



EEG Faz Senkronizasyonu Hesaplamasında Yeni Bir Yaklaşım: Kanallararası Faz Kümeleme Yöntemi

A Novel Approach for Computing EEG Phase Synchronization: Interchannels Phase Clustering Method

Mehmet Akif ÖZÇOBAN
Tıbbi Görüntüleme Tek. Pr.
İstanbul Gedik Üniversitesi
İstanbul, Türkiye
mehmet.ozcoban@gedik.edu.tr

Aydın AKAN
Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi
İzmir, Türkiye
aydin.akan@ikc.edu.tr

Özetçe—Beyin incelemelerinde en çok kullanılan cihazlardan birisi olan EEG, birçok nörolojik hastalık hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. EEG işaretlerinin faz senkronizasyon gücü ise son yıllarda beyin incelemelerinde sıklıkla kullanılan bir parametredir. Çalışmamızda önerdiğimiz Kanallar arası Faz Kümeleme (KAFK) yöntemi, Bölüntüler arası Faz Kümeleme (BAFK) yönteminin geliştirilmiş şeklidir. KAFK yöntemi ile global ve bölgesel faz senkronizasyon incelemesi yapılabilmektedir. Geliştirilen yöntem bir EEG simülatörü tarafından üretilen işaretlere uygulanmış ve sonuçlar yüksek doğrulukta hesaplanmıştır. Bu yöntem nöropsikiyatrik hastalıklara uygulanarak fonksiyonel bağlılık ve bilişsel düzey konularında önemli bilgiler sağlayabilecektir.

Anahtar Kelimeler — EEG, Faz Senkronizasyonu, Kanallararası Faz Kümeleme Yöntemi.

Abstract— EEG is one of the most used devices in brain examinations, provides important information about many neurological diseases. The power of EEG signal's phase synchronization is a parameter that has been commonly used in brain investigations. The Interchannels Phase Clustering (ICPC) method that we propose in our study, is an improved version of the Intertrial Phase Clustering (IPC) method. Global and regional phase synchronization studies can be done with ICPC method. The method is applied to the signals produced by an EEG simulator and the results are computed with high accuracy. This method can be applied to neuropsychiatric diseases and provide important information on functional connectivity and cognitive functions.

Keywords — EEG, Phase Synhronization, Interchannels Phase Clustering Method.

I. GİRİŞ

Merkezi sinir sistemini (MSS) oluşturan en önemli hücreler olan nöronlar, haberleşme ve komut iletimi amacıyla sürekli elektriksel işaretler üretmektedirler [1]. EEG cihazı vasıtasıyla algılanabilen bu işaretler, MSS' nin fonksiyonu ve fizyolojik durumu hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Analizler

gerçekleştirilirken EEG frekans bantlarına göre değişen işaret gücünden yararlanıldığı gibi [2], eşzamanlı salınım anlamına gelen faz senkronizasyon gücü de çeşitli nöropatolojik durumların tespiti ve teşhisinde kullanılmaktadır.

