



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

MORTEZ: MOBİL UYGULAMA DESTEKLİ ORTEZ SİSTEMİ TASARIMI

Yüksek Lisans Tezi

Orhan GÜNDÜZ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Cengiz TEPE

SAMSUN
2023

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**MORTEZ: MOBİL UYGULAMA DESTEKLİ ORTEZ SİSTEMİ
TASARIMI**

Yüksek Lisans Tezi

Orhan GÜNDÜZ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Cengiz TEPE

SAMSUN
2023

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

02 /01 / 2023
Orhan GÜNDÜZ

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : MORTEZ: MOBİL UYGULAMA DESTEKLİ ORTEZ SİSTEMİ TASARIMI

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 02 /01 /2023 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 2

Tek kaynak oranı : % 2 çıkmıştır.

02 /01 / 2023
Dr. Öğr. Üyesi Cengiz TEPE

ÖZET

MORTEZ: MOBİL UYGULAMA DESTEKLİ ORTEZ SİSTEMİ TASARIMI

Orhan GÜNDÜZ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Şubat/2023

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Cengiz TEPE

Vücudumuzda meydana gelen kas-iskelet sistemi bozukluklarında veya yaralanmalarında kişilerin tedavi süreçlerini hızlandırmak için ortez kullanımının önemli olduğu bilinmektedir. Kullanım amaçlarına göre ortezler statik ve dinamik ortez olarak adlandırılmaktadır. Dinamik ortezlerde, temelde Elektromiyografi (EMG) sinyalleri kullanılarak kişilerin hareketleri algılanmaktadır. Ayrıca çeşitli sensörler de kullanılarak konum ve gerilim gibi verileri de ölçülmektedir. Yapılan hareketin doğru yorumlanması için EMG sinyallerinde bulunan gürültülerin minimuma düşürülmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında ham EMG sinyallerinin gerçek zamanlı olarak *Advanced RISC Machines* (ARM) tabanlı bir mikrodenetleyici ile filtrelenmesi, filtrelenmiş çıkış sinyalin ve enkoder sensör bilgilerinin bluetooth modül kullanılarak taşınabilir aygıtta aktarılması amaçlanmıştır. EMG sinyallerinin ve açı bilgisinin taşınabilir aygıt üzerinde okunması ve değerlendirilmesi için Mobil Uygulama Destekli Ortez (MORTEZ) uygulaması tasarlanmıştır. Ayrıca taşınabilir aygıtta aktarılan EMG sinyallerin ve sensör bilgilerin MORTEZ uygulaması sayesinde kayıt altına alınabilmektedir. Ortez sistemlerinde yapılan hareketin doğru algılanabilmesi için kullanılan filtre türü, kesme frekansı ve derecesi önemlidir. Farklı dijital filtrelerin mikrodenetleyici üzerindeki performansları gerçek zamanlı olarak kıyaslanmış ve IIR filtrenin zaman bakımından çok daha kazançlı olduğu görülmüştür. Dijital sinyal işleme (DSP) kütüphanesinin mikrodenetleyiciye entegre edilmesi ile 8.derece 20-350 Hz bant geçiren IIR filtre kullanılmıştır. Mikrodenetleyici ve MATLAB programı kullanılarak elde edilen filtre çıkış sinyalleri karşılaştırılmış ve yüksek oranda doğruluk sağlanmıştır. STM32 için optimize edilmiş grafiksel kullanıcı arayüz programı olan TouchGFX ile dinamik görseller tasarlanmıştır. Mikrodenetleyici üzerinde elde edilen ham ve filtrelenmiş EMG sinyalleri ile enkoder açı bilgisi geliştirme kartında bulunan 4.3" LCD-TFT ekran üzerinde gösterilmektedir. Ayrıca mikrodenetleyicinin çevresel birimlerinin ayarlanması ve gerçek zamanlı yazılımın gerçekleştirilmesi STM32CubeIDE programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mikrodenetleyicinin çevresel birimlerinin kullanılması, geliştirme kartı üzerindeki ekranın sürülmesi ve tüm filtreleme hesaplamaları gerçek zamanlı bir işletim sistemi olan FreeRTOS ile sağlanmıştır. Mikrodenetleyici üzerinde gerçek zamanlı olarak tek kanallı EMG sinyalini okuyup filtreleyen, elde edilen tüm verileri kablosuz olarak taşınabilir aygıtta aktarabilen, aynı zamanda MORTEZ uygulaması üzerinden verileri kaydedip görüntüleyebilen bir ortez sistemi önerilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Akıllı Ortez, CMSIS DSP, Mikrodenetleyici, Mobil Uygulama, Taşınabilir Aygıt

ABSTRACT

MORTEZ: MOBILE APPLICATION SUPPORTED ORTHOSE SYSTEM DESIGN

Orhan GÜNDÜZ

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical-Electronics Engineering

Master, February/2023

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Cengiz TEPE

It is known that the use of orthoses is important in accelerating the treatment process in cases of musculoskeletal system disorders or injuries in the body. According to their use, orthoses are called to as static and dynamic orthoses. In dynamic orthoses, movements of people are detected using Electromyography (EMG) signals. In addition, various sensors are used to measure data such as position and voltage. For the correct detection of the movement, it is necessary to minimize the noise in the EMG signals.

In this thesis, the goal is to filter raw EMG signals in real-time using an ARM-based microcontroller, transfer the filtered output signal and encoder sensor information to a portable device using a bluetooth module. Mobile Application Supported Orthosis (MORTEZ) application has been designed for reading and evaluating EMG signals and angle information on a portable device. In addition, the EMG signals and sensor information transferred to the portable device can be recorded using the MORTEZ application. The filter type, cutoff frequency and degree used in orthotic systems are important for the correct detection of movement. In the selection of the filter to be used, the performances of the different filters on the microcontroller were compared in real-time and it was seen that the IIR filter was much more advantageous in terms of time. An 8th degree 20-350 Hz band-pass IIR filter was used with the integration of the DSP library into the microcontroller. The filter output signals obtained using the microcontroller and the MATLAB program were compared and a high level of accuracy was achieved. A dynamic graphics was designed using TouchGFX, a graphical user interface optimized for STM32. The raw and filtered EMG signals obtained on the microcontroller and the encoder angle information are displayed on the 4.3" LCD-TFT screen on the development board. The STM32CubeIDE program was also used to configure the microcontroller's peripherals and implement real-time operating system. Using the peripherals of the microcontroller, driving the screen on the development board and all filtering calculations are provided by a real-time operating system called FreeRTOS. An orthosis system that can read and filter the single-channel EMG signal in real-time on the microcontroller, transfer all obtained data wirelessly to a portable device, and record and display data through the MORTEZ application has been suggested.

Keywords: Smart Orthosis, CMSIS DSP, Microcontroller, Mobile Application, Portable Device

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının yürütülmesinde bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Cengiz TEPE' ye, çalışmamda desteğini esirgemeyen sayın Dr. Öğr. Üyesi Nurettin ŞENYER' e, çalışmamı destekleyen AYGÜN CERRAHİ ALETLER' e, çalışmamda destek olan iş arkadaşım Onur İNCİ' ye, tez süresi boyunca evde ki çalışmalarımda bana her türlü desteği sağlayan eşim Özge ve kızım Ela'ya ve çalışmam sırasında yardımını esirgemeyen herkese teşekkürlerimi sunarım.

Orhan GÜNDÜZ



İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı	2
1.2. Tezin Organizasyonu	2
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM	10
3.1. EMG Sinyali	10
3.2. Filtre Seçimi	12
3.2.1. FIR Filtre	13
3.2.2. IIR Filtre	13
3.2.3. FIR ve IIR Filtre Performanslarının Karşılaştırılması	14
3.3. Tasarım	15
3.3.1. Gömülü Donanım	15
3.3.1.1. STM32F746G-DISCO Kartı	16
3.3.1.1.1. ADC	17
3.3.1.1.2. UART/USART	20
3.3.1.1.3. Timer	21
3.3.1.2. EMG Yükselteç Kartı	22
3.3.1.3. HC-05 Bluetooth Modülü	23
3.3.1.4. Enkoder	24
3.3.1.4.1. Mutlak Enkoder	25
3.3.1.4.2. Artımlı Enkoder	25
3.3.2. Gömülü Yazılım	26
3.3.2.1. STM32CubeIDE	26
3.3.2.1.1. CMSIS DSP Yazılım Kütüphanesi	27
3.3.2.1.2. Gerçek Zamanlı İşletim Sistemi (RTOS)	28
3.3.2.2. TouchGFX	29
3.3.3. Mobil Uygulama	30
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	32
4.1. FIR Filtre Performansı	33
4.2. IIR Filtre Performansı	35
4.3. Bant Geçiren Filtre Frekans Aralığının Belirlenmesi	37
4.4. FIR ve IIR Filtrelerin Mikrodenetleyici Üzerindeki Tüketimleri	37
4.5. Mikrodenetleyici Değişimin Filtre Performansı Üzerindeki Etkisi	38
4.6. Enkoder Açık Doğrulama	38
4.7. Diz-Ayak Konum Algılama	39
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	41
KAYNAKLAR	43
ÖZ GEÇMİŞ	46

SİMGELER VE KISALTMALAR

ADC	: Analog Dijital Dönüştürücü
ADCCCLK	: ADC zaman döngüsü
ARM	: Advanced RISC Machines
BLE	: Bluetooth Low Energy
CMSIS	: Common Microcontroller Software Interface Standard
CPU	: Merkezi İşlem Birimi
DAC	: Dijital Analog Dönüştürücü
DMA	: Doğrudan Bellek Erişimi
DSP	: Dijital Sinyal İşleme
EKG	: Elektrokardiyografi
EMG	: Elektromiyografi
FIR	: Finite Impulse Response
FSR	: Force Sensing Resistör
GUI	: Grafiksel Kullanıcı Arayüzü
JTAG	: Joint Test Action Group
IIR	: Infinite Impulse Response
IMU	: Inertial Measurement Unit
MORTEZ	: Mobil Uygulama Destekli Ortez Sistemi
OTG	: On-The-GO
PCB	: Baskılı Devre Kartı
PSNR	: Pik Sinyal Gürültü Oranı
RMS	: Karakök Ortalama
RS-232	: Recommended Standard 232
SD	: Secure Digital
SDK	: Yazılım Geliştirme Kiti
SIMD	: Single Instruction Multiple Data
SNR	: Sinyal Gürültü Oranı
SPI	: Seri Çevresel Arayüz
SPP	: Seri Port Protokolü
SRAM	: Static Random Access Memory
SVM	: Destek Vektör Makinesi
SWD	: Serial Wire Debug
RTOS	: Gerçek Zamanlı İşletim Sistemi
STFT	: Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü
TTL	: Transistör Transistör Logic
UART	: Evrensel Asenkron Alıcı Verici
USART	: Evrensel Senkron ve Asenkron Alıcı Verici
USB	: Evrensel Seri Veriyolu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Ön tarafımızda bulunan derin ve yüzeysel kaslar (Konrad, 2006)	10
Şekil 3.2. Arka tarafımızda bulunan derin ve yüzeysel kaslar (Konrad, 2006)	11
Şekil 3.3. Jelli EMG elektrodu.....	12
Şekil 3.4. FIR filtre blok diyagramı (Ravi et al., 2019)	13
Şekil 3.5. IIR filtre blok diagramı (Ravi et al., 2019)	13
Şekil 3.6. Ham EMG sinyali	14
Şekil 3.7. STM32F746 Discovery kartı ön tarafı.....	16
Şekil 3.8. STM32F746 Discovery kartı arka tarafı	16
Şekil 3.9. Sistem çevrim frekansları	19
Şekil 3.10. ADC parametre ayarları.....	20
Şekil 3.11. UART parametre ayarları	21
Şekil 3.12. Timer parametre ayarları	22
Şekil 3.13. Yükselteç kartı şematik çizimi.....	23
Şekil 3.14. Yükselteç kartı PCB 3D tasarımı	23
Şekil 3.15. HC-05 bluetooth modülü	24
Şekil 3.16. Artımlı enkoder.....	26
Şekil 3.17. STM32CubeIDE yazılım geliştirme ortamı.....	27
Şekil 3.18. Gömülü GUI görseli	30
Şekil 4.1. Yükselteç kart prototipi	33
Şekil 4.2. FIR filtre çıkış sinyalinden elde edilen grafik.....	33
Şekil 4.3. IIR filtre çıkış sinyalinden elde edilen grafik	35
Şekil 4.4. Açölçer ile doğrulama (Gündüz, 2021)	39
Şekil 4.5. Diz ekleminde konum algılama	39
Şekil 4.6. Discovery kart ile animasyonlu konum gösterimi	40

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. FIR ve IIR filtre özelliklerinin karşılaştırması.....	15
Tablo 4.1. FIR filtre PSNR değerleri	34
Tablo 4.2. FIR filtre <i>band power</i> değerleri	34
Tablo 4.3. FIR Filtre süreleri	35
Tablo 4.4. IIR filtre PSNR değerleri	36
Tablo 4.5. IIR filtre <i>band power</i> değerleri	36
Tablo 4.6. IIR Filtre süreleri	36
Tablo 4.7. Bant geçiren filtre frekans aralıkları	37
Tablo 4.8. STM32F429ZIT6 tüketimleri	37
Tablo 4.9. STM32F746NGH6 tüketimleri.....	38
Tablo 4.10. Cortex-M4'den Cortex-M7 geçişte filtre değerlerinin değişimi.....	38

1. GİRİŞ

Ortezler, vücudumuzda bulunan işlevini tamamen ya da kısmen kaybetmiş uzuvların o bölgedeki hareketini desteklemek için kullanılan cihazlardır. Ayrıca gündelik hareketlerini çeşitli problemler yüzünden dolayı doğru olarak gerçekleştiremeyen kişiler içinde ortez kullanımı iyileşme sürecini hızlandırdığı bilinmektedir. Ortezler çok eski yıllardan beri kullanıldığı bilinmektedir. Yapılan araştırmalar, ortezlerin ilk kullanım alanının kırık ekstremitelere uygulandığını göstermektedir (Alsancak, 2020). Günümüzde inme vb. nedenler yüzünden uzuvlarını hareket ettiremeyen bireyler rehabilitasyon merkezlerinden hizmet almaktadır. Hastaların, buradaki ortez cihazlarının maliyetinin yüksek olması veya taşınabilir yapıda olmaması nedeniyle tedavilerini ev ortamında devam ettirmeleri zordur. Akıllı ortezlerin maliyetinin yüksek olmasının en önemli nedenleri arasında ithal ürünler olması ve akıllı davranma maliyeti almaktadır. Buradaki akıllı kelimesi, cihazın sahip olduğu elektronik ve yazılım tasarımının önemini göstermektedir.

EMG, günlük kas hareketlerimizin sonucunda oluşan işaretler olarak bilinmektedir. EMG sinyalleri hastalık teşhisi, ortez ve protez cihazları gibi bir çok medikal alanda kullanılmaktadır. EMG sinyalleri tepeden tepeye 0-10mV arasında genliği değişmektedir. İğne elektrot kullanıldığında frekansı 0-10 kHz, yüzey elektrodu kullanıldığında 0-500 Hz aralığında değişmektedir (Luca, 2002).

Yüzey EMG elektrodu yaygın olarak kullanılsa da sinyal kalitesinin bozulmasına neden olan birçok unsur bulunmaktadır. Bu unsurların en önemlileri arasında insan vücudunda oluşan elektrokimyasal gürültüler, yükselteç sisteminden kaynaklı içsel gürültüler, şebeke gürültüleri ve kablo hareketinden dolayı oluşan gürültüler yer almaktadır (Güler ve Hardalaç, 2002).

EMG sinyallerinin filtrelenmesinde donanımsal filtre devreleri kullanılsa da, daha az donanım ve fiziki alan gerektirdiği için DSP tabanlı denetleyiciler EMG sinyallerinin filtreleme işlerinde kullanılmaktadır. Mikrodenetleyici alanında yapılan teknolojik çalışmalar ve gelişmeler, mikrodenetleyicilerin kabiliyetlerini ve kapasitelerini artırırken fiziki boyutlarını olabildiğince küçültme yönündedir. Bu gelişmeler ile birlikte gömülü sistemlerde kullanılan 8-bit mikrodenetleyiciler yerini 32-bit ve daha yüksek kabiliyetlere sahip mikrodenetleyicilere bırakmaktadır. Gerçek

zamanlı DSP uygulamasında 32-bit mikrodeneleyici kullanılması, maliyetleri düşürmenin yanında sistemin güç tüketimini de azaltmaktadır.

