

Engelliler için EMG Tabanlı Kinect Destekli Bir Tekerlekli Sandalyenin Gerçek Zamanlı Kontrolü

Real Time Control of a WheelChair based on EMG and Kinect for the Disabled People

Gürkan Küçükyıldız¹, Hasan Ocak¹, Ömer Şayli², Suat Karakaya¹

¹ Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü

Kocaeli Üniversitesi

{gurkan.kucukyildiz,hocak,suat.karakaya}@kocaeli.edu.tr

² Teknoloji Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümü

Kocaeli Üniversitesi

omer.sayli@kocaeli.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada engelliler için bir tekerlekli sandalyenin otomatik kontrolü ön kola takılan EMG bileklik ve Kinect sensör kullanılarak geliştirilmiştir. Bu amaçla temin edilen bir adet motorlu tekerlekli sandalye üzerinde bulunan kontrolör devre dışı bırakılarak geliştirilen kontrolör kullanılmıştır. Kontrol amacıyla yüksek güçlü motor sürücü kartı tasarlanmıştır. EMG sensöründen veriler kablosuz haberleşme (bluetooth) kullanılarak bilgisayara aktarılmış ve MATLAB ortamında işlenmiştir. Güvenli navigasyonu sağlamak amacıyla sisteme bir adet Kinect sensör monte edilerek, elde edilen derinlik görüntüsünü işlemek için görüntü işleme algoritması geliştirilmiştir. Yapılan deneylerde sistemin başarılı bir şekilde çalıştığı ve engellere çarpmadan kullanıcıların sistemi başarılı bir şekilde kontrol edebildiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler — Wheel Chair, EMG, Kinect

Abstract

In this study, EMG based control of a wheelchair was explored. A high power motor control card was designed and installed on wheelchair. Real time EMG data was processed in MATLAB. Kinect sensor was mounted on wheelchair to provide safe navigation to the system. Depth frames which were captured from Kinect, were processed by the developed image processing algorithm in order to avoid possible collisions. It was observed that, one can easily control the developed system.

Keywords— Wheel Chair, EMG, Kinect

1. Giriş

Gelişen teknoloji ile birlikte giyilebilir teknolojiler hayatımızın çoğu alanından karşımıza çıkmaya başlamıştır [1-2]. İnsan vücudundaki kas hareketlerini bu algılayabilen cihazlar geliştirilmeye ve ticari olarak sunulmaya devam etmektedir. Bu teknolojilerin gelişmesi ve özellikle engelliler için çeşitli uygulamalarda kullanılması engelliler için cihaz kontrolündeki yeniliklerin önünü açmaktadır. Görüntü teknolojisi alanındaki en popüler cihazlar birisi olan Kinect ise

Microsoft tarafından başlangıçta oyun amacıyla üretilmiş olsa da derinlik görüntüsünün alınabilmesi ile bilimsel çalışmalarda sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Örnek olarak Kinect ile rehabilitasyon alanında egzersiz amaçlı çeşitli oyunlar geliştirilmeye devam etmektedir.

Bu çalışmada kullanılan elektromiyografi (EMG) kontrol ürünü Thalmic Labs tarafından geliştirilen EMG bileklidir. Kullanılan EMG bileklik Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1: Thalmic Labs EMG bileklik[1]

Şekilden de görülebileceği gibi EMG bileklikte, kas hareketlerini algılayabilmek için dairesel şekilde yerleştirilmiş sekiz adet EMG sensörü bulunmaktadır. EMG sensörlerinin yanısıra bilekliğin içerisinde ivmeölçer,gyroskop ve magnetometre bulunmaktadır. Bileklik bilgisayar ile bluetooth üzerinden haberleşmektedir. Thalmic labs tarafından ücretsiz olarak verilen yazılım geliştirme kiti kullanılarak ham EMG ve GYRO verilerine ulaşmak mümkündür. Thalmic labs EMG bilekli ile beraber gelen yazılım, temel olarak beş farklı hareketi algılayabilmektedir. Kendi arayüzü kullanılarak farklı hareketler de tanımlanabilmektedir. Kol bandı tarafından tanımlanabilen temel hareketler Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2: EMG bileklik tarafından tanımlanan hareketler [1]

