

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

ARAŞTIRMA PROBLEMLERİ

BEYİN BİLGİSAYAR ARAYÜZÜ İLE DRONE HAREKETİ

ENES TELLİ
YUSUF HAMZA ÖZÇELİK

KOCAELİ 2021

DANIŞMAN

Doç. Dr. PINAR ONAY DURDU

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması bitirme projesi öncesi yapılan araştırmayı sunmak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Amacı beyin dalgalarının kontrolünde kullanılan EEG cihazı yardımıyla bir drone'un kontrol edilmesi olan projemizde merkezi sinir sistemi hastalıklarına sahip insanların hayatlarını kolaylaştırmak asıl hedeflerdendir.

Tez çalışmamızda desteğini esirgemeyen, çalışmalarımıza yön veren Doç. Dr. Pınar Onay DURDU hocamıza sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

Aralık – 2021

Enes TELLİ
Yusuf Hamza ÖZÇELİK

Bu dokümandaki tüm bilgiler, etik ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilip sunulmuştur. Ayrıca yine bu kurallar çerçevesinde kendime ait olmayan ve kendimin üretmediği ve başka kaynaklardan elde edilen bilgiler ve materyaller (text, resim, şekil, tablo vb.) gerekli şekilde referans edilmiş ve dokümanda belirtilmiştir.

Öğrenci No: 180201099

Adı Soyadı: Enes TELLİ

İmza:

Öğrenci No: 200201112

Adı Soyadı: Yusuf Hamza ÖZÇELİK

İmza:

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	i
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
GİRİŞ	1
1. ALAN YAZIN ARAŞTIRMASI.....	3
1.1. Haberleşme Yöntemleri.....	3
1.1.1. Wi-Fi Haberleşmesi	4
1.1.2. GPS Haberleşmesi	4
1.1.3. Uydu Haberleşmesi.....	4
1.2. Amaç ve Hedefler.....	5
2. ÇÖZÜM SÜRECİ.....	6
2.1. EEG	6
2.1.1. Avantajları	6
2.1.2. Dezavantajları	7
3. SİSTEM MİMARİSİ	8
3.1 Drone Mimarisi	9
3.1.1. NodeMCU.....	10
3.1.2. MPU-6050 İvme Sensörü	10
3.1.3. 30A ESC	10
3.1.4. A2212 1000KV Quadracopter (Dörtlü) Motoru.....	11
3.1.5. F450 Çerçeve (Drone Gövdesi)	11
3.2. Emotiv EPOC	11
4. YARDIMCI METOTLAR.....	13
4.1 PID Kontrolör.....	13
4.1.1 Oransal Terim	13
4.1.2. İntegral Terimi	14
4.1.3. Türev Terimi	14

5. YÖNTEM	15
5.1. Drone ile Emotiv EPOC + EEG başlığının Entegrasyonu	16
5.2. Emotiv EPOC+ Cihazından Verinin Analizi	16
5.3. EEG Başlık ile Drone Haberleşmesi	16
5.3.1. UDP Haberleşmesi.....	16
5.3.2. Bulut Haberleşmesi.....	19
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	21
KAYNAKÇA.....	22
ÖZGEÇMİŞ	26

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Dünyaca kabul görülmüş elektrotların yerleşim yeri.....	7
Şekil 3.1. Bütün sistemin mimarisi	8
Şekil 3.2. Drone kontrol modülü.....	9
Şekil 3.3. Drone havadayken motorların dönüş yönleri.....	10
Şekil 3.4. BLDC Motor.....	11
Şekil 3.5. (a) Emotiv EPOC+ başlığı; (b) Kafa derisi üzerindeki elektrotların uzaysal haritası.....	12
Şekil 5.1. EmoEngine ara yüzü.....	15
Şekil 5.2. UDP haberleşmesi	17
Şekil 5.3. NodeMCU kartının kodları.....	18
Şekil 5.4. NodeMCU kartının loop metodu	18
Şekil 5.5. Drone’a gelen veri	19
Şekil 5.6. NodeMCU Firebase kodları.....	20

KISALTMALAR DİZİNİ

BCI	: Brain-Computer Interface (Beyin-Bilgisayar Arayüzü)
HCI	: Human-Computer Interaction (İnsan-Bilgisayar Etkileşimi)
EEG	: Elektroensefalografi
Wi-Fi	: Wireless Fidelity (Kablosuz Bağlantı Alanı)
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
LAN	: Local Area Network (Yerel Ağ Bağlantısı)
CT	: Computed Tomography (Bilgisayarlı Tomografi)
PET	: Positron Emission Tomography (Pozitron Emisyon Tomografisi)
MRI	: Magnetic Resonance Imaging (Manyetik Rezonans Görüntüleme)
IoT	: Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
MCU	: Microcontroller Unit (Mikrodenetleyici Birimi)
ESC	: Electronic Speed Control (Elektronik Hız Kontrol)
BLDC	: Brushless Direct Current (Fırçasız Doğru Akım)
PCB	: Printed Circuit Board (Baskılı Devre Kartı)
PID	: proportional–integral–derivative (oransal-integral-türev)
UDP	: User Datagram Protocol (Kullanıcı Datagram Protokolü)
TCP	: Transmission Control Protocol (Geçiş Kontrol Protokolü)
SCTP	: Stream Control Transmission Protocol (Akış Kontrolü İletim Protokolü)
IP	: Internet Protocol (İnternet Protokolü)

ÖZET

BCI'ler insanların bilgisayarları kontrol etmek veya iletişim aygıtlarını kullanmak için motor hareketlerini kullanmaları yerine doğrudan beyin elektriksel aktivitesini kullanmalarına dayalı bir etkileşim yöntemidir. BCI sağlama için kullanılan teknolojilerden en ulaşılabilir, taşınabilir ve maliyeti az ve kullanımı pratik olan EEG'dir. Günümüzde düşük maliyetli pek çok EEG başlık da geliştirilerek son kullanıcıların erişimine sunulmuştur.

Bu projede düşük maliyetli bir EEG cihazı olan Emotiv EPOC+ kullanılarak bir beyin bilgisayar ara yüzü geliştirilmesi ve bu ara yüz ile yine proje kapsamında geliştirilecek olan bir drone'un kontrolü için kullanılması hedeflenmektedir. EEG başlıktan elde edilecek göz hareketleri verilerinin drone kontrol komutları ile eşleştirilmesi ve sonrasında kablosuz ağ üzerinden drone üzerindeki karta aktararak kullanılması sağlanacaktır. Sonuç olarak geliştirilecek ara yüz ile herhangi bir kontrol kumandası olmadan beyindeki sinirsel aktivitelerle drone kontrolü gerçekleştirilmiş olacaktır.

Anahtar Kelimeler: EEG, Emotiv EPOC+, Beyin bilgisayar ara yüzü, Drone, NodeMCU

ABSTRACT

BCIs are a method of interaction based on people's direct use of brain electrical activity instead of using motor movements to control computers or use communication devices. EEG is the most accessible, portable, low cost and practical use of the technologies used for BCI provisioning. Today, many low-cost EEG caps have been developed and made available to end users.

In this project, it is aimed to develop a brain-computer interface by using a low-cost EEG device, Emotiv EPOC+, and to use this interface for the control of a drone that will be developed within the scope of the project. The eye movement data obtained from the EEG head will be matched with the drone control commands and then transferred to the card on the drone over the wireless network. As a result, with the interface to be developed, drone control will be realized with neural activities in the brain without any control controller.

Keywords: EEG, Emotiv EPOC+, Brain Computer Interface, Drone, NodeMCU

GİRİŞ

Projenin amacı, beyin dalgalarına erişim sağlayıp onlara ilişkin değerler saptayan EEG cihazları yardımıyla, sıfırdan yapımına başlanacak olan bir drone'un kontrolünü sağlamaktır. Bu bağlamda tercih edilebilecek olan cihazlar Emotiv EPOC ve Neurosky'dır. Drone'un davranışlarına daha uygun olacağı için projede Emotiv EPOC adlı cihaz kullanılacaktır.

