

Gözlük Tabanlı bir Göz Hareket Takip Sistemi

An Eye-Glasses-Like Wearable Eye Gaze Tracking System

Cihan Topal, Atakan Doğan, Ömer Nezh Gerek

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Anadolu Üniversitesi

{cihant, atdogan, ongerek}@anadolu.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada, üzerine sensörler yerleştirilmiş gözlük benzeri bir aracın giyilmesi ile göz hareketlerini ve bakışı takip etme amacı ile geliştirilen bir sistem tanıtılmaktadır. Çalışma şekli nedeniyle ortaya çıkan ürüne Eye Touch (Göz Dokunuşu) ismi verilmiştir. Işık algılayıcıları, gözlüğün çerçeve kısmına yerleştirilmiştir. Ortamdaki ışıktan etkilenmemesi için kızılötesi (IR) sensörler ve bunlarla uyumlu IR ışık kaynakları kullanılmıştır. Bu şekilde ucuz sensörler kullanılarak, normalde kullanılan kamera-tabanlı yöntemlere nazaran daha düşük maliyete ve işlem karmaşıklığına sahip bir sistem elde edilmiştir. Geliştirilen prototip üzerinde hassasiyet çalışmaları yapılmıştır. Deneysel sonuçlar, Eye Touch sisteminin ümit vaadeden bir İnsan-Bilgisayar arayüzü olduğunu göstermiştir.

Abstract

In this study, a new eye tracking system that works by wearing an eye-glasses-like apparatus with attached sensors, is introduced. Due to the working principle of the system, the device is called the Eye Touch system. The sensors are located on the frame of the eye-glasses. In order to avoid interference with the ambient and changing light conditions, IrDA sensors coupled with IR emitters are utilized. Using inexpensive sensors and light sources instead of conventional camera based systems lead to lower system cost and less need for the computation power. A prototype of the proposed system is developed and tested to illustrate its capabilities. Based on the test results obtained, Eye Touch is proved to be a promising human-computer interface system.

1. Giriş

Göz takip sistemleri, insan-bilgisayar arayüzü ile ilgili problemlere bir çözüm olma amacı ile yakın zamanlarda kullanılmaya başlamıştır. Genelde parmak-el-kol gibi organlarını kullanma güçlüğü çeken insanlar için, ya da ellerin kullanılması uygun olmayan durumlarda kullanımı kolaylaştırmak için bu tür sistemlere başvurulmaktadır.

Bu çalışma, söz konusu göz hareketlerinin takibi sistemlerine alternatif bir yöntem sunmaktadır. Hem literatürde, hem de somut ürün olarak pek çok göz takibi çalışması mevcuttur [1-10]. Satışa sunulmuş sistemlerin tamamı, literatürde bahsedilenlerin ise büyük çoğunluğu bir kamera ile alınan video görüntülerinden kişinin nereye baktığını (ya da hangi göz kırpması

hareketini yaptığını) tahmin etmeye yöneliktir. Bu nedenle, görüntü üzerinde çalışarak bu problemi çözme, neredeyse standart bir yöntem haline gelmiştir. Öte yandan, bu tür sistemler hassas ve hareketli kamera sistemleri gerektirmekte, bunun üstüne de yüksek miktarda video işleme karmaşıklığı gerektirmektedir. Kamera sistemleri ucuzlansa bile, işlem karmaşıklığı ve algoritma geliştirmedeki güçlük nedeniyle bu sistemler onbinlerce dolarlık fiyatlara satılmaktadır.

