



Gerçek Zamanlı, Taşınabilir EEG Sinyal Toplama Sistemi Real-Time, Portable EEG Signal Acquisition System

Mustafa GÜNER, Burcu ERKMEN
Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektronik Ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
İstanbul, Turkey
mustafa.guner1453@gmail.com, bkapan@yildiz.edu.tr

Abstract— nowadays, begin increasing gradually deep searches on Brain Computer Interface (BCI) technologies by Academic Institutes and Research Laboratories with newly technological advancements. However, This research area needs still low cost solutions in order to become widely research topic all around the world. There are leading important reasons at that point which The used equipment is expensive and professional utilities. Many parameters of them are not allowed to changing flexibly in point of increasing effectiveness. In this paper, we cover the developing a low cost and productive BCI hardware and performance results over commercial grade counterparts. In this work, we also developed an active dry electrode which is based on a special pin which is called the pogo pin. Finally, In order to test the developed equipment, the EEG measurements are implemented in Real-Time. The Result shows that The System is able to manage near results to the commercial version while is maintaining reasonable price and providing more portability over them

Keywords— EEG, BCI, Electrode, Pogo pin

Özetçe—Günümüzde, yeni teknolojik gelişmelerle beraber Akademik kurumlar ve Araştırma laboratuvarları tarafından Beyin Bilgisayar Arayüzü(BBA) teknolojileri üzerine derin araştırmalar giderek artmaktadır. Yalnız bu alanın dünya çapında bir araştırma konusu haline gelmesi için hala maliyet etkin çözümlere ihtiyacı vardır. Bu alanda kullanılan ekipman pahalı ve profesyonel araçlardan oluşmaktadır. Verimliliği artırma noktasında bu ekipmanların bir çok parametresinin esnek olarak değiştirilmesine ticari kaygular nedeniyle izin verilmemektedir. Bu makalede maliyet etkin, verimli bir BBA donanımının geliştirilmesine ve ticari versiyonlara göre performans sonuçlarına değinmekteyiz. Çalışmada ayrıca Pogo pin olarak adlandırılan özel bir pin tabanlı aktif/pasif kuru elektrot tasarlandı. Son olarak geliştirilen ekipmanı test için gerçek zamanlı EEG ölçümleri yapıldı. Sonuçlar, sistemin uygun fiyat ve daha taşınabilir özellikler sağladığını ve ticari versiyonlara yakın performans sergilediğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler— EEG, BBA, Elektrot, Pogo pin

I. GİRİŞ

BBA teknolojisi, sayısal cihazlar arasında haberleşme bakımından köprü vazifesi görmeye dayalı bir sistemdir. Bu teknolojiye beyin, vücutta yer alan organları komuta ve kontrol etmesinden faydalanılmaktadır. Bu durumda belirli aktivasyonlar sonucu meydana gelen fizyolojik sinyaller, fiziksel dünyadan, sayısal evrene dönüştürülmektedir. Meydana gelen sayısal veriler eşliğinde İstatistiksel veya Makine öğrenmesi gibi matematiksel yaklaşımlara başvurulurak anlamlı kontrol sinyalleri elde edilmektedir. BBA donanımlarında fMRI, SCR, MEG, ECoG ve LPF teknolojisine dayanan arayüzler kullanılabilmesine karşın EEG sinyallerine dayalı yöntemin bağıl olarak ucuz, az zahmetli ve non-invasive olması araştırmalarda baskın tercih sebebi olmaktadır.

