



Beyin Bilgisayar Arayüzü Sistemlerinde Görsel Uyarıların Alfa Dalgaları Üzerindeki Etkileri Visual Stimulation Effects on Alpha Waves in Brain Computer Interface Systems

Zeki ORALHAN¹, Mahmut TOKMAKÇI², Bülent YILMAZ³

¹ Türk Telekomünikasyon A.Ş.
zeki.oralhan@turktelekom.com.tr

² Biyomedikal Mühendisliği
Erciyes Üniversitesi
tokmakci@erciyes.edu.tr

³ Elektrik Elektronik Mühendisliği
Abdullah Gül Üniversitesi
bulent.yilmaz@agu.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada çeşitli rahatsızlıklar dolayısıyla bedenini ve uzuvlarını hareket ettirebilme yeteneğini tamamen veya kısmen kaybetmiş kişiler için geliştirilen beyin bilgisayar arayüzlerine (BBA) temel teşkil edecek bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda durgun durağan görsel uyarılmış potansiyelleri (SSVEP) kavramı kullanılmıştır. SSVEP oluşturmak için kırmızı LED'lerden (Light Emitting Diode) yararlanılmıştır ve alfa bandına (8-12 Hz) odaklanılmıştır. Deneylerde 5 sağlıklı erkek denekten ikişer kez kayıt alınmıştır. Başlangıçta uyarıcı olarak 10 saniye boyunca saniyede 8 kez yanıp sönen (8 Hz'lik uyarıcı) LED'ler kullanılmıştır. Ardından 10'ar saniye 9, 10, 11 ve 12 kez yanıp sönen (9-12 Hz) LED'lerle deneyler yapılmıştır. LED'lerin sürülmesi için Arduino mikrodeneleyiciden faydalanılmıştır. Bu uyarıcılar esnasında 10-20 sistemine göre O1, O2 ve Oz noktalarına yerleştirilen elektrotlardan alınan elektroensefalografi sinyalleri (EEG) kaydedilmiştir. Bu sinyaller ön işlemeyi takiben Welch metodu ile analiz edilerek her frekandaki uyarıcı için SSVEP'lerde gözlenen en yüksek güç yoğunluğuna sahip üç frekans değeri belirlenmiştir. Ardından bu frekansların görsel uyarıcı frekansıyla ilişkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak görsel uyarıcılara karşı oksipital bölgedeki kanalların alfa frekans bandına duyarlı olduğu görülmüştür. En yüksek güç yoğunluğuna sahip üç frekans değeri içinde uyarıcı frekansının kendisi veya ikinci harmonisinin bulunduğu anlaşılmıştır.

Abstract

A preliminary study for brain computer interfaces (BCI) that may be useful for individuals who cannot move their bodies or extremities totally or partially has been performed. The steady-state visual evoked potentials (SSVEP) concept has been used in this study. Red LEDs (Light Emitting Diode) were employed as the visual stimulator to induce SSVEP. In the experiments the SSVEP data were recorded from 5 healthy

male subjects using the same paradigm twice. In this paradigm, LEDs were turned on and off 8 times/second (8 Hz stimulation) for 10 seconds. 9-12 Hz visual stimulations were performed for 10 seconds each. An Arduino microcontroller were used to drive the LEDs according to the paradigm. During the stimulations SSVEP signals were recorded from O1, O2, and Oz electrodes placed in accordance with 10-20 system. These signals were analyzed using a preprocessing step and Welch method for the determination of three frequency values that corresponded to the highest power spectral density (3H-PSD) amplitudes (brain response) for each channel. Finally, the relationship between the stimulation frequencies and the brain responses were investigated. The results show that the first or second harmonics of the frequency of the stimulation were one of the 3H-PSD.

1. Giriş

Beyin Bilgisayar Arayüzü (BBA) sistemleri kişilerin kas sistemini kullanmaksızın çevresel cihazları, nöroprotezleri ya da insan iletişimde kullanılabilecek aygıtları kontrol etmeye olanak sağlayan arayüzlerdir. [1].