Bu çalışmada EMG bileklik kullanılarak motorlu bir tekerlekli sandalyenin kontrolü sağlanmıştır. Bu amaçla yüksek güçlü motor sürücü kartı tasarlanmıştır. EMG sensöründen verilerin alınabilmesi için bir adet bilgisayar

Tıbbi Cihaz Tasarımı 5

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

kullanılmıştır. Tekerlekli sandalye üzerinde bulunan kontrolör devre dışı bırakılarak geliştirilen kontrolör kullanılmıştır. Geliştirilen sistemin güvenli navigasyonunu sağlamak amacıyla sisteme bir adet Kinect sensör monte edilmiştir. Geliştirilen sistem Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3: Geliştirilen sistem

EMG bilekliğindeki ham veriler bir adet bilgisayar ile kablosuz olarak alınmaktadır. Bu bilgisayar ile tekerlekli üzerinde bulunan (görüntü işleme yazılımının koştugu ve kontrolü sağlayan) bilgisayar ile kablosuz ağ üzerinden haberleştirilmiştir. Güvenli navigasyon algoritması ve kas hareketlerinin algılanması için gerekli programlar MATLAB ortamında geliştirilmiştir. Sistemin genel akış şeması Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4: Sistemin genel akış diyagramı

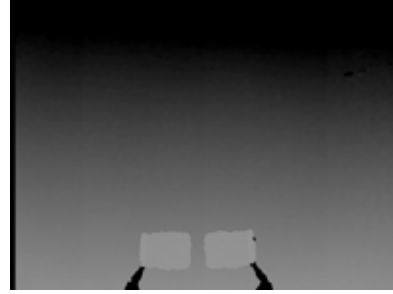
2. Kinect Tabanlı Güvenli Sürüş Algoritması

Kinect 2010 yılında Microsoft tarafından oyun amaçlı olarak geliştirilmiş bir sensördür. Kinect içerisinde bir adet kızılötesi projektör, bir adet kızılötesi kamera, ve bir adet de RGB kamera bulunmaktadır. Üzerindeki kızılötesi kamera sayesinde derinlik görüntüsü elde edilebilmektedir. Kinect kullanarak yapılan bilimsel çalışmaların sayısı hızla artmaktadır [3-4]. Yapılan çalışmada ise tekerlekli sandalye sisteminin çarpışmasının engellenmesi için Kinect sensör kullanılmıştır. Kinect sensörden elde edilen derinlik bilgisi kullanılarak,

tekerlekli sandalyenin manevra alanında belirli bir yüksekliğin üzerinde bir cisim bulunması durumunda tekerlekli sandalye sistemi durdurulmuştur.

2.1. Arka plan çıkartımı ve ön işlemler

Arka plan çıkartımı yöntemi kolay uygulanabilir olması nedeniyle imge işleme uygulamalarında çoğunlukla kullanılan bir yöntemdir [5]. Sistemin başlangıcındaki ilk 50 derinlik görüntüsünün ortalaması alınarak arkaplan olarak kaydedilmiştir. Bu nedenle, ortamda var olan nesnelerin arka plana dahil olmaması için, çalışmada sistemin başlangıcında tekerlekli sandalye etrafında herhangi bir nesnenin bulunmaması gerekmektedir. Elde edilen fark görüntüsünde belirli bir eşğin üzerindeki derinlik değerine sahip olan pikseller 1 diğerleri 0 olarak kabul edilerek görüntü ikili (siyah-beyaz) hale getirilmiştir. Elde edilen siyah beyaz görüntü üzerinde morfolojik açma ve kapama işlemleri uygulanarak görüntüdeki gürültüler giderilmiştir. Bu işlemlerden sonra bölge doldurma işlemi yapılarak görüntüdeki ön işlemler tamamlanmış olmaktadır. Çalışma sırasında elde edilen arkaplan görüntüsü ve ön işlemlerden geçirildikten sonra elde edilen görüntü Şekil 5 ve Şekil 6'da sırasıyla verilmiştir.