Taşınabilir aygıtlar yaşantımızın hemen hemen her anında yer almaktadır. Oyun veya uygulamaların geliştirme sürecinden sonrada güncelleme işlemleri devam ettiği için kullanılan yazılım geliştirme kiti (SDK) önemlidir. Taşınabilir aygıtlar üzerinde uygulamalar geliştirmek için birçok özgün ve hibrit yazılım geliştirme kiti bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında Google 2017 yılında oluşturulan Flutter kullanılmıştır. Flutter, ücretsiz ve açık kaynak kodlu olarak yazılım geliştirilmeye imkân vermektedir. Ayrıca Andorid ve IOS gibi farklı platformlar için kullanılabilir (Argenova, 2020).

1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasında 32-bit mikrodeneleyici kullanarak gerçek zamanlı bir işletim sistemi ile EMG sinyalini dijital olarak filtrelenmesi, enkoder üzerinden konum bilgisinin öğrenilmesi, elde ettiği tüm bilgileri bluetooth modülü ile taşınabilir aygıta aktarılabilmesi için MORTEZ yazılımının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Böylece taşınabilir aygıta yüklenmiş MORTEZ yazılımına kablosuz olarak tüm verilerin aktarılması, kullanıcının EMG sinyal ve diğer bilgilerini MORTEZ yazılımı üzerinden görüntüleyebilmesi ve kayıt altına alabilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu çalışmada kullanılacak filtre seçimi ve filtrenin mikrodeneleyiciler üzerindeki performansı incelenmiştir.

Bu çalışma, gömülü donanım, gömülü yazılım ve mobil uygulama olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. Gömülü donanım kısmında, kullanılan mikrodeneleyici özellikleri, bluetooth modülü, enkoder ve EMG yükselteç kartı ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Gömülü yazılım kısmında ise temelinde STM32CubeIDE kullanılan gerçek zamanlı işletim sistemi ve görsel tasarımın oluşturulduğu TouchGFX programları anlatılmıştır. Mobil uygulama kısmında ise özgün ve hibrit bir yazılım geliştirme programı olan Flutter ve özellikleri hakkında bilgiler verilmektedir.

1.2. Tezin Organizasyonu

Bu tez çalışmanın ikinci bölümünde EMG sinyalleri ve diğer biyomedikal sinyallerde kullanılan filtreleme yöntemleri, mikrodeneleyiciler ve donanım çeşitleri ile ilgili literatür özetlerine yer verilmiştir. Üçüncü bölümde EMG sinyalleri, Filtre

türleri kullanılan yazılım ve donanım materyalleri anlatılmaktadır. Dördüncü bölümde bu çalışmanın sonucunda elde edilen bulgulara açıklanmaktadır. Beşinci bölümde ise çalışmanın sonuç ve önerileri sunulmaktadır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Literatürü incelediğimizde EMG sinyali üzerinde yapılan çalışmalar, gömülü sistemde kullanılan mikrodenetleyiciler ve ortez teknolojisi giderek yükselmektedir. EMG sinyalleri ile birçok dijital/analog filtreleme yapılmıştır. Elde edilen sinyaller ile protezler, ortezler ve robotik gibi cihazlar kontrol edilmeye çalışılmıştır. Bu tez çalışması sırasında literatür taraması yapılmış, EMG sinyal filtreleme sırasında kullanılan filtre ve mikrodenetleyici türleri yazılım ve donanım açısından incelenmiş ve özetlenmiştir.

Pylatiuk ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada hybrid kol ortezi için yapılan fluidik hareket sistemi tasarımı anlatılmaktadır. Hybrid kol ortezleri, mekanik yapıların yanı sıra fluidik sistemleri de kullanan ortezlerdir. Genellikle hareket kısıtlılığı olan insanlar için tasarlanmaktadır. Fluidik hareket sistemleri, hareket sırasında ortezin esnekliğini sağlamaktadır. Fluidik sistem, hidrolik pompa ve valflerden oluşmaktadır. Bu çalışmada kullanılan hidrolik pompa motorunun kontrolü, sensör girişleri, dijital girişler, analog dijital dönüştürücü (ADC) ve dijital çıkışlar için tipik bir PIC16F877 mikrodenetleyicisi kullanılmaktadır. Böylece hybrid kol ortezi için etkili bir şekilde çalışan gerçekleştirdiklerini belirtmişlerdir (Pylatiuk et al., 2009).

Kaslardan üretilen elektronik sinyaller, gerçekleşen kuvvetten önce üretilmektedir. Yuan ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, yüzey EMG sinyalleri, insan hareketinin etkisini tespit etmek için uygun bir yaklaşım olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca insan eylemini tespit etmeye yönelik bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu çalışmada, Kalman Filtre algoritması ile kayan nokta değişkenlerini hesaplamaları yapılmıştır. Tüm bu sistemde STM32 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Sonuç olarak önerdikleri Kalman Filtre yöntemi ile insan eylem niyetini 20 ms içinde tespit edilebilir olduğunu göstermişlerdir (Yuan et al., 2022).

Boz ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada 2 kanallı EMG işaretleri ve FPGA geliştirme kartı kullanarak protez kolun kontrolü gerçekleştirilmiştir. FPGA kartı ile EMG işaretlerin ADC olarak okunması, 2 Hz Alçak geçiren FIR süzgeç uygulanması, ilgili modların eşiklemesi ve sonuç olarak PWM sinyalinin üretilmesi gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışma, 24 ms gecikme süresi ile protez kol kontrolünü yüksek doğrulukla gerçekleştirilmiştir (Boz vd., 2022).

Chen ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada EMG kontrollü bir robotik el için uygun maliyetli bir gömülü sistem ve kısa süreli Fourier dönüşüm (STFT) yöntemi geliştirmektedir. Burada gömülü STFT sistemi STM32 kullanılarak geliştirilmiştir. Gömülü kök ortalama (RMS) sistemi ile gömülü STFT sistemin performanslarını karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak STFT gömülü sistem RMS gömülü sisteme göre kas kasılmasını tespit etmede daha kararlı yapıda olduğu belirtilmiştir. Ayrıca hareketi algılayanın ortalama zaman gecikmesi 300ms'den küçük olduğu söylenmektedir. Yapılan çalışmada STM32 ARM 32-bit Cortex-M3 mimarisine sahip mikrodenetleyici kullanılmış ve 72 MHz'de çalıştırılmıştır (Chen et al., 2022).

Taha ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada EMG sinyallerinin yumuşatılmasında farklı IIR filtre derecelerinin ve kesme frekanslarının etkilerini incelemişlerdir. IIR filtrenin yumuşatma performanslarını karşılaştıran deneyler yapılmış ve hangi filtre konfigürasyonun en iyi sonuçlar verdiği analiz edilmiştir. 2 Hz'den 16 Hz'e kadar çift değerler sırası ile kesme frekansı olarak seçilmiştir. Aynı zamanda her bir frekansta 1'den 10'a kadar tüm derecelerde pik sinyal gürültü oranı (PSNR) değerleri ölçülmüştür. Yaptıkları çalışmada düşük kesme frekansında kullanılan filtre derecesi çıkış sinyalini önemli ölçüde etkilerken, yüksek kesme frekansında kullanılan filtre derecesi, çıkış sinyalini çok daha az etkilemekte olduğu belirtilmiştir (Taha et al., 2015).

Fernandes ve arkadaşları yaptıkları çalışmada güçlendirilmiş bir diz ortezi kontrol etmek için EMG tabanlı hareket algılama yöntemlerinin araştırmışlardır. EMG sinyal analizinde ve diz ortezi kontrolünde STM32F4 Discovery kartı kullanılmıştır. Yaptıkları çalışmada 20-500 Hz kesme frekansına sahip 2. Derecede bant geçiren filtre uygulamışlardır (Fernandes et al., 2019).

Küçük ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada aynı anda üç kanaldan EMG sinyalleri sayısal filtre devreleri ile işlenmiş ve kablosuz olarak mobil robot kartına aktarılmıştır. Filtreleme işlemlerinde ilk olarak 50 Hz çentik filtre uygulanmıştır. Sonrasında 100 Hz yüksek geçiren IIR filtre uygulanmıştır. Filtre çıkışından elde edilen sinyaller pozitif ve negatif yönlü sinyal olduklarından burada mutlak genlikleri alınmış ve sonrasında 2 Hz kesme frekansına sahip alçak geçiren filtre uygulanmıştır. Elde edilen işlenmiş sinyaller ile robotun yön ve hız kontrolleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan CY8C5888 geliştirme kartında 32-bit ARM Cortex-M3

mikrodenetleyici kullanılmaktadır. Bu mikrodenetleyicinin DSP kabiliyeti olmadığından dijital filtre entegreleri kullanılmıştır (Küçük vd., 2017).

Borbely ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada EMG sinyallerinin okunmasında, verilerin bluetooth ile bilgisayara aktarılmasında ve *Secure Digital* (SD) karta kaydedilmesinde STM32F4 Discovery kartı kullanılmıştır. Bu kartta STM32F407VG Cortex-M4 mimarisine sahip mikrodenetleyici bulunmaktadır. Maksimum 168 MHz hızında çalıştırılabilmektedir. Yazılım geliştirme ortamı olarak Eclipse IDE ve GNU araçları kullanılmıştır. Yazılımda FreeRTOS adlı işletim sistemi kullanılmıştır. *Common Microcontroller Software Interface Standard* (CMSIS) DSP eklentisi kullanılarak mikrodenetleyici üzerinden 500 Hz kesme frekansına sahip alçak getiren filtre kullanmışlardır (Borbely et al., 2015).

Shihomi ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada inme sonrası dizi kontrol etmek için diz-ayak-bilek ortezi takılabilecek yeni bir rehabilitasyon cihazının geliştirilmesi anlatılmaktadır. Bu cihazın inme sonrası diz hareketlerini iyileştirmede fizik tedavi seanslarına yardımcı olabileceği savunulmuştur. Ayrıca bu cihaz inme sonrası diz hareketlerinin doğal hale getirilmesine ve normal yaşamlarını sürdürebilmesine yardımcı olabileceği belirtmişlerdir (Shihomi et al., 2017).

Salem ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada yüzey EMG sinyallerinden hareketle protez elin kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları bu kontrol sisteminde 16-bit işlem kabiliyetine sahip dsPIC30f4013 işlemcisi kullanılmıştır. EMG sinyalindeki gürültülerin giderilmesi için 50 Hz çentik filtre ve 20-300 Hz kesme frekansına sahip 2. derecede Butterworth filtre uygulanmıştır. Filtrelenmiş sinyal eşik değerin üstünde ise el aç, altında ise el kapa hareketini yaptığı belirtilmiştir (Salem et al, 2013).

Roland ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada EMG sinyallerinin kapasitif olarak eşleştirilerek alınabileceğini göstermektedir. Bu sinyalin alınmasında ultra düşük güçte çalışan Atmel SAM L21 serisi mikrodenetleyici bulunmaktadır. 32-bit ARM Cortex-M0+ mimarisine sahip bu işlemci maksimum 48 MHz hızında çalıştırılabilmektedir. Elde edilen EMG sinyalleri yükselteç ve bant geçiren filtre bulunan analog karta bağlanmıştır. Yaptıkları çalışmada gerçek zamanlı kısa süreli Fourier dönüşümü gerçekleştirmişlerdir (Roland et al., 2017). Fakat kullanılan mikrodenetleyicinin kayan nokta özelliği ve DSP özelliği bulunmamaktadır. ATMEL-Studio 7 yazılım geliştirme programına CMSIS DSP kütüphanesi entegre edilerek

“arm_rfft_q15” fonksiyonu kullanılmış ve gerçek zamanlı FFT uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Triwiyanto ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada temelinde EMG sinyal olan üst ekstremité dış iskelet sistemi geliştirmişlerdir. Dış iskelet sistemi, bir kullanıcının koluna ve eline takılmaktadır. Kullanıcı elini hareket ettirmek istediğı zaman, dış iskelet sistemi tarafından kontrol edilen mekanik parçalar aracılığıyla hareket ettirilmektedir. Bu sistem EMG sinyallerini kullanarak kullanıcının elini hareket ettirmek istediğini anlar ve bu isteğe göre hareket etmektedir. Yapılan çalışmada STM32F429 Discovery kartı kullanılmıştır. Bu kartta kullanılan işlemci maksimum 180 MHz hızında çalışmaktadır. EMG sinyalleri üzerinde uygulanan özellik çıkarma ve 2. derecede Butterworth filtreleme işlemleri kullanılan mikrodenetleyicinin sahip olduğu kabiliyetleri sayesinde gerçekleştirilmiştir (Triwiyanto et al., 2019).

Ferreira ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada Ortese adında Android platformlar için uygulama geliştirmişlerdir. Geliştirilen ortez sistemi ile uygulamasının haberleşmesi HC05 bluetooth modülü üzerinden sağlanmıştır (Ferreira et al., 2020).

Park ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada kullanıcı kontrollü el ortezi, EMG sinyalleri ve ölçülen farklı sensörler ile sağlanmaktadır. Ölçülen sensörler arasında esneklik sensörü, enkoder ve basınç sensörü bulunmaktadır. İlave sensör kullanılarak yapılan seç ve yerleştir hareketleri daha verimli olduğu belirtilmektedir (Park et al., 2018).

Karabıyk ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada düşük maliyetli, el-bilek hareketlerini yerinde getirmekte problem yaşayan kişiler için robotik rehabilitasyon cihazı geliştirmişlerdir. Bu çalışmada EMG sinyalleri gerçek zamanlı olarak Arduino MEGA kartı ile okunarak seri port ile MATLAB/Simulink ortamına aktarılmaktadır. Kuvvet sensör çıkışı düşük bir gerilime sahip olduğu için önce HX711 yükselteci ile yükseltildikten sonra Arduino Uno kartı ile okunmaktadır. Okunan veriler PWM çıkış portundan analog sinyale dönüştürülerek Arduino MEGA kartında aktarılmaktadır (Karabıyk vd., 2019).

Mahmood ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada dejeneratif kas hastalıkları olan hastalar için yeni bir pasif boyun ortezi geliştirilmiştir. Geliştirilen ortez, hastaların boyun hareketlerini düzeltmeye yardımcı olduğu belirtilmektedir. Ayrıca hastaların

yaşam kalitesini ve hareket kabiliyetlerini yükselttiği söylenmektedir. Geliştirdikleri ortez, laboratuvar ortamında ve gerçek hayatta test edilmiştir. Sonuç olarak ortezin etkili bir şekilde çalıştığını ve hastaların konfor düzeyini artırdığı gösterilmiştir. Yaptıkları çalışmada EMG sinyalleri 2. Dereceden 10-400 Hz bant geçiş filtresi ve 30 Hz kesme frekansına sahip yüksek geçiren filtre kullanılarak kayıt altına alınmıştır (Mahmood et al., 2021).

Elektrokardiyografi (EKG) sinyalindeki gürültülerin giderilmesi, kalp atışının daha doğru değerlendirilmesine fayda sağlamaktadır. IIR filtreler, sürekli zamanlı sistemlerde olduğu gibi, sayısal ortamda da kullanılabilirler ve genellikle FIR filtrelerden daha verimlidirler. Bu durum, IIR filtrelerin daha az kesirlerin hesaplanması gerektiği anlamına gelir. IIR tabanlı sayısal filtre kullanılarak EKG sinyalindeki gürültüyü gidermeye çalışan Yakut ve arkadaşları yaptıkları bu çalışmada, Butterworth, Chebyshev 1, Chebyshev 2 ve Eliptic sayısal filtrelerini kullanmıştır. Bu filtre türlerinin her biri farklı gürültü azaltma özelliğine sahiptir. Sonuç olarak benzetim başarımı yüksek olan, bant durduran filtre olarak Chebyshev 2, yüksek geçiren filtre olarak Chebyshev 1 ve alçak geçiren filtre olarak Elliptic filtre kullanılmıştır (Yakut vd., 2018).

Das ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, ECG sinyalinin gürültüden arındırılması için FIR ve IIR filtrelerinin performansları karşılaştırılmıştır. Aynı ayrı FIR ve IIR filtre kullanarak gürültülerinden arındırılmış EKG sinyalleri, filtre derecesinin değişimine göre sinyal gürültü oranları (SNR) belirtilmiştir. Bu çalışmada başkasının EKG gürültüsünü gidermek için doğru filtre seçimine yardımcı olmak amaçlanmıştır (Das & Chakraborty, 2017).

