



Göz Hareketlerine Dayalı Beyin Bilgisayar Arayüzü Tasarımı

Design of Brain Computer Interface Based on Eye Movements

Engin Koç¹, Oğuz Bayat¹, Dilek Göksel Duru^{*2}, Adil Deniz Duru³

¹Altınbaş Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Teknolojileri Bölümü, 34217, İstanbul, TÜRKİYE

²İstanbul Arel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, 34537, İstanbul, TÜRKİYE

³Marmara Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, 34815, İstanbul, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 18/04/2019

Kabul / Accepted: 17/11/2019

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2019

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2020

Öz

Modern teknoloji ile birlikte insanların göz hareketlerini inceleyerek uyaranlara karşı vermiş oldukları tepkiler takip edilebilir hale gelmiştir. Bu takip yöntemlerinden biri de Göz İzleme (Eye-Tracking) tekniğidir. Bu teknikteki gelişmeler sayesinde araştırmacılar, sağlık, savaş sanayi, sivil havacılık, web tasarımı, dijital medya vb. birçok alanda hayatı daha kolay hale getirilebilecek sistemler hakkında çalışmalar yapabilmektedir. Bu çalışma kapsamında, göz izleme teknolojisinin temel özelliklerinden faydalanılarak beyin bilgisayar arayüzü (BBA) uygulaması geliştirilmiştir. Katılımcıların göz sabitleme bilgisi, tarafımızca hazırlanan deneysel paradigma yazılımları bünyesinde göz-izleme cihazı ile ölçülerek, kişilerden verilen ödevleri gerçekleştirmeleri istenmiştir. Bu kapsamda iki farklı uyaran yazılımı üretilmiştir. Birinci yazılımda, kişilerin ekranda çeşitli bölgelerde görülen butonlara odaklanarak, gözlerinin sabitlenmesi ile butonlara basmaları sağlanmıştır. İkinci yazılımda ise, katılımcının harflere odaklanması istenerek, kelimeler ve cümleleri yazdırmayı sağlayan sanal bir klavye uygulaması geliştirilmiştir. Ayrıca göz fiksasyonları ısı haritası ile görselleştirilmiştir. Tüm aşamalarda kullanılan yazılım ve analiz tarafımızca geliştirilmiştir. Sonuç olarak hareket etmeden göz hareketleri ile bildirim yapmayı sağlayan hibrid bir sistem geliştirilmiştir. Göz hareketlerine dayalı önerilen BBA sistemi test edilmiş ve yüksek komut/dakika sonuçlarına ulaşılmıştır. Deneysel bulgular önerilen hibrid BBA'nın güçlü ve öne çıkacak bir teknoloji olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler

“Göz hareketlerine dayalı beyin bilgisayar arayüz tasarımı, İnsan-Bilgisayar Etkileşimi, göz izleme, sanal klavye”

Abstract

With the help of modern technology, people's reactions to stimuli by examining the eye movements have become traceable. One of these measurement methods is the Eye Tracking technique. The technical advancements of this technique enable researchers to carry out studies in the fields of health, war industry, civil aviation, web design, digital media etc. that can enhance to improve the quality of the systems that can make life easier. In the concept of this study, a brain computer interface (BCI) is developed by using the principal properties of the eye tracking technology. Eye fixation information of the subjects were measured by using the in-house developed experimental paradigm software with the eye tracker while they were performing the required tasks. Two different experimental paradigm software were implemented. In the former one, subjects were asked to fixate to the buttons that appeared on the screen and they were clicked when the subjects fixated on those buttons. In the latter one, a virtual keyboard was implemented where the subjects were asked to fixate on the characters in order to write words or sentences. Additionally, eye fixations were plotted with the use of heat maps. All of the methods and tools were developed by our team. As a result, a hybrid BCI has been produced using the eye movements of subjects without performing a movement. The developed software tools were applied and high values of instruction per minute was obtained. Experimental results showed that the proposed methodology can be a pioneering technology.

Key Words

“Brain computer interface design based on eye movements, Human-Computer Interaction, eye tracking, virtual keyboard”

1. Giriş

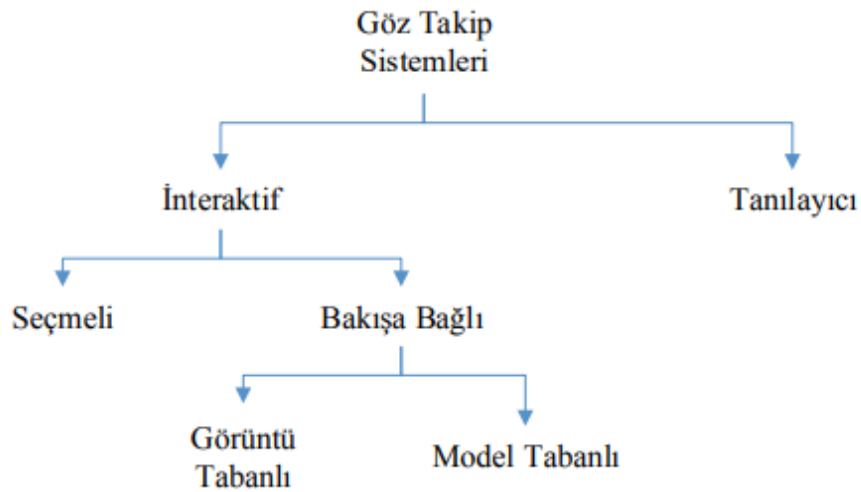
İnsan beyin arayüzü, kullanıcının algısındaki değişiklikleri esas alan insan makine etkileşimi için yeni enformasyon kanalları sunmaktadır. Beyin aktivitesine dayalı klasik bir beyin bilgisayar arayüzü sistemi, kullanıcılarına iletişim kurma yetisini sağlamak ve periferik sinirler ve kaslara ait normal beyin sinyallerine dayanmayan kontrol kanalları sunmaktadır (Wolpaw et al., 2002). Böyle bir sistemin temel amacı paralize kişilere iletişim imkanı oluşturmak, yarı felçli durumda ise tekerlekli sandalye kontrolü gibi olanaklar sağlamak olmuştur (Galán et al., 2008). Periferik sinir sistemi yanı sıra, kullanıcıların etkileşim için daha efektif bir bilgi kanalı oluşturulması adına etkin alternatif fizyolojik parametre arayışı sonucu göz hareketleri ve takibi önem kazanmıştır. Göz hareketlerinin kontrol edilebildiği göz takip sistemlerinin umut verici olmasının bir diğer nedeni de, haberleşmede erişilebilen bit değerinin, ikili komutlarla sınırlı olmayışıdır. Arama ve seçim eylemleri için gözün çıktı olarak kullanım fikri ile insan makine etkileşiminde göz hareketleri çalışmaları karşılık bulmaya başlamış (Bolt, 1982) ve literatürde kullanıcı bakışlarına odaklanan ve arama görevlerini inceleyen çalışmalar yaygınlaşmıştır (Jacob, 1993; Hutchinson, 1993; Engell-Nielsen et al., 2003; Murata, 2006; Nilsson et al., 2007).

