

KISA GECİKMELİ UYARTIM POTANSİYELLERİNE KLASİK ADAPTİF FİLTRE TEKNİKLERİNİN UYGULANMASI*

Yaşar Önder ve Nurettin Acır

Niğde Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 51245, Niğde, Türkiye
ysr_onder@yahoo.com, nacir@nigde.edu.tr

Anahtar Sözcükler: Uyarım Potansiyeli, adaptif filtreler, ileri yönde algoritmalar, özimizelemeli algoritmalar

ABSTRACT

In this study, the conventional adaptive filter techniques are applied to the short latency auditory evoked potentials. Auditory evoked potentials are routinely used in clinical applications and brain dynamic researches. The main aim in this study is to present an application of classical algorithms for contributing practical engineering problems associated with biomedical engineering. Three widely used adaptive filters are performed and compared in terms of their performance for short latency evoked potentials. In conclusion, NLMS algorithm has given the best result while other ones are performed well.

1. GİRİŞ

Kısa Gecikmeli Uyarım Potansiyeli (KGUP) beynin uyarılmasına karşın 10 ms içerisinde verdiği tepkinin elektriksel cevabıdır. Bu uyarıma kulaktan ses ile yapılıyor ise, işaret işitsel KGUP olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca işaretin kaynağının şimdiye kadar yapılan çalışmalarda beyin sapı olduğu tecrübe edildiğinden işitsel beyin sapı cevabı olarak da literatürde yer aldığı görülmektedir. Bu çalışmada bizim kullandığımız veritabanı işitsel KGUP verileridir. Bu arada, işitsel KGUP'ler işitsel fonksiyonların belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan klinik bir yöntemdir. KGUP'ler her biri nörofizyolojik anlamda tanımlı olan yedi adet pozitif dalga tipinden meydana gelmektedir (Fig.1). Örneğin Dalga V (Wave V) işaretin alındığı kulağın uyarılan dB şiddetinde sesi işittiği anlamına gelmektedir. KGUP örüntülerinin temel iki karakteristiği genlik değerleri ve gecikme zamanlarıdır. KGUP'lerin genlik değerleri ve gecikme zamanları yaşa, uyarılan kulağa, işitme yeteneğine, kayıt alınan canlının dikkatine ve en önemlisi uyarının frekansına bağlı olarak değişmektedir [1]. Bu değişikliklerin yanı sıra, görsel, motorsal ve duyuşsal aktivitelerin etkisiyle tek bir uyarım çok düşük seviyede işaret-gürültü oranına sahip KGUP örüntüler üretmekte ve bu işaretlerde KGUP'leri görmek mümkün olmamaktadır. Bu sebeple, iyi bir ölçüm için uyarılar belli bir frekansla

