



## Farklı Duty-Cycle Oranlarındaki Uyarıların Durgun Durağan Görsel Uyarılmış Potansiyellerin Bilgi Aktarım Hızı Üzerindeki Etkileri

### The Effects of Information Transfer Rate in Steady State Visual Evoked Potential in Stimuli that Different Duty- Cycle Ratio

Zeki Oralhan<sup>1</sup>, Mahmut Tokmakçı<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Türk Telekomünikasyon A.Ş.  
zeki.oralhan@turktelekom.com.tr

<sup>2</sup> Biyomedikal Mühendisliği  
Erciyes Üniversitesi  
tokmakci@erciyes.edu.tr

#### Özetçe

Elektroensefalografi (EEG) tabanlı Beyin bilgisayar arayüzü sistemleri (Brain Computer Interface-BCI), kullanıcılar tarafından kolay ve pratik uygulamaya sahip olması ve hızlı cevap verebilmesinden dolayı tercih edilmektedir. EEG tabanlı BCI sistemlerinde beyin sinyallerinden durgun durağan görsel uyarılmış potansiyeller (Steady State Visual Evoked Potential-SSVEP) temel alınıp geliştirilen tipleri mevcuttur. Bu çalışmada, SSVEP temelli BCI sistemleri için en ideal uyarıcı duty cycle oranını araştırılmaktadır. Deneyimizde 10 Hz sabit frekansı ve yanıp sönen LCD (Liquid Crystal Display) ekrandaki uyarıcı kullanılmıştır. Bu uyarıcı %20, 40, 50, 60 ve 80 duty cycle oranlarında uygulanmış ve denek tarafından 5'er saniye süre ile bakılmıştır. Elde edilen EEG kayıtları ön işleme tabii tutularak filtrelenmiş ve veriler üzerinde kanonik korelasyon analizi yöntemi uygulanmıştır. %40 duty cycle oranına sahip uyarıcıdan ortalama olarak %91.18 oranında doğruluk ve 27.86 bpm bilgi aktarım hızı elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** — Beyin bilgisayar arayüzü, Durgun durağan görsel uyarılmış potansiyel.

#### Abstract

EEG based brain computer interface (BCI) systems are preferred, because It has practical application by users and has a good response. Steady state visual evoked potential (SSVEP) can be used for BCI systems. In this study we investigated the best duty cycle ratio of ideal stimuli. In the experiment, flicker had 10 Hz frequency on the LCD. This flicker got 20%, 40%, 50%, 60% and 80% duty cycle ratio during the experiment. Participants gazed to flicker 5 second for each condition. EEG signals were filtered in preprocessing session after that Canonical Correlation Analysis (CCA) method was applied on data. According to the CCA, the best average accuracy and Information transfer rate (ITR) were 91.18% and 27.86 bpm respectively.

**Keywords** — Brain computer interface, Steady state visual evoked potential.

#### 1. Giriş

Beyin bilgisayar arayüzü (Brain Computer Interface-BCI) sistemleri, çeşitli nedenlerle motor kas hareketlerini kullanamayan hastalar için veya günlük hayatı kolaylaştırmak için geliştirilmektedir [1]. BCI sistemleri elektroensefalografi (EEG) manyetoensefalografi (MEG), pozitron emisyon tomografisi (PET), fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI), optik görüntüleme yanında, yakın kızıl ötesi spektroskopisi, elektrokortigografi (ECoG) temelli olarak geliştirilmektedir. Basitliği ve verimli cevaplar vermesi nedeniyle EEG temelli beyin bilgisayar arayüzü sistemleri üzerinde çalışmalar daha yoğundur [2].

EEG temelli BCI sistemleri, durgun durağan görsel uyarılmış potansiyeller (Steady State Visual Evoked Potentials-SSVEP), Yavaş kortikal potansiyeller, P300 ile tetiklenen potansiyeller,  $\mu$  ve  $\beta$  ritimleri, Kortikal nöronların doğrudan uyarımı olarak sınıflandırılabilirler [3].

