



# Low Cost Hand Gesture Recognition System Design

Cihan Yıldırım<sup>1</sup>, Veysel Gökhan Böcekçi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3462-8723)

<sup>2</sup> Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4559-7173)

(First received 11 February 2020 and in final form 20 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.687860)

**ATIF/REFERENCE:** Yıldırım, C. & Böcekçi, V. G. (2020). Low Cost Hand Gesture Recognition System Design. *European Journal of Science and Technology*, (18), 675-682.

## Abstract

Today, hand gesture recognition attracts and is used in terms of computer vision, pattern recognition and human computer interaction applications. Popular sensor types used in hand gesture recognition detection are Kinect, Leap motion and time of flights sensors. In this study, a compact system designed to detect hand movements in real time and transform them into commands using ToF based optical sensor, microcontroller and bluetooth module. The sensor unit is particularly important in the recognition of movements. Glove-based motion interfaces typically require the user to plug in a bulky device and carry a cable load that connects the device to a computer. This prevents the ease and naturalness of the user's interaction with the computer. Vision-based systems are less immune to physical effects. In order for the system to work stable, the user must be in the correct position in front of the sensor and must make hand movements under sufficient light. This makes it difficult to use as well as introduces various restrictions. Optical sensor based systems are preferred with their affordable cost, low power consumption and easy-to-apply features. The optical sensor used in our study can measure up to 20cm with 1mm sensitivity. Hand and finger movements are monitored by the optical sensor and sensing can be done without the need for hardware equipment such as instrumented gloves or video cameras. Microcontroller unit is used to define and classify hand movements. Control signals are sent to other devices via the Bluetooth module. The realized system translates four different hand gestures it detects into commands defined as *Close/Open*, *Next*, *Previous* and *Click/Select*.

**Keywords:** Gesture recognition, Time of flight sensor, Real time tracking.

## Düşük Maliyetli El Jestleri Tanıma Sistem Tasarımı

### Öz

Günümüzde el jestleri tanıma; bilgisayarlı görü, örüntü tanıma, insan bilgisayar etkileşimi uygulamaları açısından ilgi çekmekte ve kullanılmaktadır. El jestleri algılamada kullanılan popüler sensör tipleri, Kinect, Leap motion ve uçuş süresi (ToF) sensörleridir. Bu çalışmada uçuş süresi temelli çalışan optik sensör, mikrodenetleyici, bluetooth modül kullanılarak el hareketlerini gerçek zamanlı olarak algılayarak komuta dönüştüren kompakt bir sistem tasarlanmıştır. Hareketlerin tanınmasında algılayıcı birim özellikle önem taşımaktadır. Eldiven tabanlı hareket arabirimleri tipik olarak kullanıcının hantal bir aygıt takmasını ve genellikle aygıtı bir bilgisayara bağlayan bir kablo yükü taşımasını gerektirir. Bu, kullanıcının bilgisayarla etkileşiminin kolaylığını ve doğallığını engeller. Vizyon tabanlı sistemlerin ise fiziksel etkilere karşı bağışıklığı daha zayıftır. Sistemin kararlı çalışabilmesi için kullanıcının algılayıcı önünde doğru pozisyonda bulunması ve yeterli ışık altında el hareketlerini yapması gerekmektedir. Bu da kullanımı zorlaştırdığı gibi çeşitli kısıtlamalar da getirmektedir. Optik sensör tabanlı sistemler, uygun maliyet, düşük güç tüketimi ve kolay uygulanabilir özellikleri ile tercih edilmektedir. Çalışmamızda kullanılan optik sensör 1 mm hassasiyette, 20cm'ye kadar ölçüm yapabilmektedir. El, parmak hareketleri optik sensör tarafından izlenmekte ve enstrümantal eldiven veya video kamera gibi donanım ekipmanlarına gerek olmaksızın algılama yapılabilmektedir. Mikrodenetleyici birimi el hareketlerini tanımlamada ve sınıflandırmada kullanılmaktadır. Bluetooth modül üzerinden diğer aygıtlara kontrol sinyalleri gönderilmektedir. Gerçekleştirilen sistem algıladığı dört farklı el hareketini *Kapatma/Açma*, *İleri gitme*, *Geri gitme* ve *Tıklama/Seçme hareketi* olarak tanımlanan komutlara çevirmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Jest tanıma, Uçuş süresi sensörü, Gerçek zamanlı izleme.

\* Corresponding Author: Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4559-7173, [vgbocekci@marmara.edu.tr](mailto:vgbocekci@marmara.edu.tr)

## 1. Giriş

Hareket tanıma, insan-bilgisayar etkileşiminin gelişen araştırma alanındaki ana bileşenlerinden biridir. Farklı el ve kol hareketlerinin tanınması, elektronik cihazlarla akıllı etkileşimler sağladığı için, giderek daha önemli hale gelmektedir (Pigou ve ark, 2018).

Hareketler uzun zamandır bilgisayarlarımızla iletişim kurmanın daha doğal, yaratıcı ve sezgisel yollarını sunabilen bir etkileşim tekniği olarak kabul edilmektedir (Rautaray & Agrawal, 2015). Yapay sinir ağları yöntemlerini kullanarak el hareketlerini tanımlayan çalışmalar mevcuttur. EMG sinyallerinin analizine dayalı test düzeneğinde ANN ve Bulanık mantık sınıflandırıcıları kullanılmış ve 7 farklı hareket için %90'ların üzerinde başarımlar sağlanabilmiştir (Başpınar ve ark, 2012).