Göz takibi temelli etkileşimler bazı kısıtlar etkin olmasına rağmen teknik sistemler ile etkileşim için rahat ve doğal bir araçtır. İnsan göz hareketleri temelde kişinin dikkatinin zaman içerisinde değişiminin göstergesidir (Kahneman, 1973). İnsan bilgisayar etkileşimi için bu fare imleci (kürsör) ve görsel odağın işlevsel olarak birbirinin yerine geçmesi anlamındadır. Göz hareketlerini temel alan sistemlerin tasarımında kasıtlı olmayan odaklanmaların ve belirli bir ilgi alanında bakışların kaldığı aralıklı süreler dikkate alınmaktadır. Bu parametreler genellikle görsel tarama ve bir cismin aranması ve kişiler bir zihinsel aktiviteye angaje olduklarında ortaya çıkmaktadır (Yarbus, 1967).

Fare imlecinin göz hareketleri ile yer değiştirmesinin sağlanmasından daha zorlu olan görev, seçim belirten kürsöre tıklama operasyonudur. Günümüzde pek çok çözüm geçirilen süreye (dwell time) bağlı önerilmiştir. Bu yolla, kullanıcının ön tanımlı bir zaman diliminde, aktive edeceği cisme/objeye odaklanması gerekmektedir. Bu yöntemde geçirilen sürenin optimizasyonu problemi önem taşımaktadır. Çok kısa olduğunda istemsiz olarak komut oluşmakta ve hataya sebep olabilmekte, çok uzun tutulduğu zaman ise deneyimli kullanıcıların demotive olması ve ilgiyi kaybetmeleri sözkonusu olabilmektedir. Özellikle zaman içinde değişen uyaranlar ile oluşturulan karmaşık senaryolar esnasında geçirilen sürenin tanımlanması mümkün olamamaktadır (Zander & Gärtner, 2011).

Günümüzde göz takip teknolojilerinin gelişimi ile gözün hareketlerinin izlenmesi mümkün olmakta ve elde edilen veriler dönüştürülerek bilgisayar etkileşiminde kullanılabilir. Göz hareketlerinin veriye dönüştürülebilmesi için elde edilen göz hareketlerinin işlenmesi gerekmektedir. Gözün sürekli olarak gerçekleştirdiği anlık hızlı geçişler olan “sıçrama (saccade)” ile “sabitleme (fixation)” olarak tanımlanan iki temel hareketi bulunmaktadır. Uyku durumundayken de hareket etmekte olan gözlerin sıçrama hareketi, iki sabitleme odağı arasında gerçekleştirilen çok ani kayma olarak tanımlanmaktadır. Sıçrama hareketini takip eden sabitleme ise, 200 ile 600 ms’lik bir zaman süresince gözün durağan kalması durumudur.

Göz bakış izleme sistemleri birçok farklı tekniğin birleştirilmesiyle oluşmaktadır ve göz takibi de bunun bir parçasıdır. Genel olarak göz takip sistemlerinin yapısı (Şekil 1), “interaktif” ve “tanılayıcı” uygulamalar olarak ikiye ayrılmaktadır (Duchowski, 2007).



Şekil. 1. Göz Takip Uygulamaları Hiyerarşisi

Tanılayıcı uygulamalar, göz bakış verilerini, kullanıcının görsel ve dikkat süreçlerinin nicel bilgisi olarak kullanmaktadır. İnteraktif uygulamalar ise; göz bakış verilerini, elde edilen göz hareketlerine göre kullanıcı ile etkileşim için kullanmaktadır. İnteraktif uygulamalar, kendi içinde “seçmeli” ve “bakışa bağlı” olarak alt kategorilere ayrılmaktadır (Duchowski, 2007; Päivi, 2011). Seçmeli sistemler göz bakışını fare imleci gibi bir seçme aygıtı olarak kullanırken, bakışa bağlı sistemler karmaşık ekranların (grafik ortamlar vb.) hızlı görselleştirilmesini kolaylaştırmak için kullanıcı bakışı bilgisinden faydalanmaktadır. Bu çalışmada da esas alınan, bakışa bağlı uygulamalar “görüntü” ve “model” tabanlı olmak üzere iki grup olarak incelenmektedir.

Mevcut göz izleme teknolojileri elektrookülografi (EOG), skleral kontakt lens, videookülografi (VOG, fotookülografi POG) ve video tabanlı gözbebeği/kornea yansıtma teknikleridir (Duchowski, 2007). Göz pozisyonunun ve hareketinin kaydedilmesi metodu olan “okülografi” ile göz hareketi takibi için kullanılan 4 ana yöntem bulunmaktadır (Bates et al., 2005; Savaş, 2005; Lupu & Ungureanu, 2013).

Elektrookülografi, yaklaşık 40 yıldır göz hareketlerini kaydetmek için kullanılan, göz çevresine elektrotlar yerleştirilerek kornea ve retina arasındaki elektriksel farkın ölçülmesinden yararlanan bir yöntemdir (Duchowski, 2007). Bu yöntemin en büyük avantajı gözler kapalıyken de göz hareketlerini tespit edebilmesidir (Mazo, Barea & Lopez, 2002). Bir diğer teknik olan kontakt lens temelli manyetik arama bobinli göz takip cihazlarında, iki yumuşak lens içine tel bobin ile modifiye edilmiş kontakt lensten oluşmaktadır (Kenyon, 1985). Bu yöntem göz hareketlerinin doğallığı hakkında doğru ve hızlı bilgiler vermektedir. Fakat kullanıcılar için lens rahatsız edici olabilmektedir. Bir diğer teknik olan kızılötesi okülografi yönteminde göz kızılötesi ışık ile aydınlatılmakta ve kızılötesi okülografi göz içerisinde bulunan skleradan yansıyan ışığın yoğunluğunu ölçmektedir. Göz yüzeyinden geri yansıyan kızılötesi ışık miktarı farkı göz pozisyonu hakkındaki değişim bilgisini sağlamaktadır. Kızılötesi okülografi, elektrookülograftan daha az gürültüye sahiptir, fakat harici ışık değişimlerine daha hassas bir tekniktir. Kızılötesi okülografi, görüntü işleme uygulamalarının kullanıldığı kornea yansıtma, Purkinje resim ve göz bebeği izlenmesi teknikleri kullanan birçok ticari uygulamada tercih edilmektedir (Chennamma & Yuan, 2013). Fotookülografi olarak da anılan videookülografi, ticari yazılımlar tarafından son zamanlarda göz hareketi takibi için en çok tercih edilen yöntem konumundadır. Gün ışığı ya da kızılötesi ışık çalışmanın durumuna göre tercih edilmektedir (Hansen & Pece, 2005). Bu sistemde göz görüntüleri bir veya daha fazla kamera ile elde edilebilmekte ve genellikle basit ya da karmaşık düzeyde ölçümler bir ya da birden fazla kamera ile yapılabilmektedir (Hansen & Pece, 2005).