SSVEP 4 Hz ile 75 Hz arasında yanıp sönen uyarıcılar ile elde edilmektedir [4]. SSVEP temelli BCI çalışmalarından Lee ve arkadaşları 13.16 Hz frekans değerinde, duty cycle değişimleri ile SSVEP cevaplarını incelemiştir [5]. Wu ve arkadaşları farklı uyarıcı tiplerinin sıvı kristal ekran (LCD), katod ışınlu tüp (CRT) ekran üzerindeki uyarıcılar ve LED'li uyarıcılardaki SSVEP cevaplarını incelemiştir [6]. Wu farklı duty cycle oranlarında, SSVEP cevaplarındaki değişimleri spektral güç yoğunluğu metodu ile incelemiştir [7]. EEG tabanlı BCI sistemlerinde görsel uyarıcılarla ilişkilendirilen komutun hızlı bir şekilde icra edilmesi önem kazanmaktadır. Bundan dolayı, BCI sistemlerinde bilgi transfer hızı (Information Transfer Rate-ITR) önemli ve belirleyici bir parametredir [8]. Bu çalışmada, uyarıcının duty cycle değerinin bilgi transfer hızına etkisi incelenmiştir.

## Sinyal İşleme 4

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

### 2. Yöntemler

SSVEP sabit bir frekansta tekrarlayan görsel uyarana bakma neticesinde elde edilen beyin tarafından verilen elektriksel bir cevaptır. Uyarın, bir ekran üzerinden veya LED'li (Light Emitting Diode) bir mekanizmadan oluşabilir. SSVEP saçlı deri üzerinden EEG kayıtları şeklinde alınabilir. Ayrıca SSVEP uyarının aynı frekansında ve/veya harmonikleri olarak elde edilir[3].

Bu çalışmada, üç sağlıklı normal görme yeteneğine sahip erkek deneklerden oluşan gönüllüler deneye katılmıştır. Deneklerin yaş ortalaması 26.5 olup, psikiyatrik herhangi bir hastalık geçirmemişlerdir.

#### 2.1. Uyarın Düzenegi

Bu çalışma için kendi özgü bir uyarın yazılımı yapılmıştır. Bu uyarın yazılımı için Microsoft Visual Studio 12.0 kullanılmıştır. Bu arayüz aracılığı ile uyarın sayısı, uyarın frekansı ve uyarın duty cycle oranı değiştirilebilmektedir.

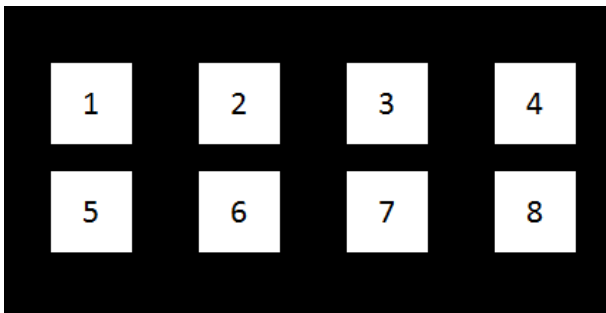
#### 2.2. Veri Kaydı

EEG verisi 19 adet Ag/Ag-Cl elektrodun 10-20 uluslar arası elektrot yerleşim sistemine göre saçlı deri üzerine yerleştirilmiştir. Referans elektrotlar sağ ve sol kulak uçları olarak belirlenmiştir.

EEG verisi Nihon Kohden 1200 Neurofax marka ve modellenmiş EEG kayıt cihazı tarafından 500 Hz örnekleme frekansı ile kayıt altına alınmıştır.

#### 2.3. Deney Prosedürü

Deney 18,5 inç bir ekranda beliren 8 adet uyarından oluşmaktadır. Şekil 1' de ekran üzerinde görülen her bir uyarın için farklı frekanslar belirlenmiştir.



Şekil 1. LCD ekran üzerindeki uyarınların görünümü

Uyarınlar 5 Hz ile 20 Hz arasında rastgele belirlenen frekans değerlerinde yanıp sönmektedir. Yalnızca 3 numaralı uyarının frekans değeri 10 Hz olarak belirlenmiştir. Deney boyunca deneklerden sadece 10 Hz olarak belirlenmiş uyarına bakmaları istenmiştir. Denekler %20, 40, 50, 60 ve 80 duty cycle oranlarında yanıp sönen uyarınlara bakmışlardır. Her bir denek 5 farklı duty cycle oranının rastgele gelmesiyle, her durumda 5 saniye boyunca uyarına bakıp 3 saniye dinlemektedirler. Böylece deneyin bir oturumunda 37 saniye

sonra sonlanmıştır. Her oturum, denekler tarafından 3 defa tekrarlanmıştır.