Projenin uygulamaya konulması için öncelikle bir drone'a ihtiyaç vardır. Bu drone sıfırdan imal edilecektir. Drone'un donanımsal parçalarının birleştirilmesinden sonra yazılımsal davranışlarını kontrol edebilmek için "nodeMCU" adlı kart kullanılacaktır.

Günümüzde birçok aletin kullanımı için bir kontrol kumandası mevcuttur. Bu projenin uygulanmasındaki amaç, kontrol kumandasının kullanımını ortadan kaldırmaktır.

BCI teknolojisi, doğrudan insanların ve bilgisayarların uyum içerisinde çalıştığı bir sistemdir. Sistem çoğunlukla beyin aktivitesini ilgili komutlara çevirmeye dayanır. Bu teknoloji beynin herhangi bir fiziksel bağlantısı olmadan uç sistemlerle arasında olacak iletişime izin verir [1]. İlk BCI tabanlı sistemler 1970'li yıllarda ortaya çıktı ve beyin implantlarının kullanılmasını gerektirdi [2]. BCI teknolojisinin temel işleyişi; sinyal toplama, ön işleme, özellik çıkartma, sınıflandırma, kontrol ve geri bildirim aşamalarından oluşur [3].

BCI, kullanıcıların bir köprü görevi gören bilgisayarla etkileşime girmesine ve komutları doğrudan beyinden bilgisayarın standart girişine iletilmesine izin veren bir sinirbilim ve HCI alanıdır [4-6]. BCI teknolojisinin hızlıca gelişmesindeki en önemli faktör ucuz maliyetli olması ve güçlü sonuçları meydana getirmesidir. Günümüzün ciddi sinirsel hastalıklarından olan amyotrofik lateral skleroz, beyin sapı felci ve omurilik yaralanması vb. gibi hastalıklara sahip insanlara bir nebze de olsa çözüm üretebilmesi için BCI teknolojisi geliştiriliyor.

BCI'lerin diğ er kullanıcı aray uzlerine göre en büyük avantajı, çalışması için sadece beyin aktivitesi gerektiğinden, vücudu tamamen felçli olanlar da dâhil olmak üzere herhangi bir kişi tarafından kullanılma kapasiteleridir [7].

Kullanılacak Emotiv EPOC adlı cihaz sayesinde, beyin dalgaları kullanılarak fiziksel kontrol sağlanacaktır. Normalde insan vücudu kontrol kumandası kullanırken beyinde bir işlem yapar ve ilgili kas grupları çalışır. Bu proje sayesinde, henüz kaslara bilgi gitmeden direkt olarak beyin dalgaları kod üzerinde işlenecek ve drone'un kontrol edilmesi sağlanacaktır.

Projenin gerçekleştirilmesi için ilk olarak drone imal edilecek ve lehimleme işlemi yapılacaktır. Sonrasında NodeMCU yardımıyla gönderilmek istenen veriler Wi-Fi ile drone'a iletilecektir ve ilk kontrol aşaması tamamlanacaktır. Bu aşamaya kadar kazanılan bilgiler yardımıyla Emotiv EPOC ile çalışmaya başlanacaktır.

1. ALAN YAZIN ARAŞTIRMASI

Günümüzdeki teknolojik gelişmeler sayesinde insanlar ve bilgisayarlar arasındaki etkileşimin daha doğal hale gelmesini sağlamaya yönelik çeşitli yeni etkileşim türlerinin geliştirilmesi gerçekleştirilmiştir. İnsan beyninden arada herhangi bir geleneksel kontrol cihazı bulunmadan doğrudan veri elde etmeye dayalı olarak geliştirilen BCI'ler de bunların arasında yer almaktadır [8]. BCI'lerin ilk gelişimi daha çok ciddi motor engeli olan insanların kullanımına yönelik cihazlar ve ara yüzleri üretmek olsa da günümüzde herhangi bir engeli bulunmayan insanların da kullanımına yönelik olarak çeşitli alanlarda kullanımları mevcuttur.

BCI sağlama için kullanılan teknolojilerden özellikle en ulaşılabilir, taşınabilir ve maliyeti az ve kullanımı pratik olan EEG'dir [9]. EEG, beyin hücrelerinin elektriksel potansiyelindeki değişiklikleri ölçebilen, invazif olmayan bir yöntemdir. EEG'nin eğlence, nöro-pazarlama gibi pek çok alanda son kullanıcı uygulamalarında kullanımı mevcuttur. EEG verisi ile etkileşim sağlanarak kontrol edilen basit yapboz-halat çekme vb. oyunlar hali hazırda gerçekleşmiştir [10-12].

Diğer taraftan drone yani insansız hava araçları da günümüzde gelişen teknolojiler arasında yer almaktadır ve kullanımları ilk önce askeri alanda olsa da sağlık veya eğlence gibi çok çeşitli alanlarda ve hobi amaçlı kullanımları yaygınlaşmaktadır. Drone'lar insansız olarak uçabilen, motoru olan bir operatör ile uzaktan kontrol edilen 25 kg'ın altındaki uçaklar olarak ifade edilmektedir [13]. Sonuç olarak yerdeki bir operatörün (pilot) bir kontrol cihazı ile drone kontrolü için etkileşim sağlaması gerekliliği bulunmaktadır. Bu kontrol için geleneksel drone kontrolü için geliştirilmiş uzaktan kumandalar kullanılmaktadır.

1.1. Haberleşme Yöntemleri

Drone'lar, kablosuz iletişim teknolojisinin kullanıldığı kontrolcü aracılığıyla uzaktan kumanda veya oto-pilot aracılığıyla görevlerini yerine getirmektedir. Sivil drone'lar için kullanılabilecek kablosuz iletişim sistemleri arasında 802.11 Wi-Fi, GPS ve uydu haberleşmesi bulunmaktadır[14].

1.1.1. Wi-Fi Haberleşmesi

Wi-Fi, yakın alan bilgisayar ağı olan bir kablosuz LAN'dır. Wi-Fi, yüksek hızlı veri iletimi yeteneğine sahiptir, böylece kontrol sinyalinin ve görüntüyü gerçek zamanlı olarak tek kanalda iletmek mümkündür.

1.1.2. GPS Haberleşmesi

GPS, bir uydudan navigasyon mesajı alan ve alıcıdaki konumunu hesaplayarak konumunu hesaplayan bir uydu navigasyon sistemidir. Doğru konumun bulunabilmesi için 45 uydudan minimum 3 tanesiyle bilgi alışverişi yapılması gerekmektedir. GPS sinyalleri, zeminde çok düşük alınan sinyal gücü nedeniyle çeşitli radyo bozulma sorunlarına karşı çok hassastır.

1.1.3. Uydu Haberleşmesi

Uydu iletişimi, bir uydunun bir röle istasyonu rolünü üstlendiği, iletişim sinyalini atmosferin dışında havada fırlatılan bir uydu aracılığıyla ilettiği uzun mesafeli bir iletişim yöntemidir [15]. Uydu, askeri uydu, hava durumu uydusu, bilimsel uydu veya iletişim uydusu olarak sınıflandırılır. Bunlar arasında, bir iletişim uydusu, bir iletişim sinyalini iletmek için dünyayı dolaşan bir uydudur. Uydu ağlarının çoğunlukla yere konuşlandırıldığı hücresel sistemler ve Wi-Fi ortamlarından farklı olarak, felaket veya görüntü gibi yer tabanlı iletişim tesislerinin çöktüğü durumlarda da kullanılabilirler. Özellikle drone'ların sıklıkla askeri amaçlarla kullanıldığı düşünüldüğünde, drone diğer iletişim teknolojilerine göre büyük bir avantaj olabilir [16].