Literatürde birçok nörolojik hastalığın araştırılmasında senkronizasyon gücü bir parametre olarak kullanılmıştır. Koherans metodu, senkronizasyonu tespit edilmek istenen iki ayrı kanaldan alınan datanın, frekans domeni bilgilerinin lineer korelasyonun ölçülmesi ile uygulanmaktadır. Bu amaçla iki ayrı bölgeye ait datanın frekans bileşenleri bölüntülere ayrılarak genlik kare koherans fonksiyonu oluşturulmaktadır [3]. Bu yöntem depresif, Hafif Bilişsel Bozukluk (HBB) hastalığının araştırılmasında uygulanmış, sonuçta bu hastaların Frontal ve Temporal bölgelerindeki koherans değerlerinde, sağlıklı gruba göre önemli bir fark oluştu tespit edilmiştir. Yaygın kullanımına rağmen bu yöntem çalışılan işaretin lineer olmayan niteliklerini dikkate alamamaktadır. [4]. İkili Bilgi yöntemi, farklı kanallardan alınan dataların aralarındaki istatistiksel bağımsızlık gücünü, işaretlere ait olasılık yoğunluk fonksiyonu hesaplanarak oluşturmaktadır [5]. Bu işlemi gerçekleştirirken iki kanaldan edinilen dataya ait Şanon ve Joint entropi bilgileri kullanılmaktadır. Yöntem uyku apnesi hastalığının araştırılmasında kullanılmış ve önemli bilgiler sağlamıştır [6]. Buna rağmen yöntem kısa boyuttaki datalar için istatistiksel önemde hesaplama yapmak için yeterlilik sağlayamamaktadır. Senkronizasyon Benzerliği yöntemi çoklu zaman serileri arasındaki dinamik etkileşimlerin derecelendirmelerinde kullanılmaktadır. Alzheimer hastalığının araştırılmasında diğer yöntemlere göre daha sağlıklı sonuçlar verdiği belirtilmektedir [7, 8]. Granger Nedensellik yöntemi, farklı işaretlerin lineer bağımsızlık derecelerini saptarken genelde EEG işaretlerinin lineer model analizlerinde kullanılmaktadır. Çok boyutlu EEG işaretlerinin (birden fazla kanal) istenen frekans bandında ki nedenselliklerini saptamaktadır. Alzheimer hastalarında yapılan çalışmada özellikle alfa ve beta frekans bantlarında, sağlıklılara göre düşük değerler bulunmuştur. Kısa EEG kayıtları için



kullanımında çeşitli kısıtlamalar görülmektedir [9, 10]. S tahminci yöntemi ise durum alanı tabanlı, bir senkronizasyon hesaplama yöntemidir. Birden fazla işaret arasındaki bağımsızlık gücünü hesaplamak sureti ile senkronizasyon tespiti gerçekleştirilmektedir. Yöntemin hesaplama doğrulukları yeterince geliştirilememekle birlikte artefakt ve rastgele bozucu etkilere de açık olduğu bilinmektedir [11, 12]. Global Alan Senkronizasyonu (GAS) Yöntemi, tüm beyin için tek bir senkronizasyon gücü değeri hesaplayabilen, frekans domeni tabanlı bir yöntemdir. Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) yöntemi ile frekans domeni alınan çok boyutlu EEG datasına ait Fourier katsayıları, iki boyutlu bir Kartezyen sisteme alınır. Daha sonra bu noktalara Temel Bileşenler Analizi uygulanır. Her bir frekans noktası için ayrı ayrı hesaplanan GAS indisi değeri '0' ile '1' arasında değişmektedir [13]. Alzheimer hastalığında [14], şizofreni [13] ve Obsesif Kompulsif Bozuklukların araştırılmasında uygulanmış bu hastalıkların belirli frekans bantlarında senkronizasyon kaybına neden olduğu ortaya konulmuştur. Buna rağmen GAS yöntemi bazı araştırmacılar tarafından EEG analizlerinin doğruluğu konusunda fazla basit bulunmaktadır [12].

Çalışmamız da önerilen Kanallar arası Faz Kümele (KAFK) yöntemi ise detayları çalışmanın 'Method' kısmında verilen Bölüntüler arası Faz Kümele (BAFK) yönteminin revize edilerek yenilenmiş ve geliştirilmiş şeklidir. BAFK yöntemi EEG işaretlerinin küçük zaman parçalarına bölündükten sonra bu bölüntüler arası senkronizasyonu incelemektedir [15]. Daha önce bu yöntem Orta Prefrontal Korteks ve Kenar Prefrontal Korteks arasına yerleştirilen elektrotlar ile Hata İlişkili Aktivite tespitinde [16], Otistik Spektrum Bozukluklarının araştırılmasında [17] ve farklı EEG ritimlerindeki genlik ile faz arasında senkronizasyonu belirten, geniş skala etkileşimleri ile Parkinson hastalığının incelenmesi amacıyla kullanılmıştır [18]. Ayrıca BAFK yöntemi dinlenme durumunda Obsesif Kompulsif Bozukluk hastalığı araştırılmasında kullanılmış ve her elektrot bölgesi için ayrı ayrı yapılan analizler de Frontal bölge de senkronizasyon ve fonksiyonel bağlılık düşüşü tespit edilmiştir [19].

