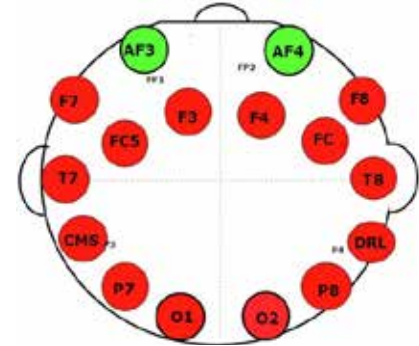


Şekil 2: Sistem arayüzünün ölçüm anında görüntüsü

Tasarlanan arayüzdeki aktif uygulamalardan biri olan Göz Filtresi için O1 ve O2 elektrotlarını (Şekil 3), uyarılmışlık durum kontrolü için amaçlanan diğer filtre olan Arousal Filtre için ise AF3, AF4, F3, F4 elektrotları kullanılmıştır (Şekil 4).



Şekil 3: 10-20 sistemine göre göz filtresi için aktif elektrotlar.



Şekil 4: 10-20 sistemine göre Arousal filtresi için aktif elektrotlar.

Beyinde Bağlantısallık 2

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

Arayüzdeki ilk uygulama seçeneği olan göz filtresi (eye filter), gözlerin belirli saniyelerde açık-kapalı olması durumuna göre bir elektronik devre ile olan etkileşimi sağlamaktadır. Diğer bir seçenek olan uyarılmışlık durum kontrolü amaçlanan Arousal Filtresi ise beyindeki stresli, rahat, odaklı, sinirli, sakin olma gibi duygusal durumların bir elektronik cihazla olan etkileşimini sağlamak amacıyla.

2.4 Veri Toplama

EEG verileri iki erkek, bir kadın denek üzerinde alınmıştır (Şekil 5). Deneklerin psikolojik ve nörolojik olarak bir hastalıklarının olmadığına dair teyit alınmıştır. Deney boyunca deneklere iki ayrı uygulama için bazı görevler verilmiştir.

İlk görev olarak deneklerden 60 saniye ve 30 saniyelik zaman periyotlarında ses ile ikaz edilerek gözlerini açık kapatmaları istenmiştir. Bu görev esnasında oksipital 1 (O1) ve oksipital 2 (O2) loblarından göz hareketlerinin zamana bağlı spektral analizleri gerçekleştirilip, Arduino cihazı üzerindeki LED'leri yakıp söndürme verisi gönderimi amaçlanmıştır.



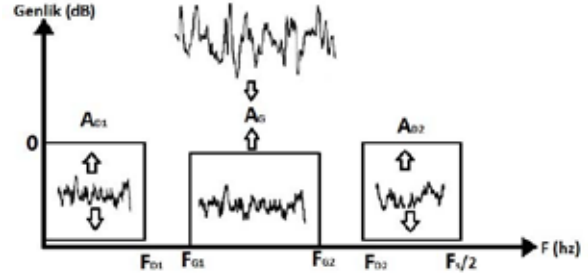
Şekil 5: Kablosuz Emotiv EPOC EEG Cihazı, Gönüllü 1 üzerinde kayıt esnasında görülmektedir.

İkinci görev olarak deneklerden duygusal modlarını rahatlatmış ve odaklanmış olarak stabilize etmeleri istenmiştir. Bu verilen görevdeki amaç ise beyin sağ ve sol ön loblarında tanımlı olan AF3 ve AF4 elektrotları (Şekil 4) ile beta/alfa oranının spektral analizinin yapılarak, yine Arduino üzerindeki LED'leri aktifleştirmesidir. AF3 ve AF4 elektrotlarından ölçümlenen yüksek beta / düşük alfa oranının literatürde uyarılmışlık (arousal) seviyesini gösterdiği bilinmektedir [9].