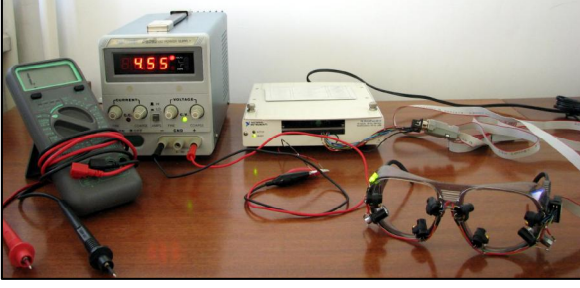
Bu çalışmada, maliyet düşürücü yaklaşımlardan birisi de sensör tabanlı cihazlar olarak önerilmiştir. Sensörlerin sayıca az olması, bunlardan gelen sinyalin işlenmesinde de karmaşıklığı azaltmaktadır. Doğrudan kafaya takılan bir aparat olması nedeniyle mobileden ödün verilmemektedir. Benzer, ancak yöntemsel farkları olan sistemler literatürde mevcuttur[9], [10]. Ancak bu sistemler ürün niteliğine ulaşmamıştır.

2. Göz Dokunuşu Sistemi

Göz Dokunuşu Sistemi (GDS), insanın gözlerini kullanarak vermiş olduğu komutları tanımak üzere tasarlanmıştır. Gözlerle verilen komutları tanıyabilmek için, GDS göz bebeğinin bakmış olduğu yönü gerçek zamanlı olarak belirleyebilmelidir. Dolayısıyla, GDS aşağıda sıralanan temel gerçekleri kullanarak göz bebeğinin bakış yönünü gerçek zamanda bulabilecek yetenekte geliştirilmiştir:

- İnsan gözü, kahverengi, siyah veya mavi gibi beyazdan daha koyu tonlara sahip merkezi bir iris kısmına sahip olup, çoğunlukla beyaz renkten oluşmaktadır.
- Farklı renkler ışığı farklı miktarlarda ve farklı dalga boylarında yansıtırlar.

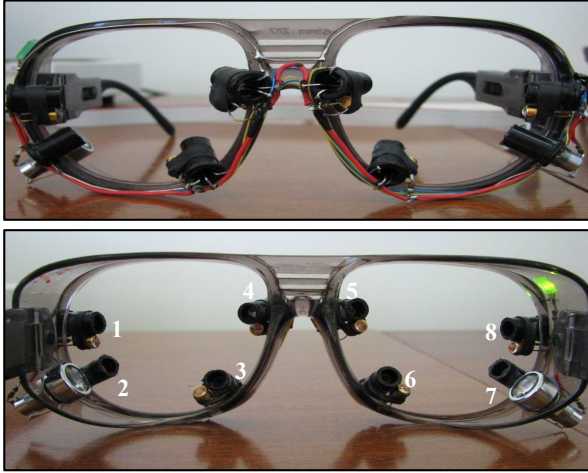
Bu temel ışık yansıma prensibi ve göz yüzeyinin küresel yapısı göz önüne alınarak, göz yüzeyinin belirli bölgelerinden yansıyan ışık yoğunluğunu toplamak ve daha sonra ölçülen ışık yoğunluklarını kullanarak göz bebeğinin bakış yönünü bulmak mümkün olabilmektedir. GDS sistemi, Şekil 1'de gösterildiği gibi, şu bileşenlerden oluşmaktadır: kızılötesi ışığa duyarlı aparat (KIDA), veri toplama cihazı (VTC), bilgisayar yazılımı ve harici güç kaynağı. Her bir GDS bileşeninin fonksiyonu aşağıda kısaca açıklanmıştır.



Şekil 1. Göz dokunuşu sistemi– sağdan sola; KIDA, VTC, ve güç kaynağı.

2.1. Kızılötesi ışığa duyarlı aparat (KIDA):

KIDA camı olmayan gözlüğe benzemektedir. KIDA iris hareketlerini algılayabilmek için çerçevesi üzerine yerleştirilmiş sekiz adet kızılötesi ışığa duyarlı algılayıcıya ve sekiz adet kızılötesi ışık kaynağına (LED) sahiptir. Herbir LED bir adet kızılötesi ışığa duyarlı algılayıcıyla bitiştirilerek sekiz adet algılayıcı-LED çifti oluşturulmuştur. Aparat çerçevesindeki sekiz çift algılayıcı-LED çiftinden dördü solda ve diğer dördü de sağda olmak üzere, her bir çift gözün belirli bir bölümüne odaklanmıştır. Şekil 2 tasarlanan aparatı göstermektedir.