Şekil 5: Örnek bir arkaplan görüntüsü



Şekil 6: Morfolojik işlemlerden sonra elde edilen görüntü

2.2. Bağımlı bileşen etiketleme ve gerçek dünya koordinatlarının hesaplanması

Bağımlı bileşen etiketleme görüntü işlemenin temel algoritmalarından biri olup, görüntü işleme uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır [6].

Bu çalışmada morfolojik işlemlerden sonra elde edilen görüntüye bağımlı bileşen etiketleme yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemle tekerlekli sandalyenin etrafındaki nesnelere tespit edilebilmiştir. Eğer tespit nesnelere herhangi birinde belirli sayıda pikseli tekerlekli sandalyenin manevra alanındaysa tekerlekli sandalye durdurularak güvenli navigasyon sağlanmıştır. Nesnelerin dönüş alanında olup olmadığını piksellerin gerçek dünya koordinatlarına dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun için kameranın iç matrisinin

Tıbbi Cihaz Tasarımı 5

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

hesaplanması gerekmektedir. Kameranın iç matrisi de kameranın odak uzaklığı (f), uzamsal çözünürlüklerin yarıları (c_x ve c_y), bir pikselin genişliği (s_x) ve bir pikselin yüksekliğine (s_y) bağlıdır. Bir kameranın iç matrisi Denklem 1'de verilmiştir. Kinect için bu parametreler Kinect Yazılım Geliştirme Kiti kullanılarak elde edilmiş ve bu değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Kinect Parametreleri

Parametre adı	Değeri
f/s_x	591.04053696870778
f/s_y	594.21434211923247
c_x	242.73913761751615
c_y	339.30780975300314

$$\mathbf{M}_{\text{int}} = \begin{bmatrix} -\frac{f}{s_x} & 0 & -c_x \\ 0 & -\frac{f}{s_y} & -c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

İmge uzayındaki herhangi bir noktayı gerçek dünya koordinatlarına geçirebilmek için bu matrisin tersinin alınması gerekmektedir. Ters matris elde edildikten sonra gerçek dünya koordinatlarına geçirebilmek için Denklem 2 kullanılabilir.

$$\begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ z_k \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{M}_{\text{int}}^{-1} \begin{bmatrix} i \\ j \\ k \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Bir kameranın dış matrisi matrisi kameranın yerleşimi ile ilgilidir. Bu çalışmada Kinect'in yerleştirildiği tekerlekli sandalyenin etrafındaki zeminin yüksekliğinin sabit olması gerekmektedir. Ayrıca Kinect'in zeminden ne kadar yüksekliğe sahip olduğu da hesaplanmaktadır. Zeminin x - y düzlemi ile Kinect'in x - y düzleminin koordinat sistemine göre paralel olması gerekmektedir. Bu paralellığı sağlamak amacıyla Kinect koordinat sisteminde x ve y dönüşüm yapmak gerekmektedir. Bu dönüşüm yapıldıktan sonra zemindeki bütün piksellerin yüksekliği aynı olacaktır. Bu dönüşümü yapabilmek amacıyla Kinect koordinat sistemini x - y eksenlerinde döndürmek gerekmektedir. Bu döndürme işlemini sağlayan rotasyon matrisleri (\mathbf{R}_x , \mathbf{R}_y) aşağıda verilmiştir.

$$\mathbf{R}_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ 0 & \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R}_y = \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & 0 & \sin(\varphi) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\varphi) & 0 & \cos(\varphi) \end{bmatrix} \quad (3)$$

Bu matrisler kullanılarak elde edilen genel rotasyon matrisi ($\mathbf{R} = \mathbf{R}_x \cdot \mathbf{R}_y$) Denklem 4'de verilmiştir.