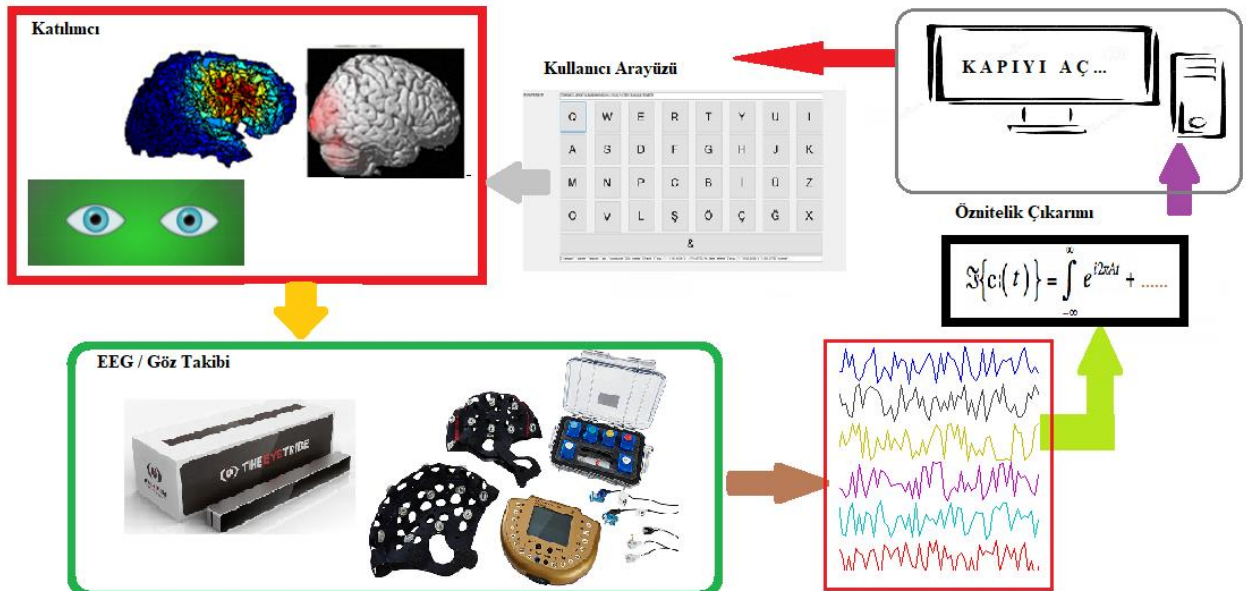
1.1. Göz İzleme Teknolojisi

Göz izleme teknolojisi göz bebeği hareketlerinin gelişmiş kamera ve sensörler yardımı ile izlenerek, kullanıcının nereye baktığı, hangi sıklıkla baktığı, ne kadar süre baktığı, nereye odaklandığı gibi nitel ve nicel veriler sunan bir teknolojidir. Göz takip teknolojisi son yıllarda kaydedilen teknolojik gelişmeler sayesinde literatürde daha sık rastlanmaya başlanmış olsa da, araştırma alanı olarak oldukça eskidir. Bu alanda ilk çalışmalar 1878 yılında Louis Emile Javal tarafından yürütülmeye başlanmıştır (Javal 1978 & 1979). Javal yaptığı çalışmalarla göz hareketlerinin devam eden ve yumuşak bir geçişle değil, sabitlenmeler (fixations) ve sıçramalarla (saccades) tamamlandığını keşfetmiştir (Liversedge et al., 2011). Bu keşifte tanımlanan sabitlenmeler gözün milisaniyelik duraklamalar yapması anlamında olup, sıçramalar ise gözün iki nokta arasında yaptığı hızlı atlayışlardır.

1.2. Beyin Bilgisayar Arayüzü

Beyin Bilgisayar Arayüzleri (BBA), motor sinir sistemi kullanımı olmaksızın birey için çeşitli elektronik ekipmanların (bilgisayar, elektromekanik bir kol veya çeşitli nöroprotezler gibi) kullanımını mümkün kılan teknolojilerdir. Dayanağında insan beyninin yapı taşı olan sinir hücrelerinin (nöronlar) elektrokimyasal etkileşimler ile birbirleriyle haberleşmesi yatmaktadır (Şekil 2). Bu haberleşme sırasında, yüzey elektrotları ile girişimsel olmadan elde edilebilecek olan beyin elektriksel aktivitesi sayesinde, gerçekleşen iletişim hakkında bilgi sağlamak mümkün olabilmektedir. Beynin bilinen anatomik ve fonksiyonel yapısına göre, yerine getirilmesi istenecek ödevlere göre işlenmek istenecek sinyalin seçimi ilgili beyin bölgeleri ölçülerek elde edilebilmektedir (Şekil 2). BBA sistemleri, ölçüm için seçilen değişen elektrot birleşimleri ve bu elektrotlardan ölçümlenen elektriksel sinyallerin değişik yaklaşımlarla analizleriyle oluşturulmaktadır (Şekil 2).

Bu sistemler özellikle Amiyotrofik Lateral Skleroz (ALS) veya Tetrapleji gibi motor fonksiyonların zarar gördüğü rahatsızlıklarda rehabilitasyon amaçlı kullanırken, patolojik durum sözkonusu olmayan kişilerde elektronik cihazları veya herhangi bir elektronik kontrol sistemini kullanabilmeleri amacıyla fayda sağlayabilmektedir.



Şekil 2. Genel bir Beyin Bilgisayar Arayüzü Şeması.

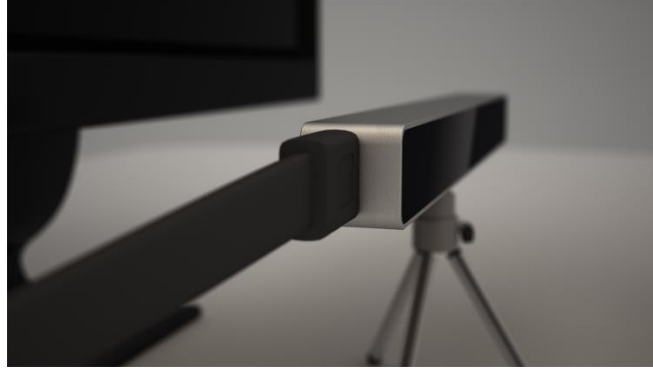
2. Materyal ve Yöntem

Bu BBA çalışmasında, gönüllü katılımcılar 20×1,9×1,9 cm ölçülerindeki, dünyanın en küçük göz izleme cihazı olarak kaydedilen TheEyeTribe cihazı ile ölçümlenmiştir (Şekil 3). The Eye Tribe, USB 3.0 bağlantısı sayesinde yüksek hızlı bilgisayarlar, akıllı telefonlar, ve tabletler gibi cihazlarla uyumlu çalışabilmektedir.