Kwon ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada sadece klinik amaçlı değil günlük kullanıma da uygun, hafif, kolay giyilebilir ekonomik bir ayak bileği önermişlerdir. Gerçek zamanlı olarak tasarlanan sistemde ayak bileğine yerleştirilen sensörler ile yürüme analizi yapılmaktadır. Sensörlerden elde edilen bilgiler kablosuz olarak bilgisayara aktarılmaktadır. Geliştirilen tahrikli ortez, fonksiyonel ambulasyon kategorisinde olan hasta üzerinden denenmiştir. Deneyde yürüme analizi ortezli tahrikli, ortezli tahriksiz ve ortezsiz olarak gerçekleştirilmiştir. Hasta ile ortezli tahrikli, ortezli tahriksiz ve ortezsiz olarak yürüme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen veriler ortezin hemiplejik yürüyüşün iyileştirilme potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir (Kwon et al., 2019).

Yun ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada spinal kord yaralanmalarına uğrayan hastalar için EMG sinyalleri ile kontrol edilen Maestro adında el ortez sistemi geliştirmişlerdir. Farklı hareketler yapılarak elde edilen EMG sinyalleri yapay sinir ağlarıyla sınıflandırdıktan sonra Maestro servo motor kontrolcüsü ile ilgili hareketi gerçekleştirmişlerdir (Yun et al., 2017).

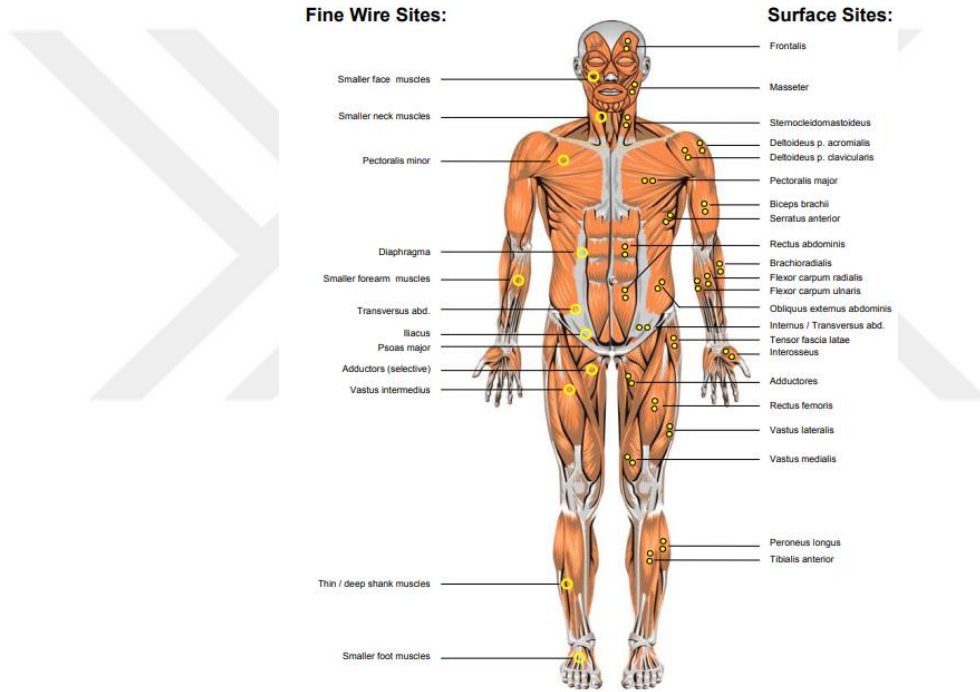
Ryser ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Myo arm bant kullanarak giyilebilir ve kullanıcı hareketini algılayan bir sistem sunmuşlardır. Bu çalışmada kullanılan Myo arm bant üzerinde 8 adet yüzey EMG sinyalini ölçen sensörler bulunmaktadır. Elde edilen sinyaller HM-11 *bluetooth low energy* (BLE) modülü ile Galileo Gen 2 adındaki geliştirme kartına aktarılmaktadır. Bu kart üzerinde Intel tarafından üretilen Quark SoCX1000 temelli, 2. nesil 400 MHz 32-bit Pentium işlemci modeline sahiptir. Kart içindeki SD karta yüklü gömülü Yocto Linux yazılımı bulunmaktadır. Sağlıklı insanların eli ile yapılan 5 hareketin sınıflandırılması çevrimdışı olarak MATLAB programı ile uygulanmıştır. Sınıflandırma başarı oranı %78.8 ile %99.2 arasında değiştiğini belirtmişlerdir (Ryser et al., 2017).

Félix ve arkadaşları yaptıkları çalışmada özellikle diz ortez tasarımı için yeni bir elektronik ve gerçek zamanlı kontrol mimarisi önerilmiştir. Tasarlanan modüler ortez sistemi, mekanik sistem ve giyilebilir sensörlerden oluşmaktadır. EMG sinyalinin yanında Tech *Inertial Measurement Unit* (IMU) v4 ve *Force Sensing Resistor* (FSR) sensörleri de kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın kontrolü STM32F4 Discovery kartı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Discovery kartında STM32F407VGT 32-bit 168 MHz hızında çalışabilen mikrodenetleyici bulunmaktadır (Félix et al., 2017).

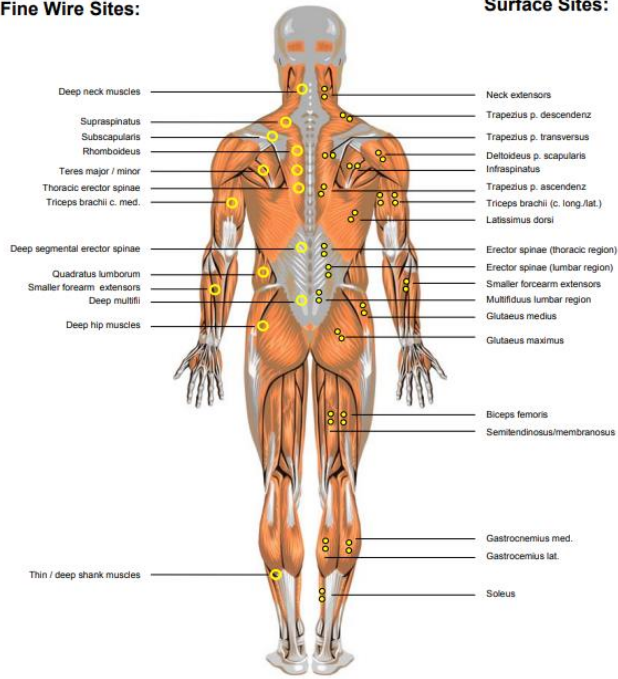
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. EMG Sinyali

Elektromiyografi, miyoelektrik sinyallerin geliştirilmesi, kaydedilmesi ve analizi ile ilgili deneysel bir tekniktir. Elektro(elektriksel), miyo(kas) ve grafi(yazım/grafik) kelimelerinden oluşmaktadır. Bu yöntemde kullanılan cihaza elektromiyograf, kaydettiği verilere ise elektromiyogram denilmektedir. Aşağıdaki Şekil 3.1’de vücudumuzda ön kısmında bulunan kasları, Şekil 3.2’de vücudumuzun arka kısmında bulunan kasları göstermektedir. Sarı yuvarlak ile belirtilen kaslar derin kaslar, nokta ile belirtilen kaslar yüzeyde bulunan kasları göstermektedir.



Şekil 3.1. Ön tarafımızda bulunan derin ve yüzeysel kaslar (Konrad, 2006)

Fine Wire Sites:**Surface Sites:**

Şekil 3.2. Arka tarafımızda bulunan derin ve yüzeysel kaslar (Konrad, 2006)

Bu çalışmada yüzey EMG sinyalleri kullanılarak filtreleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Yüzey EMG sinyalleri, vücudumuzdaki kas hareketlerinin elektriksel aktivitesini ölçmek için kullanılan bir tekniktir. Elde edilen EMG sinyalleri ile vücudumuzdaki kas hareketlerini, hareketlerin gücünü ve hızını ölçmek mümkündür. Bu sinyaller cilt üzerine yerleştirilen elektrotlar vasıtası ile elde edilebilir. Bu sinyallerin ölçümünde kullanılan çok çeşitli elektrotlar kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada gümüş/gümüşklorür elektrodu olarak da bilinen jelli ve tek kullanımlık 50x50 mm elektrot kullanılmıştır. Aşağıdaki Şekil 3.3'te kullanılan elektrot gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Jelli EMG elektrodu

3.2. Filtre Seçimi

Dijital ve analog sinyaller elektronik sistemlerin ana iki bileşenini oluşturmaktadır. Bu sinyaller, gömülü sistemlerde sinyal işleme tasarımına göre ADC/DAC gibi dönüşümlerle kullanılabilir. Analog sinyaller doğrudan veya dijital sinyallere dönüştürülüp kullanılırken, gürültülerden kaynaklı bozulmalar sistemin verimli çalışmasını etkilemektedir. Sinyaldeki bu gürültüleri minimuma indirmek için filtreleme işlemleri uygulanmaktadır. Filtreler kullanım amaçlarına göre aşağıdaki gibi türlere ayrılmaktadır:

- Alçak geçiren filtre
- Yüksek geçiren filtre
- Bant durduran filtre
- Bant geçiren filtre

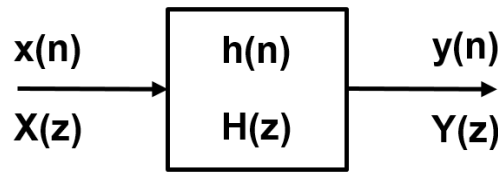
Filtre devreleri elektronik bileşenler kullanılarak analog bir şekilde yapılabilirdiği gibi dijital olarak da uygulanabilmektedir. Dijital filtreler Finite Impulse Response (FIR) ve Infinite Impulse Response (IIR) olmak üzere iki çeşittir (Grout, 2008). Dijital dünyanın analog dünyaya göre aşağıdaki gibi avantajları bulunmaktadır (Oshana, 2012):

- Programlanabilirlik: Filtreleme algoritması kolayca ve herhangi bir donanım değiştirmeye gerek kalmadan güncellenebilir.
- Kararlılık: Sistem sıcaklık değişimi gibi çevresel faktörlerden etkilenmektedir.
- Düşük Maliyet: Herhangi bir elektronik bileşen gerektirmez.

- Fonksiyonellik: İşlemcide kalan döngülere yeni fonksiyonlar eklenebilir.
- Analog sınırlamalar: DSP'ler analog olarak mümkün olmayan görevleri gerçekleştirmek üzere programlanabilir.

3.2.1. FIR Filtre

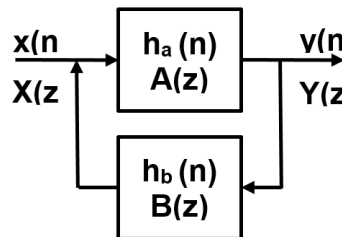
Dijital filtre türleri arasında çok yaygın olarak kullanılan FIR filtre, çıktısının mevcut ve önceki girişler ile hesaplandığı özyinelemesiz bir filtredir. Diğer bir deyiş ile bir önceki filtre çıktısı girdi olarak kullanılmaktadır. Böylece FIR filtre daha kararlı bir yapıya bürünecektir. Diğer bir avantajı lineer faz üretmesidir. Sahip olduğu avantajların yanında en önemli dez avantajı FIR filtrenin çalıştırılması için gereken zaman ihtiyacıdır. Geri besleme olmadığı için sistem denkleminde daha fazla katsayıya ihtiyaç duymaktadır. Eklenen her katsayı sisteme ilave işlem ve işlemci için ekstra yük olarak sonuçlanmaktadır (Oshana, 2012).



Şekil 3.4. FIR filtre blok diyagramı (Ravi et al., 2019)

3.2.2. IIR Filtre

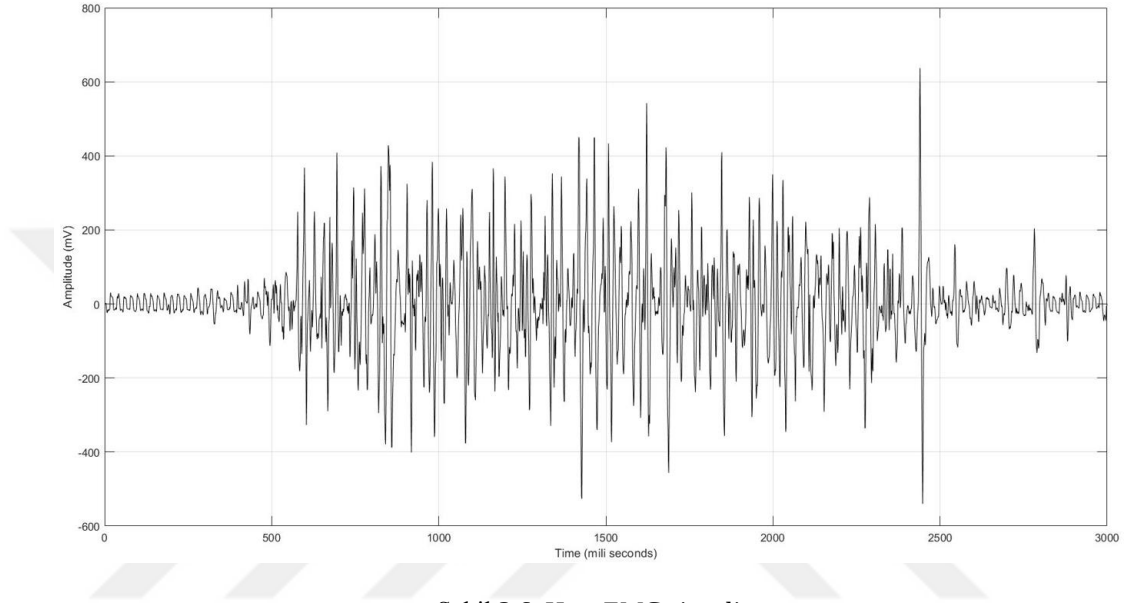
IIR filtreler, daha az çarpan gerektirmesine rağmen geri beslemeli bir yapıya sahip oldukları için FIR filtreye göre daha karmaşık bir yapıya sahiptirler. Ayrıca lineer olmayan davranışları nedeniyle analiz edilmesi daha zordur. Sahip olduğu geri besleme özelliği IIR filtrede kararsızlığa sebep olabilir ve aşağı taşmalar görülebilir. Bu nedenler IIR filtre kullanımı FIR filtreye göre çok daha azdır (Poularikas, 2007).



Şekil 3.5. IIR filtre blok diagramı (Ravi et al., 2019)

3.2.3. FIR ve IIR Filtre Performanslarının Karşılaştırılması

Filtre performans kıyaslamasında ME3000P cihazı kullanılarak elde edilen yüzey EMG sinyalleri kullanılmıştır (Tepe vd., 2015). Örnekleme frekansı 1 kHz ve sinyal uzunluğu 13.000 örneklem olan veri setinde 1.500'den 4.500'e kadar olan 3000 adet veri kullanarak FIR ve IIR filtre performansları değerlendirilmiştir. Elde edilen ham EMG sinyal grafiği Şekil 3.6'da gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Ham EMG sinyali

Yapılacak FIR filtre katsayı hesaplanmasında 2., 4., 8., 16. ve 32. derecelerde 20-350 Hz bant geçiren filtre için gerekli katsayılar MATLAB platformu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Katsayı hesaplamada $y=fir1(n, Wn, ftype)$ fonksiyonu ve hamming window metodu kullanılarak katsayılar üretilmiştir. Üretilen katsayılar ile $y=filter(b,a,x)$ fonksiyonu kullanılarak bilgisayar ile filtrelenmiş çıktılar oluşturulmuştur. Mikrodenetleyici ile yapılan FIR filtre çalışmasında ise elde edilen bant geçiren katsayıları mikrodenetleyici tarafında $arm_fir_init_f32$ fonksiyonu ile ilklendikten sonra arm_fir_f32 fonksiyonu kullanılarak filtreleme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılacak IIR filtre katsayı hesaplanmasında 2., 4., 8., 10., 12. ve 14. derecelerde 20-350 Hz bant geçiren filtre için gerekli katsayıların hesaplanmasında $[b,a]=butter(n,Wn,ftype)$ fonksiyonu kullanılmıştır. Böylece Butterworth bant geçiren filtre katsayıları elde edilmiştir. Üretilen filtre katsayıları ve $y=filtfilt(b,a,x)$ fonksiyonu MATLAB platformu kullanılarak filtrelenmiş çıktılar üretilmiştir. Elde edilen katsayılar bu kez mikrodenetleyici üzerinde

arm_biquad_cascade_df2T_init_f32 fonksiyonu ile ilklendikten sonra arm_biquad_cascade_df2T_f32 fonksiyonu kullanılarak filtreleme işlemi gerçekleştirilmiştir. FIR ve IIR filtre filtrelerin sahip oldukları avantajlar ve dezavantajlar aşağıdaki Tablo 3.1’de belirtilmiştir.