tekrarlanmaktadır. Bu problem üzerine ileri işaret işleme tekniklerinin kullanıldığı bir çok ortalama yöntemleri geliştirilmiştir. KGUP'ler sensori-nöral durumu, bölgeler arası iletim durumu, işitsel bozukluklar, nörolojik bozukluklar ve beyin ölümünün belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra, KGUP'ler işitme kayıplarının belirlenmesinde ve yeni doğan bebeklerde işitme eşiğinin belirlenmesinde rutin olarak kullanılmaktadır. Bütün bebeklerin yaklaşık olarak %10'unda işitme kaybı tehlikesi olduğu ve bu sebeple sürekli kontrol altında tutulması durumu göz önüne alınırsa, nesnel bir ölçümün yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır [2], [3]. Bütün bu açıklamaların neticesinde doğrusal olmayan, durağan olmayan ve kaotik bir dinamiğe sahip olan KGUP işaretlerinin en başta çok iyi kaydedilmesi gerekmektedir. Anılan kayıt sisteminde bir başka deyişle veri toplama sisteminde işaretin dinamiği gereği adaptif bir filtreye ihtiyaç vardır. Ancak, sistemler genelde analog olarak tasarlandığı için analog işaret işlemede de adaptif olmayan yani filtre katsayıları her bir kayıt için yeniden hesaplanmayan sistemler kullanılmaktadır. Yani adaptif algoritmalar sisteme ek bir çalışma yükü getirmektedir. Ancak, klasik adaptif filtrelerin çokta fazla yük getirmediğini yaptığımız bu çalışmada gözledik. Kısa vadede ölçülen işaretlere bu filtrelerin harici (off-line) olarak uygulanabileceğini, uzun vadede ise veri toplama sistemlerine kolaylıkla adapte edilebileceğini düşünüyoruz. Bu çalışma doğrusal olmayan sistemlerin dinamiğinde daha kararlı ve yüksek seçicilikte filtrelerin tasarlanması hedefinin bir ön çalışmasıdır. Gelecek çalışmalarımızda yerel minimum problemi olmayan, kararlı ve mümkün olduğunca hızlı doğrusal olmayan adaptif filtrelerin tasarlanması hedeflenmektedir. Ancak, sunulan çalışmada her ne kadar klasik yöntemler sunulsa da, bu çalışmanın, mühendislik alanında pratik çalışmalarda bütün mühendislerin kullanabileceği ve yorumlayabileceği düşüncesiyle faydalı olacağını düşünüyoruz. Bu sebeple bu çalışmada bir sonraki bölümde sunulan adaptif filtre teknikleri KGUP

*Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından TÜBİTAK-Kariyer-105E084 nolu proje kapsamında desteklenmektedir.

işaretlerine uygulanarak performansları karşılaştırılmıştır.

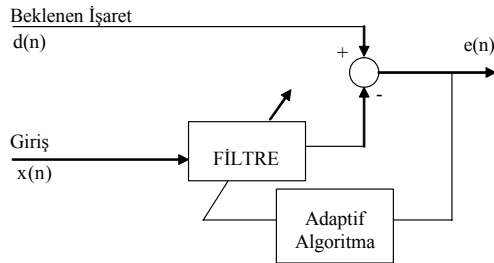
2. ALGORİTMALAR

Adaptif filtre algoritmalar iki başlık altında değerlendirilebilir. İlki, En küçük ortalama kare (Least Mean Square (LMS)) algoritmalarıdır. LMS algoritmaları, bir gradyan algoritma olup fiyat fonksiyonunun (cost function) minimizasyonu problemidir. En sade ve hesapsal karmaşıklığı en az olan algoritmadır. Ancak, özyinelemeli en küçük kareler (Recursive Least Square (RLS)) algoritmasına karşın oldukça yavaş yakınsama özelliğine sahiptir. İkinci başlık altında incelenecek olan algoritmalar ise RLS algoritmalarıdır. RLS algoritması yukarıda da bahsedildiği gibi hızlı yakınsama özelliğine karşın, hesapsal karmaşıklığı LMS'den karmaşıklık değerinin karesi kadardır.

Bir filtre, $y_k = W^T X$ ($y: R^n \rightarrow R$) şeklinde sonlu darbe cevaplı (FIR) bir sistem olarak düşünülürse, her bir algoritma için genel çözüm yaklaşımı Denklem (1)'deki gibi tanımlanabilir.

$$\text{Min}_W \frac{1}{2} (d_k - y_k)^2 \quad (1)$$

Burada d_k beklenen değeri, y_k ise gerçek çıkışı temsil etmektedir. Genel bir adaptif filtre yapısı Şekil 2'de görüldüğü gibidir.