Teknoloji yatırımlarının artması, Teknolojide yaşanan hızlı değişim ve dijital globalleşme BBA araştırma alanına pozitif katkıda bulunmaktadır. Bu alanda kayda değer gelişmeler yaşanmasına rağmen, Alanda yapılan çalışmalar genel olarak dünya çapındaki büyük araştırma kurumları ve merkezi laboratuvarlar bünyesinde gerçekleştirilmektedir. Nedenleri incelendiğinde; Kullanılan cihazların ticari seviyeli ve maliyetli oluşu, yavaş ilerleyen araştırma geliştirme süreçleri gibi faktörlerin etkili olduğu gerçeğiyle karşılaşılmaktadır. Şu an için BBA üzerine çalışmaların, dünya çapında araştırma konusu haline gelebilmesi hususu çoğunlukla maliyet odaklı kalmaktadır. Ayrıca bu alan, gelişmekte olan ülkelerde yer alan bir çok araştırmacının ajandasında yer edinerek uygun zamanı beklemektedir. Bu noktada çözüme yönelik bazı sorunların netleştirilmesinde fayda vardır. Geliştirilecek bir ekipmanın; Mümkün olduğunca pratik, kullanımı kolay, taşınabilir, esnek konfigürasyonlu, tutarlı, performanslı ve maliyet etkin olması, çözüm için ortaya konulacak kavramsal tasarımların önemli birer faktörünü ifade etmektedir.

Son on yıl içerisinde bahsedilen sorunları aşmak ve düşük maliyetli sistemler geliştirmek için bir çok akademik ve serbest çevreden insanlar, BBA teknoloji ekosistemine katkıda bulunmak amacıyla çalışmalar gerçekleştirdiler. Bunlardan OpenEEG projesinde çeşitli donanım tasarımcıları ve yazılımcıların katkılarıyla bir sinerji oluşturuldu ve düşük

maliyetli bir sistem geliştirildi[1]. OpenBCI topluluğu insan vücudundan fizyolojik sinyallerin alınmasına yönelik çeşitli donanımsal özelliklerde BBA cihazları geliştirdiler ve açık kaynak yazılım ile desteklediler[2]. Akademik araştırmalar kapsamında McCrimmon ve Arkadaşları düşük maliyetli sensorimotor rehabilitasyon üzerine küçük, taşınabilir, batarya güçlendirilmiş bir BBA sistemi oluşturdular[3]. Yu, Lu ve arkadaşları ise 32 kanal EEG sinyali ölçümü gerçekleştirebilecek bir donanımla beraber özel elektrot ve kep tasarımlarıyla tümleşik bir çözüm ortaya koydular[4]. Wang ve Arkadaşları 8 kanal çok kanal konfigürasyonlu taşınabilir bir BBA donanımı ve uygulamada iletken pasta gerektirmeyen özel bir elektrot tasarladılar[5]. Bunun yanı sıra bir kaç ticari marka(g.Nautilus, SmartBCI, Emotiv EPOC+ vb.) altında düşük maliyet sunan BBA cihazları ve yazılım ortamları her kesimden araştırmacının hizmetine sunuldu[6].

İncelenen çalışmalar ve literatür taramaları neticesinde çeşitli donanımsal özelliklere sahip BBA cihazlarının güçlü ve zayıf yönleri tespit edildi. Sonuç olarak çalışma kapsamında performans bakımından ticari olanlarla karşılaştırılabilir, maliyet etkin, alternatif oluşturabilecek bir BBA donanımı geliştirildi.

II. ELECTROENCEPHALOGRAPHY

Electroencephalography (EEG), cerebral kortekste yer alan sinir hücrelerinin aktivitesi sonucu oluşan elektriksel sinyallerin kayıt edilmesidir. Genel olarak EEG sisteminde insan beynine yerleştirilen elektrotlar vasıtasıyla invaziv bir yöntem kullanılmadan biyopotansiyeller elde edilmektedir. EEG verilerinin genliği genel olarak 0 ila 100uV civarında değişmektedir.