Beyin Bilgisayar Arayüzü sistemleri üzerindeki çalışmalar; genellikle felçli hastaların gündelik yaşamlarını kolaylaştırma amaçlı ilerlemeler sağlamak üzerine yoğunlaşmıştır. Merkezi sinir sisteminde, omurilik ve beyin sapı adı verilen bölgede motor sinir hücrelerinin kaybindan ileri gelen bir hastalık olan "Amyotrofik Lateral Skleroz (ALS)", insanların istemli hareketlerini engellemekte olup, zeka, hafıza, karakter, görme, duyma, koklama gibi özelliklerini etkilememektedir. Ülkemizde 1500-4500 civarı ALS hastası olduğu düşünülmektedir. Bu hastalar için iletişim çok önemlidir. Ülkemizde bu durumdaki hastaların iletişim kurması için gerekli yardımcı donanımlar geliştirilemeye çalışılmaktadır. Bu sistemler head-mouse, eyegaze, eyetracker gibi bilgisayar sistemi, yazılımı, donanımı olarak sıralanabilir. Bunlara ek olarak BBA sistemleri ALS hastalarının çevresiyle iletişim halinde bulunmasına olanak sağlama amacıyla

Nöral Sinyaller ve Modeller

2. Gün 26 Eylül 2014 Cuma (17.00-18.30)

geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu sistemleri kullanarak hastalar, çevresel cihazlar ile etkileşim halinde olup, isteklerini ve ihtiyaçlarını giderebileceklerdir. Bu kapsamda hem hasta hem de hasta yakını gündelik hayatlarında göreceli bir konfora sahip olacaktır. [2,3].

Beyin bilgisayar arayüzü sistemlerinde beyin aktivitelerini izleyebilmek için farklı yöntemler kullanılır. Bunlar arasında elektroensefalografi (EEG) ve daha invaziv elektrofizyolojik yöntemler, manyetoensefalografi (MEG), pozitron emisyon tomografisi (PET), fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI), optik görüntüleme yanında, yakın kızıl ötesi spektroskopisi, elektrokortigografi (ECoG) teknikleri kullanılmaktadır. Ancak, MEG, PET, fMRI ve optik görüntüleme teknik olarak zor ve pahalı olmasının yanı sıra, ayrıca kan akımına bağlı olup PET, fMRI ve optik görüntüleme uzun zaman sabitlerine sahip olması nedeniyle hızlı iletişime cevabı yavaştır. EEG ve EEG bağlantılı yöntemlerin kısa zaman sabitlerine sahip olması, çoğu ortamlarda işlev gören, nispeten daha ucuz ve basit ekipmanlar gerektiren pratik bir beyin bilgisayar arayüzü sunması sebebiyle bu sistemlerde EEG tercih edilmektedir [4,5,6].

Tablo 1 EEG frekans bantları ve özellikleri

Dalga Tipleri	Frekans Aralıkları	Özellikleri	İşaret Alınan Bölgeler
Alfa Dalgaları	8-12 Hz	Uyanık ve sakin kişilerde görülür. 50 μ V'a kadar genlikleri vardır.	Oksipital
Beta Dalgaları	13-25 Hz	Beta-I ve Beta-II olarak ikiye ayrılırlar. B-II'nin frekansı B-I'in iki katıdır. Zihinsel aktivitelerin artması ile ortadan kalkar ve yerlerine düşük genlikli asenkron işaretler oluşur. B-II gerginlik halinde oluşur.	Parietal ve Frontal
Teta Dalgaları	4 - 7 Hz	Genlikleri 100 μ V'tan düşük olup ve emasyonel gerginlik ve düşük kırıkları durumunda ortaya çıkar.	Parietal ve Temporal
Delta Dalgaları	<3,5 Hz	Genlikleri 100 μ V'tan düşük olup süt çocuklarında ve ağır beyin hastalıklarında görülür.	
Gamma Dalgaları	22-30 Hz	Genlikleri 2 μ V'tan küçük olup, uykunun karakteristik belirtisini taşır.	