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & 0 & \sin(\varphi) \\ \sin(\theta)\sin(\varphi) & \cos(\theta) & -\sin(\theta)\cos(\varphi) \\ -\cos(\theta)\sin(\varphi) & \sin(\theta) & \cos(\theta)\cos(\varphi) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Kinect koordinat sistemindeki herhangi bir nokta $\mathbf{p}_k = [x_k \ y_k \ z_k]$ \mathbf{R} matrisi kullanılarak zemine paralel olan yeni koordinat sistemindeki ilgili noktaya $\mathbf{p}_m = [x_m \ y_m \ z_m]$ Denklem 5'deki gibi dönüştürülebilir.

$$\mathbf{p}_m = \mathbf{R} \mathbf{p}_k \quad (5)$$

r_{ij} \mathbf{R} matrisinin i . satır j . sütun elemanını göstermek üzere Denklem 5 tekrar yazılarak Denklem 6 elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} x_m &= r_{11}x_k + r_{12}y_k + r_{13}z_k \\ y_m &= r_{21}x_k + r_{22}y_k + r_{23}z_k \\ z_m &= r_{31}x_k + r_{32}y_k + r_{33}z_k = d_m \end{aligned} \quad (6)$$

Derinlik değeri olan d_m değerinin zeminin her noktasında sabit olması gerekmektedir. Bu nedenle Denklem 6'nın son satırı Denklem 7'deki gibi tekrar yazılabilmektedir.

$$\mathbf{r}_3^T \mathbf{p}_m = d_m \quad (7)$$

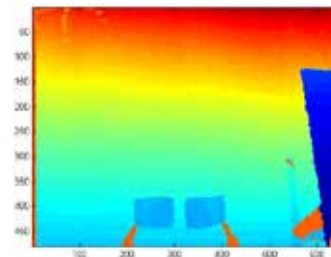
Zemin üzerinde yer alan bütün noktaların Denklem 7'yi sağlaması gerekmektedir. Denklem 7'yi sağlayan zemin üzerinden N tane nokta, Denklem 8'deki gibi seçilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{p}_{k1}^T & -1 \\ \mathbf{p}_{k2}^T & -1 \\ \mathbf{p}_{k3}^T & -1 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \mathbf{p}_{kN}^T & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{r}_3^T \\ d_m \end{bmatrix} = \mathbf{0} \quad (8)$$

Denklem 8, $\mathbf{Ax} = \mathbf{0}$ formatında Denklem 9'daki gibi yazılabilmektedir.

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{p}_{k1}^T & -1 \\ \mathbf{p}_{k2}^T & -1 \\ \mathbf{p}_{k3}^T & -1 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \mathbf{p}_{kN}^T & -1 \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} \mathbf{r}_3^T \\ d_m \end{bmatrix} \quad (9)$$

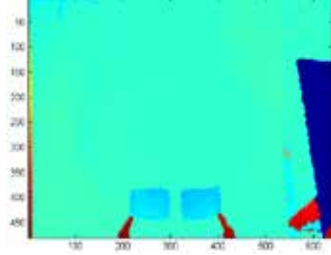
Bu denklemin çözümü ise SVD yöntemi ile bulunabilir. Çözüm \mathbf{A} matrisinin null-space'i olarak elde edilmektedir. Şekil 7 ve Şekil 8'de zeminin kalibrasyondan önce ve kalibrasyondan sonra elde edilen yükseklik değerleri sırasıyla verilmiştir.



Tıbbi Cihaz Tasarımı 5

2. Gün / 16 Ekim 2015, Cuma

Şekil 7: Zeminin kalibrasyondan önce yükseklik haritası



Şekil 8: Zeminin kalibrasyondan sonra yükseklik haritası

Şekil 7 ve Şekil 8 incelendiğinde kalibrasyondan sonra zeminin yüksekliğin düzelttiği ve zeminin aynı renkte olduğu görülmektedir. Tablo 2’de düzeltilmiş ve düzeltilmemiş zeminin bazı parametreleri verilmiştir.