Hareket tanımadaki, el hareketi tanıma gerek uygulama alanlarının fazlalığı gerekse de kolay uygulanabilir olmasından dolayı en popüler alanlardan biridir. Bu alanda kullanılan başlıca yöntemler, Kinect, Leap motion, ve uçuş süresi (ToF) şeklinde listelenmektedir (Cheng ve ark, 2015).

Her algılama teknolojisi, doğruluk, çözünürlük, gecikme süresi, hareket açıklığı, kullanıcı rahatlığı ve maliyet gibi çeşitli boyutlarda değişiklik gösterir. Eldiven tabanlı hareket arabirimleri tipik olarak kullanıcının hantal bir aygıt takmasını ve genellikle aygıtı bir bilgisayara bağlayan bir kablo yükü taşımasını gerektirir. Bu, kullanıcının bilgisayarla etkileşiminin kolaylığını ve doğallığını engeller. Vizyon temelli teknikler, bunun üstesinden gelmekle birlikte, kullanıcının vücudunun bölümlerinin tıkanması ile ilgili diğer problemlerle mücadele etmeleri gerekir. İzleme cihazları, kullanıcının eli hareket ederken parmakların hızlı ve ince hareketlerini algılayabilsede, vizyon tabanlı bir sistem, parmak hareketinin tipini genel olarak algılar. Yine, görmeye dayalı cihazlar, bir hareketi analiz etmek için doku ve renk gibi özellikleri işlerken, izleme cihazları da yapamaz (Mitra & Acharya, 2007). Ayrıca vizyon temelli teknikler kullanılan çeşitli algoritmalar kimi zaman gerçek zamanlı uygulamalar için yavaş kalırken kimi zamanda arkaplan ayırmada yetersiz kalmaktadırlar (Fang ve ark, 2007).

Vizyon tabanlı sistemlerin fiziksel etkilere karşı bağımsızlığı daha zayıftır. Sistemin kararlı çalışabilmesi için kullanıcının algılayıcı önünde doğru pozisyonda bulunması ve yeterli ışık altında el hareketlerini yapması gerekmektedir. Bu da kullanımı zorlaştırdığı gibi çeşitli kısıtlamalar da getirmektedir.

El hareketlerini tanıma, otomobillerde temassız arayüzler tasarlamak için önemlidir. Bu arayüzler sürücülerin ses ve klima gibi diğer kontrollerle etkileşime girerken sürüşe odaklanmalarını sağlar ve böylece sürücülerin güvenliğini ve konforunu artırır. 3D evrişimli sinir ağları ile dinamik el hareketi tanıma etkili bir yöntemdir ve %77.5 sınıflandırma başarısına ulaşabilmiştir (Molchanov ve ark, 2015).

Dinamik el hareketi tanıma, örüntü tanıma ve bilgisayar görme topluluklarında çok önemli ama zorlayıcı bir görevdir. Wei ve arkadaşları, dinamik el hareketlerini temsil etmek için uygun olan ve sadece bir Leap Motion kontrol cihazı (LMC) ile dinamik el hareketlerini tanımak için yeni bir özellik vektörü önermişlerdir. Tanıma doğruluğu LeapMotion-Gesture 3D veri kümesi için %89,5 ve el hareketleri veri kümesi için %95,0 oranları elde edilmiştir (Lu ve ark, 2016).

Cheng ve arkadaşlarının Kinect, Leap motion ve ToF sensörlerin başarısını inceledikleri makalelerinde leap motion sensörlerinin Kinect'e göre çözünürlük, doğruluk, mesafe gibi başlıklarda öne geçtiği raporlanmıştır. Kinect sensörler daha çok bedene odaklanmışken leap motion sensörler ise el hareketlerine odaklanmaktadır. Aynı çalışmada statik el duruşu tanıma ile ilgili olarak, ToF sensörlerinin elin yönüne, büyüklüğüne ve karmaşık arka planlarına göre oldukça verimli ve sağlam olduğu bildirilmiştir. Mesafe ölçüm görevi için doğruluğu ve sağlamlığı nedeniyle işaret dili tanıma gibi çalışmalarda da etkin olarak kullanıldığı belirtilmektedir (Cheng ve ark, 2015).

Fang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada video tabanlı el hareketleri tespit ve izleme sistemi gerçekleştirmişlerdir. Video tabanlı çalışmalarda arka plan problemine dikkat çekmişlerdir. El tanıma ve izlemede optik akış ve renk işaretleme metodlarını kullanmışlardır. Kullandıkları çoklu algoritmalar ile 6 adet el hareketini başarılı bir şekilde tanımlamışlardır (Fang ve ark, 2007).

Kurakin ve arkadaşları derinlik kamerası kullanarak yaptıkları çalışmada 12 adet Amerikan işaret dili (ASL) hareketinden oluşan bir veri seti oluşturmuşlardır. Önerdikleri Saklı Markov Modeli (HMM) başarı oranında diğer çalışmalara benzerlik göstermekle birlikte daha az eğitim verisine ihtiyaç duymaktadır (Kurakin ve ark, 2012).