Tablo 3.1. FIR ve IIR filtre özelliklerinin karşılaştırması

Özellikler	FIR	IIR
Yapı	Özyinelemesiz	Özyinelemeli
Hesaplama Verimliliği	Az	Nispeten biraz daha fazla
Kullanımı	Zor	Daha kolay
Tasarım	Kolay	Nispeten biraz daha zor
Kararlılık	Daima kararlı	Kararlı olmayabilir
Hassasiyet	Az	Çok
Faz yanıtı	Lineer	Non-lineer
Gecikme	Çok	Az
Hafıza gereksinimi	Çok	Az
Kontrolü	Kolay	Oldukça Zor

3.3. Tasarım

3.3.1. Gömülü Donanım

Gömülü donanım, merkezinde mikrodenetleyici/mikroişlemci bulunan bir sistemin parçası olarak tasarlanan ve özel bir amaca hizmet eden bir donanım sistemidir. Gömülü donanım genellikle bir cihazın içinde bulunur ve cihazın tüm veya belirli bir işlevini gerçekleştirmek için tasarlanmıştır. Örneğin, çamaşır makinesinin ilgili yıkama programının seçilmesi ve sırasıyla yıkama ve durulama işlemlerinin gerçekleştirilmesini sağlayan bir gömülü donanım sistemidir.

ARM mimarisi günümüzde pek çok gömülü donanım tasarımında kullanılan RISC tabanlı bir işlemci mimarisidir. ARM mimarisinin Cortex aile grubu aşağıdaki gibi üç ana kategoriye bölünmüştür:

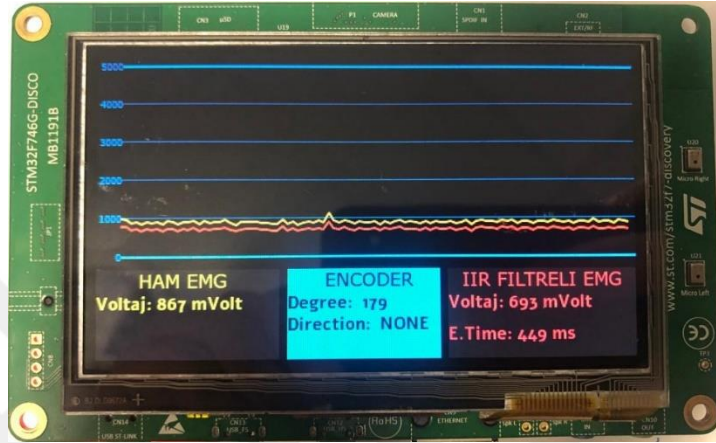
- Cortex-A (Application): Yoğun performans gerektiren sistemler için uygulama işlemci çekirdekleri,
- Cortex-R (Real Time): Gerçek zamanlı uygulamalar için yüksek performans çekirdekleri,
- Cortex-M (Microcontroller): Çok çeşitli gömülü uygulamalar için mikrodenetleyici çekirdekleri.

Cortex-M mikrodenetleyici ailesi, gömülü sistemler için düşük gecikme süresi sağlayan M-profil mimarisine dayanmaktadır. Cortex-M ailesi maliyet ve enerji

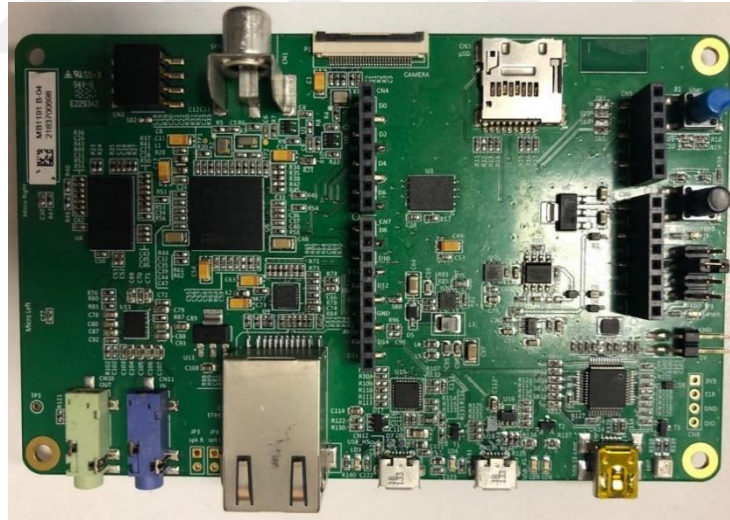
verimliliği açısından optimize edilmiştir. Ayrıca çok çeşitli gömülü sistem alanlarında kullanılmaktadır.

3.3.1.1. STM32F746G-DISCO Kartı

Gömülü donanım sistemleri, yüksek hız gerektiren işlemleri gerçekleştirmek için tasarlanmaktadır. Bu tez çalışmasında STMicroelectronics'in ürünü olan STM32F746 Discovery kartı kullanılmıştır.



Şekil 3.7. STM32F746 Discovery kartı ön tarafı



Şekil 3.8. STM32F746 Discovery kartı arka tarafı

STM32F746 Discovery kartı, STMicroelectronics tarafından üretilen bir mikrodenetleyici tabanlı geliştirme kartıdır. Bu kartın merkezinde STM32F746NGH6 kodlu mikrodenetleyici bulunmaktadır. Discovery kartı aslında sahip olduğu mikrodenetleyicinin ne kadar performanslı olduğunu göstermektedir. STM32F746 Discovery kartının diğer özellikleri aşağıdaki gibidir:

- 320 KB *Static Random Access Memory* (SRAM) bellek
- 1 MB Flash bellek
- 128-Mbit Quad-SPI Flash bellek
- 4.3" 480x272 piksel RGB LCD-TFT kapasitif dokunmatik ekran
- Kullanıcı ve reset butonları
- 1 adet Evrensel Seri Veriyolu (USB) *On-The-GO* (OTG) portu
- 1adet SD kart okuyucu
- 1 adet mikro-USB portu
- 1 adet *Joint Test Action Group* (JTAG)/ *Serial Wire Debug* (SWD) portu
- 2x12-bit DAC çevirici
- 3x12-bit ADC
- 18 adet Timer
- 4 adet I2C
- 4 adet Evrensel Senkron ve Asenkron Alıcı Verici (USART/UART)
- 6 adet SPI
- 1 adet RJ45
- 1 adet Stereo hoparlör çıkışı
- 1 adet ARDUINO Uno V3 bağlantısı

STM32F746NGH6 mikrodnetleyicisi, ARM Cortex-M7 işlemci çekirdeğine sahip 32-bit mikrodnetleyicidir. Bu mikrodnetleyici 216 MHz performansına sahip hızlı ve güçlü bir çekirdeğe sahiptir. Bu mikrodnetleyici birçok I/O portu ve çevresel birimleri bulunmaktadır. Bu özelliği sayesinde çok sayıda veri girişi ve çıkışı yapılabilir. Yapılan çalışmada kullanılan en önemli çevresel birimler eklentiler; ADC, USART, Timer ve filtreleme için CMSIS DSP eklentisi ile arm.math kütüphanesidir.

3.3.1.1.1. ADC

Gömülü sistem dünyasında en çok kullanılan modüllerden biri mikrodnetleyici veya mikroişlemcilerin ADC portudur. ADC, analog veriyi belli bir çözünürlükteki dijital bir veriye çevirme amaçlı kullanılmaktadır. Örneğin, 12-bit çözünürlüğe sahip bir ADC, analog bir değeri 0 ile 4095 arasında bir değere dönüştürmektedir. Çözünürlük yükseldikçe, hassasiyet de yükselmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan STM32F746NGH6 mikrodnetleyicide 3 adet 12-bit ADC bulunmaktadır. Her bir ADC kanalı 16 adet kanala sahiptir. Fakat diğer çevresel birimler aktif olduğunda

mikrodenetleyici pinleri çakışmakta ve 16 kanalın hepsinin kullanımı mümkün olmamaktadır. ADC kullanımında Polling, doğrudan bellek erişimi (DMA) ve Interrupt yöntemleri kullanılmaktadır.

- Polling ile okuma yönteminde herhangi bir cihaz, kaynak ya da sensörden veri beklenirken, bu veriyi yazılım üzerinden sorgulama yöntemi ile elde edilmesidir. Burada sorgulama sıklığı yapılan çalışmaya göre ayarlanabilmektedir. Fakat veri yanıtının gelme süresi boyunca sistemin çalışmasını engelleyebilir. Basit ve kolay uygulandığı için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir.
- DMA ile okuma yönteminde, merkezi işlem biriminden (CPU) bağımsız olarak ADC ve USART gibi çevresel birimlerin mikrodenetleyici belleğine doğrudan erişebilmesini sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem sayesinde sistemin veri üretebileceği ya da veri alabileceği bir bellek alanı belirlenir. Bu sayede sistem veri transferi sırasında mikrodenetleyicinin CPU zamanını kullanmaz.
- Interrupt, bir mikrodenetleyici siteminde belirli bir kaynak, cihaz ya da sensör tarafından bir olayın meydana geldiğini bildirmek için kullanılan bir yöntemdir. Örneğin bir sensör veri gönderdiğinde, ADC okuması tamamlandığında ya da mikrodenetleyicide ilgili bir dijital pinin giriş voltajı değiştiğinde bir kesme oluşturur ve mikrodenetleyici bu olayı işleme alır. Böylece mikrodenetleyici sürekli kaynaktan veri almak yerine, sadece beklediği bir olay gerçekleşmişse harekete geçerek veriyi alır. Interrupt yöntemi sayesinde mikrodenetleyiciler daha verimli çalışmaktadır ve gönderilen verilere daha hızlı yanı vermektedir.

Bu üç yöntem sadece ADC için değil, USART gibi dijital veriler içinde kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada interrupt (kesme) moduna ADC okuma tercih edilmiştir. ADC okuma için ADC3 konfigure edilmiştir. Tasarlanan pin ayarları nedeniyle ADC3 modunda 7 kanal ayarlanabilmektedir. 1000 Hz rnekleme frekansı için ADC zamanlama hızının düşürülmesi gerekir. Fakat gömülü donanım üzerinde bulunan diğer bileşenler nedeniyle sistemin genel hızı çok dşrlememektedir. Ayrıca sistemin çalışma hızının düşürülmesi yapacağı filtreleme gibi diğer işlemlerinin sresinin uzayacağı anlamına gelmektedir. ADC rnekleme süresi aşağıdaki formül ile ayarlanmaktadır:

$$T = \frac{\text{Örnekleme Zamanı} + 12}{ADCCLK} \quad (3.1)$$

STM32CubeIDE kullanılarak, ADC kanalın örnekleme zamanı 480 çevrim olarak seçilmiştir. STM32F746NGH6 mikrodenetleyicisinde tüm ADC portları APB2 veri yoluna bağlıdır. Sistemin genel frekansı 196.8 MHz olarak ayarlanmıştır. APB2 frekans metre değeri 4 seçildiğinde APB2 frekansı:

$$APB2 = \frac{196,8}{4} = 49,2 \text{ MHz} \quad (3.2)$$

49,2 MHz olarak hesaplanmaktadır. ADC3 frekans metre ayarını da 4 olarak seçtiğimizde ADC zaman döngüsü (ADCCLK) frekansı 12,3 MHz olarak hesaplanmaktadır.

$$ADCCLK = \frac{49,2}{4} = 12,3 \text{ MHz} \quad (3.3)$$

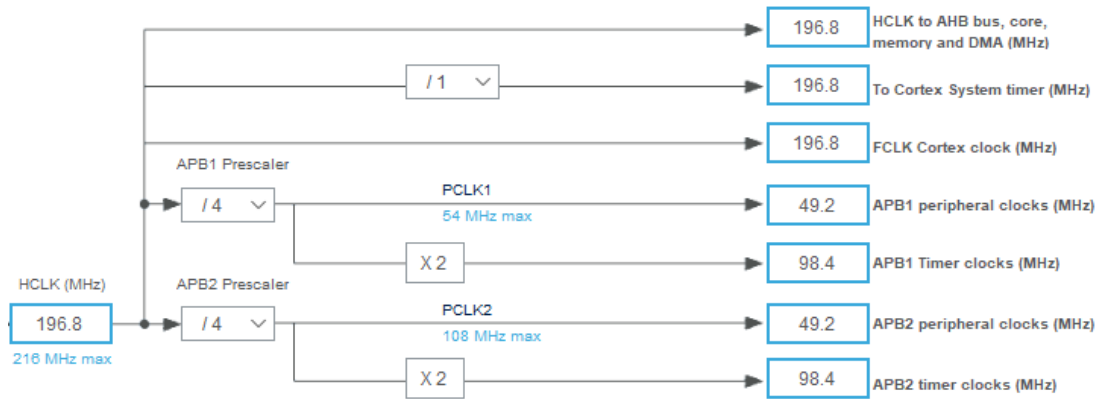
$$T = \frac{480 \text{ Hz} + 12 \text{ Hz}}{12.3 \text{ MHz}} = 40 \text{ us} \quad (3.4)$$

$$F = \frac{1}{T_{conv}} = \frac{1}{40 \text{ us}} = 25 \text{ kHz} \quad (3.5)$$

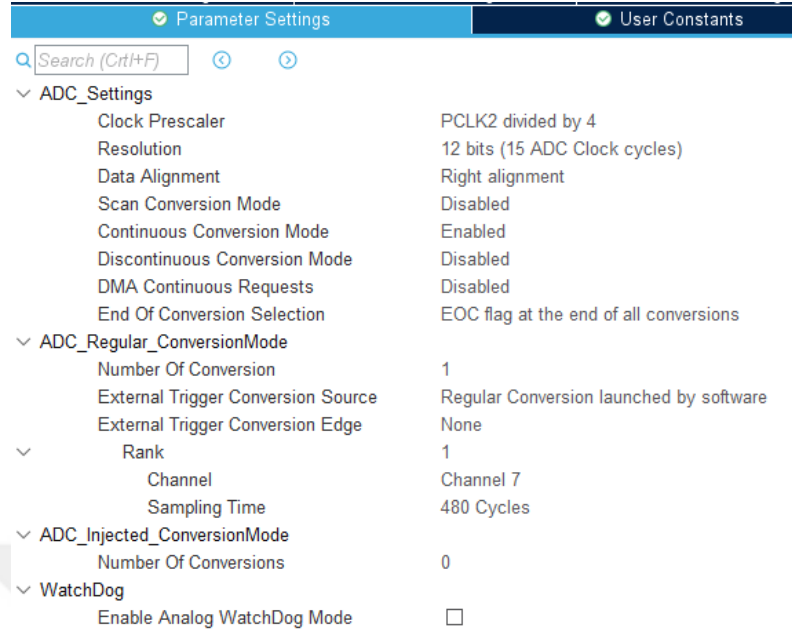
Yazılımsal olarak ADC okuma çevrimi 25 de 1 olarak ayarlanmaktadır böylece örnekleme frekansı 1000 Hz olmaktadır.

$$F_{örn.} = \frac{25 \text{ kHz}}{25} = 1000 \text{ Hz} \quad (3.6)$$

Aşağıdaki Şekil 3.9’da sistem çevrim frekans ayarları, Şekil 3.10’da ise ADC ayarları gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Sistem çevrim frekansları



Şekil 3.10. ADC parametre ayarları

3.3.1.1.2. UART/USART

USART ile UART arasın küçük bir fark vardır. USART, senkron haberleşmeyi kullanırken, veri aktarım hızını sabit tutar ve veriyi, aktarım sırasında kullandığı saat işaretiyle (clock signal) senkronize etmektedir. Böylece daha yüksek veri aktarım hızına ulaşabilir ve daha az hata oranına sahiptir. Aslında USART, UART haberleşmeyi kapsayan daha gelişmiş bir yöntemdir. UART ise asenkron çalıştığı için saat işaretine ihtiyaç duymamaktadır. Asenkron haberleşme veri aktarım hızını sabit tutamayan bir yöntemdir.