Şekil 2. Adaptif bir filtrenin genel yapısı

Adaptif LMS: Bu yöntemde ağırlık parametreleri her iterasyonda (2)'deki denkleme bağlı olarak hatayı küçültecek şekilde değişmektedir. Ağırlık vektörünü hesaplayan parametrik denkleme;

$$W_{k+1} = W_k + \eta e_k X_k \quad (2)$$

Şeklinde dir. Burada W_k k anındaki parametre vektörü, X_k giriş vektörü, η algoritmanın öğrenme sabiti, e_k ise hatadır. Eğer $\eta < 1$ ise, $x[n]$ dizisinin n. elemana yakın değerlerinin ağırlığı daha öncekilere göre artar [4]. Bu durumda yeni parametrelerin hesaplanmasında bir önceki çıkış değerlerinin dikkate alınması gerektiği görülür. Bu şekilde parametre

vektörü, her bir iterasyon için bir önceki hata ve çıkış değerleri kullanılarak hatayı istenilen minimuma getirecek şekilde tekrar hesaplanır.

Normalize edilmiş Adaptif LMS (NLMS): Bu metotta, LMS metodunda olan toplam hataya ek olarak hesaplar arasındaki parametre değişimi de hesaba katılır [5]. Yenileme denkleme;

$$W_{k+1} = W_k + \frac{\phi_k}{\phi_k^T \phi_k} [X_{k+1} - \phi_k^T W_k] \quad (3)$$

Burada ϕ_k çıkışın geçmiş değerleridir.

Adaptif RLS: Bu metotta, adaptif kazanç, kovaryans matrisi, P yardımıyla her iterasyon için hesaplanır ve yenileme denkleme (4) deki gibi verilir [6].

$$W_{k+1} = W_k + \frac{P_{k-1} \phi_k}{1 + \phi_k^T P_{k-1} \phi_k} [X_k - \phi_k^T W_k] \quad (4)$$

Burada P_k kovaryans matrisini temsil etmektedir.

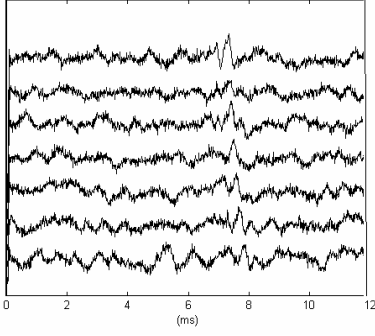
Çoğunlukla RLS yöntemi, LMS yöntemlerine göre daha hızlı yakınsamasına rağmen yerel minimum problemi taşımaktadır [4].

Algoritmaların kararlılık, yakınsama vb. özellikleri ile ilgili detaylı bilgiler kaynak [4]'ten bulunabilir.

3. KGUP SİNYALİ VE UYGULAMA

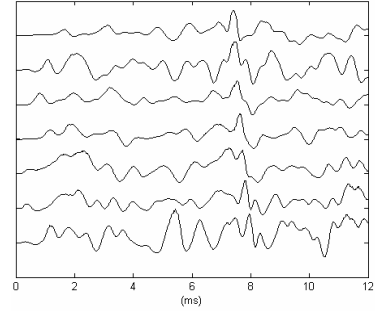
Bu çalışmada kullanılan KGUP işaretleri dual işlemci tabanlı SMART-EP sistemi ile kaydedilmiş verilerdir [7]. İşaret (+) tepe (alın üstü) ve (-) ipsilateral mastoid (kulak arkası kemik üzeri)'den alınmıştır. Contralateral mastoid toprak olarak kullanılmıştır. EEG 100000 kat kuvvetlendirilmiş ve 100-3000 Hz bant geçiren süzgeçten süzülmüştür. Uyarımdan sonraki EEG 40 KHz'de örneklenmiş ve 1024 kaydın çoklu ortalaması alınarak elde edilmiştir. Böylece, 512 veri noktasının (12.8 ms) temsil ettiği işaret asıl amaca yönelik kullanılmak üzere hazır hale gelmiştir. Bütün kayıtlar ses yalıtımlı Faraday Odasında sestem yalıtılmış ortamda, 10 yetişkin insan ve 12 kulaktan, 9 farklı uyarım seviyesi (0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 dB) ve 4 farklı frekans (0.5, 1, 2, 4 KHz) için alınmıştır. Bu kayıtlar veritabanımızda bütün özellikleri ile etiketli olarak mevcut olan kayıtlardandır. Bütün kayıtların kısa gecikmeli kısmı (KGU'lar) iki uzman tarafından değerlendirilmiş ve etiketlenmiştir.