Şekil 2. KIDA'ya yakından bir bakış – ön ve arka görünüş.

KIDA üzerindeki kızılötesi ışığa duyarlı algılayıcılar TAOS tarafından üretilen TSL262R tipi ışığı gerileme dönüştüren optic algılayıcılardır. TSL262R 800~1100 nm dalga boyu aralığındaki ışığa tepki vermektedir ve 940 nm'de keskin bir tepeye sahiptir. Kızılötesi LED'ler ise 940 nm dalga boyunda ışık yaymaktadırlar.

KIDA veri toplama cihazına ve güç kaynağına on kanallı bir kablo üzerinden bağlıdır. On kanallı kablunun 8 kanalı ile VTC'ye analog gerilim sinyalleri taşınırken, diğer iki kanal ise aparat üzerindeki algılayıcıları ve LED'leri beslemek üzere güç

kaynağından +5 volt güç ve toprak hattını taşımaktadır. Tasarlanan KIDA 150 gram civarındadır.

2.2. Veri toplama cihazı (VDC):

Sistemde kullanılmakta olan VTC, National Instruments şirketinin NI DAQPad-6015 cihazıdır. VTC apart üzerinde bulunan algılayıcıların çıkışlarını 10 Hz bir hızla ve 16-bit'lik bir çözünürlükle örnekleme, ve örnekleme sonuçlarını USB arayüzü üzerinden bilgisayar üzerinde çalışan uygulamaya aktarmaktadır. VTC güç kaynağından referans gerilim sinyali almaktadır. GDS'ye son şekli verildiği zaman, USB arayüzü üzerinden güç alan bir mikrodenetleyici VTC yerine kullanılacaktır; mikrodenetleyici algılayıcı çıkışlarını örnekleyecek ve toplamış olduğu veriyi daha sonra USB arayüzü üzerinden bilgisayara gönderecektir. Algılayıcılara ve LED'lere yine USB arayüzü üzerinden güç sağlanacaktır. Tüm bu gerekli donanım aparat üzerine yerleştirilerek KIDA'nın taşınabilir olması sağlanacaktır. KIDA'nın maliyetinin, ucuz kızılötesi bileşenler ve mikrodenetleyiciler sayesinde, 100 USD'yi geçmeyeceği öngörülmektedir.

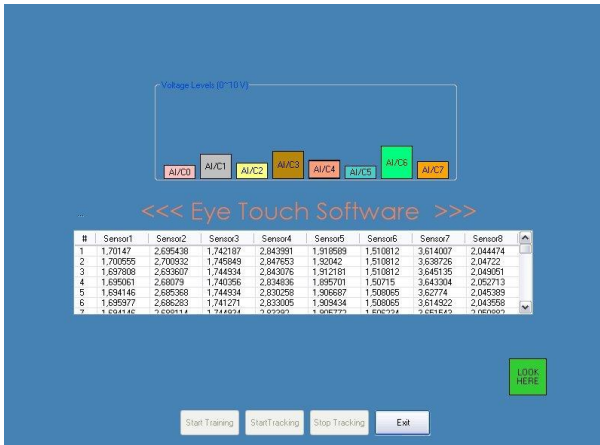
2.3. Göz dokunuşu yazılımı:

Uygulama yazılımı Microsoft Visual Studio 2003 ortamında geliştirilmiştir. Toplanan verilerin uygulamaya geçirilebilmesi için VTC'nin kendi fonksiyon kütüphanesi kullanılmıştır.