Bu çalışmanın amacı önceki çalışmalarda başarılı şekilde uygulanan ve yeni bir yöntem olan BAFK yöntemini, dinlenme durumunda alınan EEG datalarına uygun şekilde geliştirilerek sadece tek bir elektrot bölgesi değil, farklı bölgelerden alınan elektrot bölgelerinin kendi aralarındaki senkronizasyon durumunu inceleyebilmektir. Bu sayede Frontal, temporal, paryetal, oksipital ve global alan için senkronizasyon indisi hesaplayabilmek mümkün olabilmektedir. Ayrıca yöntemin geçerliliği EEG simülatörü kullanılarak ölçülmüş ve olumlu bulunan sonuçlar alınmıştır.

II. ÖNERİLEN YÖNTEM

A. Bölüntüler arası Faz Kümeleme Yöntemi

BAFK yöntemi bir EEG faz senkronizasyon analiz yöntemidir. Literatürde "faz kilitleme indisi", "faz koheransı"

veya "faz kilitleme faktörü" şeklinde de isimlendirilebilmektedir.

BAFK uygulamasının ilk aşamasında 3 dakikalık EEG kayıtları 2 saniyelik zaman serilerine bölünmektedir. Bu işlem yöntemin doğasında bulunmaktadır ve uyarılmış potansiyellerle yapılan çalışmalarda çeşitli avantajlar sağladığı için yapılmaktadır. İkinci aşamada ise EEG bölüntülerini, frekans bantlarına göre sınıflandırmak amacıyla, zaman serilerine Morlet Dalgacık Analiz Yöntemi uygulanmaktadır. Her bir frekans noktası için ayrı morlet dalgacıkları, o frekansta sinüsoidal ve Gauss işaretlerinin konvolüsyonu ile oluşturulmaktadır. Elde edilen frekans bileşenleri karmaşık sayılar olup, bunların faz değeri "arctanjant" fonksiyonu yardımı ile denklem 1'deki gibi hesaplanabilmektedir [15, 17].

r: Reel bileşen değeri.

p: Sanal bileşen değeri.

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{p}{r} \right] \quad (1)$$

Buraya kadar anlatılan aşamalar, bilinen sinyal işleme yöntemleri ile elde edilebilmektedir. BAFK yöntemi ise bu her bir EEG bölüntüsüne ait faz değerlerini kullanarak, üzerinde çalışılan kanalın faz senkronizasyon gücü hakkında bilgi sağlamaktadır. Faz değerleri radyan değerler (0 ile 2π arasında değişen değerler) olduğu için, bütün bölüntülere ait değerleri temsil eden bir ortalama değer hesaplaması, aritmetik ortalama işlemi neticesinde gerçekleştirilememektedir. Bunun yerine BAFK yöntemi bütün bölüntülere ait faz değerlerini bir birim çemberde toplayarak bunların eş fazlılık derecesi hakkında bilgi sağlayabilmektedir. Buna göre çember içindeki faz vektörleri birbirlerine ne kadar yakınsa, eş fazlılık gücü o kadar yüksek bulunacaktır. BAFK değeri aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanabilmektedir.