III. EEG SIGNALS

Sinir hücrelerinde Na⁺,K⁺, Ca⁺,Cl⁻ iyonlarının, aktivasyonu sonucunda meydana getirdikleri membran potansiyelleri çeşitli frekans ve genliğe sahip sinyal yapıları meydana getirmektedir. EEG çalışmalarında Alfa, Beta, Teta, Delta ve Gama dalgalarının düzgün bir biçimde eldesi ve analizine yönelik bir çok araştırma gerçekleştirilmektedir. Bu araştırmalar özelinde BBA çalışmalarının ana odak noktasını anlamlı kontrol sinyallerinin meydana getirilmesi tutmaktadır. Taşınabilir EEG tabanlı BBA sistemleri denek üzerine takıldığında sinyal elde edilmesi noktasında bazı zorluklar meydana gelmektedir. Bu tip bir sistem genellikle EEG sinyallerinin tespitini ve alımını güçleştiren EMG, EOG gibi diğer fizyolojik sinyallerden etkilenmektedir. Sinyal işleme noktasında yapılan çalışmalar doğrultusunda bu tip durumların üstesinden gelmek için bazı sinyal işleme metotları araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde temel amaç; istenmeyen gürültülerin elde edilen sinyallerden temizlenmesidir. Sonuç olarak büyük oranda orjinal ya da kısmi oranda EEG sinyalleri sinyal işleme metotlarıyla geri elde edilebilmektedir. Ayrıca EEG sinyallerini oluşturan çeşitli frekans bandlarına sınırlı sinyallerin incelenmesi BBA alanında önemli bir yer tutmaktadır.

IV. SİSTEME BAKIŞ

Gerçeklenen çalışma, donanım ve yazılım tasarımı olarak iki kısım üzerine temellenmiştir. Donanım geliştirme kısmında sistemin fiziksel boyutunu oluşturan iki adet tasarım yapılmıştır. Birincil donanımda, İnsan beyninden EEG sinyallerinin alınması için pcb tabanlı aktif/pasif olarak kullanılabilen kuru elektrot tasarımı gerçekleştirilmiştir. İkincil donanımda ise elektrotlar vasıtasıyla alınan sinyallerin sayısallaştırılması ve kablosuz olarak host cihaza gönderilmesini sağlayan devre kartı tasarlanmıştır. Yazılım tasarımı kısmında iki ayrı platform(Gömülü ve Masaüstü) için geliştirme yapılmıştır. Gömülü yazılım tarafında devre kartında bulunan çevresel birimlerin EEG donanımıyla uyumlu çalışması için firmware geliştirilmiştir. Desktop kısmında ise herçık zamanlı olarak alınan ham EEG sinyallerin incelenmesi ve analizine yönelik bir program yazılmıştır.

A. Elektrot Tasarımı

Gerçeklenen elektrotlar pcb tabanlıdır ve Cauwenberghs ve arkadaşlarının[7] gerçekleştirmiş olduğu aktif shield yükselteçli pcb elektrot devresi modifiye edilerek geliştirilmiştir. Tasarımda Texas Instrument(TI) firmasının ürettiği LMP7702 dual kanal yükselteç IC kullanılmıştır. Yükselteçler +/-5VDC bipolar beslemeli ve pcb nin deriyle temas ettiği noktalarda sinyal alımını kolaylaştırmak amacıyla pogo pinler ve dairesel pad ile birlikte uygun bir geometride tasarlanmıştır. İhtiyaca göre aktif/pasif kuru elektrot olarak kullanılabilme imkanına sahiptir.



Şekil 1.1 Aktif/Pasif Kuru Elektrotların Görünümü

B. EEG Sinyal Toplama Birimi

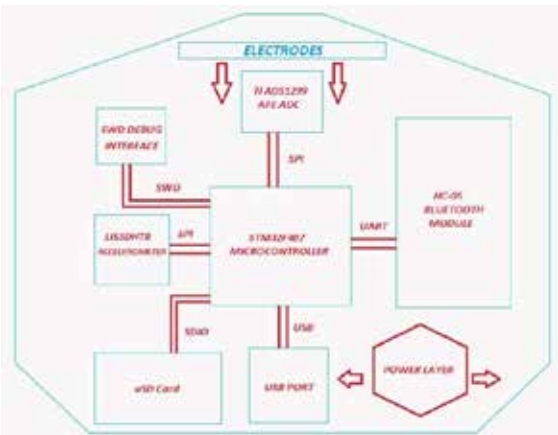
Donanım tasarımı gerçekleştirilen baskı devre kartı; Sinyal stabilitesi açısından 4 katman olarak FR4 materyalden, yüzey sonlandırma Immersion Gold olarak ve 1.6mm kalınlıkta üretilmiştir. Şekil 1.2'de geliştirilen donanıma ilişkin verilmiştir.