Göz dokunuşu yazılımı iki ana kısımdan oluşmaktadır: eğitim ve takip. İlk kısım sistemin kalibrasyonunu ve eğitimi yapmaktadır. Sistemi kalibre edebilmek için, uygulama, Şekil 3'teki ara yüzü kullanarak kullanıcıdan ekrandaki belirli bölgelere bakmasını veya göz kırpmasını istemektedir. Kullanıcı belirli bölgelere bakarken veya gözlerini kırparken, yazılım, kullanıcının gözünün fiziksel özelliklerine göre sistemi adapte edebilmek için gerekli bilgiyi toplamakta ve takip kısmında kullanılacak olan algoritma parametrelerini hazırlamaktadır. Uygulamanın eğitim kısmı yaklaşık bir dakika almaktadır. Uygulamanın ikinci fazını oluşturan takip kısmında ise, VDC aracılığıyla algılayıcılarından toplanan bilgi kullanılarak farenin hareketine karar verilmektedir. Bir başka deyişle, takip kısmı, Windows fare imlecinin kontrolünü tıklama operasyonlarıyla birlikte gerçekleştirmektedir. Uygulamanın desteklediği üç temel fare operasyonu: hareketsiz durma, dört yönden birisinde hareket etme ve tıklama. Prototip şu anki durumu itibarıyla, ilk iki operasyon için, gerçek bir fare duyarlılığında göz bebeğini takip edememektedir. Bu yüzden, prototipte imlece benzer bir kullanım benimsenmiştir. Kullanıcı ekran çerçevesinin içine bakarken, fare imleci hareket etmemektedir. Kullanıcı ekran çerçevesinin dışına (sağ-sol-yukarı-aşağı) bakarken, imleç ilgili çerçeveye doğru

yatay veya düşey olarak hareket ettirilmektedir. Böyle bir ara yüzün ekranda yazı okumak ve benzeri çeşitli uygulamalar için uygun bir yaklaşım olduğu öngörülmüştür. Sol ve sağ tıklama operasyonları için, kullanıcı ilgili gözünü yaklaşık 500 ms (kullanıcı tarafından ayarlanabilir bir parametre) kapatması gerekmektedir. Kullanıcının gözünü kapattığı sezilenir sezilenmez ilgili aksiyon gerçekleştirilmektedir. Takip kısmının işlem yükü, her bir örnekleme sonrası, 90 kayan nokta (KN) çıkarma, 48 KN çarpma ve 42 KN toplama işleminden ibarettir.

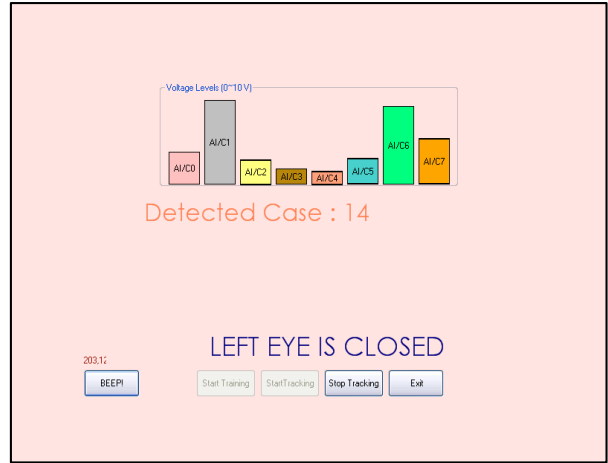
Şekil 3'te sol göz kırpma durumu gösterilmektedir. Eğer kullanıcı gözünü belirli bir süre kapalı tutarsa, uygulama, imlecin o anki koordinatlarıyla birlikte Windows OS'nin sol tıklama API fonksiyonunu çağırır. Denemeler sırasında, geliştirilen uygulamanın normal göz kırpma olayları ile tıklama amacıyla göz kırpma olaylarını karıştırmadığı gözlemlenmiştir. Geliştirilen uygulama, küçültüldüğünde dahi çalışmaya devam edecek şekilde tasarlandığı için, KIDA Windows temelli bilgisayarların kullanıcının göz hareketleriyle kullanımını (diziner arasında dolaşım, dosyaların veya uygulamaların açılıp/kapanması, tıklama operasyonları gerektiren diğer işler) sağlamaktadır. GDS'nin çalışma hassasiyeti ve takip kısmının kullanılabilirliği halen araştırılmaktadır.



