

İşitsel Uyarılmış Potansiyelerde Kısmi Yönlü Uyumluluk ve Bilgi Akış Yönünün Kestirimi

Estimation of Partial Directed Coherence and Direction of Information Flow with Auditory Evoked Potentials

M. Emre ÇEK¹, F. Acar SAVACI¹, Murat ÖZGÖREN²

1. Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü,
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
{emrecek,acarsavaci}@iyte.edu.tr

2. Biyofizik AD, Tıp Fak.
Dokuz Eylül Üniversitesi
murat.ozgoren@deu.edu.tr

Özetçe

Bu bildiriye, saçlı deride çeşitli elektrotlardan elde edilmiş işitsel uyarılmış potansiyelerde, çok değişkenli öz bağımlı rastlantısal modelleme kullanılarak beyindeki farklı bölgeler arasında bilgi akışının mevcut olup olmadığı incelenmiştir. Bilgi akışının kestirimi, frekansa bağlı ve 0 ile 1 arasında değerler aralan kısmi yönlü uyumluluk ve yönlü transfer fonksiyonları kullanılarak yapılmaktadır. Uyarı sonrası zamanda yapılan incelemede her iki yöntemin de bilgi akışının mevcut olduğu frekans noktaları ile ilgili bilgi verdiği ve bilgi akış yönlerinin kestirilebildiği görülmüştür. Yöntemlerin frekans çözünürlüğü, ilgili örnekleme penceresi ve model mertebesi kriterlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. İki yöntemin de uyumlu değerler sağladığı saptanmıştır.

Abstract

In this paper, existence of information flow between different locations of the brain have been analyzed by multivariate auto-regressive modelling where the auditory evoked potentials were measured from several electrodes. The estimation of the information flow was performed by evaluating the partial directed coherence (PDC) and the directed transfer function (DTF) which are function of frequency within the values 0 and 1. When the post-stimulus time interval was analyzed it was observed that both of the methods illustrates the frequency localization where the information flow occurs and the estimation could be performed by given methods. The frequency resolution of the methods depends on the sampling rate and model order. It was determined that the given methods are matched with each other.

1. Giriş

Biyolojik işaretlerden elde edilen çoklu kanal ölçümlerde, kanallar arasındaki ilişki son zamanlarda önem kazanan bir konu olmuştur. Farklı elektrotlardan alınmış beyin işaretleri arasındaki bilgi akışının kestirimi yönlü transfer fonksiyonu kullanarak ilk olarak [1]'de tanıtılmıştır. Burada kullanılan yöntem, çok değişkenli öz bağımlı modelleme esasına dayanmaktadır. Bu yöntemin ECG verilerinde uygulanışı [2]'de detaylı olarak incelenmiştir. [3]'de yönlü transfer fonksiyonunda değişiklik yapılarak farklı beyin yapıları arasındaki uyumluluk incelenmiştir. Baccala ve arkadaşları kısmi yönlü uyumluluk fonksiyonunu ilk olarak [4]'deki çalışmayla tanıtmış ve hipokampus ile dentate gyrus arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Burada verilen tanım daha sonra [5]'de genelleştirilerek güncellenmiştir. Bu yöntemlerle ilgili karşılaştırmalı analiz [6]'nın konusu olmuştur. Beyindeki farklı bölgeler arasındaki etkileşimin ikili olarak incelenmesi yanıltıcı olmakta, bu yöntem ile çok sayıda kanalın birbirine olan etkisi incelendiğinden daha doğru kestirime ulaşılmaktadır [7]. Çok değişkenli öz bağımlı model kullanarak sinirsel aktivitedeki bilgi akışı analizinde seçilen modelin mertebesinin sonuçlara etkisi [8-9]'da incelenmiştir. Her ne kadar model mertebesi için [10]'da verilen Akaike Bilgi Kriteri en çok kullanılan yöntem olsa da, pratikte beyin işaretleri doğrusal olmayan davranış gösterdiği için daha yüksek model mertebesi kullanmak daha detaylı frekans spektrumu bilgisine ulaşmamızı sağlamaktadır. Bu açıdan kısmi yönlü uyum fonksiyonunda güvenilir sonuçlara ulaşmak için “analitik önem değeri” tanımlanmıştır [9]. Yapılan analizlerde, kullanılan yöntemlerden herhangi birinin her uygulamada mutlak en iyi sonucu veremediği, eldeki probleme bağlı olarak sonucun değiştiği görülmüştür [9]. Çok değişkenli sistemlerde bilgi akışının doğrudan mı veya dolaylı mı olduğunun kestirimi sadece yönlü transfer fonksiyonu yöntemiyle mümkün olmadığından kısmi yönlü uyum

fonksiyonuna gereksinim duyulmaktadır. İkinci bölümde çok değişkenli öz bağımlı model ve bu modele bağlı analiz yöntemleri verilmektedir.