EEG kayıtlarında durgun durağan görsel uyarılmış potansiyelleri tabanlı beyin bilgisayar arayüzü sistemlerinde; belirli frekanslarda flaş yapan bir görsel uyarana bakıldığında, beynin görsel uyarılarla ilgili bölümünden yani oksipital bölgeden, flaş yapan görsel uyarının frekansı ile aynı frekans bir EEG sinyali baskın olur. [7,8].

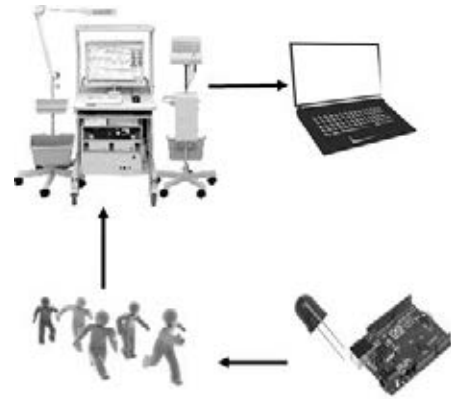
Tablo 1'de görüldüğü üzere EEG frekans aralığı 5 temel banda ayrılmıştır. Bu çalışmamızda durgun durağan görsel uyarılmış potansiyellerinin alfa bandı aralığındaki değişimleri incelenmiştir.

2. Yöntemler

Bu çalışma, farklı frekanslarda belirli bir sürede değişen görsel uyarıların beynin oksipital bölgesindeki bazı kanalların frekans duyarlılık düzeyinin tespit edilmesini hedeflemektedir. Ayrıca bu çalışmanın ikincil amacı, Amyotrofik Lateral Skleroz (ALS), Tetrapleji gibi hastalıklarla hareket sistemini tamamen veya kısmen kaybetmiş kişiler için geliştirilen yaşam destek düzenlerinin beyin sinyalleri ile kontrol edilebilmesi için, geliştirilen beyin bilgisayar arayüzlerine temel teşkil edecek bir çalışma gerçekleştirmektir.

2.1. Deney Prosedürü

Çalışmada, 5 sağlıklı denek kullanılmış ve her bir denekten 2 kayıt alınmıştır. Şekil 1'de gösterilen deney düzeneği hazırlanmıştır.



Şekil 1: Deney Düzeneği

Deneklerin hepsi erkek olup, yaş ortalaması 33,5'tur. Profesyonel bir EEG cihazı kullanılarak (Nihon Kohden - Neurofax 1200 digital EEG) EEG verileri kaydedilmiştir. Bu EEG verileri görsel uyarılara duyarlı olabilecek oksipital bölgeden uluslar arası 10-20 sistemine göre elektrotlar yerleştirilerek alınmıştır. O1, O2 ve Oz kanalları olmak üzere üç kanaldan sol ve sağ kulaklara (A1 ve A2) göre referans alınarak unipolar biçimde kayıtlar alınmıştır. O1 kanalı için A1 kanalı referans, O2 kanalı için A2 kanalı referans, Oz kanalı için A1 referans alınmıştır.

Şekil 2'de gösterilen Uyarı LED (Light Emitting Diode)li olup 8 Hz ile 12 Hz arasındaki frekans değerleri 1 Hz artımlarla; 10 saniyelik sürelerle uygulanmıştır.

Nöral Sinyaller ve Modeller

2. Gün 26 Eylül 2014 Cuma (17.00-18.30)



Şekil 2: Uyarın LED Düzenegi

Kayıtlar her bir frekans artımında bir buton vasıtasıyla işaretlenmiştir. Şekil 3'de görüldüğü üzere kayıt sırasında ortam şartları stabil olarak belirlendi.



Şekil 3: EEG Kayıt Ortamı

2.2. Sinyal Analiz Metodu

Bu kanallardan elde edilen veriler, MATLAB ortamında 7.dereceden 7 Hz – 13 Hz aralığında band geçiren butterworth filtre ile ön işleme tabi tutularak gürültüden ve bozucu etkilerden arındırılmıştır. Daha sonra, görsel uyarının her frekans değeri için söz konusu kanalların güç spektral yoğunluk değerleri Fourier temelli yaygın analiz yöntemlerinden Welch metodu kullanılarak hesaplanmıştır.