Şekil 1.2 Geliştirilen sinyal toplama donanımı

B.1 ADS 1299

Geliştirilen birimde ilk olarak Elektrotlar vasıtasıyla alınan EEG sinyalleri Pasif RC Alçak Geçiren bir filtreden geçirilerek ADS1299 ADC biriminin ön ucundan alınmaktadır. ADC biriminde dijitize edilen ve formatlanan sayısal veriler SPI haberleşme arayüzü vasıtasıyla STM32 mikrodenetleyiciye gönderilmektedir. Bu kısımda sayısal veri ,uygun bir formata dönüştürülerek soft notch filtreden geçirilmekte ve şebeke gürültüsüne ilişkin sinyaller çıkarılmaktadır. Elde edilen Ham EEG verilerine, elektrot empedans verileri ve opsiyonel olarak İvme ölçer verileride eklenerek gönderilecek veri paketleri oluşturulmaktadır. Akabinde bahsedilen paketler eş zamanlı olarak MikroSD karta kaydedilmekte ve de UART haberleşme arayüzü aracılığıyla Bluetooth birimine eş zamanlı gönderilmektedir. Bluetooth modülünde, alınan veri paketleri gerçek zamana yakın olarak Host bilgisayar birimine gönderilmektedir. Geliştirilen donanım biriminde yer alan Mikrodenetleyici, programlama noktasında esnek konfigürasyon ve geniş debug özelliklerine sahip SWD arayüzünü kullanmaktadır. Bunun yanı sıra sahip olduğu USB portu sayesinde herhangi bir power bank birimiyle beslenebilme ve USB DFU arayüzüyle de sahada firmware güncelleme özelliğine sahiptir. Şekil 1.3 de ilgili donanım mimarisi bloklar halinde gösterilmiştir.



Şekil 1.3 Donanım Mimarisi

Tasarlanan sistemde, Analog sinyallerin dijitale çevrilmesi

için TI firmasına ait ADS1299 AFE IC kullanılmıştır. ADC birimi 8 kanal, 24 bit çözünürlüklü delta-sigma($\Delta\Sigma$) yapıya sahiptir. 250SPS den 16kSPS e kadar örnekleme hız aralığına sahiptir. Her bir kanal bağımsız olarak programlanabilen düşük gürültülü kazanç yükselteciye sahiptir. Dahili Analog Front End yapısıyla, harici kazanç yükseltici ve birim kazançlı yükselteçlerin(buffer) kullanıma gereksinimini ortadan kaldırmaktadır. Bahsi geçen esnek çoğullayıcı birimi ayrıca aygıtın mevcut özellikleri için büyük bir çarpan görevini üstlenmektedir. Mevcut yapı, SRB1, SRB2 kanalları ve BIAS kanallarının, ölçümü gerçekleştirecek biyopotansiyel sinyallere göre derive edilmesini, evrilmesini, ofset ayarlamasını ve herhangi 8 kanaldan birinin seçilerek derivasyona katılması gibi işlevleri gerçekleştirmektedir. İçerdiği çoğullayıcı birimi ayrıca dahili test ya da harici test sinyallerinin seçimi, besleme gerilim ölçümü, elektrot empedans ölçümü, sıcaklık ölçümü gibi modların seçiminde rol almaktadır.

B.2 Bluetooth Haberleşmesi

Sistemin Host bilgisayar ile haberleşmesinde HC-05 Bluetooth modülü kullanılmıştır. Modül, Seri port profil class-2 Bluetooth(V2.0+EDR), 3Mbps modülasyonlu 2.4GHz haberleşme bandındadır. Seri portu, UART üzerinden 9600 baud ile 460800 baud a kadar haberleşme hızı ayarlanabilir yapıdadır. Modülün konfigürasyonu AT komutları ile yapılabilmekte ve işletme modu Master ya da Slave olarak seçilebilmektedir. Geliştirilen sistemde Modül Master olarak configure edilmiş ve varsayılan olarak 115200 baudrate'te UART üzerinden EEG veri paketlerini kabul etmektedir. Receiver kısmı Host bilgisayara bağlı ve slave moda çalışmaktadır.