Yukarıda teknik özellikleri verilen KGUP işaretlerinin büyük bir kısmına ayrı ayrı Bölüm 2'de bahsettiğimiz filtre algoritmaları sırasıyla uygulanmış ve alınan sonuçlara örnek olarak Şekil 4'de LMS ve RLS algoritmalarının sonuçları aynı grafik üzerinde 7 farklı kayıt birlikte verilmiştir.

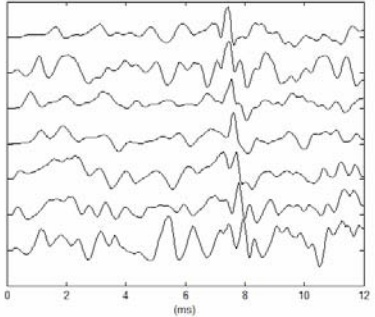


Şekil 3. Filtre işlemlerinde kullanılan gürültülü KGUP işaretlerinden bir örnek.

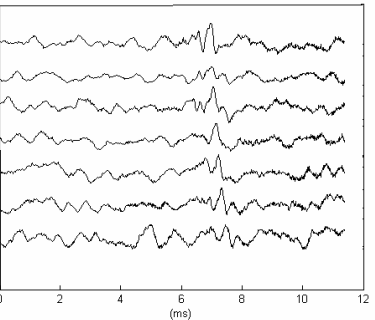
Şekil 3’de görüldüğü gibi gürültülü olarak elde bulunan KGUP işareti LMS ile filtrelendiği zaman oldukça düzgünleştirilmiş bir çıkış alınmıştır (Şekil 4.a). Şekil 4.a, b ve c’den 8’inci ms civarında Bölüm 1’de bahsettiğimiz ve klinik anlamda değeri olan dalga V tepcikleri daha belirgin hale gelmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4. Adaptif algoritmalar kullanılarak gerçekleştirilen adaptif filtre çıkışları, a) LMS, b) NLMS ve c) RLS

Bunun yanı sıra LMS’nin RLS’ye göre çözüm noktasına daha geç yakınsadığı bütün deneylerde gözlenmiştir. RLS algoritması daha hızlı yakınsamasına rağmen filtre çıkışı LMS’deki kadar düzgünleştirilmiş bir çıkış değildir. Tablo 1’den de görüldüğü gibi NLMS’ye göre azda olsa daha yüksek bir RMSE değeri göstermektedir.

Ayrıca her bir uygulama için ortalama karekök hatası (Root Mean Squar Error (RMSE)) hesaplanmıştır (Tablo 1).

$$RMSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |e_i|^2 \quad (5)$$

Burada e_i hata N ise vektör (işaret) uzunluğudur. RMSE değerleri Tablo 1’den incelendiğinde LMS daha kararlı davranmakta her bir sinyal için birbirine çok yakın değerler vermekte (arzu edilen bir durum), Ayrıca, bu tip algoritmaların sinyale (girişe) bağımlılığı göz ardı edilmelidir. Bundan sonraki çalışmalarımız bu problemi ortadan kaldıracak kararlı ve yerel minimum problemi ile baş edecek doğrusal olmayan etkin algoritmaların geliştirilmesidir.

Tablo 1. Seçilen 7 KGUP sinyali için her bir algoritmanın RMSE değerleri (Sıra numarası şekillerde yukarıdan aşağıya doğrudur).