Eye Tribe göz izleyicisinin ana bileşenleri, bir akıllı telefon, bilgisayar vb. içinde kolayca yerleştirilebilen bir kamera ve yüksek çözünürlüklü kızılötesi LED'den oluşmaktadır. Cihaz, göz hareketlerini izlediği kameranın görüntülerini alarak ve bilgisayar-görüntü algoritmalarına tabi tutarak, kullanıcıların göz bebeklerinin en küçük hareketlerini bile izleme imkanına sahiptir. Eye Tribe göz izleyicisi, farklı donanım, kamera sensörleri ve çalışma ortamındaki farklı ışık ayarları ile çalışırken tatmin edici sonuçlar verebilmektedir.

2.1. Göz Takip Cihazının Kurulumu

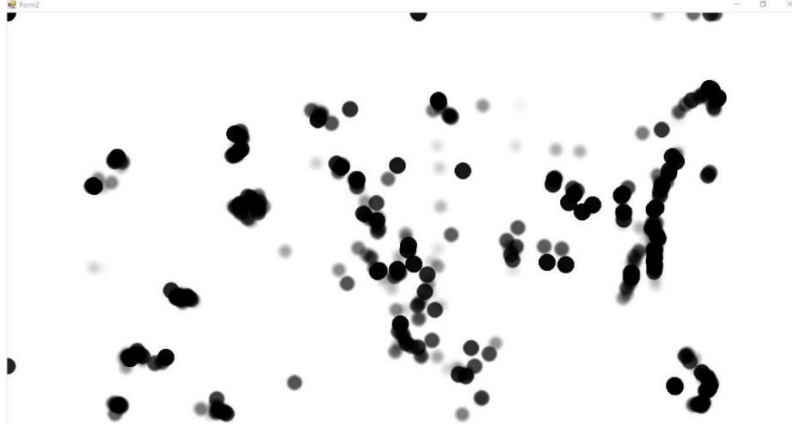
Eye Tribe göz izleme cihazında, sabitleme belli bir noktada gözlere odaklanmaktadır. Bunun için kurulum aşamasında cihazın senkron kalitesi önem taşımaktadır. Kabul edilebilir kalibrasyon sonucu ile cihazın göz hareketleri takibine hazır olması sağlanmaktadır (Şekil 2, katılımcı penceresi - göz görseli). Bu odaklanma ortalama 100-1000 ms arasında olan ve çoğunlukla 200-500 ms arasında gerçekleşen ve işlenen bilginin kalitesi ile mevcut bilişsel yüke bağlı olan düzeltmeler yapmaktadır. Düzeltmeler, gözlerin göreceli olarak durağan görüldüğü, bilgiyi girdiği veya “kodladığı” durumlardır.



Şekil 3. Eye Tribe göz izleme cihazı ve USB 3.0 bağlantısı

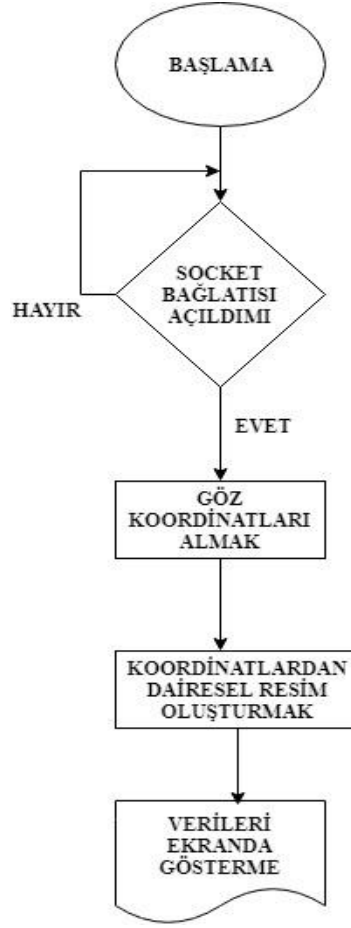
2.2. Eye Tribe Göz Takip Cihazı ile Sıcaklık Haritası Çıkarılması

Eye Tribe göz izleyici ile bilgisayar ekranında kullanıcının hangi noktalara odaklandığının tespiti için sıcaklık haritası çıkarılabilmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Göz izleme sonucu çıkarılan sıcaklık haritası (gri renk skalasında ifade edilmiştir)

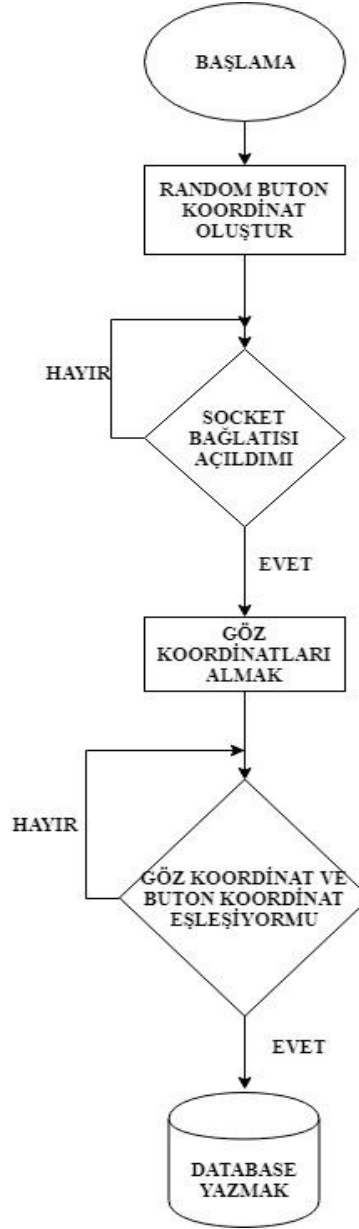
Eye Tribe göz takip cihazı ile gerçekleştirilen çalışmamızın tüm safhalarında, analiz ve veri toplama yazılımları tarafımızca geliştirilmiştir. Burada çıktısı (Şekil 4) paylaşılan sıcaklık haritasını elde etmek için kullanılan kod bloğunun algoritmik çıktısı Şekil 5'te yer almaktadır.