Bu çalışma kapsamında, Wi-Fi haberleşmesi kullanılarak BCI teknolojisinin bilgisayar oyunlarındaki aktif kullanımına benzer şekilde bir drone kontrolü için kullanım potansiyelini değerlendirilmektedir. Drone kontrolü ile bir bilgisayar oyununun kontrolü her ne kadar benzerlik gösterse de drone kullanımında oyunlardan farklı olarak çeşitli fiziksel boyutlar vardır. Bir drone, üzerinde bulunan haberleşme kartlarının yardımıyla kullanıcı girdilerine dayalı hareket edebilir. Buradaki kullanıcı girdisi, bir ara yüz yardımıyla bilgisayardan ya da herhangi bir cihazdan alınan klavye, fare vb. girdilerden oluşmaktadır. Bu geleneksel girdileri kullanılmadan dronun hareket ettirilmesi için bu çalışmada EEG cihazından elde edilecek veriler kullanılacaktır. Çalışmada EEG verilerinin elde edilmesi için Emotiv EPOC+ cihazı

kullanılacaktır. Bu sayede operatörün direkt olarak göz hareketlerine dayalı beyin sinyalleri ile doğrudan dronu hareket ettirmesi sağlanmış olacaktır [17].

1.2. Amaç ve Hedefler

Projenin amacı bir beyin bilgisayar ara yüzü geliştirerek bir drone ile operatörünün doğrudan etkileşimini sağlamaktır. Bu doğrultuda çalışma kapsamında kullanılacak olan Emotiv EPOC+ EEG başlığından elde edilecek EEG verilerinden göz hareketlerine yönelik olanlar kullanılarak drone kontrolünde kullanılan komutlar ile eşleştirilecektir. Bu komutlar daha sonra drone üzerinde bulunan kart yardımıyla kablosuz ağ üzerinden drona iletilmesi ve böylece dronun kontrol edilmesi hedeflenmektedir.

Çalışma kapsamında bir diğer hedef de kullanılacak olan dronun gerçekleştirilmesidir. Özgün bir şekilde gerçekleştirilen dronun EEG cihaz ile kontrolünün sağlanması ile de operatör ve drone arasındaki etkileşimin iyileştirilmesi ve daha doğal hale getirilmesi hedeflenmektedir. Drone kontrolü kapsamında geliştirilecek bu etkileşimin aynı zamanda bazı sinirsel hastalıklara sahip motor engeli bulunan insanların hayatlarını kolaylaştırma potansiyelinin de değerlendirilmesi sağlanacaktır.

2. ÇÖZÜM SÜRECİ

2.1. EEG

EEG, zihnin yüzey tabakasının algılanabilir hareketini ele almak için görüntülenen kafa derisi üzerindeki elektriksel hareketin bir elektrogramını kaydetme tekniğidir. Saç derisi boyunca yerleştirilmiş anotlarla düzenli olarak zararsızdır. Zorlayıcı katotlar da dâhil olmak üzere elektrokortikografi, bazen intrakraniyal EEG olarak adlandırılır.

EEG, beynin nöronları içindeki iyonik akış nedeniyle ortaya çıkan voltaj değişimlerini tahmin eder [18]. Klinik olarak, EEG, kafa derisine konan çok sayıda anottan kaydedildiği gibi, bazı tanımsız zaman çerçevesi boyunca serebrumun sınırlandırılmamış elektriksel hareketinin kaydını ima eder [18]. Teşhis uygulamaları çoğunlukla ya durumla ilgili olasılıklar etrafında ya da EEG'nin hayalet maddesi üzerinde odaklanır.

EEG, en sık EEG okumalarında anormalliklere neden olan epilepsiyi analiz etmek için kullanılır [19]. Aynı şekilde dinlenme problemlerini, sedasyonun derinliğini, bilinç kaybını, ensefalopatileri ve beyin geçişini analiz etmek için de kullanılır. EEG, büyüme, felç ve diğer merkezi beyin bozuklukları için analiz için birinci basamak stratejiydi [20], ancak bu kullanım, örneğin çekici yankılı görüntüleme gibi yüksek hedefli fiziksel görüntüleme prosedürlerinin ortaya çıkmasıyla azalmıştır. Sınırlı uzamsal hedeflere rağmen, EEG keşif ve sonuç için önemli bir araç olmaya devam ediyor. Erişilebilir birkaç istisnai taşınabilir prosedürden biridir ve CT, PET veya MRI ile saçma olan milisaniye aralığında geçici hedefler sunar.

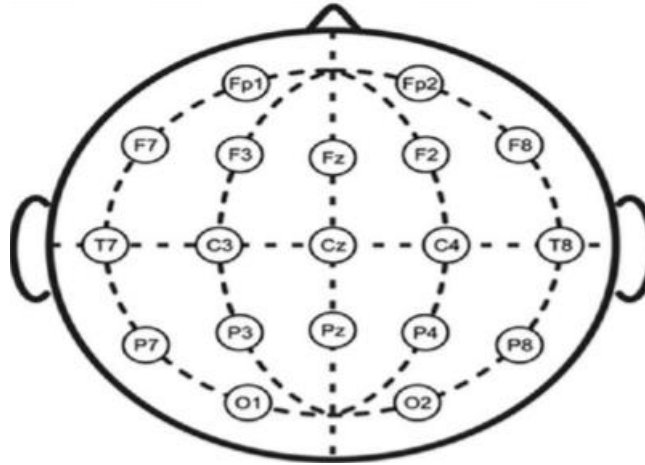
2.1.1. Avantajları

Donanım maliyetleri, diğer tekniklerin çoğundan önemli ölçüde daha düşüktür [21]. EEG, diğer birçok nörogörüntüleme tekniğinin aksine, özne hareketine nispeten toleranslıdır. EEG verilerindeki hareket artefaktlarını en aza indirmek ve hatta ortadan kaldırmak için bile yöntemler mevcuttur [22]. EEG sessizdir ve işitsel uyarılara verilen yanıtların daha iyi incelenmesini sağlar. EEG, diğer bazı tekniklerde olduğu gibi, yüksek yoğunluklu (>1 Tesla) manyetik alanlara maruz kalmayı içermez.

Bunlar, verilerle ilgili çeşitli istenmeyen problemlere sebep olmaktadır. Ayrıca bu tekniklerin vücudunda metal içeren kalp pilleri gibi metal implantları olan katılımcılarla kullanılmasını yasaklamaktadır [23]. EEG, motor yanıt veremeyen kişilerde kullanılmaktadır [24].

2.1.2. Dezavantajları

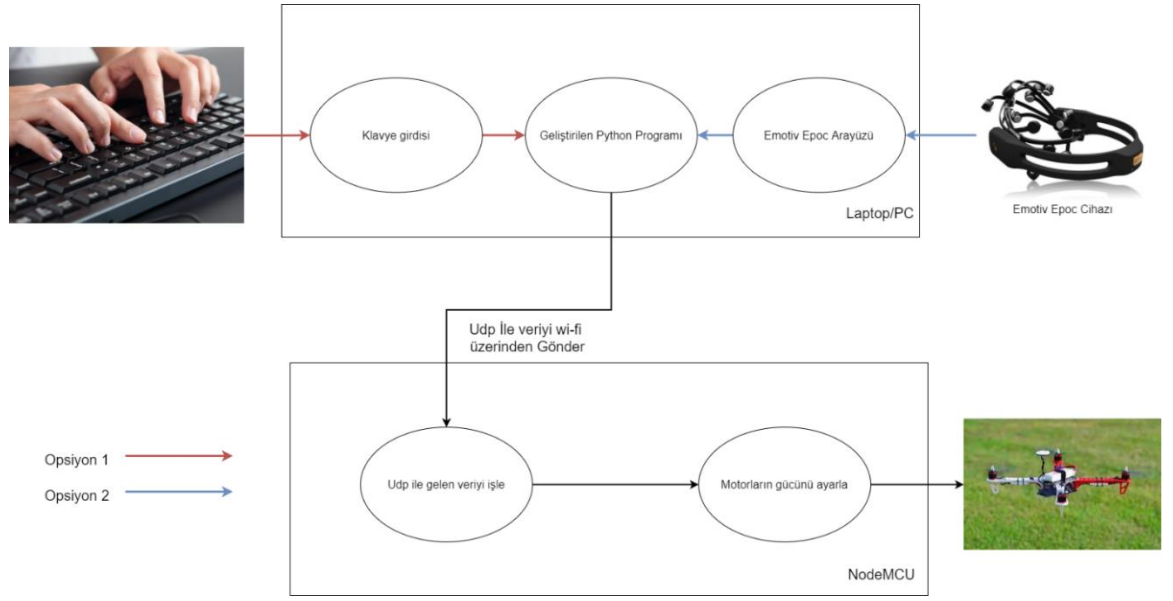
EEG, beyin üst katmanlarının (korteks) altında meydana gelen nöral aktiviteyi ölçmeyi zorlaştırır. Sinyal-gürültü oranı zayıf olduğundan EEG'den faydalı bilgiler çıkarmak için karmaşık veri analizine ve nispeten çok sayıda süreye ihtiyaç vardır [25]. Beyindeki dalgalanmayı iyi ölçebilmek için elektrotların çok hassas bir şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca çeşitli jellerle, tuzlu çözeltileri veya çeşitli macunlar kullanılması da gerekebilir.