C. Yazılım Geliştirme

Geliştirilen çalışmada sinyal toplayıcı donanım biriminin uygun şekilde çalışabilmesi için gömülü firmware ve Host bilgisayar tarafında ise alınan sinyallerin Real-time gözlemlenmesi ve analizi için bir masaüstü program yazılmıştır.

Gömülü yazılım kısmında, ADS1299 ve çevresel birimlerin birlikte çalışabilmesi için CoCoX IDE kullanılarak C programlama dilinde STM32F407 mikrodenetleyiciye firmware geliştirilmiştir. Masaüstü yazılım kısmında ise QT SDK platformunda HMI tabanlı bir Real-time gözlem ve analiz programı object Oriented C++ programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir.

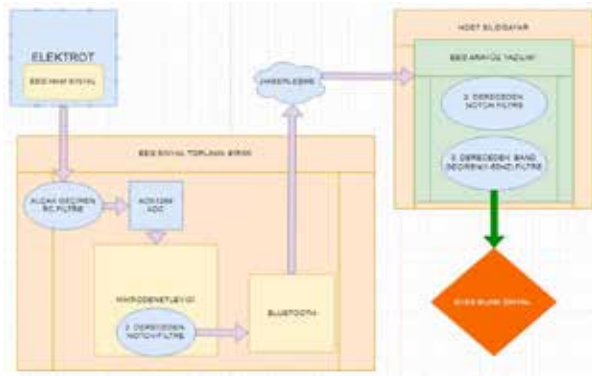
V. KARŞILAŞTIRMALI SONUÇLAR

A. Sinyal Alımı Ve Filtreleme

Gerçek zamanlı EEG sinyal ölçüm testi için göz kırpmaya işaret(Blink), geliştirilen donanım ve ticari bir versiyon olan KL730 Biyomedikal deney setinin, KL75004 EEG modülü ile

incelenmiştir. Modül 2 kanal ve 10 bit çözünürlüğe sahiptir. Ve kanallar donanımsal olarak kaskad bağlanmış Yüksek ve Alçak geçiren filtre düzeneklerine sahiptir. Kullanmış olduğumuz ADS1299 aygıtı test için 250 SPS örnekleme frekansına ayarlanmıştır. Göz kırpma sinyallerinin alınması için gerekli olan elektrot yerleşimi 10-20 Standart elektrot yerleşim sistemi baz alınarak FP1-FP2 noktalarına konumlandırılmıştır. Ayrıca yine Referans elektrot olarak beynin ön frontal bölgesine üçüncü bir elektrot daha yerleştirilmiştir. Ölçülenecek olan Göz kırpma işareti Göz kısmında yer alan kasların kasılma ve gevşemesinin bir sonucu olarak ortaya çıkmakta ve diğer EEG sinyallerine oranla kuvvetli bir sinyal örneği oluşturmaktadır. Genel olarak genliği 0 ile 100uV civarında ölçümlenmektedir.

Elektrot kurulum aşamasından sonra denek üzerinden elde edilen Ham sinyaller ilk olarak ADC biriminin Ön ucundan donanımsal Alçak geçiren RC bir filtreden geçirilmektedir. ADC de örneklenen sinyal, SPI arayüzü vasıtasıyla STM32 Mikrodenetleyiciye gönderilerek şebeke gürültüsünden temizlenmesi için 2. dereceden 50Hz Notch filtreden geçirilmektedir. Ardından Bluetooth kısmına aktarılarak bu kısımdan kablosuz olarak, geliştirilen Host bilgisayar yazılımına UART arayüzüyle aktarılmaktadır. Host kısımdan alınan sinyal 3. dereceden 1-50 Hz arası band geçiren Butterworth bir filtreden geçirilmekte ve normalize edilerek gerçek zamanlı olarak kullanıcıya gösterilmektedir. Şekil 1.4'te EEG sinyallerinin alınma yönelik blok diyagramgösterilmiştir.