2. Yöntem

Çok değişkenli öz bağımlı modellemede temel varsayım, eldeki zaman serilerinin durağan ve rastlantısal olmasıdır [2]. Durağan olması istatistiksel özelliklerinin zaman içinde değişmediğini göstermektedir. Çok kanallı zaman serilerinden oluşan bir sistemde herhangi bir kanalda gözlenen zaman serisi, kendisinin ve diğer kanallardaki zaman serilerinin geçmiş değerleri ve hata miktarı cinsinden hesaplanmaktadır.

2.1. Çok Değişkenli Öz bağımlı Model

K-kanallı p'ninci mertebeden çok değişkenli öz bağımlı model (1)'deki gibi ifade edilir [1].

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_1(n) \\ \vdots \\ \mathbf{x}_K(n) \end{bmatrix} = \sum_{r=1}^p \mathbf{A}_r \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1(n-r) \\ \vdots \\ \mathbf{x}_K(n-r) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{w}_1(n) \\ \vdots \\ \mathbf{w}_K(n) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Yukarıdaki ifadede \mathbf{A}_r , zaman gecikmesine karşılık gelen doğrusal öz bağımlı katsayı matrisi ve \mathbf{w} ilintisiz beyaz gürültüyü modellemekte olup, ortak değişim matrisi Σ_w , aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$\Sigma_w = \begin{bmatrix} \sigma_{11}^2 & \cdots & \sigma_{1K} \\ \vdots & \sigma_{jj}^2 & \vdots \\ \sigma_{K1} & \cdots & \sigma_{KK}^2 \end{bmatrix}$$

katsayı matrisi \mathbf{A} nın frekans dönüşümü aşağıdaki gibi bulunduğu

$$\mathbf{A}(f) = -\sum_{r=0}^p \mathbf{A}_r e^{-2\pi j r} \quad (2)$$

(1)'de verilen ifade frekans düzleminde (2)'deki gibi ifade edilir.

$$\mathbf{X}(f) = \mathbf{A}(f)^{-1} \cdot \mathbf{W}(f) = \mathbf{H}(f) \cdot \mathbf{W}(f) \quad (3)$$

(3)'te \mathbf{H} sistemin transfer matrisi olup öz bağımlı modelin katsayılarından elde edilmektedir. Model mertebesi seçimi [10]'da verilen Akaike kriterine göre bulunmaktadır. Bu kriter gereğince optimum model

meritbesi (4) ile verilen denklemin değerin minimuma indiren p değeri.

$$AIC(p) = N \ln \det(\Sigma_p) + 2K^2 p \quad (4)$$

Yukarıdaki denklemden Σ_p , p mertebesine karşılık gelen kestirim hatasına ilişkin ortak değişim matrisi, N ise zaman serisinin uzunluğudur. Tespit edilen mertebeye sahip çok değişkenli öz bağımlı modelde transfer matrisinin de bulunmasıyla bilgi akış yönü ve miktarının kestirimi bölüm 2.2'de verilmektedir.

2.2. Yönlü Transfer Fonksiyonu

Çok kanallı öz bağımlı model vermiş bir sistemde j kanalından i kanalına bilgi akışı (5)'deki şekilde frekansa bağlı olarak bulunur ve yönlü transfer fonksiyonu (Directed Transfer Function) olarak isimlendirilir.

$$\gamma_{i \leftarrow j}(f) = \frac{\sigma_{jj}^2 |H_{ij}(f)|^2}{\sqrt{\sum_{k=1}^K \sigma_{kk}^2 |H_{ik}(f)|^2}} \quad (5)$$

Yönlü transfer fonksiyonu 0 ile 1 arasında değer almakta ve bilgi akışı yoğunlaştıkça değeri 1'e yaklaşmaktadır.