Tablo 2: Kalibrasyondan Önceki ve Sonraki Zemin Değerleri

Parametre adı	Kalibrasyondan Önce	Kalibrasyondan Sonra
Ortalama Değer	2112.29(mm)	1570.74(mm)
Standart Sapma	9.11	1.84
Değişim Aralığı	1726.35-2673.17 (mm)	1526.80-1609.53 (mm)

3. EMG Sinyal Analizi

EMG sinyalleri analiz edildiğinde yumruk hareketi yapıldığında sinyallerin genlik değerlerinin arttığı gözlenmektedir. Sistemin kontrolü için ise kullanıcının yumruk hareketini yapması istenmiştir. Kullanıcı ellerini serbest konuma aldığı anda ise sistem durdurulmuştur. Sekiz kanaldan alınan EMG sinyalinin değerlerinin mutlak değeri bir öznitelik olarak seçilmiştir. Sınıflandırma için ise sınıflandırmada sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri olan SVM sınıflandırma kullanılmıştır. Öncelikle kullanıcıdan alınan veriler kaydedilerek SVM yapısı oluşturulmuştur. Sonrasında ise gelen sinyalin hangi sınıfa ait olduğu SVM kullanılarak gerçek zamanda hesaplanmıştır. Bu amaçla bileklikten 8 kanaldan verilerin örnekleme frekansı 50 Hz olarak belirlenmiştir. Her 20 ms’lik periyot içerisinde alınan veriler sınıflandırılarak sistemin kontrolü sağlanmıştır. Kullanıcı sistemi kontrol edebilmek için öncelikli olarak yumruk hareketini yapmalıdır. Sistem kullanıcının yumruk hareketini algıladıktan sonra tespit edilen yaw açısı sistemin başlangıç açısı olarak kabul edilmektedir. Başlangıç açısı alındıktan sonra herhangi bir alınan bir örnekteki yaw açısı ile başlangıç açısı arasındaki fark bulunmaktadır. Elde edilen bu fark değerine bakılarak motor sürücülerine gönderilen PWM sinyalinin doluluk-boşluk değerleri ayarlanarak tekerlekli sandalyenin kontrolü sağlanmıştır. Eğer fark açısı negatif ise tekerlekli sandalyenin sistemi sola, fark açısı pozitif ise tekerlekli sandalye sistemi sola döndürülmektedir.

Kullanıcının sistemi kolay kontrol edebilmesi için yaw açısı seçilmiştir.

4. Sonuçlar

Yapılan çalışma sonucunda kullanıcının sistemi başarılı bir şekilde kontrol edebildiği gözlenmiştir. Sistemdeki güvenli navigasyon algoritmasının başarılı bir şekilde çalıştığı ve sistemin etrafındaki herhangi bir nesneye çarpmadan ilerleyebildiği gözlenmiştir.

5. Kaynakça

- [1] <https://www.thalmic.com/myo/> (Ziyaret Tarihi: 22.01.2015)
- [2] <https://www.liveathos.com/> (Ziyaret Tarihi: 22.01.2015)
- [3] İ. Özkök, G. Kucukyildiz, S. Karakaya and H. Ocak, “Kinect Sensörü Kullanılan Görüntü İşleme Tabanlı Koli Hacim Ölçüm Sistemi,” SIUİ, Malatya 2015
- [4] H. Ocak, M. Ambarkutuk, G. Kucukyildiz, S. Karakaya, “Kinect Tabanlı Robot Kolu Kontrolü,” Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Malatya 2013
- [5] R. Kh. Sadykhov and S. A. Kuchuk, “Background subtraction in grayscale images algorithm,” IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS), Vol:1, pp. 425–428, September 2013.
- [6] W.Y. Chang and C.C. Chiu, “An efficient scan algorithm for block-based connected component labeling,” IEEE 22nd Mediterranean Conference of Control and Automation (MED), Vol:1, pp. 1008–1013, June 2013.