#### 2.4. EEG Kayıtlarının Analizi

Öncelikle EEG kayıtları, MATLAB ortamında 7.dereceden 5 Hz – 20 Hz aralığında band geçiren butterworth filtre ile ön işleme tabi tutularak gürültüden ve bozucu etkilerden arındırılmıştır. Daha sonra, Kanonik Korelasyon Analiz yöntemi dataların incelenmesinde kullanılmıştır. Bu metodun kullanılma tercihi olarak, Spektral güç yoğunluğuna göre daha yüksek seviyelerde ortalama doğruluk oranı veriyor olmasından dolayıdır [9].

Kanonik Korelasyon Analizi, iki farklı değişken setinin arasındaki ilişkilerin incelenmesinde kullanılan bir yöntemdir.

Çok kanallı EEG sinyalleri X değişkeni ile, Y değişkeni ile de referans sinyalleri tanımlanırsa, ağırlık vektörleri  $W_x$  ve  $W_y$  olmak üzere, X ve Y'nin lineer kombinasyonları arasındaki maksimum korelasyon hesaplanır.

$$(W_x, W_y) = \text{argmax} \square \text{corr}(XW_x, YW_y) \square \quad (1)$$

Bu noktada, yapay harmonik frekanslarındaki sinyaller, sinüs ve kosinüs sinyallerinden üretilmiş olup referans sinyal olarak kullanılacaktır. Ayrıca faz kaymasını önlemek için kosinüs sinyalleri kullanılmıştır. Burada  $Y_f$  ile gösterilen referans sinyali, K toplam harmonik sayısı olmak üzere 2.denklemden gösterilmiştir.

$$Y_f = \begin{pmatrix} \sin(2\pi Kft) \\ \cos(2\pi Kft) \end{pmatrix}, \quad t = \frac{1}{T}, \frac{2}{T}, \dots, \frac{Sf_s}{T} \quad (2)$$

Sınıflandırma için, X ve her bir referans sinyal  $Y_f$  Kanonik Korelasyon yönteminde giriş olarak belirlenmiş ve maksimum korelasyon değerli C değeri çıkış olarak hesaplanmaktadır.

$$C = \max \rho_i \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (3)$$

$f_1, f_2, \dots, f_k$  referans sinyalleri için  $\rho_i$  Kanonik Korelasyon sonucudur.

Bu çalışmada ayrıca ağırlık vektörü  $W_x$  beyin haritalanması için kullanılmıştır. O1, O2 ve Oz kanalları ilk 3 yüksek SSVEP cevaplı kanallar olduğu görülmüş olup, sonuçlar kısmında bu 3 kanaldan elde edilen veriler kullanılmıştır.

Böylece Kanonik korelasyon analizinde, uygulanan tüm frekans değerleri için katsayı hesaplanmakta; en yüksek katsayının hesaplandığı frekans, kullanıcının seçtiği frekans olarak kabul edilmektedir.

Bir Beyin Bilgisayar Arayüzünün verimliliği ve etkinliği bilgi aktarım hızları ile doğru orantılıdır. Bilgi aktarım hızı (ITR- Information Transfer Rate) 4. ve 5. denklemlerdeki şekilde formülüne edilmiştir.

$$\frac{\text{Bits}}{\text{Command}} = \log_2 K + P \log_2 P + (1 - P) \log_2 \left[ \frac{(1 - P)}{(K - 1)} \right] \quad (4)$$

$$\text{ITR} = \frac{\text{Bits}}{\text{Command}} \times \frac{60}{S} \quad (5)$$

### 3. Sonuçlar

Burada  $K$  ekran üzerindeki uyarın sayısını temsil etmektedir.  $P$  ise, doğruluk oranını göstermektedir.  $S$  ise, uyarana bakma süresini işaret etmektedir. Bu çalışmamızdaki offline deneyimizde  $S$  süresi 5 saniye olarak alınmıştır.