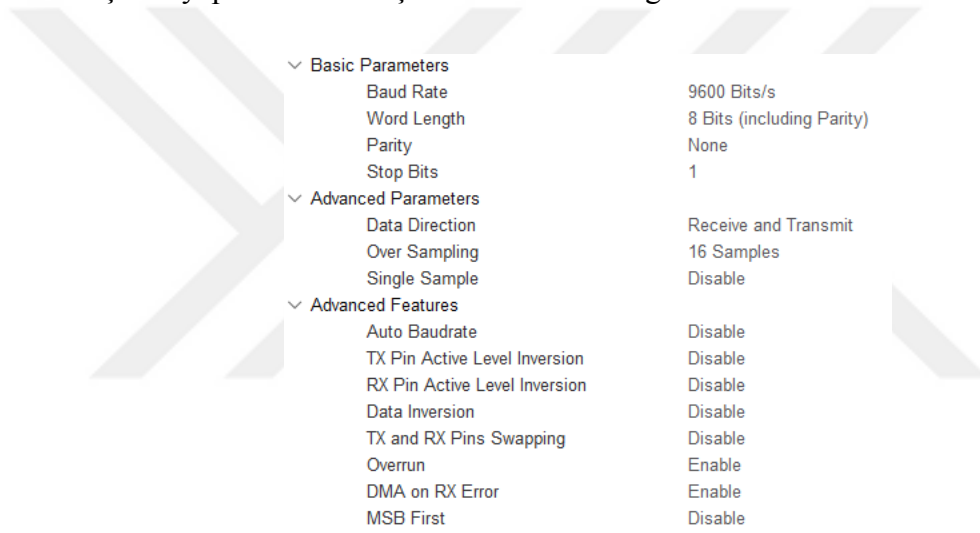
UART/USART bir seri haberleşme yöntemidir. Bu yöntem ile bir cihazdan başka bir cihaza bit dizisi gönderilip alınabilir. Bu haberleşme yöntemi iki cihaz arasındaki veri aktarımı için kullanılabilir. Bu sistemde bir cihaz veri gönderirken, alıcı konumunda bulunan cihaz veri dizisini sıra düzeniyle almaktadır. Bu veri düzeni verilerin nasıl okunacağını belirler. USART haberleşmede *Transistör Transistör Logic* (TTL) veya *Recommended Standard 232* (RS-232) standardı kullanılmaktadır.

- TTL: Genellikle elektronik cihazlar arasında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Örneğin, bu çalışmada olduğu gibi bir mikrodenetleyici ile bir bluetooth modülünü TTL haberleşme yöntemi ile kolayca haberleştirebilirsiniz. TTL haberleşme yöntemi genellikle lojik 0, 0 V karşılık

gelirken, lojik 1'e 5 V denk gelir. Bu dönüşüme TTL çevrimi denmektedir. Bazı cihazlarda 5 V değeri değişebilmektedir. TTL haberleşme daha kısa mesafe haberleşmeler için tercih edilir, daha hızlı iletişim sağlayabilir ve daha az güç tüketimi sağlamaktadır.

- RS-232: Genellikle iletişim cihazlar arasında olmaktadır. Örneğin bir bilgisayar ile bir cep telefonu haberleşmesi için RS-232 kullanılmaktadır. Bu yöntemde lojik 0, -3 V ile -25 V arasında, lojik 1 ise +3 ile +25 V arasında değişmektedir. -3 V ile +3 V arasına geçiş bölgesi olarak kabul edilmektedir.

Bu nedenle daha uzun mesafede haberleşme sağlanabilmektedir. Mikrodenetleyicilerde seri haberleşme yöntemi kullanılabilmesi için TTL-RS-232 dönüşümü yapan harici bileşenler kullanılması gerekmektedir.



Şekil 3.11. UART parametre ayarları

Bu tez çalışmasında mikrodenetleyicinin UART7 portu kullanılmıştır. İki cihaz arasında haberleşmenin sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmesi için yukarıda belirtilen baud hızı, sözcük uzunluğu ve stop bit gibi değerlerin her iki cihaz içinde aynı olmalıdır.

3.3.1.1.3. Timer

Timer, zamanlayıcı olarak da bilinmektedir ve belirli bir süre bekleyip bu süre dolduğunda bir işlemi gerçekleştiren yazılım ögesidir. Timer kesme amaçlı kullanıldığı gibi, pals sayıcı ve PWM çıkış sinyali üretmek amaçlı kullanılabilmektedir.

Counter Settings	
Prescaler (PSC - 16 bits value)	0
Counter Mode	Up
Counter Period (AutoReload Register - ...)	1199
Internal Clock Division (CKD)	No Division
auto-reload preload	Disable
Trigger Output (TRGO) Parameters	
Master/Slave Mode (MSM bit)	Disable (Trigger input effect not delayed)
Trigger Event Selection TRGO	Reset (UG bit from TIMx_EGR)
Encoder	
Encoder Mode	Encoder Mode TI1
Parameters for Channel 1...	
Polarity	Rising Edge
IC Selection	Direct
Prescaler Division Ratio	No division
Input Filter	0
Parameters for Channel 2...	
Polarity	Rising Edge
IC Selection	Direct
Prescaler Division Ratio	No division
Input Filter	0

Şekil 3.12. Timer parametre ayarları

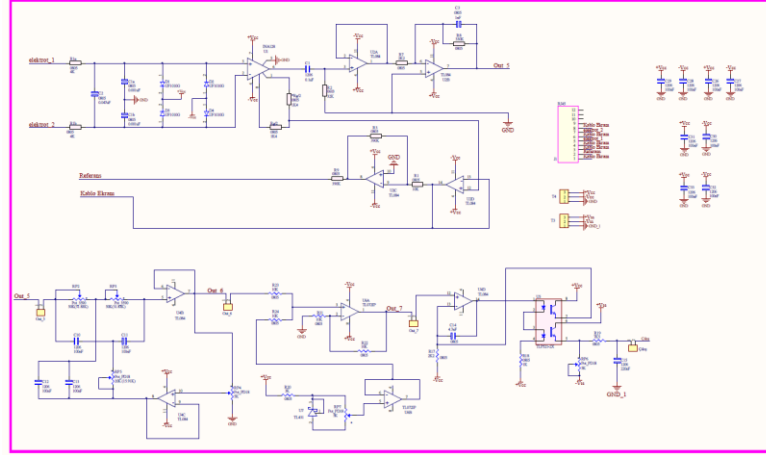
Enkoder konum açısının 360 derece okumak için, sayıcı periyot değeri 0-1199 olarak ayarlandı.

$$Hassasiyet = \frac{360^\circ}{1200} = 0,3^\circ \quad (3.7)$$

Sonuç olarak enkoder her 0,3°'lik konum değişimini algılayabilmektedir. Fakat ortez sisteminde bu kadar hassas konum ölçümü gerekmediğinden 1°'lik değişimleri algılayacak şekilde yazılımsal olarak ayarlanmıştır.

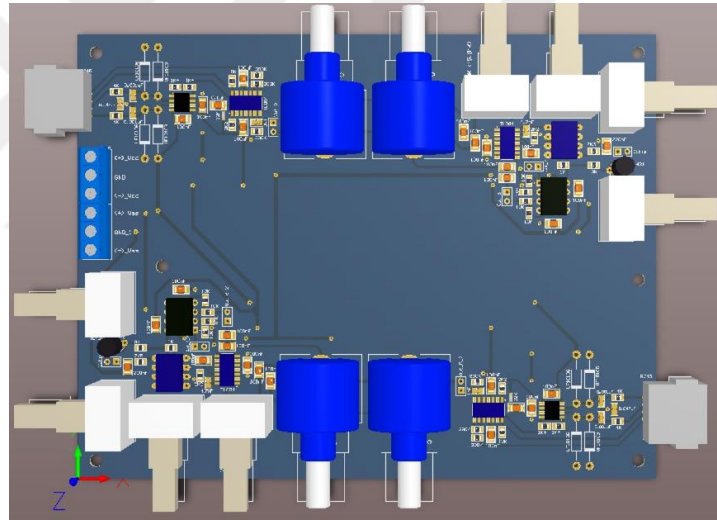
3.3.1.2. EMG Yükselteç Kartı

Kart tasarımının şematik ve baskılı devre kartının (PCB) tasarımında Altium Designer programı kullanılmıştır. Aşağıdaki Şekil 3.13'te şematik çizimi verilen görsel sadece bir kanal içindir. İkinci kanal için aynı çizim yeniden tekrarlanmıştır. İlk olarak enstrümanasyon yükselteci INA128 kullanılmıştır. Burada 20 kat kazanç elde edilmektedir. İkinci kazanç katı olarak TL084 opamp kullanılmıştır ve burada 150 kat kazanç elde edilmektedir. Tasarlanan sistemde toplam 3000 kat kazanç elde edilmektedir. Tasarlanan sistem gelecek çalışmalarda kullanılmak üzere 2 kanallı olarak tasarlanmıştır. Gerekli durumlarda jumper kablo kullanılarak filtre devreleri iptal edilebilmektedir. Çıkış sinyalinde izolatör devresi tasarlanmıştır. Bu kısımda optokuplör kullanılarak besleme gerilimleri yalıtılmaktadır.



Şekil 3.13. Yükselteç kartı şematik çizimi

Yapılan çift yüzöl PCB tasarımında elektrot bağlantıları kolay olması için RJ45 konnektörü kullanılmıştır. Tasarlanan kartın ebatları 12x16cm'dir ve ortasında montaj delikleri bulunmaktadır. Besleme girişleri için vidalı klemens tercih edilmiştir.



Şekil 3.14. Yükselteç kartı PCB 3D tasarımı

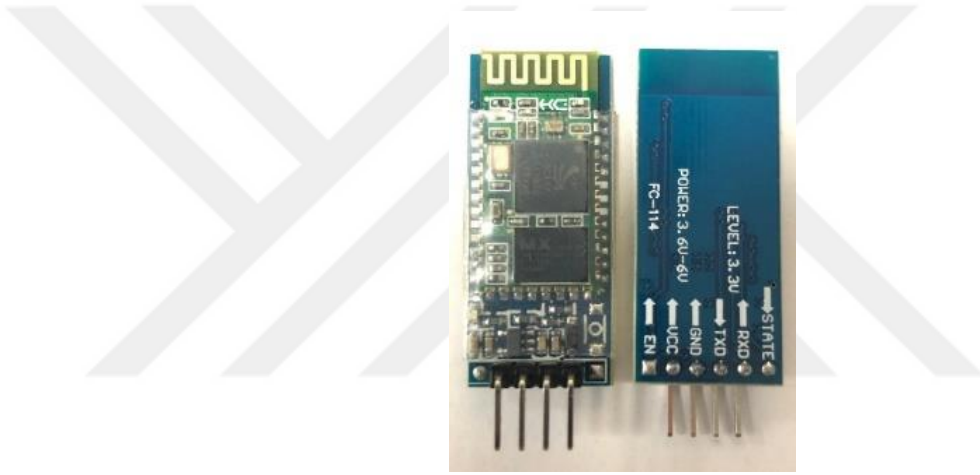
3.3.1.3. HC-05 Bluetooth Modülü

HC-05 kablosuz haberleşme uygulamalarında kolay bir şekilde kullanılabilen sınıf 2 bluetooth seri port protokolü (SPP) modülüdür. Sahip olduğu pin yapısı Arduino kartları gibi geliştirme kartlarında montajı yapılabilmektedir. 2.4 GHz radyo frekansı ile çalışan bu modül sahip olduğu 12.7x27 mm ölçüleri ile ergonomik bir özelliğe sahiptir. HC-05 modülün diğer özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Tipik -80dBm hassasiyet
- +4dbm RF gönderme gücü

- Düşük güç tüketimi
- PIO kontrolü
- Ayarlanabilir baud rate hızı 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800
- Dahili anten
- En son bağlandığı cihaz ile otomatik olarak bağlanma özelliği
- Otomatik eşleşme
- +3.3V ile 6.0 VDC arası besleme gerilimi

Aşağıdaki Şekil 3.15'te kullanılan bluetooth modülünün ön ve arka yüzleri gösterilmektedir.



Şekil 3.15. HC-05 bluetooth modülü

HC-05 komut ve veri modu olmak üzere iki tipte çalıştırılabilir. Komut modunda, bluetooth modül ile AT komutları ile cihaz ayarları yapılabilmektedir. Örneğin çalıştığımız baudrate hızı değiştirmek için bu modu kullanmamız gerekmektedir. Veri modunda ise diğer bluetooth cihazları ile veri transferi yapılmaktadır.

3.3.1.4. Enkoder

Enkoder, bir sistemin hareketini, pozisyonunu veya dönme yönünü ölçmek için kullanılan elektromekanik cihazdır. Ölçümde sinyal oluşturabilmek için manyetik, mekanik, optik veya dirençli sistemler kullanılmaktadır. Enkoderler, CNC tezgahlarda, otomasyon sistemlerinde, presleme makinelerinde, medikal cihazlarda vb. gibi birçok cihazlarda/makinelerde kullanılmaktadır. Enkoderler pozisyon belirlemede mutlak ve artımlı enkoder olmak üzere iki tipi bulunmaktadır.

3.3.1.4.1. Mutlak Enkoder

Mutlak enkoder, bir giriş sinyali olarak bir pozisyon veya hız değeri alan ve bu değerleri bir sayı dizisi olarak çıkış sinyali olarak verebilen sensördür. Enkoder tarafından ölçülen pozisyon ve hız değerleri sayısal olarak ifade eder. Mutlak enkoderler, genellikle hareketli sistemlerin pozisyonunu veya hızını ölçmek için kullanılmaktadır. Örneğin CNC tezgahlarında kullanılan enkoderler, sistem enerjilendiğinde çıkış sinyali verirken nesnenin pozisyonunu veya hızını mutlak değer olarak verirler. Mutlak enkoderler çeşitli çalışma prensiplerine sahiptirler. Örneğin optik enkoderler, bir optik sistem kullanarak pozisyon ve hız değerlerini ölçer. Mekanik enkoderler ise, dönüş yaparken yer değiştiren sensör vb. bir bileşen kullanılarak pozisyon ve hız değerlerini ölçmektedir. Mutlak enkoderler, hareketli nesnelerin pozisyonunu ve hızını ölçmek için çeşitli endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.3.1.4.2. Artımlı Enkoder

Artımlı enkoder, bir motor veya hareketli bir cihazın pozisyonunu ölçmek için kullanılan sensördür. Hareket eden eksen üzerine enkoder monte edilir ve böylece cihazın pozisyon ve hızını ölçmek için kullanılabilir. Artımlı enkoder, yüksek hassasiyete sahiptir ve hareket eden cihazların pozisyonunu kontrol etmek için yaygın olarak kullanılır. Mutlak enkoder ile arasındaki farklar aşağıdaki gibidir:

- Mutlak enkoderler bir cihazın tam pozisyonunu ölçerken artımlı enkoderler sadece cihazın hareket ettiği mesafeyi ölçmektedir.
- Mutlak enkoderler genellikle daha hassas ölçüm yapabilmektedir.
- Mutlak enkoderler cihazın başlangıç pozisyonunu hatırlar ve cihaza hareket ettiğinde bu pozisyon üzerinden hareket ettiği mesafeyi ölçer. Artımlı enkoderler ise cihazın başlangıç pozisyonunu hatırlamaz ve sadece cihazın hareket ettiği mesafeyi ölçmektedir
- Genellikle mutlak enkoderlerin maliyetleri daha yüksektir.

Kullanılan 600 pals enkoder 5-24VDC gerilim ile çalıştırılabilmektedir. 38 mm çapında olan bu enkoder NPN açık kolektör çıkış vermektedir. Aşağıdaki Şekil 3.16'da kullanılan enkoder gösterilmektedir.



Şekil 3.16. Artımlı enkoder

3.3.2. Gömülü Yazılım

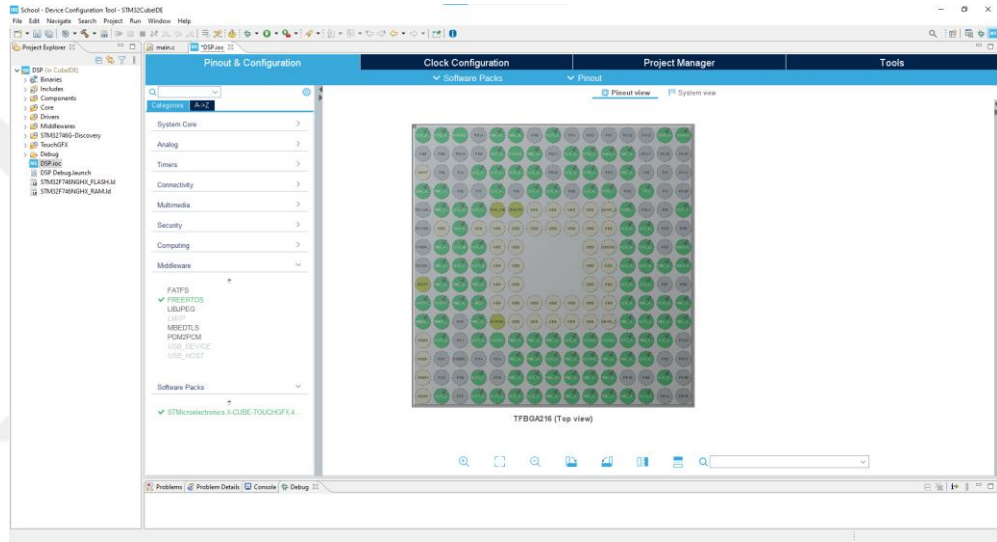
3.3.2.1. STM32CubeIDE

Gömülü yazılım, mikroçip içinde yerleştirilmiş ve belirli bir görev için tasarlanmış yazılımlardır. Kullanılan mikrodenetleyici/mikroişlemciye göre gömülü yazılımın geliştirildiği ortam değişmektedir. Gömülü yazılım geliştirmede yaygın olarak kullanılan geliştirme ortamları aşağıdaki gibidir:

- Eclipse: Ücretsiz ve açık kaynak kodlu bir yazılım geliştirme ortamıdır. C/C++, Python ve diğer dillerde yazılım geliştirmeyi desteklemektedir.
- Keil MDK: ARM tabanlı gömülü sistemler için tasarlanmış bir gömülü yazılım geliştirme ortamıdır. Çeşitli mikrodenetleyiciler için optimize edilmiş derleyici, linker ve debugger içermektedir.
- IAR Embedded Workbench: C ve C++ dillerinde yazılım geliştirmeyi destekleyen bir gömülü yazılım geliştirme ortamıdır. Çeşitli mikrodenetleyiciler için optimize edilmiş bir derleyici ve debugger içermektedir.
- Atmel Studio: Atmel tabanlı gömülü sistemler için tasarlanmış bir gömülü yazılım geliştirme ortamıdır. Atmel Studio, C ve C++ dillerinde yazılım geliştirmeyi destekler. Çeşitli mikrodenetleyiciler için optimize edilmiş bir derleyici, linker ve debugger içerir.
- CubeIDE: STMicroelectronics tabanlı gömülü sistemler için tasarlanmış gömülü yazılım ortamıdır. C ve C++ dillerinde yazılım geliştirmeyi

desteklemektedir. STM32 mikrodeneleyicileri ve diğr donanımlar için optimize edilmiş bir derleyici, linker ve debugger içerir. Ayrıca STMicroelectronics'in geliştirdiğı CubeMX gibi araçları da desteklemektedir.