2.3. Kısmi Yönlü Uyumluluk Fonksiyonu

Kısmi yönlü uyumluluk fonksiyonu (Partial Directed Coherence), farklı zaman serileri arasındaki etkileşimi transfer matrisi \mathbf{H} yerine doğrudan katsayı matrisi \mathbf{A} 'nın frekans dönüşümünü kullanarak aşağıdaki şekilde göstermektedir [4]:

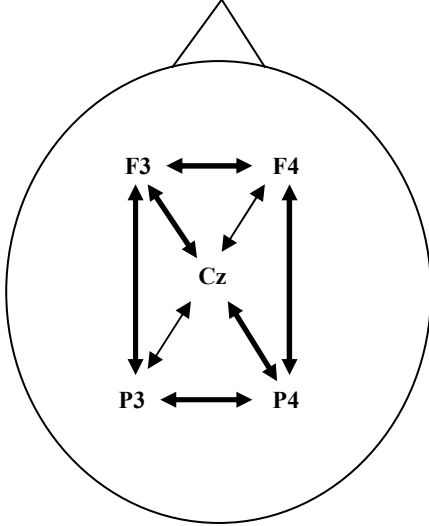
$$\pi_{i \leftarrow j}(f) = \frac{\frac{1}{\sigma_{ii}^2} |A_{ij}(f)|^2}{\sqrt{\sum_{k=1}^K \frac{1}{\sigma_{kk}^2} |A_{kj}(f)|^2}} \quad (6)$$

Burada dikkat edilmesi gereken nokta, yönlü transfer fonksiyonunda düzgeleme sütun üzerinde yapılmakta iken, kısmi yönlü uyumluluk fonksiyonunda satır üzerinden gerçekleştirilmesidir. Beyin işaretlerinde, her bir kanala ilişkin varyans terimleri farklı değerlere sahip olduğu için, düzgeleme yaparken varyans terimlerinin

de göz önüne alınması doğru sonuca ulaşılması açısından önem kazanmaktadır.

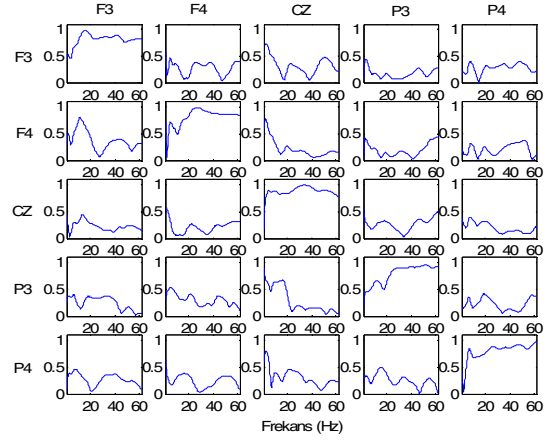
3. Uygulama

Bu çalışmada, işitsel uyarılmış potansiyellerden, uyarım sonrası zamanda alınan işaretler kullanılmıştır. Örnekleme frekansı 1KHz, işaret uzunluğu 1 sn, seçilen toplam kanallar sırasıyla F3, F4, Cz, P3 ve P4'tür. Şekil 1'de seçilen elektrotların beyindeki konumları gösterilmiştir.

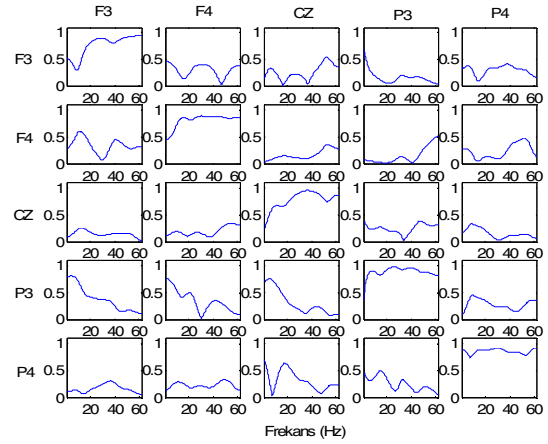


Şekil 1: Elektrotların Beyindeki Konumlandırılması incelenen bilgi akış yönlerinin gösterimi

Yukarıdaki temsili görüntüde elektrotların arası bilgi akışının mevcut olup olmadığı çift yönlü olarak incelenmiş ve şekil 2'de yönlü transfer fonksiyonu ve şekil 3'te kısmi yönlü uyum fonksiyonu sonuçları verilmiştir.