Şekil 3. GDS eğitim ara yüzü.

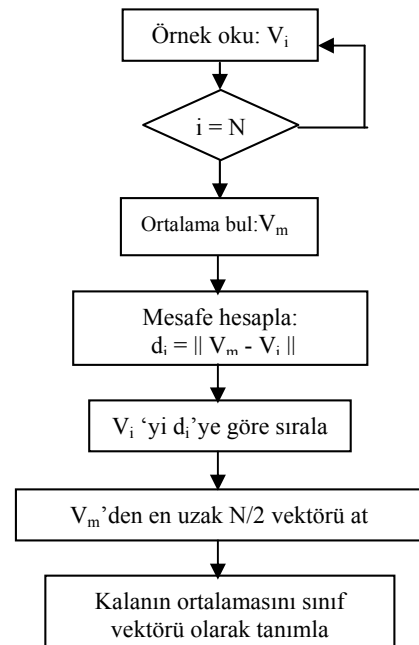
3. Eğitim ve Takip Algoritmaları

GDS sistemi eğitim ve takip aşamalarından oluşmaktadır. Başlangıç olarak nispeten basit algoritmalar gerçekleştirilmiştir. Ön çalışmalar tatmin edici sonuçlar vermektedir.



Şekil 4. GDS takip ara yüzü.

Eğitim aşamasının başında kullanıcıdan 13 farklı bölgeye bakması istenmektedir. Bu bilgilerden 9'u ekran içinde, 4'ü ise ekranın dışına doğrudur. Ardından sırası ile sağ, sol ve her iki gözü kırpması istenir. Böylece 16 farklı sınıf oluşmuş olur. Her sınıf için 10~20 örnek 8 sensörden beslenen 8 kanallı bir sistemden alınır. Bu şekilde 8 boyutlu vektörler oluşur. Bu vektörlerden, girdi olmayan (blank) voltaj seviyeleri çıkartılır. İstatistiksel olarak hataya karşılık gelen (outlier) elemanlar elimine edilir. Bu işlem, gözün istemsiz hareketlerini göz ardı etmemizi sağlar. Bu eliminasyon işlemiyle birlikte eğitimin akış diyagramı Şekil 5'te verilmektedir.

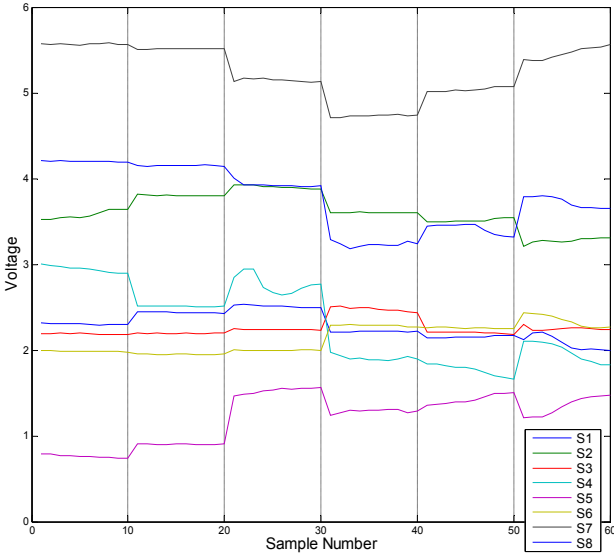


Şekil 5. Eğitim algoritması.

İstatistiksel olarak gürbüz bir tanımlayıcı sınıf vektörü her sınıf için elde edildikten sonra takip sistemi çalışmaya hazırdır. Takip sırasında da aynı sistemden veriler alınıp, Öklid uzaklığı her sınıf vektörüne en yakın olan sınıfa atama yapılır. Bu en yakın komşuluk kuralı, çoğu durumda iyi çalışmaktadır, ancak göz hareketlerinin tutarlılığı ve sürekliliği de göz önünde alınmalıdır. Bu konuları göz önünde bulunduran algoritmalar geliştirme aşamasındadır.