2.5 EEG Sinyal Analizi

Öznitelik çıkarılacak olan ham EEG verisi üzerinde bulunan tüm istenmeyen gürültüler filtrelenerek arındırılmıştır. Analiz yapılacak tüm sinyal verileri 1-30Hz arasına indirgenmiştir. Filtreleme aşamasında bant geçiren filtre ve hızlı Fourier dönüşümü uygulandıktan sonra veri, öznitelik çıkarılmak üzere hazır hale getirilmiştir.

Bant geçiren filtrede frekanslar alfa ve beta dalgalarına göre ayarlanmış ve bant geçiren filtrenin çalışma protokolü aşağıda belirtilmiştir (Şekil 6). A_{D1} - A_{D2} sinyalin sönümlenme anındaki genliklerini desibel cinsinden, F_{D1} - F_{D2} , F_{G1} - F_{G2} ise bant durdurma ve bant geçirme frekanslarını temsil etmektedir [10].



Şekil 6: Bant geçiren filtrenin frekans geçirme protokolü [10]

Öznitelik çıkarmada literatürde bağımsız bileşenler analizi, ortalama değer hesaplama, temel bileşenler analizi, dalgacık dönüşümleri gibi yöntemler kullanılmaktadır [11], [12]. Öznitelik çıkarımı, aktif elektrotlar ile yapılmaktadır. Böylelikle bireyin değişik zihinsel ve bedensel durumlarının beyin farklı loblarını aktif etmesinden yola çıkılarak, bu loblar üzerindeki elektrotların verilerinin işlenmesi daha sağlıklı olmaktadır.

2.5.1 Göz Filtresi

Oluşturulan filtreler hem bireylerin günlük aktivitelerini kolaylaştıracak şekilde, hem de gelişime açık teknolojik çalışmalardan biri olabilmesi amacıyla seçilmiştir.

Göz filtresinde analiz edilecek olan oksipital lob ve bu lob üzerindeki O1 ve O2 elektrotları ile alınan sinyaller bant geçiren filtre ile 8-13Hz arasındaki sinyalleri arayüze almaktadır. Ön işleme ile deneyi tamamladıktan sonra gönüllü denegün gözlerini açık kapatma esnasında harekete geçiren eşik değeri kaydedilmektedir. Bu eşik değerinin aşılması durumunda yeşil LED, eşik değerinin altında kaldığı değerlerde kırmızı LED yanmaktadır.

2.5.2 Uyarılmışlık Durumu (Arousal) Filtresi

Beynin uyarılmışlık-valans durumu (Arousal-Valence) seviyesi, beta/alfa oranı ile analiz edilmektedir. Duygusal modların uyarılmışlık-valans durumu grafiği Şekil 7' de gösterilmiştir [13]. Beta bandının frekans aralığı odak ve dikkat durumlarında daha yüksek seviyede olmaktadır. Alfa bandının frekans aralığı ise sakinlik ve rahatlık durumlarında daha yüksek seviyede değer almaktadır.