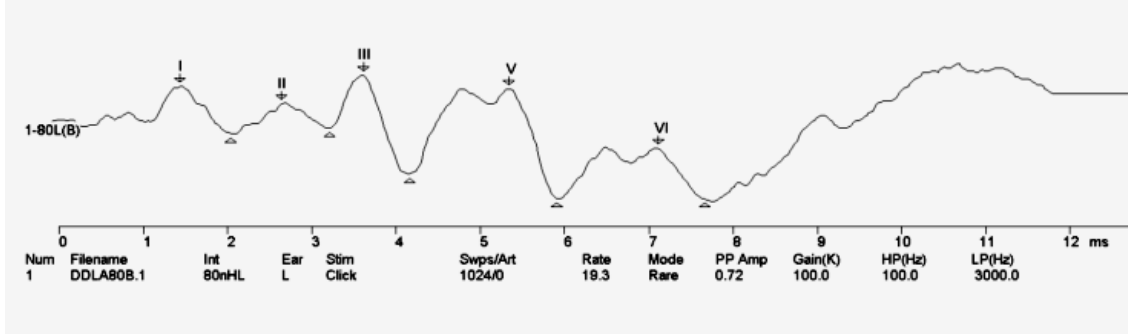
KGUP Sıra No	RMSE (LMS)	RMSE (NLMS)	RMSE (RLS)
1	0.1305	0.0613	0.1066
2	0.1315	0.0591	0.1051
3	0.1251	0.0585	0.1141
4	0.1227	0.0543	0.1100
5	0.1314	0.0589	0.1054
6	0.1273	0.0605	0.1073
7	0.1295	0.0580	0.1042
Ortalama	0.1283	0.0587	0.1075

4. SONUÇ

Bu uygulama anlamında önemli bir adım olmakla birlikte yukarıda da bahsettiğimiz gibi doğrusal olmayan ve tek çözüm noktasına giden adaptif filtre çalışmalarına ilk adımdır. Çünkü, bu çalışmada kullanılan yöntemler yerel minimum problemi taşıyan yöntemlerdir. Her zaman tek çözümü garanti etmemektedir. Ancak, buna rağmen bu çalışmada amaçlanan bir çok mühendislik uygulamasında özellikle kontrol uygulamaları) kullanılan bu yöntemlerin kaotik bir dinamiğe sahip olan KGUP biyomedikal işaretine tepkisini belirlemek olmuştur. Ayrıca algoritmaların sade ve kolay tasarlanabilir olması ayrıca kolayca donanımının gerçekleştirilebilir olması sebebiyle KGUP’lerine uygulanmasının uygulama mühendislerine faydalı olacağı kanaatindeyiz.

KAYNAKLAR

- [1] Regan, D., *Human brain electrophysiology: Evoked potentials and evoked magnetic fields in science and medicine*, Elsevier, NY, 1989.
- [2] Northern, J.L. and Gerkin, K.P., New technology in infant hearing screening, *OTOLARYNGOL. CLİN. N. A.*, vol. 22, pp. 75-87, 1989.
- [3] Salvi, R.J., Ahroon, W., Saunders, S.S. and Arnold, S.A., Evoked potentials: computer automated threshold tracking procedure using an objective detection criterion, *EAR & HEAR*, vol. 8, pp. 151-156, 1987.
- [4] Haykin, S., *Adaptive Filter Theory*, Prentice-Hall, NJ, 1996.
- [5] Peters, S. D. ve Antoniu, A., A Self-Tuning NLMS Adaptive Filter Using Parallel Adaptation, *IEEE TRANS. ON CİRCUİTS & SYSTEMS-II ANALOGAND DİĞİTAL SİGNAL PROCESSİNG*, Cilt 44, No 1,11-21, January 1997.
- [6] Goodwin, K. *Adaptive Filtering, Prediction and Control*, Prentice-Hall, NJ, 1990.
- [7] Smart EP, IHS, Intelligent Hearing System Corp., Miami, FL, USA.



Şekil 1. Smart EP kaydedicisinden alınmış gerçek KGUP işaretine bir örnek (80 dB nHL).