4. Deneysel Sonuçlar

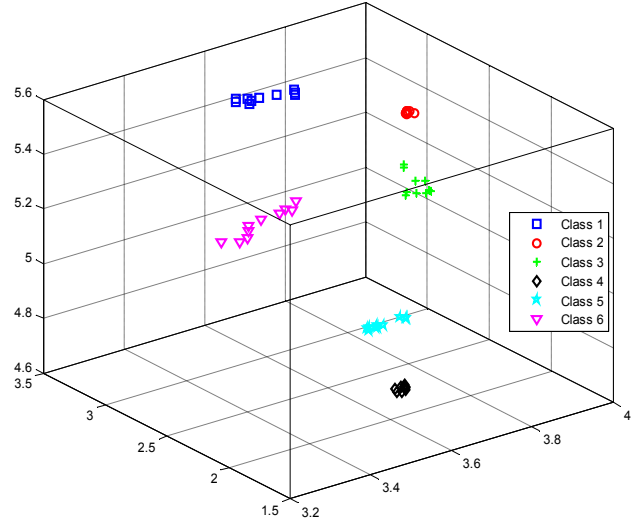
Deneysel olarak tatmin edici ön sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 6, bir kullanıcının muhtelif sınıflara ait verileri oluşturduğunda ortaya çıkan sensör voltajlarını göstermektedir. Her sınıfın ayırt edilebilir nitelikte olduğu görülmektedir. Bir sınıfa ait hareketten diğerine geçişlerin keskin olması da sistemin yanıt süresinin yeterli olduğunu göstermektedir.



Şekil 6. Eğitim aşamasında kaydedilen tipik voltaj-örnek grafikleri.

Şekil 7’de ise 2, 4 ve 7 numaralı sensörlerden alınan 3’lü verilerin değişik hareket sınıfları için 3 boyutlu konumlanması gösterilmektedir. Her sınıf bulutunun net biçimde diğerlerinden ayrıldığı görülmektedir.

Yüzen fazla denek üzerinde yapılan denemelerde kullanıcıların %80’inin geliştirilen sistemi başarı ile kullanabildiği gözlenmiştir.



Şekil 7. 2, 4, ve 7. sensörlerin farklı hareketler için 3 boyutlu dağılımı.

5. Kaynakça

- [1] COGAIN NoE (in EU IST 6th framework): Communication by Gaze Interaction, online at: <http://www.cogain.org>.
- [2] Lawrence H. Yu, Moshe Eizenman, “A new methodology for determining point-of-gaze in head-mounted eye tracking systems,” *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, 51(10), 2004.
- [3] Metin Akay, et al, “A system for medical consultation and education using multimodal human/machine communication,” *IEEE Trans on Information Tech. in Biomedicine*, 2(4), 1998.
- [4] A. Amir, et al “An embedded system for an eye-detection sensor,” *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 98, pp.104–123, 2005.
- [5] R. S. Allison, M. Eizenman, B. S. K. Cheung, “Combined head and eye tracking system for dynamic testing of the vestibular system,” *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, 43(11), 1996.
- [6] D. Droege, T. Geier, D. Paulus, “Improved low cost gaze tracker,” *The 3rd COGAIN Conference on Communication by Gaze Interaction*, 2007.
- [7] D. Agrafiotis, N. Canagarajah, D. R. Bull, M. Dye, “Perceptually optimised sign language video coding based on eye tracking analysis,” *Electronics Letters*, 39(24), 2003.
- [8] D. Li, J. Babcock, D. J. Parkhurst, “openEyes: A low-cost head-mounted eye-tracking solution,” *ACM Eye Tracking Research and Applications Symposium*, 2006.
- [9] J. P. H. Reulen et al, “Precise recording of eye movement: the IRIS technique. Part 1,” *Medical and Biological Engineering and Computing*, 26(1), 20-26, 1988.
- [10] Skalar IRIS IR Eyetracker, online at: <http://www.crsLtd.com/catalog/skalar/index.html>.