Şekil 2.1. Dünyaca kabul görmüş elektrotların yerleşim yeri

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi elektrotlar kafaya yerleştirilir. Bu referans elektrotlar beyin kabuk etkinliğinin az olduğu bölgelere yerleştirilir ve böylece bağıntılı örüntüler elenebilir hale gelir [26].

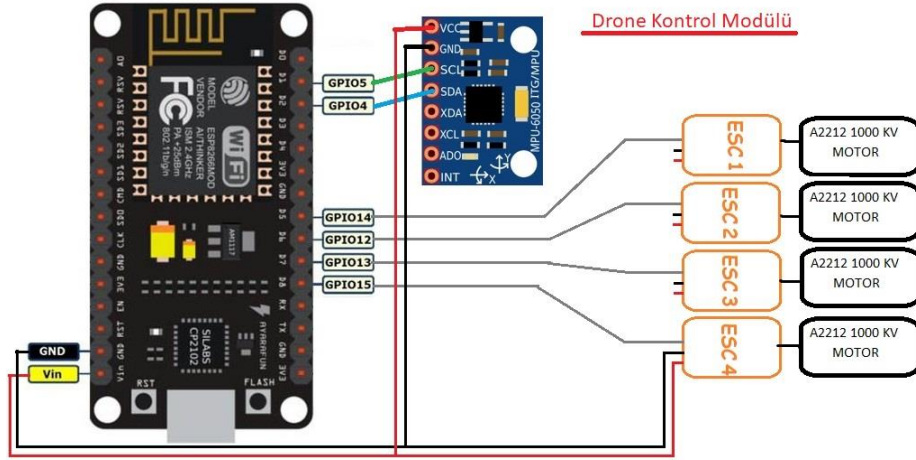
3. SİSTEM MİMARİSİ



Şekil 3.1. Bütün sistemin mimarisi

Drone sıfırdan imal edileceği için birbirine uyumlu çalışabilecek parçalar kullanılmalıdır. Herhangi bir kontrol kumandası bulunmadığından dolayı nodeMCU'nun üstünde bulunan Wi-Fi modülü kullanılarak bilgisayar veya cep telefonu yardımı ile kontrolü sağlanacaktır. Projenin uygulanmasında iki farklı mod olacaktır. Bunlardan birincisi mobil uygulama/dizüstü modu (opsiyon 1), ikincisi ise Emotiv EPOC+ modu (opsiyon 2) olacaktır. İki farklı seçeneğin olmasının sebebi, drone hareketlerinin tutarlılığının saptanabilmesinin ilk seçenekte daha kolay olması ve ekstra bir esneklik sağlamasıdır. Bu bağlamda ilk seçenek gerçekleştirildiği zaman, ikinci seçeneğin hayata geçirilmesi daha kolay olacaktır.

3.1 Drone Mimarisi



Şekil 3.2. Drone kontrol modülü

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi nodeMCU kartına pil uçlarının artı ve toprak bağlantıları bağlanır. Ayrıca bu bağlantılara motorların çalışabilmesi için ESC kartlarına bağlanır. ESC kartlarının hangi hızda çalışabileceğini karar verebilmesi için nodeMCU kartına bağlanmıştır. Ardından ESC kartları ile motorlar birbirine bağlanır. Son olarak MPU6050 kartı nodeMCU ile bağlanır.

Drone için gerekli malzemeler ve adetleri şu şekildedir:

- 1 adet ESP8266 NodeMCU
- 1 adet MPU-6050 ivme sensörü
- 4 adet 30A ESC hız kontrol kartı
- 4 adet A2212 1000 KV quadcopter motoru
- 1 adet F450 drone gövdesi
- 4 adet Pervane
- 1 adet 11.1 Volt Pil

3.1.1. NodeMCU

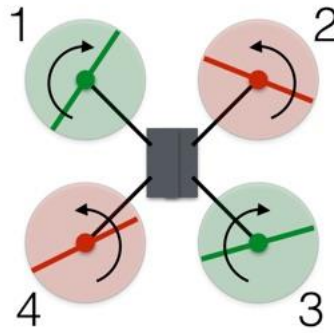
NodeMCU, düşük maliyetli bir açık kaynak IoT platformudur. NodeMCU, açık kaynaklı prototipleme kartı tasarımlarının mevcut olduğu açık kaynaklı bir üretici yazılımıdır. Hem bellek hem de prototip panosu tasarımları açık kaynak kodludur. "NodeMCU" adı, "düğüm" anlamına gelen "node" ve "MCU"yu birleştirir.

3.1.2. MPU-6050 İvme Sensörü

Genellikle çeşitli hobi, multicopter ve robotik projelerinde sıklıkla kullanılan, üzerinde 3 eksenli bir gyro ve 3 eksenli bir açısal ivmeölçer bulunduran 6 eksenli bir IMU sensör kartıdır. Ayrıca sensörün sağlamış olduğu bir diğer veri ise sıcaklık verisidir. Bu kartın kullanılmasındaki amaç, drone'un 4 motorunun aralarındaki haberleşmenin gyro ve açısal ivmeler yardımıyla tayin edilmesidir.

3.1.3. 30A ESC

Elektrikli motor ile çalışan tekne, uçak, helikopter gibi araçlarda kullanılır. ESC, model arabadaki kumanda alıcısına bağlı çalışır. Kumandadan gelen gaz ve fren tepkisini kontrolörden motora ileterek aracı hareket ettirir veya durdurur.

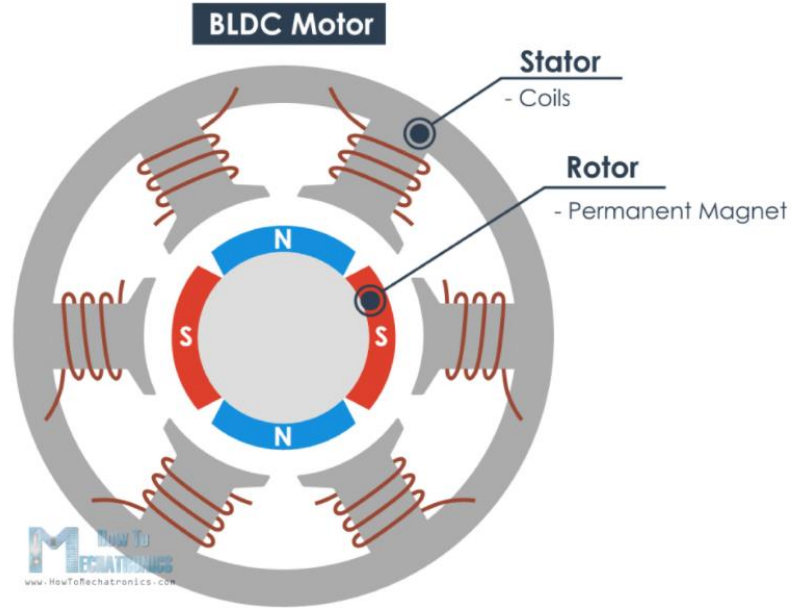


Şekil 3.3. Drone havadayken motorların dönüş yönleri

Drone kanatları yukarıdaki görselde gözüktüğü gibi dönüş sağlamaktadır. Teknik olarak her bir motorun birbirinden haberi olmadığından ivme hesaplayıcı sensörden gelen verilerin nodeMCU'da işlenip ESC'ye iletilerek dönüş hızları ayarlanmış olmaktadır.