n: Toplam EEG bölüntüsünün sayısı

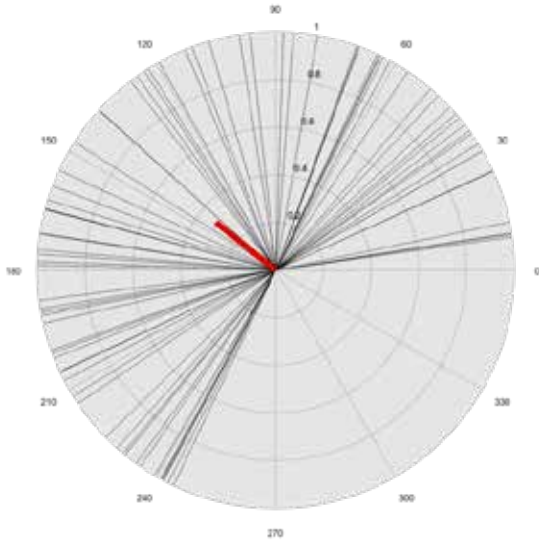
tf: İşlem yapılan zaman-frekans noktası

r: İşlemi yapılan EEG bölütü

k: Faz açısı

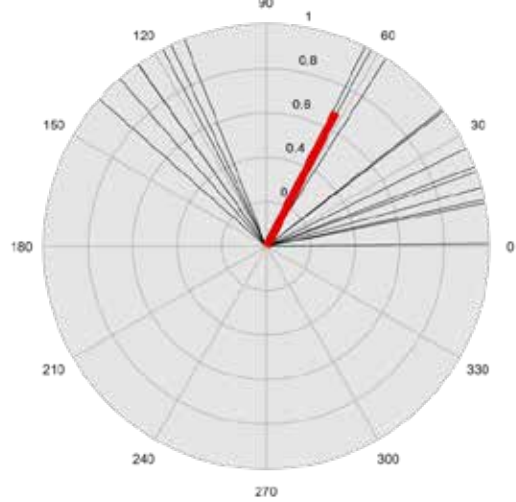
$$ITPC_{tf} = \left| n^{-1} \sum_{r=1}^n e^{-ik_{tfr}} \right| \quad (2)$$

Şekil 1'de 80 adet EEG bölüntüsüne ait ortak fazlılık gücü BAFK yöntemi, kullanılarak hesaplanmaktadır. Kırmızı renkli vektörün uzunluğu, tek bir frekans noktası ve tek bir kanala ait ortak senkronizasyon gücünü ifade etmektedir. Bu değer '0' (zayıf senkronizasyon gücü) ile '1' (kuvvetli senkronizasyon) arasında değişmektedir. Verilen örnek için ortak senkronizasyon değeri 0.32171 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1: BAFK yöntemi hesaplama yöntemi gösterimi.

renkli vektörün uzunluğu 0.67721 olarak hesaplandığı için güçlü bir senkronizasyondan söz edilebilmektedir.



Şekil 2: KAFK yöntemi ile 19 kanal için global senkronizasyon gücü hesaplama yöntemi gösterimi.

B. Kanallar arası Faz Kümeleme Yöntemi

Kanallar arası faz kümeleme yöntemi özellikle dinlenme durumu (uyarım ve görev olmaksızın) EEG kayıtlarında bölgesel faz senkronizasyon gücü hesaplayabilmek amacıyla, BAFK hesaplama algoritmasında bazı yenilemeler gerçekleştirilerek oluşturulmuştur.

KAFK yönteminin, uygulanmasında Morlet Dalgacık Yönteminin doğal bir sonucu olarak ortaya çıkan kenar bozulmalarının önüne geçilebilmesi amacıyla 3 dakikalık EEG kayıtları bölünmeden tek parça halinde analiz edilmektedir. EEG kayıtları, Morlet Dalgacık Yöntemi ile frekans bantlarına ayrılmaktadır. Frekans bileşenlerine ayrılan, dataların denklem 1 kullanılarak faz açıları hesaplanır. Bu faz açıları radyan sistemde birer birim vektör şeklinde ifade edilirler ve her biri ayrı bir kanalın faz açısını temsil eden bu vektörlerin ortalaması ortak fazlılık gücünü ifade etmektedir. Yöntemin en önemli avantajlarından birisi ise bütün beyin için global senkronizasyon değeri hesaplanabilmesinin yanı sıra bölgesel (Frontal, parietal, temporal, oksipital) senkronizasyon gücü hakkında da bilgi sağlayabilmesidir. KAFK yöntemi Denklem (2) kullanılarak hesaplanabilmektedir.

n : Analiz edilen bölge için toplam kanal sayısı

tf : İşlem yapılan zaman-frekans noktası

r : İşlemi yapılan kanal

k : Faz açısı

$$ITPC_{tf} = |n^{-1} \sum_{r=1}^n e^{-ik_r tf}| \quad (2)$$

Şekil 2'de 19 adet kanala sahip bir EEG cihazı ile alınmış kaydın senkronizasyon gücü hesaplanmıştır. Kırmızı