Gerçekleştirdiğimiz çalışmada kullanıcı konforunu düşüren eldiven tabanlı veya çeşitli hız ve arkaplan algılama problemleri oluşan ve bunları aşmak için daha kompleks algoritmalar kullanım gereği olan video tabanlı sistemler yerine ToF sensörleri temel alan bir sistem gerçekleştirilmiştir. Bu sistemde isteğe bağlı belirlenen hareketler algılanarak bilgisayar başta olmak üzere sayısal sistemlere kontrol işareti üretmektedir. Çalışmamızda donanım modülü kompakt ve düşük maliyetli olacak şekilde seçilmiştir. Gerçek zamanlı çalışmalarda hızlı ve etkin şekilde cevap verebilmektedir.

Sadece iki adet ToF sensör ile birkaç tane el hareketi çok rahat algılanabilmek ile birlikte bu durum maliyet, güç tüketimi ve donanımın kapladığı yer açısından diğer yöntemlere göre avantaj sağlamaktadır. Özellikle küçük boyutlara ve düşük güç tüketimine sahip olması, giyilebilir cihazlar için kritik önem arz etmektedir. Kablosuz çalışan giyilebilir cihazların bir diğer avantajı da kullanıcının kamera önünde ya da belirli bir bölge içinde bulunma zorunluluğu almaksızın serbestçe hareket edebilmesine imkân sağlamasıdır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Donanım

El hareketi tanıma sistemi donanım bileşenleri, ToF sensör, bluetooth modül, mikrodenetleyici ve güç katından oluşmakta olup Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. El hareketi tanıma sistemi donanımı

### 2.1.1. VL6180 Modül

VL6180 modülü yaklaşım dedektörü ve ortam ışık şiddetinin ölçümü amacıyla tasarlanmış bir sensördür. Üzerinde infrared alıcı verici ve ortam ışığının parlaklığını ölçen yapıyı barındırmaktadır. Bu çalışmada sensörün kullanım amacı yaklaşım sensörü özelliğidir. Sensör 1mm hassasiyetle yaklaşık 20cm mesafeye kadar ölçüm yapabilmektedir.

### 2.1.2. Bluetooth Modül

HM-11, Bluetooth modül BLE 4.0 protokolü ile çalışmaktadır. Üzerinde TI CC2541 bluetooth entegresi bulunmaktadır. BLE Modül ön tanımlı olarak 9600bps hızında, 8 bit data modunda, eşlik biti olmadan ve 1 bit durma biti ile (8,N,1 modunda) TTL seviyede üniversal asenkron seri (UART) data haberleşmesi üzerinden AT komutları ile kontrol edilebilen bir bluetooth modülüdür.

### 2.1.3. Mikrodenetleyici

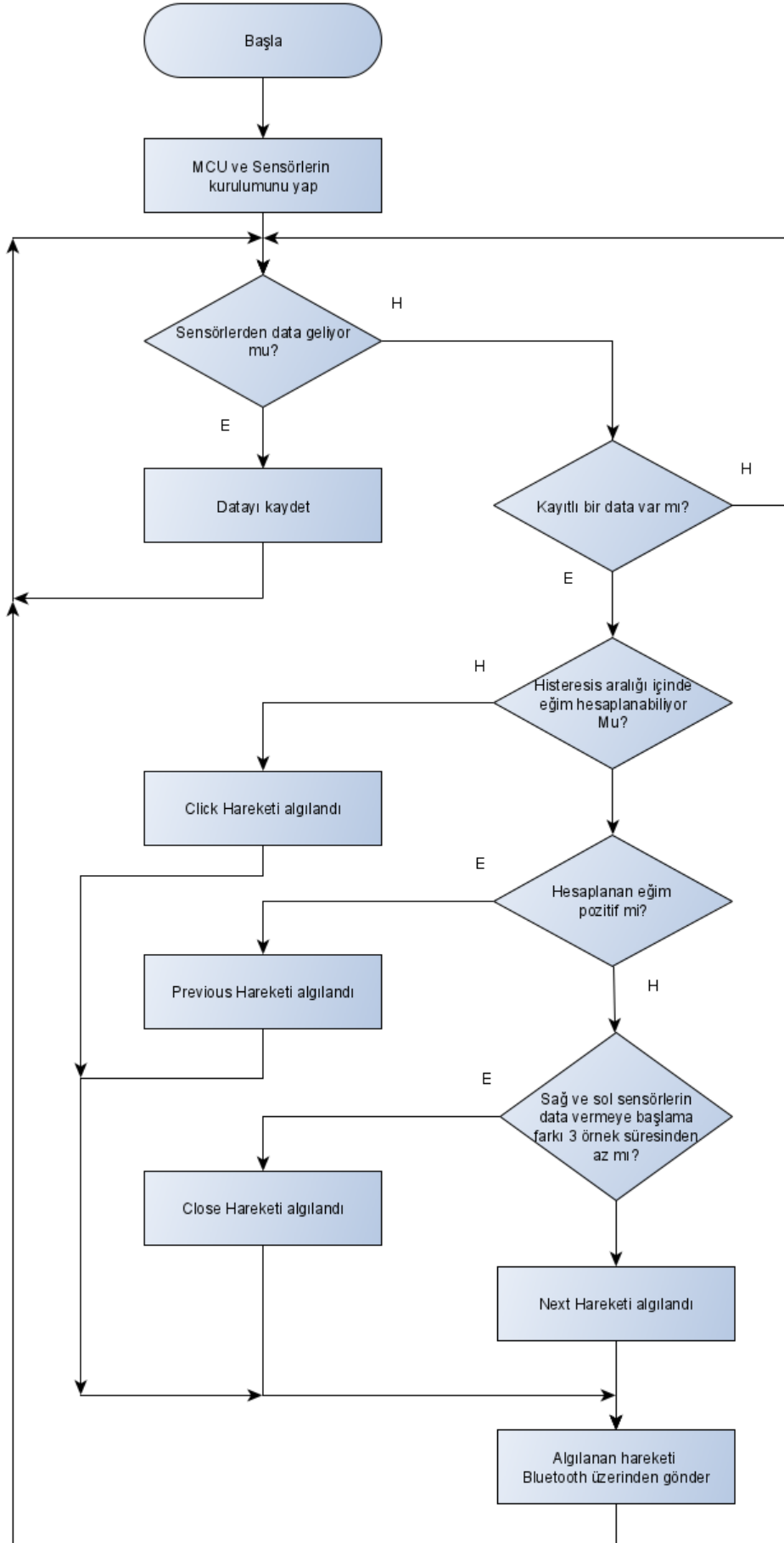
Microchip PIC serisindeki PIC16F1829 mikrodenetleyicisi 20 pinli MCU’ları arasında en yüksek ram ve flash hafızaya sahip MCU’lardan birisidir. Bu MCU ekstrem düşük güçlü (XLP serisi) bir MCU olduğu ve kapasite olarak yeterli olduğu için projede tercih edilmiştir. MCU, maksimum çalışabildiği frekans olan 32Mhz hızında çalışmakta olup Bluetooth modül için UART donanımı ve ToF sensörler için de I2C arabirimleri kullanılmıştır.