3.1.4. A2212 1000KV Quadcopter (Dörtlü) Motoru

8 inç ile 10 inç pervaneli orta boy dörtlü çerçeve için mükemmel uyum sağlayan, özellikle dörtlüler için yapılmış fırçasız bir motordur. Fırçasız bir motorda, stator sargılarının enerjilenme sırası, fırçalar tarafından değil, fiziksel komütatör ve elektronik komütatör tarafından belirlenir. Bunların basit bir mekanik yapısı ama daha karmaşık mikroişlemcileri ve kontrol mimarileri vardır.



Şekil 3.4. BLDC Motor

3.1.5. F450 Çerçeve (Drone Gövdesi)

Elektronik hız kontrol cihazlarının doğrudan lehimlenmesi için entegre PCB bağlantılarına sahip bir çerçevedir. Quadcopter'in hızlı ve kolay kurulumuna izin verir ve montajı düzgün hale getirir. Diğer bileşenleri montelemek için ana çerçevenin alt plakasının ön ve arka ucunda montaj yerleri bulunmaktadır.

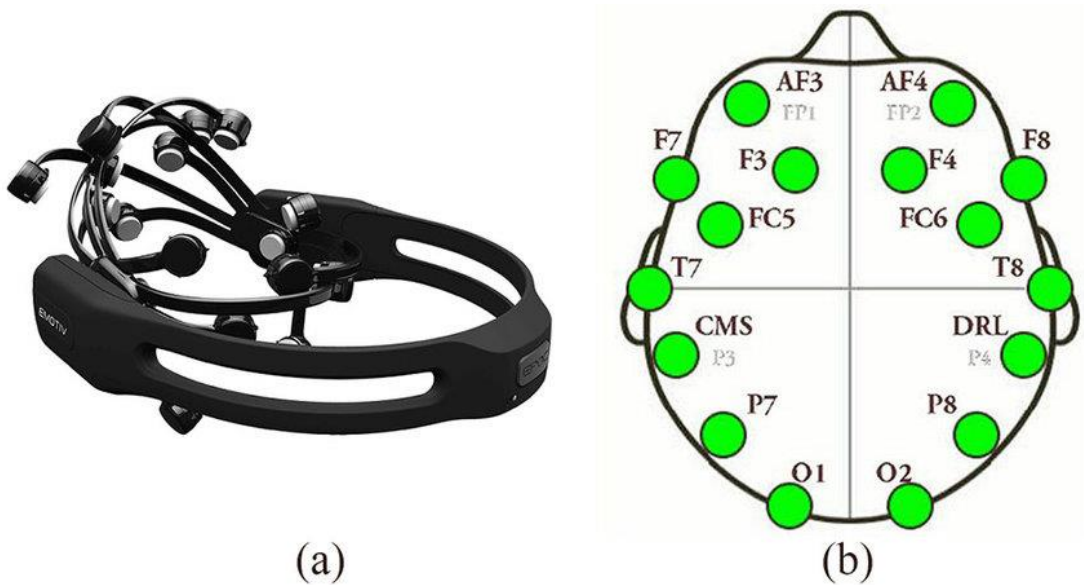
3.2. Emotiv EPOC

BCI arayüzü yazılımı ve donanımı geliştiren bir şirket olan Emotiv, 2011 yılında San Francisco'da kuruldu. Ürünleri arasında 14 kanallı EEG cihazları olan Epoc, Epoc+, EpocX bulunmaktadır. Klinik araştırmalarda kullanılabilen 32 8 kanallı Epoc Flex EEG cihazı ve 5 kanallı Epoc Insight cihazı da ürünler arasında yer almaktadır.

Emotiv EPOC, yüksek çözünürlüklü, çok kanallı, kablosuz bir nöro kulaktır. EPOC, kullanıcının düşüncelerini, duygularını ve ifadelerini gerçek zamanlı olarak algılamak için beyin tarafından üretilen elektrik sinyallerini ayarlamak için bir dizi 14 sensör artı 2 referans kullanır. EPOC, Windows, Linux veya MAC OS X çalıştıran bilgisayarlara kablosuz olarak bağlanır.

Emotiv EPOC cihazları bir dizi algılama mekanizmasına sahiptir. Bunlar; gülümsemeler, hissedilen duygular, bilinçli düşünce ve niyetlerdir. Bu yöntemler istenirse farklı şekillerde de kullanılabilir.

Emotiv EPOC adlı cihazın kullanımını gerektiren birçok durum vardır. Cihazın tıp alanında oldukça geniş kullanım alanı vardır ve bu cihazla, amiotrofik lateral skleroz, multiple skleroz, serebral palsi [27], majör depresif bozukluk [28] gibi merkezi sinir sistemi kaynaklı hastalıklara sahip bireylerin hayatlarını kolaylaştırmak amacıyla çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kendilerini ifade edebilmeleri için bedenlerini kullanma imkanı olmayan engelliler için de kullanılmaktadır. Bu bireyler vücutlarını hareket ettirmekte zorlansalar da beyin EEG sinyalleri istedikleri gibi özgürce ifade edilebilmektedir. Son zamanlarda kullanımı ve aşınması oldukça kolay olan EEG sinyal ölçüm cihazları düşük fiyatlarla satışa sunulmaktadır. Emotiv EPOC bu cihazlardan biridir. Ağır engelli bireyler, prefrontal lobdaki EEG sinyallerini iyi ölçen boyun hareketi ve göz kırpması ile robotu kontrol edebilmektedir.



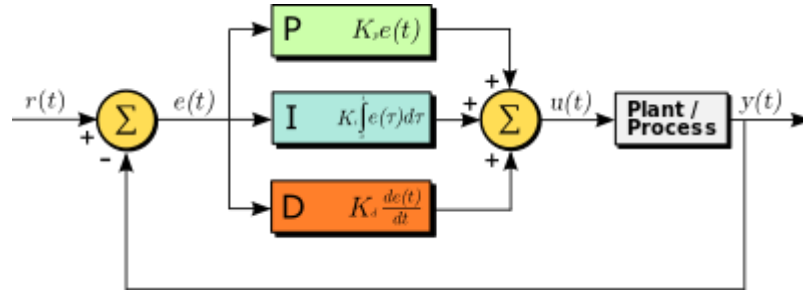
Şekil 3.5. (a) Emotiv EPOC+ başlığı; (b) Kafa derisi üzerindeki elektrotların uzaysal haritası.

4. YARDIMCI METOTLAR

4.1 PID Kontrolör

PID kontrolör, geri besleme yoluyla girişe gönderilen sinyal ile giriş sinyalini karşılaştırarak hatayı hesaplar. Hata algoritmaya gönderilerek belirlenen hata oranına yaklaşıp kadar türev ve integral yardımıyla işlem hesaplanır.

PID kontrolörünün dikkat çekici özelliği, hassas ve optimize edilmiş kontrol elde etmek için kontrolör çıkışında orantısal, integral ve türev etkileri olmak üzere üç kontrol ögesini kullanabilmesidir. Bu terimlerin nasıl oluşturulduğuna ve uygulandığına ilişkin ilkeler Şekil 4.1'de gösterilmiştir. İstenen ayar noktası $SP = r(t)$ ile ölçülen süreç değişkeni $PV = y(t)$: $e(t) = r(t) - y(t)$ arasındaki fark olarak bir $e(t)$ hata değerini sürekli olarak hesaplayan ve orantısal, integral ve türev terimlerine dayalı bir düzeltme uygulayan bir PID denetleyicisini gösterir. Kontrolör, bir kontrol vanasının açılması gibi bir kontrol değişkenini $u(t)$, kontrol terimlerinin ağırlıklı toplamı tarafından belirlenen yeni bir değere ayarlayarak zaman içinde hatayı en aza indirmeye çalışır.