III. SONUÇLAR

KAFK metodunun, önceki uygulamalarda görev ve uyarım ile gerçekleştirilen EEG çalışmaları için kullanıldığı bilinmektedir. Ancak yaptığımız araştırmalarda BAFK yönteminin dinlenme durumunda çekilen EEG kayıtları için ve belirli bölgeler ile global anlamda faz senkronizasyonu hesaplayabilmek adına kullanılmadığı tespit edilmiştir. BAFK yazılımında yapılan iyileştirme ve geliştirmeler ile yöntem global ve bölgesel faz senkronizasyonunu tespit edebilir hale gelmiştir. Bunu ölçebilmek adına bizim tarafımızdan yazılımı gerçekleştirilen bir EEG simülatöründe, mükemmel faz birlikteliğine sahip 19 kanallı yapay EEG işareti üretilmiştir. Daha sonra ise rastlantısal olarak üretilen işaretlerde deneme yapılmıştır. Yöntem son derece başarılı şekilde mükemmel faz birlikteliğini tespit edebilmiştir. Sonuçlar Tablo 1'de gösterilmektedir.

TABLO I: KAFK yönteminin hesapladığı sonuçlar

	Frontal	Temporal	Parietal	Oksipital	Global
Eş Fazlı Data	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Rastlantısal Data	0.1028	0.1378	0.1567	0.1045	0.1038

IV. TARTIŞMA

Gerçekleştirilen çalışmada BAFK yönteminin EEG zaman bölüntülerinin arasında hesapladığı senkronizasyon gücü, yöntemde yapılan bazı değişiklikler ile kanallar arası senkronizasyon gücü hesaplayabilir hale geliştirilmiştir. Yöntemin başarı performansının hesaplanabilmesi amacıyla bir EEG simülatörü yazılımı yapay 19 kanallı EEG işareti üretilmiştir. Eş fazlı olarak üretilen dataların KAFK



yöntemi ile analizlerinde senkronizasyon değeri '1' yani ortak fazlı olarak hesaplanabilmiştir. Rastlantısal olarak üretilen işaretler için ise çok düşük senkronizasyon değerleri hesaplanmıştır.