2.2.1 Welch Yöntemi

Welch yönteminde işaret üst üste çakışabilecek bölümlere ayrılır. Bir sonraki adımda her bölümün iyileştirilmiş periyodogramı alınıp, sonrada elde edilen bu bölümlere ait periyodogramların ortalaması alınır. İyileştirilmiş periyodogramların ortalaması tüm verinin tek bir periyodogram kestirimine göre varyansını azaltmaktadır. Welch yöntemi, güç spektral yoğunluğunu iyileştirilmiş periyodogramların ortalamasını olarak kestirim yapar. İ'inci iyileştirilmiş periyodogram :

$$\hat{S}_{xx}^{(i)}(f) = \frac{T_s}{K.M} \left| \sum_{n=0}^{M-1} x_i(n)w(n).e^{-j2\pi fn} \right|^2 \quad (1)$$

olarak verilir. Burada f = fs normalize edilmiş frekans değişkenidir. Ölçekleme faktörü Ts ayrık-zaman işaret spektrumunun genliğini analog işaret spektrumuna eşit

olmasına olanak verir. Bu son eşitlikte w(n) ise pencereleme fonksiyonu ve K normalize sabiti olup aşağıdaki ifadeyle verilir.

$$K = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{M-1} w^2(n) \quad (2)$$

Sonuçta güç spektral yoğunluğu kestirimi:

$$\hat{P}_{Welch}(f) = \frac{1}{L} \sum_{i=0}^{L-1} \hat{S}_{xx}^{(i)}(f) \quad (3)$$

ifade ile verilir. Burada L zaman dizisi serisinin uzunluğudur. Diğer taraftan yukarıda da bahsedildiği üzere, kısa veri kayıtlarının birleştirilmiş ayrıca dikdörtgenel olmayan pencere kestirimci çözünürlüğünün azaltır. Özetle, varyans azatımı ile çözünürlük arasında ters bir orantı/ilişki vardır. Özellikle işaret gürültü oranı düşükse periyodograma göre iyi bir çözünürlük elde etmek için Welch yöntemi kullanılabilir [9,10].

Çalışmamızda Welch yönetemi Matlab ortamında uygulanmış olup, 1024'lük pencereleme kullanılmıştır. Ayrıca sinyalin örnekleme frekansı 500 Hz olarak alınmıştır.

3. Analiz ve Bulgular

Çalışmada, 5 frekans değerinde osilasyon yapan uyarana karşı 3 kanaldan elde edilen her 10 saniyelik sinyalin frekans-güç spektral eğrileri (f-PSD) elde edilmiş ve bunların ilk 3 maksimum genliğe sahip frekans değeri incelenmiştir. Çalışmanın frekans analizleri, uyarının oksipital bölgede etkili olduğu ve güç spektral grafiklerinde 1. 2. ve 3. sıradaki maksimum genliklerin frekans değerlerinden en az birinin uyarın frekansı ile uyumlu olduğu görülmüştür. Deneklerden elde edilen kayıtlarının her kanal için ortalamaları alınarak sinyal işlendiğinde, elde edilen en yüksek genlikli ilk 3 frekans cevapları göz önünde bulundurulmuştur.

Tablo 2'de O1 kanalından uyarana karşı verilen cevabın en yüksek genlikli ilk üç frekans değerleri verilmiştir. Tablo 3 ve 4'te O2 ve Oz kanallarından uyarana karşı verilen cevabın en yüksek genlikli ilk üç frekans değerleri verilmiştir. Tablo 1, 2 ve 3'ü birlikte değerlendirdiğimizde, uygulanan uyarın frekans değerleri her bir kanalda frekans cevabının en yüksek genlikli ilk üç frekans değerinden en az bir harmonik frekans değeri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Tablo 2: O1 Kanalı Frekans Cevabı