Şekil 4.1. Bir geri besleme döngüsündeki bir PID denetleyicisinin blok şeması

4.1.1 Oransal Terim

Oransal terim sistemdeki hatayı K_p ile çarparak hatayı düşürmeyi hedefler. Fakat burada K_p çok büyük sayılar seçilmemelidir çünkü üretilen değerlerde daha fazla hataya sebep olabilir.

$$P_{out} = K_p e(t) \quad (4.1)$$

4.1.2. İntegral Terimi

İntegral bir terim, eylemi yalnızca hataya göre değil, aynı zamanda devam ettiği süreye göre de artırır. Başka bir deyişle, uygulanan kuvvet hatayı sıfır yapmak için yeterli değilse, kuvvet zamanla artacaktır. Saf bir "I" denetleyicisi hatayı sıfıra getirebilir, ancak hem başlangıçta yavaş tepki verir hem de sonunda acımasız olur.

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (4.2)$$

4.1.3. Türev Terimi

Bir türev terimi, hatayı değil, bu oranı sıfıra getirmeye çalışan hata değişim oranını dikkate alır. Arıza yörüngesini yatay bir çizgiye düzleştirmek, uygulanan kuvveti sönümlemek ve böylece aşmayı azaltmak için tasarlanmıştır.

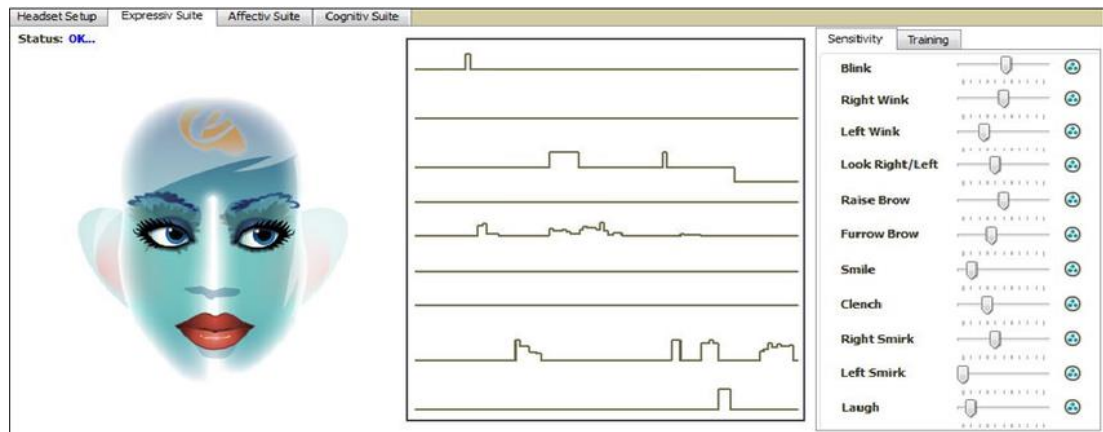
$$D_{out} = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (4.3)$$

5. YÖNTEM

İlk adım olarak, projede kullanılacak olan drone'un donanımsal parçaları elde edildikten sonra lehimleme işlemi yapılacaktır. Drone, işlevini yerine getirebilir bir görünüme ve kabiliyete sahip olduktan sonra verileri drone'a gönderecek olan programın geliştirilme aşaması başlayacaktır. Drone ile geliştirilen program arasındaki iletişimi sağlamak için NodeMCU kullanılacaktır. Bilgisayar ya da mobil uygulama kullanarak Wi-Fi ağında bilgilerimizi kolayca drone'a ileteceğiz ve ilk kontrol aşamasını tamamlayacağız.

Emotiv EPOC cihazından alınan veri bilgisayarda Emotiv EPOC API'si sayesinde analiz edilecektir. Daha sonra geliştirilen Python programında kütüphaneler kullanılarak aktarılacaktır. Python programında analiz işlemi sonucunda veriler UDP ile NodeMCU'ya yollanacaktır. UDP ile gelen veri analiz edilecek ve drone ilgili hareketleri gerçekleştirecektir.

Emotiv EEG başlık tarafından toplanan veriler bilgisayara kablosuz bir kanal aracılığıyla gönderilir. EEG başlıktan toplanan verileri işlemek için Emotiv Control Panel altında Şekil 5.1'de görülen EmoEngine ara yüzü kullanılmaktadır.



Şekil 5.1. EmoEngine ara yüzü

EmoEngine, beyin dalgalarının işlenmesi için ifade birimi (Expressive Suite), duygusal birim (Affective Suite) ve bilişsel birim (Cognitive Suite) olmak üzere 3 tane tanımlama birimi sağlar. İfade birimi, Emotiv EEG başlık ile ölçülen sinyallerin gerçek

zamanlı olarak yüz ifadelerinin yorumlanmasını sağlar ve çalışma kapsamında da cihazın sağladığı yüz ifadelerini dönüştüren ifade birimine ait araçlar ve ara yüzler kullanılacaktır.

5.1. Drone ile Emotiv EPOC + EEG başlığının Entegrasyonu

Çalışma kapsamında geliştirilecek olan drone ile Emotiv EPOC+ EEG başlığının bir BCI kapsamında entegrasyonu sağlanacaktır. Bu doğrultuda EEG başlıktan elde edilecek verinin analizi, entegrasyon sonucu oluşturulacak sistemin mimarisi, entegrasyonda kullanılacak iletişim yöntemlerinin detayları aşağıdaki alt başlıklarda açıklanmaktadır.

5.2. Emotiv EPOC+ Cihazından Verinin Analizi

Örneğin gözün sağa oynatıldığında ilgili elektrottan gelen verinin 0-100 arasında normalize edildiğini varsayalım ve 65 eşik değeri olsun. Gözün hareketine bağlı olarak değişen bu verinin değeri, gözün drone’u hareket ettirecek kadar fazla oynatılmasıyla eşik değeri aşacaktır. Emotiv EPOC ara yüzünden her anda alınan veriler geliştirilen ara yüze aktarılacaktır ve eşik değerin üzerinde olan değerlere bağlı olarak drone’a bağlı hareket mekanizmaları aktifleşecektir.

5.3. EEG Başlık ile Drone Haberleşmesi

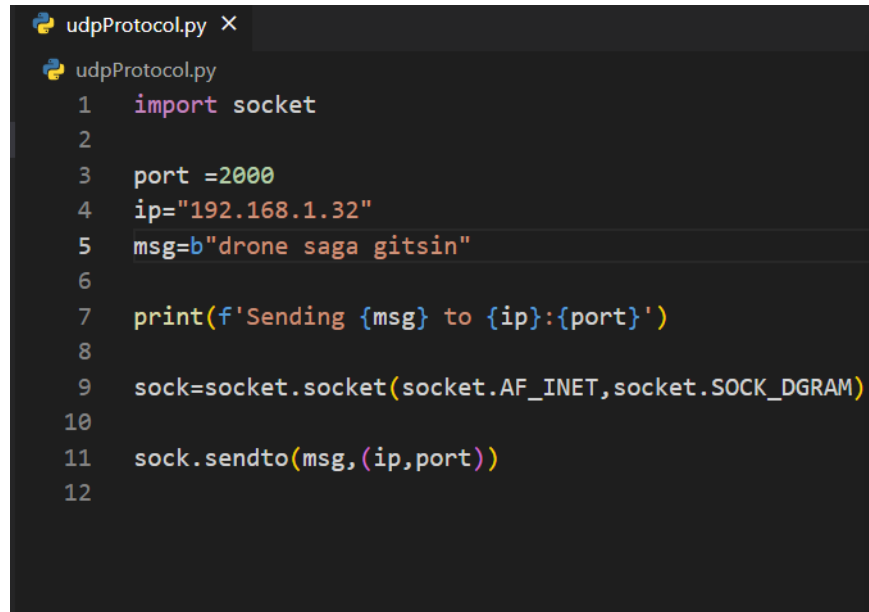
EEG başlık ile drone’un haberleşmesi için iki farklı yöntem vardır. Birinci yöntem, drone’un hareketinde kullanılan kartın Wi-Fi yardımıyla internet üzerinden haberleşme imkanı doğuran UDP adlı hızlı bir protokoldür. İkinci yöntem ise bulut sistemi üzerine Emotiv Epoc’tan anlık olarak alınan verilerin aktarılması ve aynı şekilde bulut sistemine aktarılan verilerin de geliştirilen ara yüze aktarılmasıdır. Bu yöntemlerden her ikisi de geliştirme sırasında denenecek ve deneme sonuçlarına göre uygun olan yöntemin kullanımı ile geliştirme aşamasının devam etmesi sağlanacaktır.