ARM tabanlı ST32F7 serisi mikrodeneleyici kullanıldığı için, bu tez çalışmasında gömülü yazılım geliştirmesinde CubeIDE programı tercih edilmiştir. Ayrıca CubeIDE programı CubeMX programı ile birlikte kullanılmaktadır. CubeMX gömülü sistem tasarımında çevresel birimlerinin ve yapılandırma ayarlarının yapıldığı bir araçtır. Aşağıdaki Şekil 3.17'de görüldüğü gibi CubeMX, CubeIDE ile çalışan bir araçtır.



Şekil 3.17. STM32CubeIDE yazılım geliştirme ortamı

3.3.2.1.1. CMSIS DSP Yazılım Kütüphanesi

DSP yazılım kütüphanesi Cortex-M ve Cortex-A mimarisine sahip mikrodeneleyiciler için kullanılan bir sinyal işleme paketidir. Bu kütüphane 8-bit tam sayılar, 16-bit sayılar, 32-bit tam sayılar ve 32-bit kayan nokta değerlerinde çalışmak için fonksiyonlara sahiptir. Kütüphanenin sahip olduğu fonksiyonları "arm_math.h" dosyasında belirtilmiştir (CMSIS, 2022).

Cortex-M4 ve Cortex-M7 mimarisine sahip mikrodeneleyiciler *Single Instruction Multiple Data* (SIMD) komut seti için optimize edilmiştir. CMSIS DSP kütüphanesi aşağıdaki işlevleri kapsamaktadır:

- Temel matematik işlevleri
- Hızlı matematik fonksiyonları

- Karmaşık matematik fonksiyonları
- Filtreleme fonksiyonları
- Matris fonksiyonları
- Dönüştürme işlevleri
- Motor kontrol fonksiyonları
- İstatistiksel fonksiyonlar
- Destek fonksiyonları
- Enterpolasyon fonksiyonları
- Destek vektör makinesi işlevleri (SVM)
- Bayes sınıflandırıcı işlevleri
- Mesafe fonksiyonları
- Kuaterniyon fonksiyonları

CMSIS DSP kütüphanesi q7, q15, q31 kesirli sabit noktalı, 32-bit tek duyarlı kayan noktalı vb. çeşitli veri türleri için 60'ın üstünde fonksiyon barındırır (Barahona-Pereira, 2019).

3.3.2.1.2. Gerçek Zamanlı İşletim Sistemi (RTOS)

Gömülü yazılımlarda RTOS ve bare-metal programla tercih edilmektedir. Bare-metal yazılım daha çok mikrodenetleyici kabiliyetleri kısıtlı olan donanımlarda kullanılmaktadır. RTOS belirli zaman diliminde belirli bir işin tamamlanması gereken sistemler için tasarlanmaktadır. Gömülü sistemlerde kullanılabilecek RTOS türleri aşağıdaki gibidir:

- İşlemci Kullanımını Ölçümleme Tabanlı RTOS: VxWorks adlı işletim sistemi tarafından yerine getirilen işlemlerin işlemci kullanımını ölçerek, görevleri gerçek zamanlı olarak tamamlamayı amaçlar.
- Bellek Kullanımı Ölçümlere Tabanlı RTOS: uC/OS adlı işletim sistemi tarafından yerine getirilen işlemlerin bellek kullanımını ölçerek, görevleri gerçek zamanlı olarak tamamlamayı amaçlar.
- İşlemci ve Bellek Kullanımını Ölçümleme Tabanlı RTOS: FreeRTOS adlı işletim sistemi tarafından yerine getirilen işlemlerin işlemci ve bellek kullanımını ölçerek, görevleri gerçek zamanlı olarak tamamlamayı amaçlar.

- İşletim Sistemi Öncesi RTOS: eCOS adlı bu RTOS, işletim sistemi yüklenmeden önce çalışmaya başlar ve işletim sistemi yüklenmeden görevlerini gerçek zamanlı olarak yerine getirir.
- Özel Amaçlı RTOS: QNX adlı bu RTOS özel amaçlar için tasarlandığından genellikle özel uygulamalar ve hizmetler için tasarlanmaktadır.

Yapılan çalışmada gerçek zamanlı işletim sistemleri arasından FreeRTOS CMSIS-RTOS C API v1 kullanılmıştır. FreeRTOS STM32 mikrodnetleyicilerin desteklediği bir işletim sistemidir. FreeRTOS' un ana özellikleri aşağıdaki gibidir:

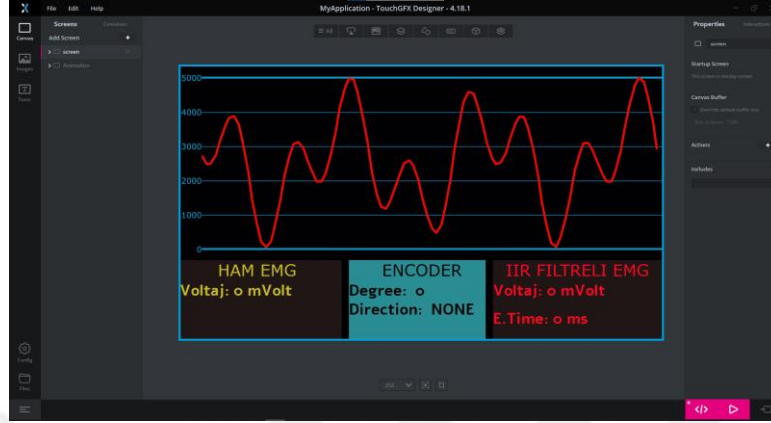
- Öncelikli planlama: FreeRTOS öncelikli planlayıcı kullanır. Böylece daha yüksek öncelikli görevler veya düşük öncelikli görevleri kesintiye neden olacaktır. Bu durum sistemin gerçek zamanlı olarak yanıt vermeyi sağlamaktadır.
- Bellek yönetimi: Görevlerin dinamik olarak bellek ayırıp serbest bırakmasını sağlarken, sistemin bütünü yeterli bellekle çalışabileceğinden emin olacak şekilde bellek yönetim sistemini içermektedir.
- Görevler arası iletişim: Görevlerin birbirleri arasında iletişim kurmaları için mesaj kuyrukları, semaforlar ve mutexler gibi çeşitli mekanizmaları içermektedir.
- Taşınabilirlik: FreeRTOS, ARM Cortex-M, AVR ve X86 gibi geniş mikrodnetleyici ve mimari yelpazesine taşınabilir.
- Uzatılabilirlik: Ekstra özellikleri desteklemek için sisteme eklenebilecek ağlar, dosya sistemleri gibi bileşenleri içeren uzatılabilir bir yapıdadır.

Bu çalışmada, enkoder açı okuma işlemi, filtreme işlemi, UART ile veri gönderme işlemi ayrı tasklar ile oluşturulmuştur.

3.3.2.2. TouchGFX

TouchGFX, grafiksel kullanıcı arayüz (GUI) tasarımı ve geliştirme için kullanılan ücretsiz bir araçtır. TouchGFX, kullanıcı arayüzlerinin tasarımı ve kodlama işlemlerini kolaylaştıran bir framework'tür ve STM32 mikrodnetleyicilerini desteklemektedir. STMicroelectronics'in ürünlerine özel demo yazılımları bulunmaktadır. TouchGFX, C++ programlama dili ile yazılmıştır ve kullanıcı arayüzleri için çeşitli butonlar, metin alanları vb. birçok ekran araçları bulunmaktadır. Kullanılan ekran çözünürlüğüne göre kolay bir şekilde tuval boyutu

ayarlanabilmektedir. Bu tez çalışmasında STM32F746 Discovery kart üzerinden bulunan ekran çözünürlüğü 480x272 pikseldir. Aşağıdaki Şekil 3.18’de tasarlanan TouchGFX görseli mevcuttur.



Şekil 3.18. Gömülü GUI görseli

Elde edilen ham EMG sinyali ile filtrelenmiş EMG sinyalleri aynı grafik üzerinde kart ekranında görünmektedir. Ham EMG sinyali sarı, filtrelenmiş EMG sinyali kırmızı renktedir. Görselde ayrıca Enkoder ile elde edilen açı ve dönme yönü görsel üzerinde gösterilmektedir.

3.3.3. Mobil Uygulama

Mobil uygulama geliştirilmesinde, Google tarafından geliştirilen açık kaynak kodlu bir mobil uygulama geliştirme framework’ü olan Flutter kullanılmıştır. Flutter, mobil uygulama geliştirmesi için kullanılan Dart programlama dilini kullanır ve cross-platform uygulamalar geliştirmeye imkan sağlar. Böylece Flutter uygulaması, aynı zamanda IOS ve Android platformlarda da çalışabilir. Flutter uygulamasının en önemli özellikleri şunlardır:

- Hızlı geliştirme: Flutter’ın *hot reload* özelliği sayesinde, kodda yapılan değişiklikleri hemen uygulamaya aktararak uygulamanın çalışmasını izleyebilirsiniz. Böylece tasarımını hızlı ve kolay bir şekilde test edebilir ve geliştirebilirsiniz.
- Özel kullanıcı arayüzleri: Flutter özel kullanıcı arayüzleri oluşturmak için çok özel ekran araçları sunar. Ekran araçları sayesinde uygulama görüntüsünü ve işlevselliğini kolay bir şekilde geliştirebilirsiniz.

- Performans: Flutter, uygulamanızın performansını optimize etmek için özgün kod üretmektedir. Bu durum uygulamanın en iyi performansta çalışmasını sağlamaktadır.
- Açık kaynak kodlu: Flutter açık kaynak kodlu bir framework'tür ve tüm kaynak kodları Github üzerinde mevcuttur



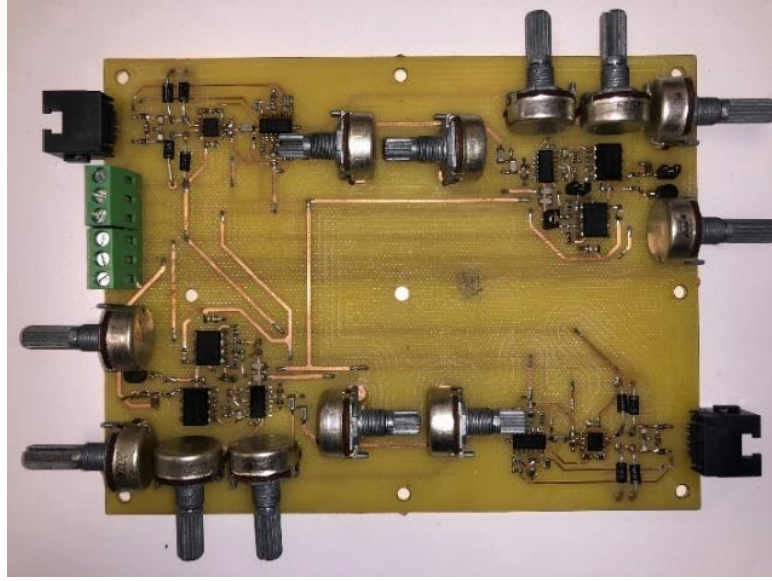
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında mikrodnetleyiciler üzerinde FIR ve IIR filtre çalışması yapılmış ve elde edilen sonuçlar ile aynı sinyallerin MATLAB üzerinde filtrelenmiş sinyal sonuçları karşılaştırılmıştır. STM firmasının ürettiği Cortex-M4 ve Cortex-M7 mimarisine sahip mikrodnetleyiciler ile filtre performanslarını ölçme çalışması yapılmıştır. Elde edilen veriler neticesinde IIR filtre ve Cortex-M mimarisine sahip STM32F746G Discovery kartı ile çalışmayı geliştirme sürecine başlanmıştır. Yapılan performans değerlendirmesi STM32F429ZIT6 ile STM32F746NGH6 mikrodnetleyicileri arasında gerçekleştirilmiştir. STM32F429ZIT6 mikrodnetleyicisi için STM32429-DISC1 kartı, STM32F746NGH6 mikrodnetleyicisi için STM32F746G-DISCO kartı kullanılmıştır. Bu performans değerlendirmesinde mikrodnetleyiciler sahip oldukları en yüksek çalışma hızında çalıştırılmıştır. STM32F429ZIT6 mikrodnetleyici 180 MHz, STM32F746NGH6 mikrodnetleyici 216 MHz hızında çalıştırılmıştır. MATLAB ortamında yapılan filtreleme çalışmalarında kullanılan bilgisayar, Intel 64 bit Core i7-4720HQ mikroişlemcisine ve 2.6 GHz hıza sahiptir. Ayrıca 16GB RAM ve 465 GB Flash'a sahiptir.

Tasarlanan gömülü sistem ile EMG sinyalleri başarılı bir şekilde elde edilmiş ve doğru bir şekilde taşınabilir aygıta aktarılmıştır. Geliştirilen MORTEZ uygulaması sayesinde taşınabilir aygıt ile mikrodnetleyici arasında bluetooth modülü üzerinden karşılıklı haberleşme gerçek zamanlı olarak sağlanmış ve doğrulanmıştır.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, IIR filtrenin derece ve kesme frekanslarını değiştirerek, çıkış sinyali üzerindeki değişimleri gözlemledikleri çalışmalar yapılmıştır. Bu tez çalışmasında Taha ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmadan farklı olarak IIR filtreye ek olarak FIR filtre derece değişimin çıkış sinyali üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir (Taha et al., 2015).

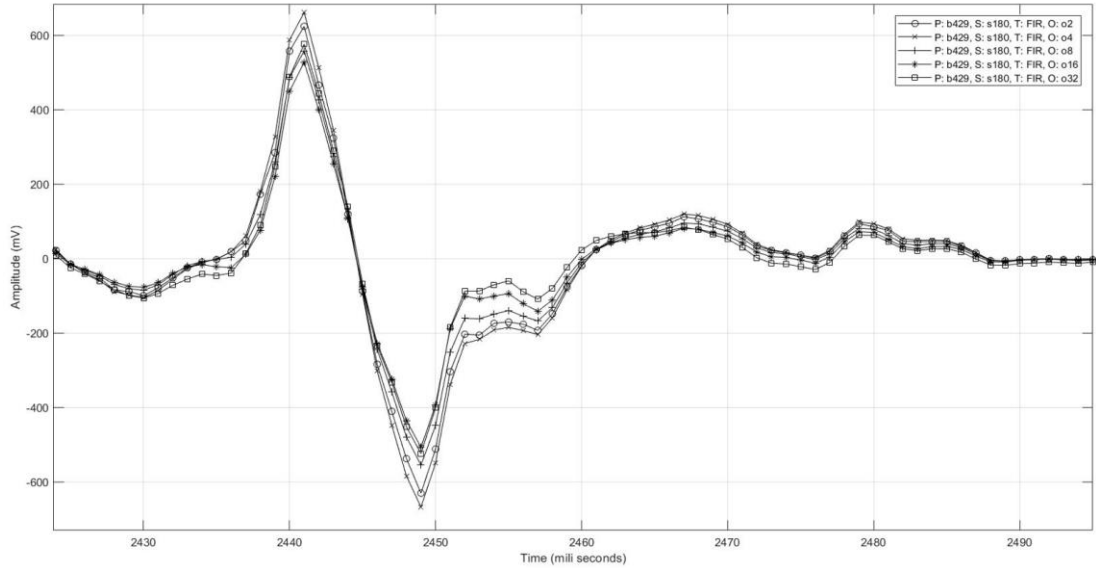
Şekil 4.1'de prototip kartı gösterilmektedir. Bu kart LPKF Protomat S63 cihazı ile bakır plaketin kazınması ile elde edilmiştir. 50 K potansiyometrelerin kılıfları yanlış girildiğinden PCB tasarımı arasında farklılıklar oluşmuştur. Tasarlanan kart prototip kartı olup ileriki çalışmalarda daha küçük ebatlara indirgenebilir.