Şekil 5. Sıcaklık Algoritması Şeması

2.3. Göz İzleme Cihazı ile Otomatik Soru Cevap Uygulaması

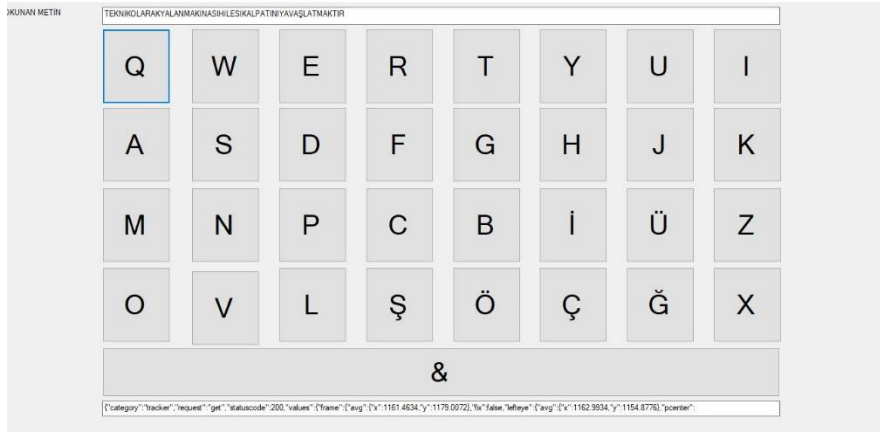
Çalışmanın bu aşamasında, deney/görev tasarımı iki boyutlu bir ortamda ara ve seç görevi şeklinde tasarlanmıştır. Burada amaç, sık kullanılır, gündelik hayattaki ihtiyaç duyulabilecek temel soru(n)lara göz hareketlerine dayalı BBA geliştirebilmektir. Bu amaçla, özel konfigürasyon gerektirmeyen tipik bir bilgisayarda yaygın işletim sistemi yapısında soru penceresi yaratılarak seçilmesi (cevaplanması) ödevi oluşturulmuştur. Eye Tribe göz izleme cihazı ile bilgisayar ekranında otomatik olarak üretilen farklı ve sabit olmayan koordinatlarda çıkan sorulara karşı kullanıcıların odaklanma verileri ve gözleri ile verdikleri tepkilerin analiz edildiği programın akış diyagramı Şekil 6'da paylaşılmaktadır.



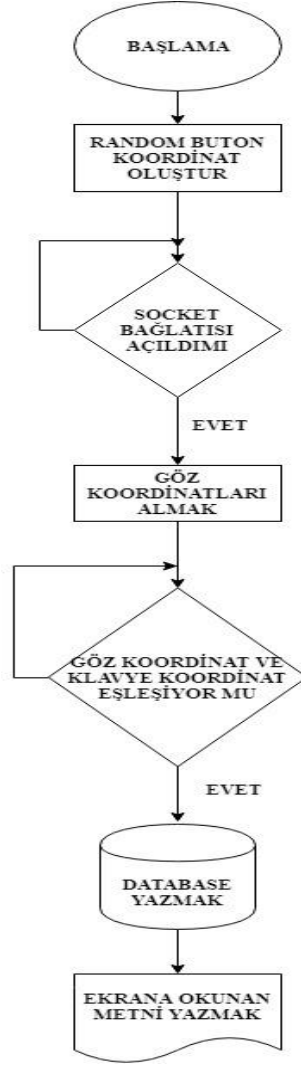
Şekil. 6. Otomatik Soru Cevap Akış Diyagramı

2.4. Göz İzleme Cihazı ile Sanal Klavye Uygulaması

Bu aşamada, göz takip cihazı kullanılarak bilgisayar ekranına klavye özelliğinin kazandırılması kurgulanmıştır. Bu noktada amaçlanan, sözkonusu klavye yöntemi ile belirtilen kelime ve cümlelerin yazılması için geçen sürenin tespit edilebilmesidir. Seçilen cümleler veya kelimeler rassal olarak belirlenen metinlerdir. Ekran üstünde yer alan her harfin koordinatları belirlenmiştir. Yazılan metinlerin süre tespiti için okunan her harf veritabanına kaydedilmektedir. Uygulama ekranında (Şekil 7) gönüllü tarafından yazılan her bir harften sonra sistem ses ile uyarı vermektedir. Sanal klavye akış diyagramı Şekil 8’de detaylandırılmıştır.



Şekil. 7. Sanal Klavye Ekran Görüntüsü



Şekil. 8. Sanal Klavye Uygulaması Akış Diyagramı

2.5. Veritabanı ve Tablo Yapısı

Veritabanı sunucu yazılım türlerinden biri olmakla beraber MS SQL (Microsoft – Structured Query Language)’in veritabanı altyapısı ile çevrimiçi veya çevrimiçi olmayan işlemler için ilişkisel veritabanları geliştirilebilmektedir. Oluşturduğumuz bu veritabanları üzerinde tablolar oluşturularak veriler kolay bir şekilde yönetilerek (Ekleme, Güncelleme, Silme, Listeleme v.b.) güvenli bir şekilde saklanabilmektedir. Bu kapsamda geliştirilen uygulamada yer alan veritabanı tablo örnekleri Şekil 9 ve 10’da sunulmaktadır.

Column Name	Data Type	Allow Nulls
id	int	<input type="checkbox"/>
soru	nvarchar(255)	<input checked="" type="checkbox"/>
tarih	nvarchar(255)	<input checked="" type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>

Şekil. 9. Soru Veritabanı Şeması

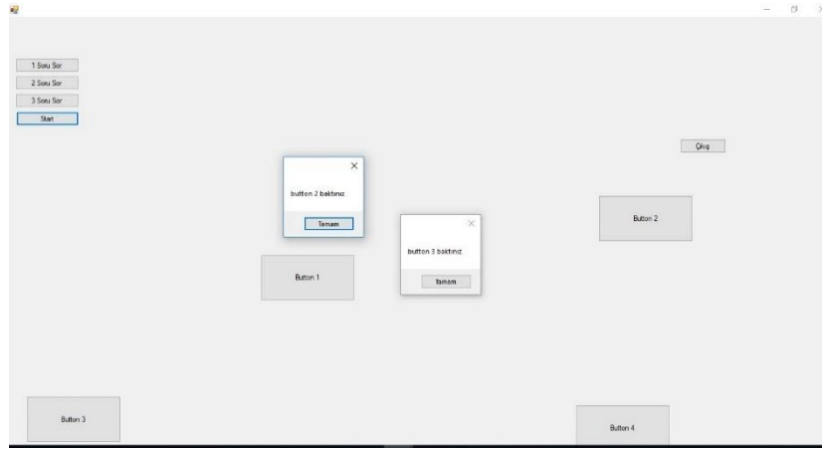
Column Name	Data Type	Allow Nulls
id	int	<input type="checkbox"/>
buttonmesaj	nvarchar(255)	<input checked="" type="checkbox"/>
buttonsuresi	nvarchar(255)	<input checked="" type="checkbox"/>
soyu	nvarchar(255)	<input checked="" type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>

Şekil. 10. Cevap Veritabanı Şeması

3. Bulgular

3.1. Göz İzleme Cihazı ile Otomatik Soru Cevap Uygulaması

Eye Tribe göz izleyici ile bilgisayar ekranında çıkan sorular karşısında (Şekil 11) kullanıcıların göz hareketlerinin takibi ve kaydı gerçekleştirilmiş olup, göz takip parametreleri (odaklanma, geçirilen süre 'dwell time' vb.) analiz edilmiştir. Göz hareketleri takibi ile uygulama esnasındaki ölçümlerden elde edilen otomatik buton oluşturma ve tıklanma süresi verileri analiz için kullanılmıştır (Tablo 1).