Şekil 1.4 Tasarlanan sistemde EEGsinyallerinin alınması ve gösterilmesi

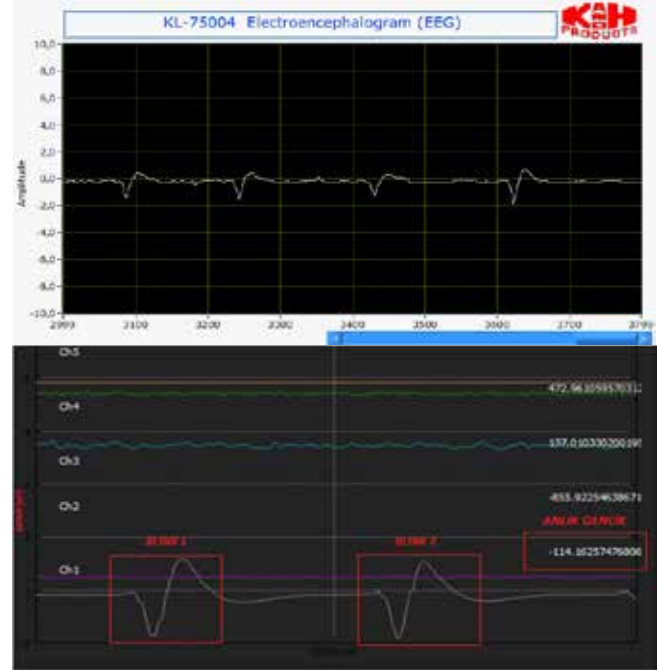
B. Ölçüm Karşılaştırma

Bu kısımda ölçümlenen göz kırpma işaretinin KL75004 modülü ve geliştirilen donanım ile karşılaştırılmasına yer verilmiştir(Şekil 1.5).

VI. GELECEK ÇALIŞMA

Çalışma kapsamında EEG sinyallerini alabilen bir BBA donanımı ve Aktif/Pasif Kuru Elektrot tasarlandı ve gerçekleştirildi. Gelecek çalışmada giyilebilir elektronik alanında, sinyal işleme ağırlıklı bir kontrol sisteminin geliştirilmesi ve

fiziksel dünyada gerçekleşmesi amaçlanmaktadır.



Şekil 1.5 KL75004 ve Geliştirilen Donanımda ölçümlenen Blink işaretleri

Kaynaklar

- [1] <https://www.olimex.com/Products/EEG/OpenEEG/>
- [2] <https://openbci.com/>
- [3] Colin M. McCrimmon 1 , Ming Wang 2 , Lucas Silva Lopes 3 , Po T. Wang 1 , Alireza Karimi-Bidhendi 2, Charles Y. Liu 4 , Payam Heydari 2 , Zoran Nenadic 1;2 , An H. Do , “A Small, Portable, Battery-Powered Brain-Computer Interface System for Motor Rehabilitation” 2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2016
- [4], Yi-Hsin Yu, Shao-Wei Lu, Chun-Hsiang Chuang, Jung-Tai King, Che-Lun Chang, Shi-An Chen, Sheng-Fu Chen, and Chin-Teng Lin, Fellow An Inflatable and Wearable Wireless System for Making 32-Channel Electroencephalogram Measurements, IEEE Tran. on Neural Sysstems and Rehabilitation Engineering, VOL.24, NO. 7, JULY 2016
- [5] Zeyu Wang , Wei Li , Chen Chen , Chenglu Sun , Wei Chen, “A multichannel reconfigurable EEG acquisition system design with felt-based soft material electrodes”,2018 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), July 2018
- [6]<http://www.gtec.at/Products/Hardware-and-Accessories/g.Nautilus-Specs-Features,http://www.novatecheeg.com/smartbci/,https://www.emotiv.com/epoc/>
- [7]Yu Mike Chi, Student Member, IEEE, Tzyy-Ping Jung, Senior Member, IEEE, and Gert Cauwenberghs, Senior Member, IEEE, “Dry-Contact and Noncontact Biopotential Electrodes: Methodological Review”, IEEE Reviews in Biomedical Engineering, VOL. 3, 2010