KAFK yönteminin en önemli avantajı bölgesel ve global senkronizasyon gücünü hesaplayabilmesidir. Ayrıca EEG işaretlerini bölümlere ayırmadan, tek parça halinde analiz ettiği için, sonuçların kenar bozulmalarından etkilenmesinin önüne geçilmektedir. Bu yöntemin uygulanmasıyla gelecekte nöropsikiyatrik ve nörolojik birçok hastalığın nedenlerinin araştırılmasında faydalı bilgiler edinilebilecektir. Ayrıca senkronizasyon konusuyla, bütünlük olarak değerlendirilebilen; fonksiyonel bağlılık gücü, bilişsel bozukluklar (hafıza, öğrenme, dikkat vs) ile ilgili bilgiler sağlanabilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bize destek veren Üsküdar Üniversitesi Nöropsikiyatri Hastanesi Direktörü Dr.Öğr.Üyesi Oğuz TAN'a ve hastane çalışanlarına teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] Bear, M.F., Connors, B.W., and Paradiso, M.A.: 'Neuroscience' (Lippincott Williams & Wilkins, 2007. 2007)
- [2] Pogarell, O., Juckel, G., Mavrogiorgou, P., Mulert, C., Folkerts, M., Hauke, W., Zaudig, M., Möller, H.-J., and Hegerl, U.: 'Symptom-specific EEG power correlations in patients with obsessive-compulsive disorder', *International journal of psychophysiology*, 2006, 62, (1), pp. 87-92
- [3] Nunez, P., and Srinivasan, R.: 'Electric Fields of the Brain: The Neurophysics of EEG' (Oxford University Press, 2006. 2006)
- [4] Brassen, S., Braus, D.F., Weber-Fahr, W., Tost, H., Moritz, S., and Adler, G.: 'Late-onset depression with mild cognitive deficits: electrophysiological evidences for a preclinical dementia syndrome', *Dementia and geriatric cognitive disorders*, 2004, 18, (3-4), pp. 271-277
- [5] Liu, C.J., Huang, C.F., Chou, C.Y., Kuo, W.j., Lin, Y.T., Hung, C.M., Chen, T.C., and Ho, M.C.: 'Age-and disease-related features of task-related brain oscillations by using mutual information', *Brain and behavior*, 2012, 2, (6), pp. 754-762
- [6] Aksahin, M., Aydin, S., Firat, H., and Erogul, O.: 'Artificial apnea classification with quantitative sleep EEG synchronization', *J Med Syst*, 2012, 36, (1), pp. 139-144
- [7] Stam, C., Van Der Made, Y., Pijnenburg, Y., and Scheltens, P.: 'EEG synchronization in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease', *Acta Neurologica Scandinavica*, 2003, 108, (2), pp. 90-96
- [8] Dauwels, J., Vialatte, F., Musha, T., and Cichocki, A.: 'A comparative study of synchrony measures for the early diagnosis of Alzheimer's disease based on EEG', *NeuroImage*, 2010, 49, (1), pp. 668-693
- [9] Granger, C.W.: 'Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods', *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1969, pp. 424-438
- [10] Babiloni, C., Ferri, R., Binetti, G., Vecchio, F., Frisoni, G.B., Lanuzza, B., Miniussi, C., Nobili, F., Rodriguez, G., and Rundo, F.: 'Directionality of EEG synchronization in Alzheimer's disease subjects', *Neurobiology of aging*, 2009, 30, (1), pp. 93-102
- [11] Carmeli, C., Knyazeva, M., Innocenti, G., and De Feo, O.: 'Assessment of EEG synchronization based on state-space analysis', *Neuroimage*, 2005, 25, (2), pp. 339-354
- [12] Wen, D., Xue, Q., Lu, C., Guan, X., Wang, Y., and Li, X.: 'A global coupling index of multivariate neural series with application to the evaluation of mild cognitive impairment', *Neural Networks*, 2014, 56, pp. 1-9
- [13] Koenig, T., Lehmann, D., Saito, N., Kuginuki, T., and Kinoshita, T.: 'Decreased functional connectivity of EEG theta-frequency activity in first-episode, neuroleptic-naive patients with schizophrenia: preliminary results', *Schizophrenia Research*, 2001, 50, pp. 55-60
- [14] Koenig, T., Prichep, L., Dierks, T., Hubl, D., Wahlund, L.O., John, E.R., and Jelic, V.: 'Decreased EEG synchronization in Alzheimer's disease and mild cognitive impairment', *Neurobiol Aging*, 2005, 26, (2), pp. 165-171
- [15] Cohen, M.X.: 'Analyzing neural time series data: theory and practice' (MIT Press, 2014. 2014)
- [16] Cavanagh, J.F., Cohen, M.X., and Allen, J.J.: 'Prelude to and resolution of an error: EEG phase synchrony reveals cognitive control dynamics during action monitoring', *Journal of Neuroscience*, 2009, 29, (1), pp. 98-105
- [17] van Noordt, S., Wu, J., Venkataraman, A., Larson, M.J., South, M., and Crowley, M.J.: 'Inter-trial coherence of medial frontal theta oscillations linked to differential feedback processing in youth and young adults with autism', *Research in Autism Spectrum Disorders*, 2017, 37, pp. 1-10
- [18] De Hemptinne, C., Ryapolova-Webb, E.S., Air, E.L., Garcia, P.A., Miller, K.J., Ojemann, J.G., Ostrem, J.L., Galifianakis, N.B., and Starr, P.A.: 'Exaggerated phase-amplitude coupling in the primary motor cortex in Parkinson disease', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2013, 110, (12), pp. 4780-4785
- [19] Özçoban, Mehmet Akif; Tan, Oguz; Akan, Aydin: 'Analysis of frontal phase synchronization in OCD patients' 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). IEEE, 2018, pp. 1-4.