### 2.1.4. Güç Katı

Bu çalışma için gerçekleştirilen devre, li-ion pil veya usb voltajı ile çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bu da değişken voltaj aralığının olması sebebiyle bir voltaj regülatörü kullanma ihtiyacı doğurmuştur. Kısıtlı pcb alanı olduğundan ve maliyetleri düşürme maksadıyla basit bir lineer regülatör kullanılmıştır. Bluetooth modülün tipik çalışma voltajı 3.2V olduğu ve diğer bütün komponentler (PIC ve ToF modülleri) bu voltajda çalışabildiği için devrenin çalışma voltajı 3.2V olarak seçilmiştir. Tek hücreli li-ion piller boşken 3.6V’a kadar inebilmektedir. Dolayısıyla bu durumda regülatörün giriş ve çıkış voltajı arasındaki en küçük fark 400mV ‘lara kadar düşeceği için LDO özellikli bir lineer regülatör kullanmak regülasyonun kalitesi açısından önem arz etmektedir. Bu özelliği ile birlikte çalışabilmek için az kompanenete ihtiyacı duyması, yeterli akımı verebilmesi ve boyutunun küçük (Sot-23 kılıf) olması sebebiyle MCP1700 LDO regülatörü devrede kullanılmak üzere seçilmiştir. MCP1700-3.3 Versiyon maksimum 6V’a kadar giriş kabul eder ve çıkışını 3v3 değerinde sabitler. Ayrıca oldukça düşük bir çalışma akımına sahiptir. Maksimum çıkış akımı ise 250mA’ya kadar çıkabilmektedir. Devremiz sürekli çalışma halinde ortalama 100mA civarı bir akım harcadığı için bu regülatör rahatlıkla işimizi görecektir.

## 2.2. Yazılım

Bu çalışma için oluşturduğumuz yazılımın akış şeması Şekil 2’de verilmiştir. MCU ve çevre birimlerinin kurulum işlemi yapıldıktan sonra yazılım sensörlerden veri bekler. Sensörlerden okunan ilk data ile birlikte yazılım datayı 10mS aralıklarla 512 baytlık bir diziye kaydeder. Bu kayıt işlemi dizi boyutu dolana ya da sensörler veri vermeyi bırakana kadar devam eder. Kayıt işlemi tamamlandıktan sonra veri analiz kısmı başlar. Analiz sonucu BLE modül üzerinden gönderilerek yazılım tekrar başa döner ve yeni bir ölçüm için sensörlerden data bekleme devam eder. Analiz ile ilgili kısımların detayları ilerleyen kısımlarda anlatılacaktır.

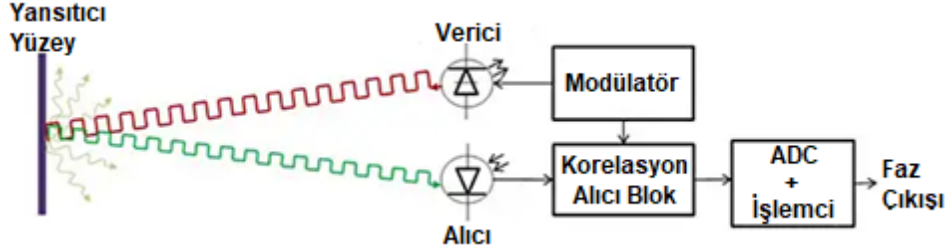


Şekil 2. Oluşturulan programın akış diagramı

## 2.3. Metot

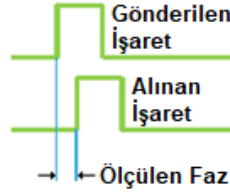
### 2.3.1. Uçuş Süresi Tekniği Prensihi

Şekil 3’de görüldüğü gibi, ToF kameralar ışık palsleri gönderme esasına göre çalışmaktadır. Bu palsler ile sensörün verici ledinden çok kısa süreli ışık darbeleri çıkar. Bu ışık darbeleri karşıdaki nesneden yansiyarak infrared alıcı detektöre ulaşır.