Şekil 4.1. Yükselteç kart prototipi

4.1. FIR Filtre Performansı

Yapılan tez çalışmasında örnekleme frekansı 1.000 Hz ve sinyal büyüklüğü 3.000 olan EMG sinyali için 2., 4., 8., 16. ve 32. derecelerde 20-350 Hz bant geçiren FIR filtre için gerekli katsayılar MATLAB platformu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mikrodenetleyici ile elde edilen filtre çıkış sinyallerinin ile elde edilen grafiğin bir kesiti aşağıdaki Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.2. FIR filtre çıkış sinyalinden elde edilen grafik

Aşağıdaki Tablo 4.1’de FIR filtreden elde edilen PSNR verileri gösterilmektedir. Bu veriler, Cortex-M4 ve Cortex-M7 mimarisinde elde edilen PSNR değerinin aynı

olduğunu göstermektedir. Bu veriler MATLAB üzerinde elde edilen PSNR verilerine çok yakın değerlerdir.

Tablo 4.1. FIR filtre PSNR değerleri

Derece	STM32F429ZIT6	STM32F746NGH6	Core i7-4720HQ
2	-10,9887	-10,9887	-10,9287
4	-22,8986	-22,8986	-22,7855
8	-22,9045	-22,9045	-23,1517
10	-	-	-
12	-	-	-
14	-	-	-
16	-28,7438	-28,7438	-28,9360
32	-29,7232	-29,7232	-29,9180

Mikrodenetleyiciler ile elde edilen PSNR değerleri, MATLAB ile elde edilen PSNR değerleriyle kıyaslandığında, maksimum %1.06'lık bir hata bulunmaktadır. Bu farklılık bilgisayar işlemcisinin ile mikrodenetleyicilerin işlem kabiliyetlerinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Aşağıdaki Tablo 4.2'de FIR filtre ile elde edilen *band power* değerleri belirtilmiştir.

Tablo 4.2. FIR filtre *band power* değerleri

Derece	STM32F429ZIT6	STM32F746NGH6	Core i7-4720HQ
2	89,7647	89,7647	89,7650
4	89,7425	89,7425	89,7459
8	90,7174	90,7174	90,7386
10	-	-	-
12	-	-	-
14	-	-	-
16	93,3450	93,3450	93,4267
32	97,1606	97,1606	97,2753

Mikrodenetleyiciler üzerinde elde edilen *band power* değerleri, bilgisayar ile elde edilen *band power* değerleri ile kıyaslandığında maksimum %0.11'lik bir hata belirlenmiştir.

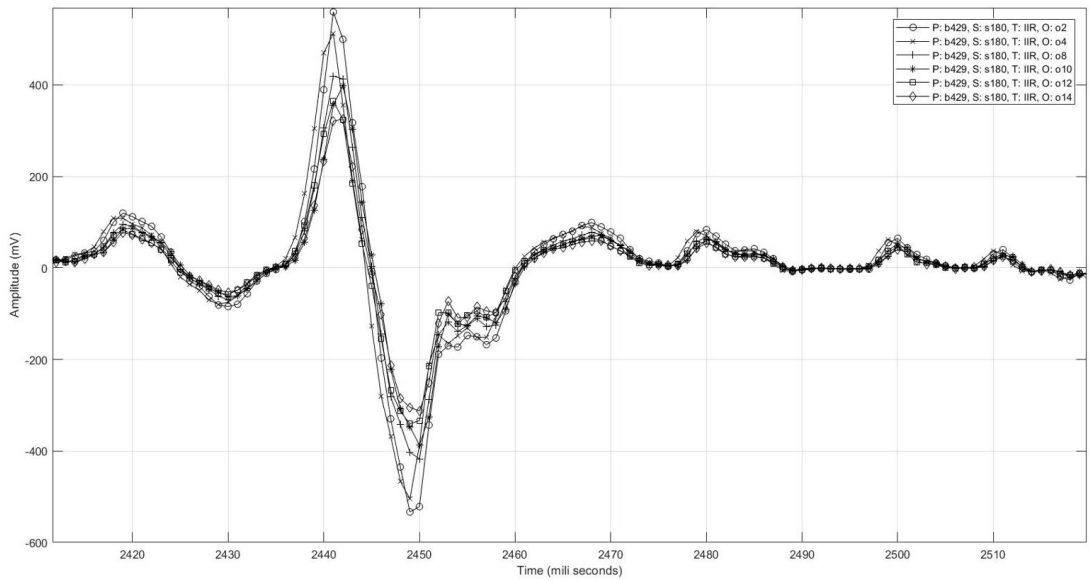
STM32F429ZIT6 mikrodenetleyicinin maksimum çalışma hızı daha düşük olmasına rağmen 2. derecede yapılan FIR filtre çalışmada, filtreleme işlemini daha kısa sürede tamamlamayı başarmıştır. Genel olarak STM32F746NGH6 mikrodenetleyicisi filtreleme işlemini daha kısa sürede gerçekleştirmiştir. Filtre derecesi yükseldikçe aradaki zaman farkı artmaktadır.

Tablo 4.3. FIR Filtre süreleri

Derece	STM32F429ZIT6 (180 MHz)	STM32F746NGH6 (216 MHz)
2	1,81	1,82
4	2,56	2,50
8	3,69	3,55
10	-	-
12	-	-
14	-	-
16	6,35	6,02
32	11,89	10,92

4.2. IIR Filtre Performansı

Yapılan IIR filtre çalışmasında 2., 4., 8., 10., 12. ve 14. derecelerde 20-350 Hz bant geçiren filtre için gerekli katsayılar MATLAB platformu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mikrodenetleyici ile elde edilen filtre çıkış sinyallerinin ile elde edilen grafiğin bir kesiti aşağıdaki Şekil 4.3'te gösterilmektedir.



Şekil 4.3. IIR filtre çıkış sinyalinden elde edilen grafik

Aşağıdaki Tablo 4.4'te IIR filtreden elde edilen PSNR verileri gösterilmektedir. Bu veriler, Cortex-M4 ve Cortex-M7 mimarisinde elde edilen PSNR değerinin aynı olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.4. IIR filtre PSNR değerleri

Derece	STM32F429ZIT6	STM32F746NGH6	Core i7-4720HQ
2	-28,4167	-28,4167	-31,2946
4	-28,1399	-28,1399	-36,5949
8	-32,7681	-32,7681	-36,6545
10	-35,0934	-35,0934	-36,6706
12	-34,3112	-34,3112	-40,6923
14	-35,6933	-35,6933	-40,6970
16	-	-	-
32	-	-	-

Mikrodenetleyiciler ile elde edilen PSNR değerleri, MATLAB ile elde edilen PSNR değerleriyle kıyaslandığında, maksimum %23,10'luk bir hata bulunmaktadır. Bu farklılığın yüksek olması, MATLAB ve mikrodenetleyici üzerinde gerçekleştirilen IIR filtre formlarının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Aşağıdaki Tablo 4.5'te IIR filtre sinyali üzerinden elde edilen *band power* değerleri belirtilmiştir.

Tablo 4.5. IIR filtre *band power* değerleri

Derece	STM32F429ZIT6	STM32F746NGH6	Core i7-4720HQ
2	90,0632	90,0632	99,3796
4	90,0824	90,0824	99,6341
8	90,0987	90,0987	99,7684
10	90,1017	90,1017	99,8061
12	90,1056	90,1056	99,8359
14	90,1067	90,1067	99,8600
16	-	-	-
32	-	-	-

Mikrodenetleyiciler üzerinde elde edilen *band power* değerleri, bilgisayar ile elde edilen *band power* değerleriyle kıyaslandığında maksimum %9.76'lık bir hata payı meydana gelmiştir. STM32F429ZIT6 mikrodenetleyici daha kısa düşük frekansta çalışmasına rağmen, tüm derecelerde filtreleme işlemini daha kısa zamanda gerçekleştirmeyi başarmıştır. Elde edilen bu verilere bakarak gerçek zamanlı EMG filtreleme işleminde zaman bakımından daha kazançlı olduğu için IIR filtre tercih edilmiştir. Ayrıca 8. dereceden sonra elde edilen PSNR ve *band power* değerleri çok fazla değişmediğinden filtre derecesi olarak 8 tercih edilmiştir.

Tablo 4.6. IIR Filtre süreleri

Derece	STM32F429ZIT6 (180 MHz)	STM32F746NGH6 (216 MHz)
2	0,38	0,47
4	0,72	0,88
8	1,40	1,68
10	1,74	2,09
12	2,08	2,49
14	2,41	2,89
16	-	-
32	-	-

4.3. Bant Geçiren Filtre Frekans Aralığının Belirlenmesi

Literatürde biyomedikal sinyaller üzerinde gerçekleştirilen bant geçiren filtre çalışmaları aşağıda Tablo 4.7’de halinde sunulmuştur.

Tablo 4.7. Bant geçiren filtre frekans aralıkları

No.	Frekans Aralığı
1	10-400 Hz (Mahmood et al., 2021)
2	10-500 Hz (de Araújo et. al., 2011)
3	20-450 Hz (Fleischer et. al., 2005)
4	20-350 Hz (Shihomi et al., 2017)
5	20-500 Hz (Fernandes et al., 2019)
6	10-500 Hz (Youn et. al., 2009)
7	20-450 Hz (Yoo et. al., 2014)
8	10-500 Hz (Ishak et al., 2017)

Yüzey EMG sinyallerinin 0-500 Hz aralığında değişmektedir. Bu çalışmada bant geçiren filtre frekans aralığı olarak 20-350 Hz olarak seçilmiştir. Bu aralıktaki orijinal EMG sinyalinin *band power* değeri 100 üzerinden 85,0709 dur.

4.4. FIR ve IIR Filtrelerin Mikrodenetleyici Üzerindeki Tüketimleri

FIR ve IIR filtreleme çalışmasına başlamadan önce, STM32F429ZIT6 mikrodenetleyicisinde mevcut yazılımın neden olduğu Flash ve Ram tüketimleri sırası ile 23,76 KB, 35,15 KB olarak elde edilmiştir. Aynı işlem STM32F746NGH6 mikrodenetleyici için tekrarlanmış ve sırasıyla 33,46 KB ile 35,47 KB değerleri elde edilmiştir. Gerçekleştirilen filtreleme yazılımlarının mikrodenetleyici üzerindeki Flash ve Ram tüketim değerleri aşağıdaki Tablo 4.8 ve

Tablo 4.9’da belirtilmiştir. Bu tablodaki veriler, sadece FIR ve IIR filtreleme işlemi için eklenen yazılımın tüketim değerleridir.

Tablo 4.8. STM32F429ZIT6 tüketimleri

Derece	FIR		IIR	
	Flash	Ram	Flash	Ram
2	28,25	35,4	25,53	35,1
4	28,26	35,4	25,55	35,33
8	28,28	35,42	25,59	35,38
10	-	-	-	-
12	-	-	-	-
14	-	-	-	-
16	28,31	35,45	-	-
32	28,37	35,51	-	-

Tablo 4.9. STM32F746NGH6 tüketimleri

Derece	FIR		IIR	
	Flash	Ram	Flash	Ram
2	29,74	35,19	28,79	35,21
4	29,75	35,2	28,81	35,23
8	29,76	35,22	28,85	35,29
10	-	-	-	-
12	-	-	-	-
14	-	-	-	-
16	29,79	35,25	-	-
32	29,86	35,31	-	-

4.5. Mikrodenetleyici Değişimin Filtre Performansı Üzerindeki Etkisi

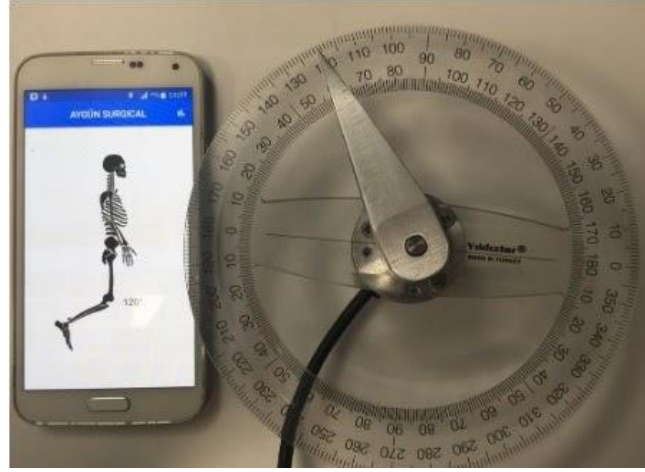
Yapılan filtreleme çalışması Cortex-M4 ve Cortex-M7 mimarisi üzerinden denenmiştir. Cortex-M4 mimarinden Cortex-M7 mimarisine geçildiğinde aşağıda Tablo 4.10’da belirtilen özellikler gözlemlenmiştir.

Tablo 4.10. Cortex-M4'den Cortex-M7 geçişte filtre değerlerinin değişimi

Açıklama	FIR	IIR
Sinyal işleme süreci	Genel olarak azalmakta	Artmakta
PSNR değeri	Sabit	Sabit
<i>Band power</i> değeri	Sabit	Sabit

4.6. Enkoder Açılı Doğrulama

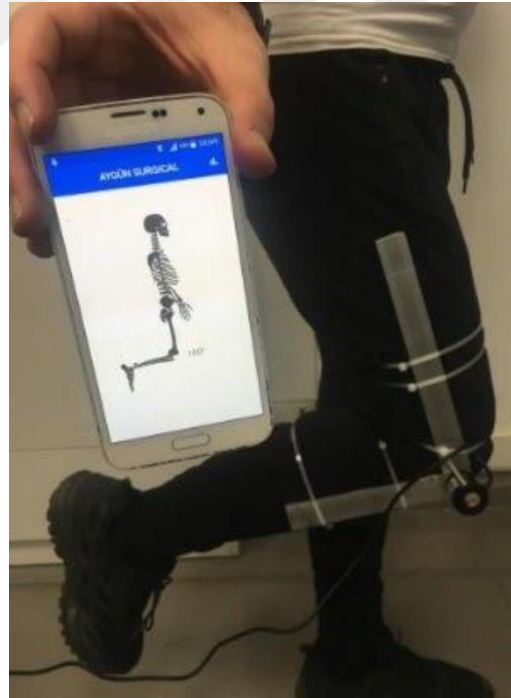
Ortez sistemlerinde konum doğrulaması için enkoderler kullanılmaktadır. Yapılan çalışma da açılma enkoder üzerinde bulunan vida yerlerinden sabitlenmiştir. Enkoder üzerinden elde edilen açı bilgisi önce mikrodenetleyici ile okunmuş ve sonrasında MORTEZ yazılımına kablosuz bluetooth modülü kullanılarak aktarılmıştır. Kullanılan enkoder daha hassas derecede okuma yapabilmektedir. Fakat kullanılacak orte sisteminde 1 derecelik hassasiyet yeterli olduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak enkoder üzerinden 1 derece hassasiyetle veriler gerçek zamanlı olarak okunmaktadır. Aşağıdaki Şekil 4.4’te doğrulama sisteminin görseli bulunmaktadır.