Şekil 7: Uyarılmışlık - valans durumu seviyeleri

Beyinde Bağlantısallık 2

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

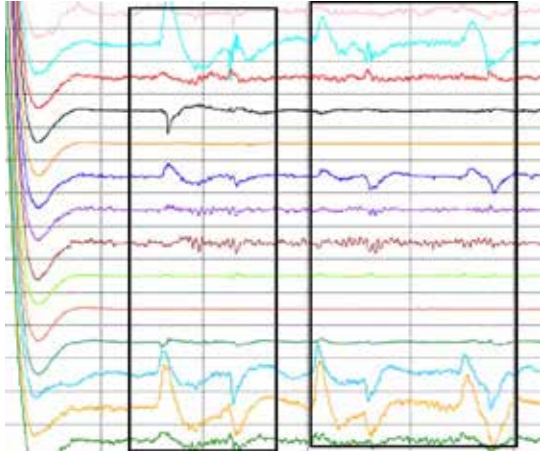
2.6 Eşik Değeri Analizi

Zamana bağlı olarak değişen EEG sinyalinin spektral analizi hızlı fourier dönüşümü (FFT) ile hesaplanmaktadır. Frekans spektrumu elde edilmesi amacıyla pencerelenen sinyal bu şekilde zaman bölgesinden frekans bölgesine taşınmış olmaktadır. EEG sinyalinin enerji dağılımı zaman alanında dağınık yapıdadır. Sinyalin Fourier dönüşümü ve denkleme bağlı açılal frekans aşağıda belirtilmiştir (Denklem 1-3). Burada N , örnekleme frekansı; ω_k , açılal frekans; $x[n]$ periyodik sinyal olarak tanımlanmaktadır. Fourier ile dönüştürülen sinyal spektrumu sistemde hesaplanabilir ve analiz edilebilir olan frekans fonksiyonu olarak elde edilmektedir (Şekil 8). Test esnasında verilen sesli komutlar ile iki zaman aralığında tepe yapan spektrumlar kaydedilerek sisteme eşik değeri olarak atanmıştır.

$$\omega_N = e^{-2\pi i/N} \quad (1)$$

$$X(k) = \sum_{j=1}^N x(j) \omega_N^{-(j-1)(k-1)} \quad (2)$$

$$x(j) = \left(\frac{1}{N}\right) \sum_{k=1}^N X(k) \omega_N^{-(j-1)(k-1)} \quad (3)$$



Şekil 8: Göz filtresine bağlı anlık EEG ölçümlerinin 14 kanal grafik in genlik-zaman grafiği

3. Sonuçlar

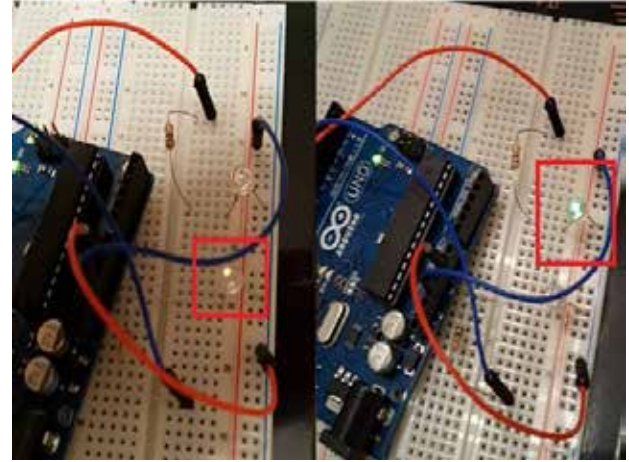
Çalışmamızda, BBA tabanlı göz açıp-kapatma hareketlerine dayalı elektronik cihaz kontrolü ve geliştirilmesi amaçlanmıştır. Sistemin donanım kısmı olan Arduino devresi üzerindeki LED'ler ile yazılım kısmı olan sinyal işleme algoritması ile arayüz üzerinden komut senkronizasyonu ve kullanılabilirliği gerçek zamanlı olarak test edilmiştir.

İlk olarak deneklerden kablosuz EEG cihazı aracılığıyla veri toplanmış (Şekil 5 ve 8). Ön işleme yapıldıktan sonra eşik değeri analizi yapılarak, deneklerin gözleri açık iken kırmızı LED, kapalı iken ise yeşil LED yandığı ve filtrenin başarılı bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir (Şekil 9). Arousal filtresinin, deneklerin duygusal ve psikolojik açıdan uygun olmaları anında daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Denek sayısının fazla olduğu durumlarda analiz yöntemlerinin ve arayüz tasarımının geliştirilebilir olması sistemin pozitif yönlerinden biri olarak değerlendirilmektedir.