Şekil 3. ToF sensör algılama prensibi

Aradaki mesafeye göre ışık darbelerinin detektöre ulaşmasında bir gecikme oluşmaktadır. Bu durum iki sinyal arasında faz farkı meydana getirmektedir. Bu faz farkı Şekil 4’de görüldüğü gibi oluşmaktadır. Gönderilen ışık palsi ile gelen ışık palsi arasında oluşan faz farkına göre mesafe hesaplanabilmektedir.



Şekil 4. Gönderilen ve alınan dalga arasında oluşan faz farkı

Gönderilen ışık palsi ile gelen ışık palsi arasında oluşan faz farkına göre denklem 1 ile mesafe hesaplanmaktadır.

$$d = \frac{t_p}{2} c \quad (2)$$

Bu eşitlikte;

d: ölçülen mesafe,

$t_p$ , foton seyahat süresi,

c, ışık hızını

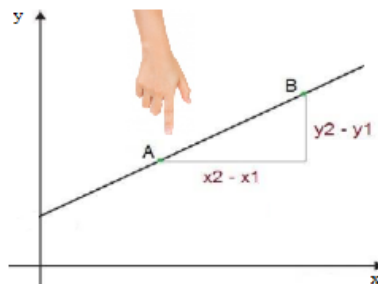
ifade etmektedir.

### 2.3.2. El Hareketi Algılama Sistemi Prensihi

Gerçekleştirilen sistem sırasıyla, Kurulum, veri yakalama ve depolama, elde edilen verilerin özelliklerinin çıkarılması ve analiz edilmesi, verilen kararların bluetooth üzerinden bir başka aygıtta gönderilmesi aşamalarına göre işlemektedir.

Algılamada kullanılan ToF sensörleri 2 tanedir. Bu sayede x ve y eksenini olmak üzere iki boyutlu bir alan elde edilmektedir. Bu sayede 2D tarama alanına giren önceden tanımlı belirli el hareketlerinin tespiti ve sınıflandırması yapılabilmektedir.

Çalışmamızda el hareketlerine bağlı olarak x ve y eksenini oluşturacak şekilde diziler oluşturulmuştur. Özellik çıkartımı bu verilerden yola çıkılarak yapılmıştır. Bu özellikler el hareketlerini ayırtırmakta kullanılmıştır. Şekil 5’de görüldüğü gibi x eksenini örnek sayısını ve y eksenini ise parmağın sensörden uzaklaşma ve yaklaşma miktarını göstermektedir.



Şekil 5. Veri toplama prensip şeması

Her 20mS’de bir sensörlerden veri okunmakta ve kaydedilmektedir. Kaydedilen x ve y verilerinden Denklem 2 kullanılarak eğim bulunmakta, ardışık iki kayıt arasındaki eğim parmağın hareketini tanımlamakta kullanılmaktadır.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

$y_2$ : parmak hareketinin düşeyde ulaştığı son nokta,

$y_1$ : parmak hareketinin düşeyde başladığı ilk nokta,

$x_2$ : parmak hareketinin yatayda ulaştığı son nokta,

$x_1$ : parmak hareketinin yatayda başladığı ilk noktayı

ifade etmektedir.

Çalışmamızda Sensörden uzaklaşmanın olduğu *ileri gitme* ve *kapatma* gibi hareketlerde eğim negatif çıkarken sensöre yaklaşmanın olduğu hareketlerde eğim pozitif çıkmaktadır. Yani sadece iki nokta arasındaki değişimin yönüne bakarak *geri gitme* hareketi tanımlanabilmektedir. Ancak kararlı ve güvenli bir çalışma için bundan daha fazlasına bakmak gerekmektedir. Çünkü *seçme hareketi* yanıltıcı olabilmektedir. *Seçme hareketinde* parmak sensör bölgesine indirilip kaldırılır. Bu esnada biraz açılı bir hareket yapılırsa eğim pozitif de negatif de olabilmektedir. Bunu önlemek için bir takım güvenlik önlemleri alınmıştır.

Bunlardan en önemlisi; ayrıık zamanlı ölçümlerdeki her bir noktasal değişimin işleme sokulması için bu değişimin mutlak değerinin 10’ dan büyük olma koşulu koyulmuştur. Yani 10mm’den küçük yer değiştirmeler sensör yanılıgısı veya *seçme hareketini* yaparken ki parmak açısı olabilir olarak kabul edilmiştir. Bu değer Debug modundaki test ölçümlerinin incelenmesi ile bulunmuş bir değerdir.

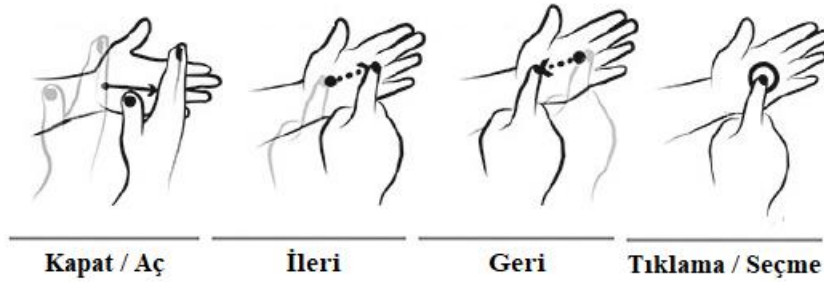
*Geri gitme* hareketini tanımlamak için ardışık iki ölçüm arasındaki yer değiştirme 10mm’den büyük olan noktaların eğimlerine bakılmakta en az 2 veya daha fazla pozitif eğimli noktanın varlığında bundan daha az sayıda negatif eğimli nokta varsa hareket yönü *geri gitme* olarak belirlenmektedir.