Şekil 2: Yönlü Transfer Fonksiyonunun 5 kanal EEG verisinde gösterimi



Şekil 3: Kısmi Yönlü Uyum Fonksiyonunun 5 Kanal EEG verisinde gösterimi

Şekil. 2 ve Şekil 3'te F3 ve F4 elemanlarının karşılıklı etki grafiklerine baktığımızda; F3 sütununda yer alan F4 grafiğinin F4 sütununda yer alan grafiğine göre farklı frekanslarda bilgi akışının mevcut olduğu görülmektedir. Yine F3 sütunundaki F4 grafiğinde alfa-beta altındaki frekanslarda özellikle yoğunlaşma göze çarpmaktadır. Benzer şekilde P4 sütununda Cz ve Cz sütununda P4 grafiğinin işlenmesinden Cz'ten P4'e doğru beta bandında bilgi akışı olurken, P4'ten Cz'e doğru alfa bandında bir bilgi akışı gözlenmektedir. Burada bir işitsel uyarın altında arka bölgelerden başlayarak değişik beyin bölgelerinde bilgi akışlarının hem yönsel hem de frekans açısından farklılaşma gösterdiği görülmektedir.

4. Sonuçlar ve Yorum

Bu çalışmada, işitsel uyarılmış potansiyellerde, uyarı sonrası zamanda alınan çok kanallı ölçümlerde, beyindeki bilgi akış yönlerinin kestirimi gerçekleştirilmiştir. Bu bildiride kullanılan çok-değişkenli öz bağımlı modellemede temel varsayım kestirim hatası matrisi Σ 'nin köşegen olmasıdır. Çok kanallı beyin işaretlerine ilişkin kestirim hatası ortak değişim matrisinin uygulamada köşegen olması beklenemez. Ölçümlere dışardan çok boyutlu, ilintisiz beyaz gürültü karıştırılmış ve ikinci kısımda verilen matematiksel modele daha yakın bir gerçeklemeye ulaşılmıştır. Bu şekilde kestirim hata ortak değişim matrisinin köşegenleştirilmesi sağlanmıştır. Varyans terimlerinin işlevi, düzelenmiş yönlü transfer fonksiyonu ve kısmi yönlü uyumluluk fonksiyonunun doğru düzelenmesidir.

Çalışma esnasında örnek olarak alınmış gerçek yaşam verilerinin, örnekleme içerisinde beyinde değişik frekans bileşenlerinde farklı yoğunlukta ve yönde bilgi akışı sağladığı görülmüştür. Burada çıkan sonuçların, alt frekans bantlarında, alt zaman pencerelerinde ve farklı örneklerde tekrarı bilgi akış modellerinde aydınlatıcı rol oynayacaktır.

5. Kaynakça

- [1] MJ. Kaminski, KJ. Blinowska, "A new method of the description of the information flow in the brain structures", *Biological Cybernetics*, vol. 65, pp. 203-210, 1991.
- [2] H. Hytti, R. Takalo, H. Ihalainen, "Tutorial on multivariate autoregressive modelling", *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, vol. 20, pp. 101-108, Nov.2006.
- [3] A. Korzeniewska, M. Manczak, M. Kaminski, KJ. Blinowska, S. Kasicki, "Determination of information flow direction among brain structures by a modified directed transfer function (dDTF) method", *Journal of Neuroscience Methods*, vol. 125, pp. 195-207, 2003.
- [4] LA. Baccala, K. Sameshima, "Partial directed coherence: a new concept in neural structure determination", *Biological Cybernetics*, vol. 84, pp. 463-474, 2001.
- [5] LA. Baccala, K. Sameshima, "Generalized partial directed coherence ", *International Conference on Digital Signal Processing*, pp. 163-166, 2007.
- [6] M. Winterhalder, B. Schelter, W. Hesse, K. Schwab, L. Lesitritz, D. Klan, R. Bauer, J. Timmer, H. Witte. "Comparison of linear signal processing techniques to infer directed interactions in multivariate neural systems", *Signal Processing*, vol.85, pp. 2137-2160, 2005.
- [7] R. Kus, M. Kaminski, KJ. Blinowska, "Determination of EEG acitivity propagation: pairwise versus multichannel estimate", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol.51, no.9, September 2004.
- [8] M. Winterhalder, B. Schelter, W. Hesse, K. Schwab, L. Leistriz, J. Timmer, H. Witte, "Detection of directed information flow in biosignals", *Bimed. Tech.*, vol. 51, pp. 281-287, 2006.
- [9] B. Schelter, M. Winterhalder, M. Eichler et. Al., "Testing for directed influences among neural signals using partial directed coherence", *Journal of Neuroscience Methods*, vol. 152, pp. 210-219, 2006.
- [10] H. Akaike, "A new look at statistical model identification", *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 19, pp. 716-723, 1974.