Şekil. 11. Program Ekran Görüntüsü

Tablo 1. Otomatik Buton Oluşma ve Tıklanma Süresi Tablosu
(Süre, yıl-ay-gün saat:dakika:saniye.milisaniye biçiminde sunulmuştur).

Yıl-ay-gün saat:dk:s.ms Buton durumu

2018-11-25 13:11:49.788 Buton Oluşturdu.
2018-11-25 13:11:52.735 Buton Tıklandı
2018-11-25 13:11:52.880 Buton Oluşturdu.
2018-11-25 13:11:55.828 Buton Tıklandı
2018-11-25 13:11:55.836 Buton Oluşturdu.
2018-11-25 13:11:58.832 Buton Tıklandı
2018-11-25 13:11:59.521 Buton Oluşturdu.
2018-11-25 13:12:02.469 Buton Tıklandı
2018-11-25 13:12:02.524 Buton Oluşturdu.
2018-11-25 13:12:05.527 Buton Tıklandı
2018-11-25 13:12:05.528 Buton Oluşturdu.
2018-11-25 13:12:05.529 Buton Tıklandı
2018-11-25 13:12:05.530 Buton Oluşturdu.
2018-11-25 13:12:08.530 Buton Tıklandı
2018-11-25 13:12:08.976 Buton Oluşturdu.
2018-11-25 13:12:11.915 Buton Tıklandı

Tablo 1(devam). Otomatik Buton Oluşma ve Tıklanma Süresi Tablosu
(Süre, yıl-ay-gün saat:dakika:saniye.milisaniye biçiminde sunulmuştur).

Yıl-ay-gün saat:dk:s.ms Buton durumu

2018-11-25 13:12:11.997 Buton Oluşturdu.
 2018-11-25 13:12:15.054 Buton Tıklandı
 2018-11-25 13:12:15.071 Buton Oluşturdu.
 2018-11-25 13:12:18.062 Buton Tıklandı
 2018-11-25 13:12:18.162 Buton Oluşturdu.
 2018-11-25 13:12:21.114 Buton Tıklandı
 2018-11-25 13:12:21.116 Buton Oluşturdu.
 2018-11-25 13:12:21.164 Buton Tıklandı
 2018-11-25 13:12:21.165 Buton Oluşturdu.
 2018-11-25 13:12:24.167 Buton Tıklandı
 2018-11-25 13:12:24.169 Buton Oluşturdu.
 2018-11-25 13:12:27.171 Buton Tıklandı
 2018-11-25 13:12:27.365 Buton Oluşturdu.
 2018-11-25 13:12:30.178 Buton Tıklandı
 2018-11-25 13:12:30.179 Buton Oluşturdu.
 2018-11-25 13:12:30.367 Buton Tıklandı
 2018-11-25 13:12:30.368 Buton Oluşturdu.
 2018-11-25 13:12:33.369 Buton Tıklandı
 2018-11-25 13:12:33.376 Buton Oluşturdu.
 2018-11-25 13:12:36.378 Buton Tıklandı
 2018-11-25 13:12:39.412 Buton Oluşturdu.
 2018-11-25 13:12:42.440 Buton Tıklandı

Göz takip verileri incelendiğinde, çalışmanın ilk fazı olan otomatik soru cevap uygulaması bölümünde, otomatik buton oluşturma ve tıklanma süresi verilerinin genel olarak ortalama 3 saniye süresinde çıkan butonların hepsine tıklanma işlemi gerçekleştirilmiştir. İlgili otomatik soru cevap tablo yapısı Şekil 12’de gösterilmektedir.

Column Name	Data Type	Allow Nulls
id	int	<input type="checkbox"/>
buton_zaman	nvarchar(250)	<input checked="" type="checkbox"/>
buton_aciklama	nvarchar(250)	<input checked="" type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>

Şekil. 12. Otomatik Soru Cevap Tablo Yapısı

3.2. Göz İzleme Cihazı ile Sanal Klavye Uygulaması

Bu aşamada yöntem 2.4 bölümünde sunulan içerik ölçüm bulguları sunulmaktadır. Göz takip cihazı kullanılarak bilgisayar ekranına sanal klavye özelliği kazandırılarak, belirtilen kelime ve cümlelerin yazılması için geçen süreler kayıtlanmıştır (Tablo 2). Ekranda beliren her harfin koordinatlarının belirlenmesi ve okunan her harf veritabanına kaydedilmesi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Sanal Klavye Aracılığıyla Okutulan Metin
(Süre, yıl-ay-gün saat:dakika:saniye.milisaniye biçiminde sunulmuştur).

Metin	Yıl-ay-gün saat:dk:s.ms
B	2018-06-04 17:56:08.656
O	2018-06-04 17:56:11.655
R	2018-06-04 17:56:14.655
S	2018-06-04 17:56:17.657
A	2018-06-04 17:56:20.655
D	2018-06-04 17:56:23.641
A	2018-06-04 17:56:26.656

Tablo 2(devam). Sanal Klavye Aracılığıyla Okutulan Metin
(Süre, yıl-ay-gün saat:dakika:saniye.milisaniye biçiminde sunulmuştur).

Metin	Yıl-ay-gün saat:dk:s.ms
İ	2018-06-04 17:56:29.641
Ş	2018-06-04 17:56:32.643
L	2018-06-04 17:56:35.641
E	2018-06-04 17:56:38.640
M	2018-06-04 17:56:41.672
Y	2018-06-04 17:56:44.657
A	2018-06-04 17:56:47.655
P	2018-06-04 17:56:59.654
A	2018-06-04 17:57:02.654
N	2018-06-04 17:57:05.642
A	2018-06-04 17:57:08.647
Y	2018-06-04 17:57:11.641
E	2018-06-04 17:57:14.642
T	2018-06-04 17:57:17.641
K	2018-06-04 17:57:20.641
İ	2018-06-04 17:57:26.655
B	2018-06-04 17:57:32.655
E	2018-06-04 17:57:35.656
L	2018-06-04 17:57:38.656
G	2018-06-04 17:57:41.656
E	2018-06-04 17:57:44.655
S	2018-06-04 17:57:47.641
İ	2018-06-04 17:57:50.640
Z	2018-06-04 17:57:53.642
O	2018-06-04 17:57:56.642
R	2018-06-04 17:57:59.642
U	2018-06-04 17:58:02.672
N	2018-06-04 17:58:08.656
L	2018-06-04 17:58:11.654
U	2018-06-04 17:58:17.657
O	2018-06-04 17:58:20.655
L	2018-06-04 17:58:35.640
D	2018-06-04 17:58:38.641
U	2018-06-04 17:58:41.642

Column Name	Data Type	Allow Nulls
id	int	<input type="checkbox"/>
Harf	nchar(1)	<input checked="" type="checkbox"/>
zaman	nvarchar(50)	<input checked="" type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>

Şekil 13. Sanal Klavye Veritabanı Yapısı

Uygulamanın veritabanı yapısı Şekil 13'te belirtildiği gibidir. Sanal klavye uygulamasında beş farklı kullanıcıya “Borsada İşlem Yapana Yetki Belgesi Zorunlu Oldu” örnek cümlesi okutulmuş ve okutulan bu metinlerin analiz sonuçları Tablo 3'te kelime bazında gösterilmiştir.