*İleri gitme* ve *kapatma* hareketlerinde ise bu yazılan koşulların eğimlerinin tam tersi olduğu durumlar geçerlidir. *Kapatma hareketini ileri gitme* hareketinden ayıran durum ise *kapatmada* hareket başlangıcında iki sensör birden kapatılırken *ileri gitme* de başlangıçta sensörlerden biri kapatılarak başlanmaktadır. Bu ayrıma bakılarak hareketin hangisi olduğuna karar verilmektedir. Bu üç harekete de uymayan bir hareketlilik tespit edildiğinde ise bu hareket *seçme hareketi* olarak değerlendirilmektedir.

Bir önceki fazda tespit edilen işaretin tanımlı komut değeri seri port üzerinden bluetooth vasıtasıyla bağlı bulunulan diğer BLE4.0 aygıtına gönderilerek süreç tamamlanmakta ve döngünün başına dönülmektedir.

#### 2.4. Hareketlerin Tanımı ve Sensörlerin Yerleşimi

Şekil 6’da soldan sağa doğru sırasıyla *Kapatma/Açma*, *İleri gitme*, *Geri gitme* ve *Seçme hareketi* olarak tanımlanan hareketlerin temsilli görselleri bulunmaktadır (CHI '16, 3944--3955).



Şekil – 6 üzerinde çalışma yapılan 4 temel jest hareketi

*Kapatma / Açma hareketi* sol el avuç içi yukarı bakacak şekilde konumlandırıldıktan sonra sağ elin sol eli şeklindeki gibi dik keserek ok yönünde sürülmesi ile yapılan harekettir. Sağ elin parmakları birleşik ve düz konumda olmalıdır.

*İleri ve geri gitme hareketleri* sol el avuç içi yukarı bakacak şekilde konumlandırıldıktan sonra sağ elin işaret parmağının şeklindeki gibi ok yönünde sürülmesi ile yapılan harekettir. İleri giderken sağ elin hareket yönü parmak uçlarına doğru olurken geri gelme hareketinde ise tam tersi yöndedir.

*Tıklama / Seçme hareketleri* sol el avuç içi yukarı bakacak şekilde konumlandırıldıktan sonra sağ elin işaret parmağının şeklindeki gibi sol elin avuç içi bölgesine yukarıdan dik olarak indirilip kaldırılması ile elde edilen harekettir. Bir sefer indirilip kaldırıldığında tek tıklama, ardışık olarak belli bir süre içerisinde iki sefer indirilip kaldırıldığında çift tıklama olarak yorum yapılabilir. Böylece her bir hareket için farklı fonksiyon atamaları yapmak mümkün olmaktadır.

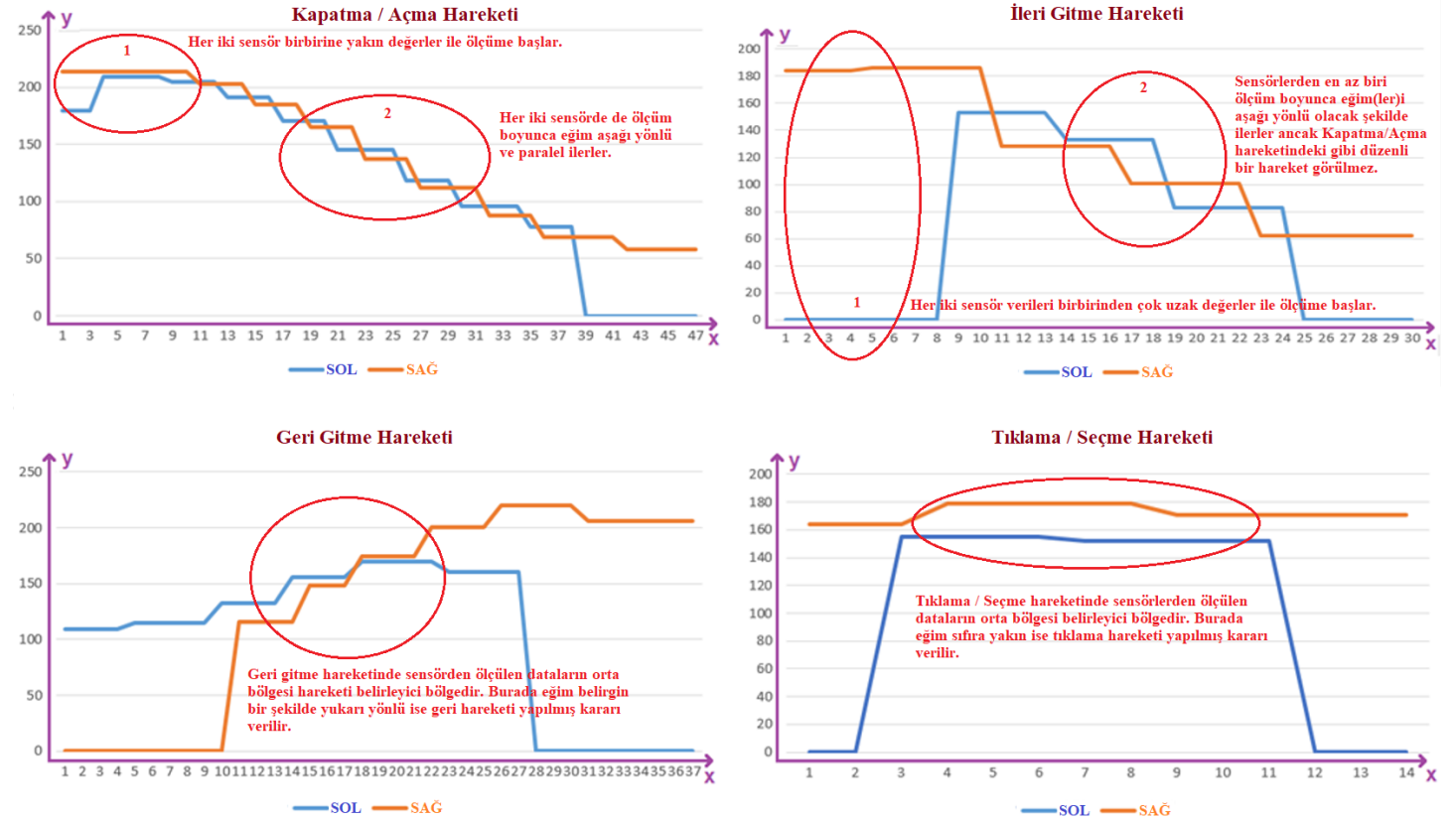
Devre bilek altına gelecek şekilde bir bileklik şeklinde sol el bileğine takılabilir. Sensörlerin sol elin avuç içini tarayacak şekilde konumlandırılması önemlidir. Böylece sol elin üzerinde hareket ettirilen sağ elin hareketleri net bir şekilde takip edilebilecektir. Kullanıcı kendi isteğine göre sol ve sağ el kullanımını yer değiştirebilir.