Şekil 4.4. Açılölçer ile doğrulama (Gündüz, 2021)

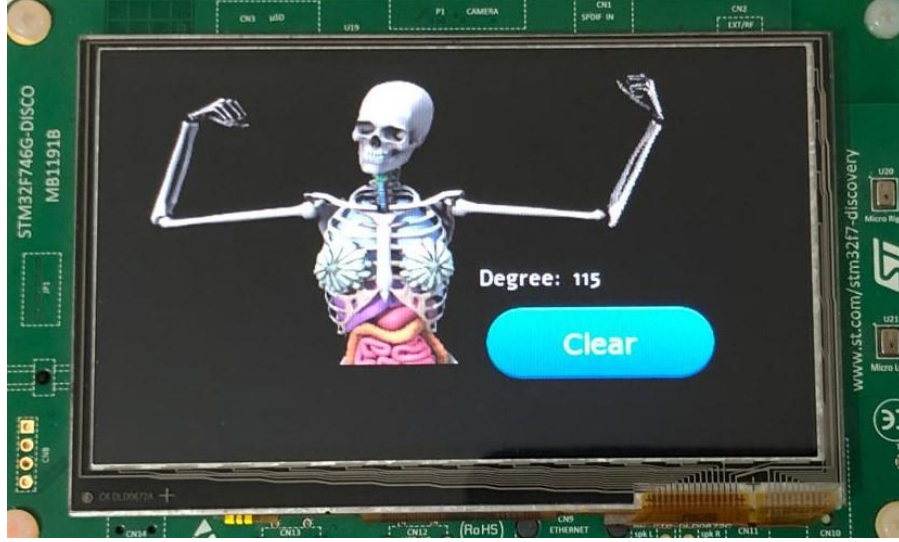
4.7. Diz-Ayak Konum Algılama

Mekanik bileşenler yardımıyla, diz-ayak hareketinde konum algılama amaçlı ince alüminyum malzeme ile mekanik bir aparat tasarlanmış ve mafsal bölgesine enkoder montaj edilmiştir. Yapılan hareketler önce mikrodenetleyici ile okunduktan sonra bluetooth ile taşınabilir aygıtı başarılı bir şekilde aktarılmıştır.



Şekil 4.5. Diz ekleminde konum algılama

Mikrodenetleyici tarafında konum bilgisi ile animasyonlu GUI tasarlanmıştır. Elde edilen konum bilgisi hem mikrodenetleyici ekranından hem de taşınabilir aygıt üzerinden doğru bir şekilde görüntülenmektedir.



Şekil 4.6. Discovery kart ile animasyonlu konum gösterimi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında kullanılacak filtre türü ve mikrodnetleyici seçiminde filtre performanslarının karşılaştırma çalışmaları yapılmıştır. Sonuç olarak kullanılacak filtreyi değiştirmeksizin mikrodnetleyici türünü değiştirmek *band power* ve PSNR değerlerini değiştirmedigini göstermektedir. Sadece filtreleme sürecini değişmektedir. 8. Derecede FIR ve IIR filtre ile elde edilen bulgular incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- IIR filtre mikrodnetleyici hafızasını daha az tüketmektedir
- Mikrodnetleyici RAM tüketimleri hemen hemen aynı olmakla birlikte IIR filtrenin daha azdır
- IIR filtrenin PSNR değeri daha küçüktür
- *Band power* değeri hemen hemen aynı olmakla birlikte IIR filtrenin daha azdır
- IIR filtrenin sinyal işleme hızı çok daha hızlıdır

Tek kanallı EMG sinyali STM32F746NGH6 mikrodnetleyicisi tarafından gerçek zamanlı olarak okunmuş ve filtreleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bilgiler doğrultusunda STM32F746G Discovery kartı tercih edilmiştir. Filtre türü olarak 8. Derecede IIR filtre kullanılmıştır. Bant geçiren frekansı aralığı için literatürdeki diğer çalışmalar incelenmiş ve 20-350 Hz olarak tercih edilmiştir. Örneklem frekansı 1000 Hz olarak okunması için ADC ayarları yapılmış ve EMG sinyalleri başarılı olarak okunmuştur. EMG sinyalinin okunması ve filtrelenmesine kadar olan süreçte geçen süre maksimum 2 ms ölçülmektedir. Enkoder ile elde edilen açı değeri 1 derecelik değişimi başarılı bir şekilde gösterilmektedir. Elde edilen tüm EMG sinyal filtre değerleri, sinyal ortalama değeri, enkoder açı ve yön bilgisi MORTEZ uygulamasına başarılı bir şekilde kablosuz olarak aktarılmıştır. Tüm bu veriler istenildiğinde kayıt edilebilmektedir ve csv formatında çıktı elde edilebilmektedir. Ayrıca MORTEZ yazılımı üzerinden enkoder açısının sıfırlama işlemi buton vasıtasıyla başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Mikrodnetleyici çevresel birimlerini ayarlayarak çok sayıda ADC portu aktif hale getirilebilir. Böylece birden fazla EMG sinyali okunabilecektir. Ayrıca dijital filtre kullanılmasının en büyük avantajı olan filtre tipi, kesme frekansı ve derecesi gibi değişkenler kolayca değiştirilebilmektedir. Başka bir filtrenin eklenmesi gerektiğinde kolayca eklenebilmektedir. Siteme farklı bir sensör eklenmesi gerektiğinde kolayca

entegre edilebilmektedir. Ayrıca sistemin sahip olduğu dijital ve PWM çıkışları sayesinde motor ve benzeri cihazlar gerçek zamanlı kontrol edilebilmektedir.

MORTEZ yazılımı geliştirilerek, egzersiz sonrası kayıt altına alınabilecek EMG sinyal genlikleri doktor/uzman kişiye internet vasıtası ile paylaşılabilir. Kişinin rehabilitasyon süreci ile ilgili bilgi sağlayabilir.

Tasarlanan sistem geliştirilerek hareketli kabiliyeti olan bir ortez sistemine entegre edilirse, kişiye MORTEZ yazılımı üzerinden egzersiz yaptırılabilir. Ayrıca EMG sinyalleri üzerinden kişinin hareketinin algılayıp kullanıcıya hareketini gerçekleştirmesine yardımcı olabilir.



KAYNAKLAR

- Konrad, P. (2006). The ABC of EMG. Retrieved December 16, 2022, from <https://www.noraxon.com/wp-content/uploads/2014/12/ABC-EMG-ISBN.pdf>
- Alsancak, S. (2000). Ortez ve Protez Tarihçesi. *Ankara Sağlık Hizmetleri Dergisi*. 1 (1). 27-33. DOI: 10.1501/Ashd_0000000003.
- Luca, C.J. (2002). Surface electromyography: Detection and recording. Retrived December 16, 2022, from <https://www.delsys.com/downloads/TUTORIAL/semg-detection-and-recording.pdf>
- Güler, N. F. & Hardalaç, F. (2002). Design of microcontroller-based EMG and the analysis of EMG signals. *Journal of Medical Systems*. 26 (2). 151-157.
- Argenova. (2020). Flutter Nedir ve Neden Öğrenmek Gerekir?. Erişim: 16 Aralık 2022, <https://www.argenova.com.tr/flutter-nedir-ve-neden-ogrenmek-gerekir>
- Pylatiuk, C., Kargov, A., Gaiser, I., Werner, T., Schulz, S. & Bretthauer, G., “Design of a flexible fluidic actuation system for a hybrid elbow orthosis”, *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, Kyoto, 23-26 June 2009, ss.167-171.
- Yuan, W., Zou, K., Zhao, Y. & Xi, N., “Detection of Human Action Intention by Electromyography (EMG)”, *12th International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*, Changbai Mountain, 27-31 July 2022, ss. 750-754.
- Boz, U. C., Tepe, C. & Sancaktar, İ. (2022). EMG işareti ile FPGA tabanlı mod denetimli protez kol kontrolü. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 12 (1). 90-100. DOI: 10.17714/gumusfenbil.972636.
- Chen, B., Chen, C., Hu, J., Nguyen, T., Qi, J., Yang, B., Chen, D., Alshahrani, Y., Zhou, Y., Tsai, A., Frush, T. & Goitz, H. (2022). A Real-time EMG-based fixed-bandwidth frequency-domain embedded system for robotic hand. *Frontiers in Neurorobotics*. 16. 1-15. DOI: 10.3389/fnbot.2022.880073.
- Taha, Z., Deboucha, A., Ahamed, N.U., Ahmed, N., Ariffin, R.N., Ghazilla, R.A., Majeed, A.P. & Wong, Y. (2015). IIR filter order and cut-off frequency influences on EMG signal smoothing. *Biomedical Research-Tokyo*. 26 (4). 616-620.
- Fernandes, P.N., Figueiredo, J., Moreira, L., Félix, P., Correia, A., Moreno, J.C. & Santos, C.P., “EMG-based Motion Intention Recognition for Controlling a Powered Knee Orthosis”, *IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC)*, Porto, 24-26 April 2019, ss. 1-6.
- Küçük, S. & Mayetin, U. (2017). EMG sinyalleri ile mobil robotun kablosuz kontrolü. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 23 (5). 497-503.
- Borbely, Bence, J., Tihanyi, Attila & Szolgay, Péter, “A measurement system for wrist movements in biomedical applications”, *European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD)*, Trondheim, 24-26 August 2015, ss. 1-4.
- Shihomi, Kawasaki, Koji, Ohata, Tadao, Tsuboyama, Yuichi, Sawada & Yoshiyuki, Higashi, “Development of new rehabilitation robot device that can be attached to the conventional Knee-Ankle-Foot-Orthosis for controlling the knee in individuals after stroke”, *International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, London, 17-20 July 2017, ss. 304-307.
- Salem, F.A., Mohamed, K., Mohamed, S.B. & Gehani, A.A., “The Development of Body-Powered Prosthetic Hand Controlled by EMG Signals Using DSP Processor with Virtual Prosthesis Implementation”, *International Conference on Electrical and Computer Engineering*, Krabi, 15-17 May 2013, ss. 1-8.

- Roland, T., Baumgartner, W., Amsuess, S. & Russold, M.F., “Capacitively coupled EMG detection via ultra-low-power microcontroller STFT”, *39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, Jeju, 11-15 July 2017, ss. 410-413.
- Triwiyanto, T., Pawana, I.P., Irianto, B., Indrato, T. & Wisana, I.D. (2019). Embedded system for upper-limb exoskeleton based on electromyography control. *TELKOMNIKA Telecommunication Computing Electronics and Control*. 17 (6). 2992-3002.
- Ferreira, F.M., Rúbio, G.D., Brandão, F.H., Mata, A.M., Avellar, N.B., Bonfim, J.P., Tonelli, L.G., Silva, T.X., Dutra, R.M., Petten, A.M. & Vimieiro, C., “Robotic orthosis for upper limb rehabilitation”, *Proceedings of 1st International Electronic Conference on Actuator Technology: Materials, Devices and Applications*, 23-27 November 2020, ss. 1-13.
- Park, S., Meeker, C., Weber, L.M., Bishop, L., Stein, J. & Ciocarlie, M.T. (2018). Multimodal sensing and interaction for a robotic hand orthosis. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 4 (2). 315-322. DOI: 10.1109/LRA.2018.2890199.
- Karabıyık, İ, Kılıç, E. & Bayram, A. (2019). Bilek rehabilitasyonu için düşük maliyetli bir taşınabilir robotik cihazın geliştirmesi ve kontrolü. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*. 24 (3). 347-364. DOI: 10.17482/uumfd.609524.
- Mahmood, M.N., Tabasi, A., Kingma, I. & Dieën, J.V. (2021). A novel passive neck orthosis for patients with degenerative muscle diseases: Development & evaluation. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 57. 1-8. DOI: 10.1016/j.jelekin.2021.102515.
- Yakut, Ö. , Solak, S. & Bolat, E. D. (2018). EKG işaretindeki gürültülerin temizlenmesi için IIR tabanlı sayısal filtre tasarımı. *Politeknik Dergisi*. 21 (1). 173-181. DOI: 10.2339/politeknik.386970.
- Das, N. & Chakraborty, M., “Performance analysis of FIR and IIR filters for ECG signal denoising based on SNR”, *Third International Conference on Research in Computational Intelligence and Communication Networks (ICRCICN)*, Kolkata, 26-27 November 2020, ss. 90-97.
- Kwon, J., Park, J., Ku, S., Jeong, Y., Paik, N. & Park, Y. (2019). A Soft Wearable Robotic Ankle-Foot-Orthosis for Post-Stroke Patients. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 4 (3). 2547-2552.
- Yun, Y., Dancausse, S., Esmatloo, P., Serrato, A., Merring, C.A., Agarwal, P. & Deshpande, A.D., “Maestro: An EMG-driven assistive hand exoskeleton for spinal cord injury patients”, *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Singapore, 29 May-03 June 2017, ss. 2904-2910.
- Ryser, F., Bützer, T.L., Held, J.P., Lamercy, O. & Gassert, R., “Fully Embedded Myoelectric Control for a Wearable Robotic Hand Orthosis”, *International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, London, 17-20 July 2020, ss. 615-621.
- Félix, P., Figueiredo, J., Santos, C.P. & Moreno, J.C., “Electronic design and validation of Powered Knee Orthosis system embedded with wearable sensors”, *IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC)*, Coimbra, 26-28 April 2017, ss. 110-115.
- Grout, I.A. (2008). *Digital Systems Design with FPGAs and CPLDs*. Oxford: Newness.
- Oshana, R. (2012). *DSP for embedded and real time systems*. Oxford: Newness.
- Ravi, R.V., Subramaniam, K., Roshini, T.V., Muthusamy, S.P. & Prasanna Venkatesan, G.K. (2019). Optimization algorithms, an effective tool for the design of digital filters; a review. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 12 (7). 1798-1806.
- Poularikas, A.D. (2007). *Signals and Systems Primer with MATLAB*. Boca Raton: CRC Press.

- Tepe, C., Eminoglu, İ. & Şenyer, N., “Estimate angle information of hand open-close from surface electromyogram (sEMG)”, *23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Malatya, 16-19 Mayıs 2015, ss. 1-4.
- Litwin, L.R. (2000). FIR and IIR digital filters. *IEEE Potentials*.19 (4). 28-31. DOI: 10.1109/45.877863.
- Gündüz, O. , Tepe, C. & Şenyer, N. (2021). Mortez: mobil uygulama destekli ortez sistemi tasarımı. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*. 9 (3). 923-930. DOI: 10.21923/jesd.891098
- CMSIS. (2022). CMSIS DSP Software Library. Retrieved November 29, 2022, from <https://www.keil.com/pack/doc/CMSIS/DSP/html/index.html>
- Barahona-Pereira, D. (2019). Evaluation of Feature Extraction Techniques for an Internet of Things Electroencephalogram. *Tecnología en Marcha*. 32 (6). 58-68. DOI: 10.18845/TM.V32I8.4564.
- de Araújo, R.C., Júnior, F., Rocha, D.N., Sono, T. & Pinotti, M. (2011). Effects of intensive arm training with an electromechanical orthosis in chronic stroke patients: a preliminary study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 92 (11). 1746-53.
- Fleischer, C., Reinicke, C. & Hommel, G., “Predicting the intended motion with EMG signals for an exoskeleton orthosis controller”, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Edmonton, 2-6 August 2005, ss. 2029-2034.
- Youn, W. & Kim, J. (2009). Development of a compact-size and wireless surface EMG measurement system. *2009 ICCAS-SICE*, 1625-1628.
- Yoo, J.W., Lee, D.R., Sim, Y.J., You, J.S. & Kim, C.J. (2014). Effects of innovative virtual reality game and EMG biofeedback on neuromotor control in cerebral palsy. *Bio-medical Materials and Engineering*. 24 (6). 3613-8. DOI: 10.3233/BME-141188.
- Ishak, A.J., Ahmad, S.A., Soh, A.C., Naraina, N.A., Jusoh, R.M. & Wada, C., “Design of a wireless surface EMG acquisition system”, *24th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP)*, Auckland, 21-23 November, ss. 1-6.

ÖZ GEÇMİŞ

Orhan GÜNDÜZ, Samsun Ondokuz Mayıs Lisesi’ni bitirdikten sonra Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği(İng.) bölümünden 27.06.2013 tarihinde mezun oldu. 2020 yılında OMÜ LEE Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programına girdi.

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0002-8132-8301

Yayınlar:

1. Gündüz, O., Tepe, C. & Şenyer, N. (2021). Mortez: Mobil Uygulama Destekli Ortez Sistemi Tasarımı. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergis.* 9 (3). 923-930. DOI: 10.21923/jesd.891098
2. Gündüz, O., Tepe, C., Şenyer, N. & Odabas, M. S. (2021). Tıbbi Cihaz Sektöründe Kullanılan Derin Öğrenme Yöntemlerine Genel Bakış. *Black Sea Journal of Engineering and Science.* 4 (2). 68-74. DOI: 10.34248/bsengineering.858918
3. Gündüz, O., Tepe, C. & Şenyer, N., “Gömülü Sistemlerde Derin Öğrenme: STM32 Örneği”, *3.Uluslararası 19 Mayıs Yenilikçi Bilimsel Yaklaşımlar Kongresi*, Samsun, 16-19 Mayıs 2020, ss. 108-114.
4. Gündüz, O., Sancaktar, İ. & Şenyer, N., “Akıllı Telefon ve Mikrodenetleyici ile Model Araç Kontrolü”, *3.Uluslararası 19 Mayıs Yenilikçi Bilimsel Yaklaşımlar Kongresi*, Samsun, 16-19 Mayıs 2020, ss. 115-123.