Tablo 3. Örnek Cümle ve Analiz Sonuçları

DENEK 1				
AD	HARF	BAŞLAMA SÜRESİ	BİTİŞ SÜRESİ	OKUNMA SÜRESİ
1 BORSADA	7	01.02.2019 14:47:51,419	01.02.2019 14:48:14,026	00:00:22,607
2 İŞLEM	5	01.02.2019 14:48:16,860	01.02.2019 14:48:42,401	00:00:25,541
3 YAPANA	6	01.02.2019 14:48:45,403	01.02.2019 14:49:00,386	00:00:14,983
4 YETKİ	5	01.02.2019 14:49:03,392	01.02.2019 14:49:24,402	00:00:21,010
5 BELGESİ	7	01.02.2019 14:49:33,402	01.02.2019 14:50:15,388	00:00:41,986
6 ZORUNLU	7	01.02.2019 14:50:18,417	01.02.2019 14:50:48,404	00:00:29,987
7 OLDU	4	01.02.2019 14:50:51,404	01.02.2019 14:51:06,416	00:00:15,012
TOPLAM				00:02:51,126
DENEK 2				
AD	HARF	BAŞLAMA SÜRESİ	BİTİŞ SÜRESİ	OKUNMA SÜRESİ
1 BORSADA	7	01.02.2019 14:52:03,978	01.02.2019 14:52:42,979	00:00:39,001
2 İŞLEM	5	01.02.2019 14:52:45,979	01.02.2019 14:53:21,979	00:00:35,000
3 YAPANA	6	01.02.2019 14:53:24,981	01.02.2019 14:53:51,995	00:00:27,014
4 YETKİ	5	01.02.2019 14:53:58,213	01.02.2019 14:54:13,217	00:00:15,004
5 BELGESİ	7	01.02.2019 14:54:19,199	01.02.2019 14:54:55,197	00:00:35,998
6 ZORUNLU	7	01.02.2019 14:55:01,198	01.02.2019 14:55:28,214	00:00:27,016
7 OLDU	4	01.02.2019 14:55:40,200	01.02.2019 14:55:55,229	00:00:15,029
TOPLAM				00:03:15,062
DENEK 3				
AD	HARF	BAŞLAMA SÜRESİ	BİTİŞ SÜRESİ	OKUNMA SÜRESİ
1 BORSADA	7	01.02.2019 15:13:27,699	01.02.2019 15:13:48,704	00:00:21,005
2 İŞLEM	5	01.02.2019 15:13:51,666	01.02.2019 15:14:06,688	00:00:15,022
3 YAPANA	6	01.02.2019 15:14:12,685	01.02.2019 15:14:30,668	00:00:17,983
4 YETKİ	5	01.02.2019 15:14:33,665	01.02.2019 15:14:57,000	00:00:23,335
5 BELGESİ	7	01.02.2019 15:14:57,691	01.02.2019 15:15:42,683	00:00:44,992
6 ZORUNLU	7	01.02.2019 15:15:45,715	01.02.2019 15:16:42,706	00:00:56,991
7 OLDU	4	01.02.2019 15:17:09,716	01.02.2019 15:17:21,701	00:00:11,985
TOPLAM				00:03:11,313
DENEK 4				
AD	HARF	BAŞLAMA SÜRESİ	BİTİŞ SÜRESİ	OKUNMA SÜRESİ
1 BORSADA	7	01.02.2019 16:04:37,341	01.02.2019 16:04:55,292	00:00:17,951
2 İŞLEM	5	01.02.2019 16:05:04,291	01.02.2019 16:05:34,306	00:00:30,015
3 YAPANA	6	01.02.2019 16:05:37,292	01.02.2019 16:06:01,308	00:00:24,016
4 YETKİ	5	01.02.2019 16:06:04,304	01.02.2019 16:06:43,308	00:00:39,004
5 BELGESİ	7	01.02.2019 16:06:49,300	01.02.2019 16:07:16,323	00:00:27,023
6 ZORUNLU	7	01.02.2019 16:07:22,313	01.02.2019 16:08:01,328	00:00:39,015
7 OLDU	4	01.02.2019 16:08:10,308	01.02.2019 16:08:19,311	00:00:09,003
TOPLAM				00:03:06,027

Tablo 3(devam). Örnek Cümle ve Analiz Sonuçları

DENEK 5					
AD	HARF	BAŞLAMA SÜRESİ	BİTİŞ SÜRESİ	OKUNMA SÜRESİ	
1 BORSADA	7	01.02.2019 16:14:57,720	01.02.2019 16:15:15,698	00:00:17,978	
2 İŞLEM	5	01.02.2019 16:15:18,698	01.02.2019 16:15:30,697	00:00:11,999	
3 YAPANA	6	01.02.2019 16:15:33,698	01.02.2019 16:16:09,697	00:00:35,999	
4 YETKİ	5	01.02.2019 16:16:12,699	01.02.2019 16:16:36,717	00:00:24,018	
5 BELGESİ	7	01.02.2019 16:16:39,713	01.02.2019 16:17:09,713	00:00:30,000	
6 ZORUNLU	7	01.02.2019 16:17:12,717	01.02.2019 16:17:51,712	00:00:38,995	
7 OLDU	4	01.02.2019 16:17:54,715	01.02.2019 16:18:06,697	00:00:11,982	
TOPLAM				00:02:50,971	

4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, literatürde hibrid olarak da anılan (Pfurtscheller et al., 2006; Allison, Wolpaw & Wolpaw, 2007; Zander & Gärtner, 2011), farklı modalitelerin katkısı ile güncellenmiş beyin bilgisayar arayüzü (BBA) sistemlerine katkı olarak göz takibi cihazı teknolojisine dayalı yeni bir hibrid BBA oluşturulması ve sonuçlarının analizi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada, göz hareketleri takibi ile ilk veri akışının elde edilmesinden, sanal klavye uygulamasına kadar üç farklı deney tasarımında ölçümleme gerçekleştirilmiştir. Tüm aşamalarda kullanılan yazılım ve analiz tarafımızca geliştirilmiştir. Sıcaklık haritası uygulamasında kullanıcıların ekranda baktıkları yerler canlı olarak çizdirilmiştir. Soru cevap sisteminde kullanıcılara ekrandan sorular gösterilmiş ve bunlara verdikleri cevapların süreleri incelenmiştir. Beş gönüllü katılımcının yanıt süreleri en fazla 3 saniye en az 200 milisaniye olarak tespit edilmiştir. Bir diğer ölçüm paradigması olarak kurgulanan otomatik soru ve cevap verme sisteminde ise ekranda koordinat olarak rastgele gösterilen butonlara kullanıcıların tıklama süreleri ölçümlenmiştir. Elde edilen bulgular literatürdeki (Zander & Gärtner, 2011) uzun ve kısa geçirilen süre karşılaştırmalarının kısa 'dwell' zamanı için 3.98s. olduğu sonuçlardan daha kısa olarak saptanmıştır.