5.3.1. UDP Haberleşmesi

İnternet protokol takımının çekirdek üyelerinden biridir. UDP ile bilgisayar uygulamaları, bir IP ağındaki diğer ana bilgisayarlara, bu durumda datagram olarak adlandırılan mesajlar gönderebilir. İletişim kanalları veya veri yolları kurmak için önceden iletişim gerekli değildir.

UDP, minimum protokol mekanizmasına sahip basit bir bağlantısız iletişim modeli kullanır. UDP, veri bütünlüğü için sağlama toplamları ve datagramın kaynağında ve hedefinde farklı işlevleri adreslemek için bağlantı noktası numaraları sağlar. El sıkışma diyalogu yoktur, bu nedenle kullanıcının programını temeldeki ağı herhangi bir güvenilirliğine maruz bırakır; teslimat, sipariş veya çift koruma garanti edilmez. Ağ ara yüzü düzeyinde hata düzeltme olanaklarına ihtiyaç duyulursa, bir uygulama bu amaç için tasarlanmış TCP veya SCTP kullanabilir.

UDP'nin avantajlarından biri verilerin iletim hızının yüksek olmasıdır. Bilgisayar üzerinde beyin dalgaları analiz edildikten sonra UDP protokolü ile mevcut IP adresi üzerinden belirli bir port ile veri internete aktarılacaktır. Drone'daki NodeMCU kartı ile verinin yollandığı IP adresi üzerinden aynı port numarası sürekli olarak dinlenecektir. Bu şekilde veri, drone'a aktarılmış olacaktır.



```
udpProtocol.py X
udpProtocol.py
1  import socket
2
3  port =2000
4  ip="192.168.1.32"
5  msg=b"drone saga gitsin"
6
7  print(f'Sending {msg} to {ip}:{port}')
8
9  sock=socket.socket(socket.AF_INET,socket.SOCK_DGRAM)
10
11  sock.sendto(msg,(ip,port))
12
```

Şekil 5.2. UDP haberleşmesi

Şekil 5.2'de IP'deki belirli bir port üzerinden ilgili bilgiler gönderilmektedir.

```

|
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiUDP.h>
#include <stdarg.h>
#define WIFI_SSID "Ilhami_Ozcelik"
#define WIFI_PASSWORD "XXXXXXXXXX"

unsigned int localPort=2000;
char packetBuffer[2560];
char ReplyBuffer[]="Packet recieved \r\n";
WiFiUDP Udp;
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    WiFi.mode(WIFI_STA);
    // connect to wifi.
    WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
    Serial.print("connecting");
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        Serial.print(".");
        delay(500);
    }
    Serial.println();
    Serial.print("connected: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());

    Udp.begin(localPort);
}

```

Şekil 5.3. NodeMCU kartının kodları

NodeMCU'nun Wi-Fi kurulumu yapıldıktan sonra UDP haberleşmesi başlatılmaktadır. Loop metodu yardımıyla IP adresi üzerindeki ilgili port sürekli olarak dinlenmektedir.

```

void loop() {

int packetSize=Udp.parsePacket();//packet yoksa 0 olur
if(packetSize){

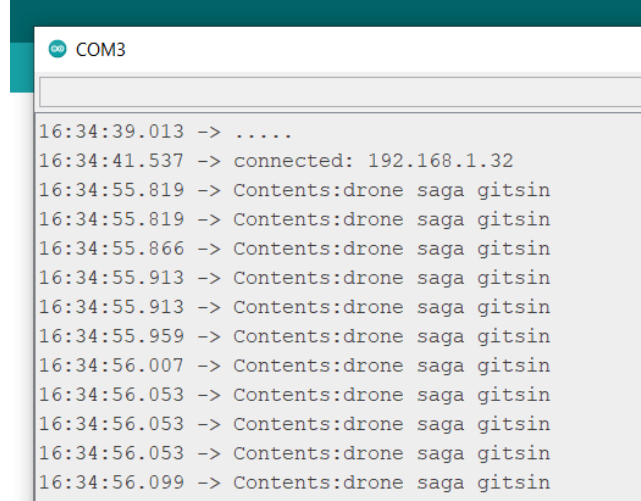
    int n=Udp.read(packetBuffer,255);
    packetBuffer[n]=0;
    Serial.print("Contents:");
    Serial.println(packetBuffer);
}

}

```

Şekil 5.4. NodeMCU kartının loop metodu

Python uygulamasından veri gönderildiğinde çıktı olarak aşağıdaki görsel elde edilmektedir.



```
COM3
16:34:39.013 -> .....
16:34:41.537 -> connected: 192.168.1.32
16:34:55.819 -> Content:drone saga gitsin
16:34:55.819 -> Content:drone saga gitsin
16:34:55.866 -> Content:drone saga gitsin
16:34:55.913 -> Content:drone saga gitsin
16:34:55.913 -> Content:drone saga gitsin
16:34:55.959 -> Content:drone saga gitsin
16:34:56.007 -> Content:drone saga gitsin
16:34:56.053 -> Content:drone saga gitsin
16:34:56.053 -> Content:drone saga gitsin
16:34:56.053 -> Content:drone saga gitsin
16:34:56.099 -> Content:drone saga gitsin
```

Şekil 5.5. Drone’a gelen veri

Prototipte klavyeden girilen tuşların hareketine göre drone hareket ettirilecektir. EEG cihazını kod üzerinde işledikten sonra drone’a iletmek çok daha basit olacaktır.

5.3.2. Bulut Haberleşmesi

Bu yöntemde Emotiv Epoc’un ilgili elektrotlarından alınan verilerin bir bulut sistemine aktarılması söz konusudur. Drone, bulut sistemine beyinden gelen verileri anlık olarak sürekli okumaktadır. Verilerdeki değişiklik, sunucu üzerinden görülebilir ve hareketi gerçekleştirmede kullanılabilir.

Geliştirilecek Python programı üzerinden Google Firebase Realtime Database yardımıyla veriler depolanacak ve değiştirilecektir. Bulut üzerinde değişmiş olan veri, nodeMCU üzerinde sürekli izlenecektir. Veride anlık değişimler olduğu için drone’un hareketi buluttaki veriye göre gerçekleşecektir. Bu yönteme göre Şekil 5.6’daki gibi Python programından Firebase’e veri aktarılacaktır. Bu değer, yukarıdaki kod parçacığıyla drone’a aktarılmaktadır. Böylelikle EEG cihazı ve drone arasındaki bağlantı sağlanacaktır.

```
    Firebase.begin(FIREBASE_HOST, FIREBASE_AUTH);
}

int n = 0;

void loop() {

    // handle error
    if (Firebase.failed()) {
        Serial.print("setting /gozHareketDegeri failed:");
        Serial.println(Firebase.error());
        return;
    }
    delay(1000);

    Serial.print("deger:");
    Serial.println(Firebase.getString("gozHareketDegeri"));
}
```

Şekil 5.6. NodeMCU Firebase kodları

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde, EEG cihazlarının kullanımına yönelik araştırmalar ve drone ile arasında kurulacak haberleşme ele alınmıştır. EEG cihazlarının kullanımının avantajları ve dezavantajları ile birlikte kullanılabileceği durumlara yer verilmiştir. EEG cihazlarından bilinen birkaç tanesine değinilmiştir. Emotiv EPOC adlı cihaz yardımıyla herhangi bir kontrol kumandasına bağlı kalınmadan bir drone'un hareketi sağlanabilmektedir. Drone üzerinde bulunan NodeMCU yardımıyla Wi-Fi üzerinden haberleşme gerçekleştirilmiştir. Bu haberleşme için UDP'nin avantajlarından faydalanılmıştır.