4. Tartışma

Başarılı ve güvenilir bir BCI sistemi oluşturulurken sistemin kullanılabilirliği, etkinliği, kolaylığı, geliştirilmeye açık olması gibi özellikler önem taşımaktadır. Sistem temelde engelli bireylerin yaşam kalitesini artırma, akıllı ev sistemleri, düşünce gücü ile sistem kontrolü gibi geliştirilmekte olan teknolojik alanlarda temel bir ön çalışma olarak amaçlanmıştır. Literatürde bazı çalışmalarda göz kırpması hareketi gürültü olarak kabul edilip, bu çalışmanın aksine diğer dış etmenler ile birlikte ayrıştırılmadan temizlenmekteyken, bu çalışmada göz kırpması eylemi bir komut olarak sisteme tanıtılmış ve elektronik cihazı kontrol etmek için kullanılmıştır.



Şekil 9: Filtrelerin çalışma anı ve LED'lerin durumu

Yapılan gürültü temizleme işlemi ortamdaki etmenlere bağlı olarak farklılık gösterdiğinden yapılan analizleri ve seçilen yöntemleri doğrudan etkilemektedir. Tüm bu koşullar değerlendirilip sistemin başarılı şekilde çalışması için eşik değeri belirlemesi algoritmanın öznetelik çıkarma işlemi olarak kullanılmıştır. Eşik değeri analizi yöntemi yapılan deneylerde sistemin başarı ile sonuç vermesini sağlamıştır. Bu ön çalışmanın geliştirilmesi amacı ile daha değişken ve fonksiyonel durumların karşılanabilmesi için daha fazla görsel ile daha eğitilmiş algoritmalarla dayalı akıllı sistemler üzerinde çalışılması düşünülmektedir.

5. Kaynakça

- [1] Pfurtscheller, G., ve diğ., "Rehabilitation with Brain Computer Interface Systems", *IEEE Computer Society*, s. 41, pp. 58-65, Oct. 2008.
- [2] Lievesley, R., Wozencroft, M., ve Ewins, D., "The Emotiv EPOC neuroheadset: an inexpensive method of controlling assistive technologies using facial expressions and thoughts?", *J. Assistive Technol.*, 5, pp. 67-82, 2011.
- [3] Wolfgang, K., "EEG Alpha and Theta Oscillations Reflect Cognitive and Memory Performance: a Review and Analysis," s. 29, pp. 169-195, 1999.
- [4] Chatrhan, G.E., ve diğ., "Ten percent electrode system for topographic studies of spontaneous and evoked EEG activity," *Am J EEG Technol*, vol. 25, pp. 83-92, 1985.
- [5] Sang Han, C. ve diğ., "Estimation of Optimal Location of EEG Reference Electrode for Motor Imagery Based BCI Using fMRI", *Proc. 28th IEEE EMBS*, 2006.
- [6] Emotiv Epoch Manual: <https://emotiv.com/epoc.php>
- [7] Jurcak, V., ve diğ., "10/20, 10/10, and 10/5 systems revisited: Their validity as relative head-surface-based positioning systems," *NeuroImage*, s. 34, pp. 1600-1611, 2007.
- [8] Barrett, S.F., *Arduino Microcontroller Processing for Everyone! Third Edition*, Synthesis Lectures on Digital Circuits and Systems, 2013.
- [9] Bos, D.O., "EEG Based Emotion Recognition the Influence of Visual and Auditory Stimuli" *University of Twente*, 2008.
- [10] Bant geçiren filtre frekans geçirme protokolleri: Signal Processing Toolbox: http://www.mathworks.com/help/signal/ref/design_bandpass.html
- [11] Radüntz, T., ve diğ., "EEG artifact elimination by extraction of ICA-Component Features Using Image Processing Algorithms", *Journal of Neuroscience*, 2015.
- [12] Al-Fahoum, A.S., Al-Fraihat, A.A., "Methods of EEG Signal Features Extraction Using Linear Analysis in Frequency and Time-Frequency Domains" *ISRN Neuroscience*, vol. 2014, pp. 7, 2014.
- [13] Göksele-Duru, D., Duru, A.D., ve diğ., "Assessment of surgeon's stress level and alertness using EEG during laparoscopic simple nephrectomy," in *Proceedings of 6th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER)*, pp. 452 - 455, IEEE, 2013.