### 3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

#### 3.1. Sonuçlar

Hareketlerin sinyal grafikleri:

Şekil 7’de sağ ve sol sensörlerden 10mS aralıklarla örneklenen 4 adet jeste ait veri setinin grafikleri görülmektedir. Bu grafikler hareket esnasında doğrudan sensörlerden alınan örneklerin BLE modül üzerinden bilgisayara aktarılması ile elde edilmiştir. Hareket sinyallerinin analizinde temel olarak iki tane kritik bölge vardır. İlk ölçüme başlanan zaman dilimini kapsar. Bu bölge Şekil 7’de *kapatma ve ileri gitme* hareketleri için 1 nolu bölge olarak gösterilmiştir. İkincisi ise Jest verilerinin orta bölgesidir. Şekil 7’deki *kapatma ve ileri gitme* hareketleri için belirtilen 2 nolu bölge ile *geri gitme ve seçme* hareketlerindeki daire içine alınan bölgeler ise orta bölge alanını tanımlamaktadır. *Geri gitme ve seçme* hareketlerinde sadece orta bölgedeki verileri incelemek yeterlidir çünkü eğimi yukarı yönlü veya sıfır olan başka Jest sisteme tanıtılmamıştır. Bu da karar vermeyi kolaylaştırmaktadır. *Kapatma hareketi* ile *ileri gitme hareketini* birbirinden ayıran en temel özellik 1 numara ile gösterilen başlangıç bölgesidir. *Kapatma hareketinde* her iki sensör verisi de birbirine çok yakın değerler ile başlarken *İleri gitme hareketinde* sensörlerden toplanan (en az) ilk üç örneğin birbirine çok uzak değerler ihtiva ettiği görülmüştür. Bununla birlikte 2 numara ile gösterilen orta bölgede *Kapatma hareketindeki* aşağı yönlü eğim içeren paralellik her iki sensörde de yakın değerlerde seyrederken *ileri gitme hareketinde* bu bölge de sensörlerden herhangi birinde aşağı yönlü eğim görmek bu hareketi anlamak için yeterli olmaktadır.



Şekil – 7 El hareketlerinden alınan sensör verileri

Sensörlerden toplanan veriler analiz edilmeden önce MCU içerisinde 512 baytlık bir diziyeye kaydedilir. Kayıt işlemi, takip edilecek elin sensörün taradığı bölgeye girmesi ile başlatılır ve parmağın çekilmesi ya da hareketin 5 saniyeden uzun sürmesi durumunda dizinin dolması ile bitirilir. Dolayısıyla tüm jestler en fazla 5 saniye içinde tamamlanacak şekilde seçilmiştir. Kayıt işlemi tamamlandıktan sonra özellik çıkarma işlemine başlanır ve tanımlanan 4 adet jeste ait belirgin özellikler kayıt alınan veriler içinde yukarıda bahsedilen yöntemler doğrultusunda analiz edilir.

#### 3.2. Tartışma

Tanımlanacak jest sayısı artırılması istenilen durumda daha çok belirleyici özellik çıkartmak ve daha derin analizler yapmak gerekecektir. Sensör verilerine ortamdan kaynaklanan sebeplerden dolayı gürültü karışma durumu oluşursa örnekleme periyodunu düşürüp birim zamanda daha çok veri toplayarak bunların ortalaması sonucunda işlem yapmak daha doğru sonuçlar üretecektir. Ortalama sonucunu daha kararlı hale getirmek için birim zamanda toplanan veri gurubu içindeki en büyük ve en küçük veriyi ortalama dışında bırakmak daha kararlı sonuçlar verebilir.