Sanal klavye uygulamasında beş farklı kullanıcıya örnek cümle okutulmuş ve toplam tüm cümleyi okuma sürelerinin 2:50,971 ile 3:15,062 dakika arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Analiz kapsamında tespit edilen sürelerin hızlanan ilerleyen dönemlerde bu alanda gerçekleştirilecek çalışmaların bireysel kullanıcılara katkısının artarak devam etmesini sağlayacaktır.

Modern teknoloji ile birlikte göz teknolojisi ilerleyen yıllarda insan hareketlerinin algılanması ve hareket yetisini kaybetmiş kişilerin göz hareketleri ile bildirim yapmalarını sağlayan sistemlerin tasarlanmasında en önemli uzmanlık alanlarından biri olacaktır. Bulgular, göz hareketlerine dayalı beyin bilgisayar arayüzü çalışmalarının umut verici olduğunu ve gelecek teknolojilerde göz takibine dayalı modalitelerin dokunma veya motor komut olmadan etkileşime dayalı teknolojilerin medikal uygulamalar ve de sağlıklı kullanıcılar için öne çıkacağını göstermektedir.

Referanslar

- Allison, B.Z., Wolpaw, E.W., & Wolpaw J.R. (2007). Brain computer interface systems: progress and prospects. *Expert Review of Medical Devices*, 4(4), 463-474. doi:10.1586/17434440.4.4.463
- Bates, R., Istance, H., Oosthuizen, L., & Majaranta, P. (2005). D2.1 Survey of De-Facto Standards in Eye Tracking. *Communication by Gaze Interaction (COGAIN)*, IST-2003-511598: Deliverable 2.1.
- Bolt, R.A. (1982). *Eyes at the Interface*. Proceedings of the 1982 Conference on Human Factors in Computing Systems, 360-362. New York: ACM Press. doi:10.1145/800049.801811
- Chennamma, H. R. & Yuan, X. (2013) A survey on eye-gaze tracking techniques. *Indian Journal of Computer Science and Engineering (IJCSSE)*, 4(5): 388-393. arXiv:1312.6410
- Duchowski, A. T. (2007). *Eye Tracking Methodology: Theory and Practice*, second Edition. London: Springer Verlag.
- Engell-Nielsen, T., Glenstrup, A.J., & Hansen, J.P. (2003). Eye Gaze Interaction: A New Media - Not Just a Fast Mouse. In Itoh, K., Komatsubara, A., Kuwano, S. (Eds.), *Handbook of Human Factors / Ergonomics* (pp. 445-455). Tokyo, Japan: Asakura Publishing.
- Galán, F., Nuttin, M., Lew, E., Ferrez, P. W., Vanacker, G., Philips, J., & Millán, J. R. (2008). A brain-actuated wheelchair: asynchronous and non-invasive Brain-computer interfaces for continuous control of robots. *Clinical Neurophysiology*, 119(9), 2159-2169. doi:10.1016/j.clinph.2008.06.001

- Hansen, D. & Pece, A. (2005). Eye tracking in the wild. *Computer Vision and Image Understanding* 98(1), 155-181. doi:10.1016/j.cviu.2004.07.013
- Hutchinson, T.F. (1993). Eye Gaze Computer Interfaces: Computers That Sense Eye Positions on the Display. *Computer*, 26, 65-67. doi:10.1109/MC.1993.620436
- Jacob, R.J.K. (1993). What You Look at Is What You Get. *IEEE Computer*, 26, 65-66. doi:10.1109/MC.1993.274943
- Javal L. (1878). Essai sur la physiologie de la lecture. *Annales d'Oculistique*. 80, 240–274.
- Javal L. (1879). Essai sur la physiologie de la lecture. *Annales d'Oculistique*. 82, 242–253.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Kenyon, V. R. (1985). A soft contact lens search coil for measuring eye movements. *Vision Research*, 25(11): 1629-1633. doi:10.1016/0042-6989(85)90133-6
- Liversedge, S., Gilchrist, I., & Everling, S. (2011). *The Oxford Handbook of Eye Movements*. OUP Oxford.
- Lupu, R.G. & Ungureanu, F. (2013). A survey of eye tracking methods and applications. *The Polytechnic Institute of Science Bulletin*, (3), 71-86.
- Mazo, L., Barea, M., Boquete, R., & Lopez, E. (2002) System for assisted mobility using eye movements based on electrooculography. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 10(4): 209-218. doi:10.1109/TNSRE.2002.806829
- Murata, A. (2006). Eye Gaze Input Versus Mouse: Cursor Control as a Function of Age. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 21, 1-14. doi:10.1080/10447310609526168
- Nilsson, S., Gustafsson, T., & Carleberg, P. (2007). Hands Free Interaction with Virtual Information in a Real Environment (pp. 53-57). *Proceedings of COGAIN 2007*, Leicester, UK.
- Päivi, M. (2011). *Gaze Interaction and Applications of Eye Tracking: Advances in Assistive Technologies*. IGI Global, 31 Eki 2011. doi:10.4018/978-1-61350-098-9
- Pfurtscheller, G., Scherer, R., Müller-Putz, G. (2006). Heart Rate-Controlled EEG-Based BCI: The Graz Hybrid BCI. In *Proceedings of the 3rd International Brain-Computer Workshop and Training Course 2006*. Graz University of Technology Publishing House, Graz, Austria.
- Savaş, Z. (2005). Real-time detection and tracking of human eyes in video sequences, *Doktora Tezi*, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Yarbus, A.L. (1967). Eye Movements During Perception of Complex Objects. In Riggs, L.A. (Ed.). *Eye Movements and Vision* (pp. 171—196). New York: Plenum Press. doi:10.1068/i0382
- Wolpaw, J.R., Birbaumer, N., McFarland, D.J., Pfurtscheller, G., & Vaughan, T.M. (2002). Brain–computer interfaces for communication and control. *Clinical Neurophysiology*, 113, 767–791. doi.org/10.1016/S1388-2457(02)00057-3
- Zander, T.O. & Gärtner, M. (2011). Combining Eye Gaze Input With a Brain–Computer Interface for Touchless Human–Computer Interaction. *International Journal of Human-Computer Interaction*. p.1-26. doi:10.1080/10447318.2011.535752