Bu ve benzeri EEG cihazları yardımıyla birçok robotun kontrolünün mümkün olduğu gösterilmektedir. Bu kontrolün sağlanmasıyla birlikte hayatı için engeli bulunan insanların hayat standartlarını artırmayı başaracaktır.

KAYNAKÇA ve REFERANSLAR

- [1] J. R. Wolpaw, N. Birbaumer, D. J. McFarland, G. Pfurtscheller, and T. M. Vaughan: Clin. Neurophysiol. 113 (2002) 767
- [2] Kos'myna, N., Tarpin-Bernard, F.: Evaluation and comparison of a multimodal combination of BCI paradigms and eye tracking with affordable consumer-grade hardware in a gaming context. IEEE Trans. Comput. Intell. AI Games 5(2), 150–154 (2013)
- [3] C. Chen, D. Shin, H. Watanabe, Y. Nakanishi, H. Kambara, N. Yoshimura, A. Nambu, T. Isa, Y. Nishimura, and Y. Koike: Neurosci. Res. 83 (2014)
- [4] Ferreira, A.L.S., de Miranda, L.C., Miranda, E.E.C., Sakamoto, S.G.: A survey of interactive systems based on brain-computer interfaces. SBC J. 3D Interact. Syst. 4(1), 3–13 (2013)
- [5] Gervasi, O., Magni, R., Macellari, S.: A brain computer interface for enhancing the communication of people with severe impairment. In: Murgante, B., et al. (eds.) ICCSA 2014. LNCS, vol. 8584, pp. 709–721. Springer, Cham (2014). https://doi.org/10.1007/978-3-319-09153-2_53
- [6] Hazrati, M.K., Hofmann, U.G.: Avatar navigation in second life using brain signals. In: WISP 2013, pp. 1–7. IEEE (2013)
- [7] Schwarz, D., Subramanian, V., Zhuang, K., Adamczyk, C.: Educational neurogaming: EEG-controlled videogames as interactive teaching tools for introductory neuroscience. In: AIIDE 2014, pp. 49–52. AIII (2014)
- [8] Bento, A.A., de Miranda, L.C.: Steering all: infinite racing game controlled by haar cascade through OpenCV. In: SVR 2015, pp. 245–254. IEEE (2015)
- [9] Argunşah A. Ö., Beyinden Bilgisayara Bir Yol: Beyin Bilgisayar Arayüzü, http://www.emo.org.tr/ekler/a130f1dc6f0c829_ek.pdf?dergi=429, (Erişim tarihi: 27 Nisan 2020).

- [10] Eid, M., Issawi, A.E., Saddik, A.E.: Slingshot 3D: a synchronous haptic-audio-video game. *Multimedia Tools Appl.* 71(3), 1635–1649 (2014)
- [11] Schwarz, D., Subramanian, V., Zhuang, K., Adamczyk, C.: Educational neurogaming: EEG-controlled videogames as interactive teaching tools for introductory neuroscience. In: *AIIDE 2014*, pp. 49–52. AIII (2014)
- [12] Ferreira, A.L.S., de Miranda, L.C., Miranda, E.E.C., Sakamoto, S.G.: A survey of interactive systems based on brain-computer interfaces. *SBC J. 3D Interact. Syst.* 4(1), 3–13 (2013)
- [13] FAA DoT, 2015, Operation and Certification of Small Unmanned Aircraft Systems, FAA-2015-0150: Notice No. 15-01, 2015.
- [14] Kim, Hee-Wan. "A Study on Application Methods of Drone Technology." *The Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology* 10.6 (2017): 601-608.
- [15] J.H. Kim, B.K. Kim, and Y.T. Shin, "A Study on the Improvement of security vulnerabilities in Civilian Drone," *Proceeding of Korea Computer Engineering*, Korea Information Science, pp. 1069 -1071, 2016.
- [16] S.C. Jung, J.H. Kang, and K.J. Park, Drone industry trends and use cases, pp. 39-44,, Chungbuk National Development Institute, 2015.
- [17] J. R. Wolpaw, N. Birbaumer, D. J. McFarland, G. Pfurtscheller, and T. M. Vaughan: *Clin. Neurophysiol.* 113 (2002) 767
- [18] Schomer, Donald L., and Fernando Lopes Da Silva. *Niedermeyer's electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields*. Lippincott Williams & Wilkins, 2012.

- [19] Tatum IV, William O. Handbook of EEG interpretation. Springer Publishing Company, 2021.
- [20] Chernecky, Cynthia C., and Barbara J. Berger. Laboratory tests and diagnostic procedures-E-Book. Elsevier Health Sciences, 2012.
- [21] Vespa, Paul M., Val Nenov, and Marc R. Nuwer. "Continuous EEG monitoring in the intensive care unit: early findings and clinical efficacy." *Journal of Clinical Neurophysiology* 16.1 (1999): 1-13.
- [22] O'Regan, Simon, Stephen Faul, and William Marnane. "Automatic detection of EEG artefacts arising from head movements." *2010 annual international conference of the ieee engineering in medicine and biology*. IEEE, 2010.
- [23] Schenck, John F. "The role of magnetic susceptibility in magnetic resonance imaging: MRI magnetic compatibility of the first and second kinds." *Medical physics* 23.6 (1996): 815-850.
- [24] Hinterberger, Thilo, et al. "A brain–computer interface (BCI) for the locked-in: comparison of different EEG classifications for the thought translation device." *Clinical neurophysiology* 114.3 (2003): 416-425.
- [25] Schlögl, Alois; Slater, Mel; Pfurtscheller, Gert (2002). "Presence research and EEG"
- [26] Ludwig, K. A., Miriani, R. M., Langhals, N. B., Joseph, M. D., Anderson, D. J., ve Kipke, D. R. (2009). Using a Common Average Reference to Improve Cortical Neuron Recordings From Microelectrode Arrays. *Journal of Neurophysiology*, 1679-1689.
- [27] Jang, Won Ang, Sang Min Lee, and Do Hoon Lee. "Development BCI for individuals with severely disability using EMOTIV EEG headset and robot." 2014 International Winter Workshop on Brain-Computer Interface (BCI). IEEE, 2014.

- [28] Wang, Dongcui, et al. "Auditory evoked potentials in patients with major depressive disorder measured by Emotiv system." *Bio-medical materials and engineering* 26.s1 (2015): S917-S923.

ÖZGEÇMİŞ

Enes TELLİ 2000 yılında Kocaeli’nde doğdu. Lise öğrenimini Mehmet Tekinalp Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2018 yılında Kocaeli Üniversitesi’nde Bilgisayar Mühendisliği Bölümü’ne yerleşti. 2021 yılında Game Developer olarak işe başladı ve halen devam etmektedir.

Yusuf Hamza ÖZÇELİK 2000 yılında Kocaeli’nde doğdu. Lise öğrenimini Mehmet Tekinalp Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2018 yılında girdiği Sakarya Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü’nde iki yıl eğitim gördü, ardından Kocaeli Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü’ne yatay geçiş yaptı. Lisans eğitiminin son iki yılını burada devam etmektedir.