## 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada el hareketlerine göre komut oluşturan gerçek zamanlı olarak çalışan bir sistem gerçekleştirilmiştir. Maliyet ve kurulum kolaylığı gibi avantajlarından dolayı el hareketlerini algılamak için ToF sensörleri tercih edilmiş olup hata riskini en aza indirmek için iki adet optik sensörle net olarak algılanabilecek basitlikteki el hareketleri seçilmiştir. Bu sayede düşük maliyet ve yüksek kararlılık ile sistem çalıştırılabilmektedir. Yapılan denemelerde el pozisyonu ve sensör yerleşimi doğru konumlandırıldığı takdirde ortalama olarak %87 'nin üzerinde doğru çalışma oranı kaydedilmiştir. İki adet ToF sensörün kullanılmasıyla birlikte sensörlerin taradığı yüzey üzerinde 10cm x 20cm 'lik tarama alanı oluşturulmuştur.

Yazılım kısmında oluşturulan kural tabanı ile farklı el hareketleri sınıflandırılmıştır. El hareketlerinin karıştırılmaması ve yanlış algılamaya meydan verilmemesi için eksen dizileri oluşturulmuştur. Eksen dizilerinden elde edilen veriler ile eğim ve mesafe algılama ve sınır değer belirleme işlemleri yapılmıştır. Sınıflandırılan el hareketlerinden uygulamada sıklıkla kullanılan *Kapatma/Açma*, *İleri gitme*, *Geri gitme* ve *Seçme* komutları üretilmiştir. Yazılım için yeterli ram ve flash hafızaya sahip küçük boyutlu MCU birimi kullanılmıştır. Kontrol edilecek cihaza erişim bluetooth modül ile sağlanmıştır. Tanımlı jest sayısı artırılmak ya da kişisel jest tanımlaması yapılmak istendiğinde kararlılığı artırmak için bulanık mantık algoritmalarını kullanmak daha başarılı sonuçlar sağlayabilir.

Sensör sayısı artırılarak çözünürlüğün artması ve daha çok jestin algılanabilmesini mümkündür. Çok sayıda sensör kullanılmak istendiğinde fiziksel sınırların zorlayıcı olduğu yerlerde ToF sensörü yerine üzerinde mikron seviyesinde yüzlerce foton algılayıcı barındıran lineer imaj sensörleri özellikle maliyet baskısının önemli olmadığı çalışmalarda tercih edilebilir. Genellikle barkod okuyucularda da kullanılan bu sensörler yakın mesafede yüksek çözünürlüklü görüntü aldığından jestlerin algılanmasında iyi bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Liner görüntü sensör dizilerinin IR duyarlı algılayıcı hücrelere sahip olan modellerinin tercih edilmesi özellikle gün ışığının yoğun olduğu ortamlarda sağlıklı bir çalışma yapılabilmesi açısından faydalı olacaktır. Zira ToF sensörleri IR tabanlı çalıştığı için görünür ortam ışığına karşı bağımsızlığa sahiptir.

## Referanslar

- Pigou, L., Van Den Oord, A., Dieleman, S., Van Herreweghe, M., & Dambre, J. (2018). Beyond temporal pooling: Recurrence and temporal convolutions for gesture recognition in video. *International Journal of Computer Vision*, 126(2-4), 430-439.
- Rautaray, S. S., & Agrawal, A. (2015). Vision based hand gesture recognition for human computer interaction: a survey. *Artificial intelligence review*, 43(1), 1-54.
- Baspinar, U., Varol, H. S., & Yildiz, K. (2012, July). Classification of hand movements by using artificial neural network. In *2012 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications* (pp. 1-4). IEEE.
- Cheng, H., Yang, L., & Liu, Z. (2015). Survey on 3D hand gesture recognition. *IEEE transactions on circuits and systems for video technology*, 26(9), 1659-1673.
- Mitra, S., & Acharya, T. (2007). Gesture recognition: A survey. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 37(3), 311-324.
- Fang, Y., Wang, K., Cheng, J., & Lu, H. (2007, July). A real-time hand gesture recognition method. In *2007 IEEE International Conference on Multimedia and Expo* (pp. 995-998). IEEE.
- Molchanov, P., Gupta, S., Kim, K., & Kautz, J. (2015). Hand gesture recognition with 3D convolutional neural networks. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops* (pp. 1-7).
- Lu, W., Tong, Z., & Chu, J. (2016). Dynamic hand gesture recognition with leap motion controller. *IEEE Signal Processing Letters*, 23(9), 1188-1192.
- Kurakin, A., Zhang, Z., & Liu, Z. (2012, August). A real time system for dynamic hand gesture recognition with a depth sensor. In *2012 Proceedings of the 20th European signal processing conference (EUSIPCO)* (pp. 1975-1979). IEEE.
- Oğuz Turan Buruk and Oğuzhan Özcan. GestAnalytics: Experiment and Analysis Tool for Gesture-Elicitation Studies. *Proc. DIS '17 Companion*.
- Mert Canat, Mustafa Ozan Tezcan, Celalettin Yurdakul, Eran Tiza, Buğra Can Sefercik, Idil Bostan, Oğuz Turan Buruk, Tilbe Göksun, and Oğuzhan Özcan. 2016. Sensation: Measuring the Effects of a Human-to-Human Social Touch Based Controller on the Player Experience. *Proc. CHI '16*, 3944--3955.