Gönüllü üç denek üzerinde yapılan ve 10 Hz lik sabit frekanstaki ve farklı duty cycle oranlarında yanıp sönen uyarana bakılarak gerçekleştirilen deneyde, SSVEP değişimlerini Tablo 1'deki doğruluk oranı ve ortalama bilgi aktarım hızları görülmektedir. Buna göre, 10 Hz frekansına sahip bir uyarın için en yüksek doğruluk oranı (ort. % 91.18) ve en yüksek bilgi aktarım hızı (ort. 27.86 bpm) uyarının %40'lık duty-cycle değerinde elde edilmiştir.

Tablo 1: Deney sonucunda elde edilen ortalama doğruluk ve ortalama bit aktarım hızları

Duty Cycle Oranı	Denek 1		Denek 2		Denek 3		Ortalama	
	Ortalama Doğruluk (%)	Ortalaman Bilgi Aktarım Hızı (bpm)	Ortalama Doğruluk (%)	Ortalaman Bilgi Aktarım Hızı (bpm)	Ortalama Doğruluk (%)	Ortalaman Bilgi Aktarım Hızı (bpm)	Ortalama Doğruluk (%)	Ortalaman Bilgi Aktarım Hızı (bpm)
20%	76.30	18.54	66.93	13.87	80.38	20.82	74.54	17.60
40%	<b>92.97</b>	29.23	<b>87.07</b>	24.98	<b>93.49</b>	29.64	<b>91.18</b>	27.86
50%	89.93	26.95	82.03	21.79	90.45	27.33	87.47	25.25
60%	80.99	21.18	75.61	18.17	84.29	23.18	80.30	20.77
80%	78.73	19.88	67.71	14.23	78.47	19.73	74.97	17.83

Buradaki ortalama bilgi aktarım hızının artışı önemlidir. Bilgi aktarım hızının ekranda beliren uyarın sayısı önemli ölçüde etkilemektedir. Ayrıca offline deney analizinde uyarın bakış süresi 5 saniye olduğundan bu parametrede bilgi aktarım hızını etkilemektedir. Bilgi aktarım hızı, %50 duty cycle oranına göre %40'lık duty cycle oranına sahip uyarında ortalama değer olarak %10,36 oranında bir artış göstermiştir.

Bu çalışma, beyin bilgisayar arayüzü sistemleri için bilgi aktarım hızlarının duty cycle oranı ile geliştirilebileceğini göstermiştir. Bundan sonraki çalışmalarda denek sayısı artırılıp, EEG alfa ve beta bandındaki diğer frekans değerlerinde çalışma yapılarak, duty cycle oranı ile frekans değeri arasındaki ilişkiler ortaya konulabilir.

### 4. 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] 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.
- [3] Mason S., Bashashati A., Fatourehchi M., Navarro K., and Birch G., "A comprehensive survey of brain interface technology designs," *Ann. Biomed. Eng.*, vol. 35, no. 2, pp. 137-169, Feb. 2007
- [4] Wu C-H., Chang H-S., Lee P-L. Li K-S., Sie J-J., Sun Chia C-W., Yang C-Y., Li P-H., Deng, H-T., Shyu K-K., "Frequency recognition in an SSVEP-based brain computer interface using empirical mode decomposition and refined generalized zero-crossing" *Journal of Neuroscience Methods* 196., 170-181, 2011.
- [5] Lee P.L., Yeh CL et al "An SSVEP-based BCI using high duty-cycle visual flicker", *IEEE Trans on Biomed Eng.* Vol. 58, Issue 12, 3350- 3359, 2011.
- [6] Wu Z., Lai Y et al "Stimulator selection in SSVEP-based BCI." *Medical Engineering*. Vol 30, No 8, 1079-1088, 2008.
- [7] Wu Z., "The Difference of SSVEP resulted by Different Pulse Duty-cycle", *Communications, Circuits and Systems, ICCAS 2009 International Conference 2009*, 605-607.
- [8] Wolpaw J R, Ramoser H, McFarland D J and Pfurtscheller G 1998 EEG based communication: improved accuracy by response verification *IEEE Trans. Rehabil. Eng.* 6 326-33
- [9] Lin Z., Zhang C., Wu W., and Gao X., "Frequency recognition based on canonical correlation analysis for SSVEP-based BCIs," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 53, no. 12, pp. 2610-2614, Jun. 2006.