Uyarın Frekansı	O1 Kanal Cevabı (En yüksek genlikli frekans bileşeni, Hz)		
	1.	2.	3.
8Hz	16,11	12,7	10,74
9Hz	9,033	14,4	18,07
10Hz	10,01	20,02	8,545
11Hz	11,23	13,67	12,21
12Hz	12,21	24,41	27,59



Nöral Sinyaller ve Modeller

2. Gün 26 Eylül 2014 Cuma (17.00-18.30)

Tablo 3: O2 Kanalı Frekans Cevabı

Uyaran Frekansı	O2 Kanal Cevabı (En yüksek genlikli frekans bileşeni, Hz)		
	1.	2.	3.
8Hz	8,301	12,7	16,11
9Hz	9,033	14,4	12,21
10Hz	10,01	8,545	10,99
11Hz	11,23	12,21	8,301
12Hz	12,21	14,4	27,59

Tablo 4: Oz Kanalı Frekans Cevabı

Uyaran Frekansı	Oz Kanal Cevabı (En yüksek genlikli frekans bileşeni, Hz)		
	1.	2.	3.
8Hz	8,301	16,11	9,277
9Hz	9,033	5,127	8,057
10Hz	10,01	8,545	6,592
11Hz	11,23	14,65	8,301
12Hz	8,301	12,21	14,89

4. Sonuçlar

Görsel uyaranlara karşı oksipital bölgedeki kanalların frekanslara duyarlı olduğu görülmüştür. Ayrıca, Alfa frekans bandını kapsayan görsel uyaranların genel olarak oksipital bölgeden alınan EEG kanallarında etkili olduğu görülmüştür. Böylece, oksipital bölgedeki kanalların frekans-güç yoğunluk ilişkileri kullanılarak beyin sinyalleri ile çevredeki elektriksel sistemlerin kontrolünün mümkün olacağı sonucuna varılmıştır.

5. Kaynakça

- [1] Wolpaw R. J., Birbaumer N., McFarland, D.J., Pfurtscheller, G., Vaughan, T.M., "Brain computer interfaces for communication and control", Clinical Neurophysiology, volume 113., 767-791, 2002.
- [2] Faller J., Müller-Putz G., Schmalstieg D., Pfurtscheller G., "An application framework for controlling an avatar in a desktop based virtual environment via a software SSVEP brain-computer interface", Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 19(1), 25-34, 2010.
- [3] Pfurtscheller G., Müller-Putz G. R., Scherer R., Neuper C., "Rehabilitation with brain-computer interface systems", IEEE Comput Mag 41., 58-65, 2008.
- [4] Regan D., "Human brain electrophysiology: evoked potentials and evoked magnetic fields in science and medicine", Elsevier, New York, 1989.

- [5] Müller-Putz G. R., Scherer R., Brauneis C., Pfurtscheller G., "Steady-state visual evoked potential (SSVEP)-based communication: impact of harmonic frequency components", Journal of Neural Engineering, 2., 123-130, 2005.
- [6] Allison Z. B., McFarland J. D., Schalk G., Zheng D. S., Jackson M. M., Wolpaw R. J., "Towards an independent brain-computer interface using steady state visual evoked potentials" Clinical Neurophysiology, volume 119., Issue 2., 399-408, 2008.
- [7] Zhu D., Bieger J., Molina G. G., Aarts M. R., "A survey of stimulation methods used in SSVEP-based BCIs" Computational Intelligence and Neuroscience, Volume 2010., article no 1, pages 12, 2010.
- [8] Ren R., Bin G., Gao X., "Idle state detection in SSVEPbasedbrain-computer interfaces," in Proceedings of the 2ndInternational Conference on Bioinformatics and BiomedicalEngineering, pp. 2012-2015, Shanghai, China, 2008.
- [9] Proakis J.G., Manolakis D.G., Digital Signal Processing Principles, Algorithms, and Applications. Prentice-Hall, New Jersey, 1996.
- [10] Alkan A., Yılmaz S. A., "Kapasitör Anahtarlama Sonucu Oluşan Geçici Salınımların Frekans ve Zaman Frekans Domeninde Analizi", Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 12. Ulusal Kongresi Ve Fuarı Bildirileri, 2007.