

OTOMATİK KONTROL TÜRK MİLLİ KOMİTESİ ULUSAL TOPLANTISI

BİLDİRİLER KİTABI

DERLEYEN
Prof. Dr. Zafer BİNGÜL

Kocaeli Üniversitesi
Umuttepe Yerleşkesi, Kocaeli
11-13 Eylül 2014

OTOMATİK KONTROL TÜRK MİLLİ KOMİTESİ ULUSAL TOPLANTISI 2014 - KOCAELİ

A1 – Mobil Robotlar I

11 Eylül 2014 Perşembe – 1. Oturum (Akım Metal Salonu)

Oturum Başkanları : Prof. Dr. Hasan OCAK (Kocaeli Üniversitesi)
Y. Doç. Dr. Yakup GENÇ (GYTE)

Gece Görüi Özellikli Bir Mobil Robot İçin Şekil Eşlemeye Dayalı Lider Takibi(Bildiri No : 8)

Tolga YÜKSEL (Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi)

Mobil Robotların Deneysel Simülasyonunda Kullanılan Platformların İncelenmesi(Bildiri No : 40)

Aydın GÜLLÜ (Trakya Üniversitesi)
M. Ozan AKI (Trakya Üniversitesi)
Hilmi KUŞÇU (Trakya Üniversitesi)
Mustafa ARDA (Trakya Üniversitesi)

Akıllı Tekerlekli Sandalye için Algılayıcı Tabanlı(Bildiri No : 64)

Mehmet AKÇAKOCA (İnovasyon Mühendislik Ltd. Şti.)
İsmail KILIÇ (İnovasyon Mühendislik Ltd. Şti.)
Uğur YAYAN (İnovasyon Mühendislik Ltd. Şti.)
Bora AKAR (İnovasyon Mühendislik Ltd. Şti.)
Ahmet YAZICI (Eskişehir Osmangazi Üniversitesi)

Ajan Yapısı Kullanılarak ATEKS Lider Takibi ve Engelden Sakınma Eylemi (Bildiri No : 68)

Otonom Çim Biçme Robotu Seyrüseferinde Odometrik Hata Düzeltme Metodu Geliştirilmesi(Bildiri No : 110)

Serkan ÇİÇEK (TURA Mühendislik)
E. İlhan KONUKSEVEN (ODTÜ)
A. Buğra KOKU (ODTÜ)
Ardıç KAROL (TURA Mühendislik)

B16 – İnsansız Deniz ve Hava Araçları

12 Eylül 2014 Cuma –4. Oturum (Akım Metal Salonu)

Oturum Başkanları : Prof. Dr. Kemal LEBLEBİCİOĞLU (ODTÜ)

Bir İnsansız Sualtı Aracının Yer Tespiti ve Güdümü (Bildiri No : 77)

Seda Karadeniz KARTAL (ODTÜ)
M. Kemal LEBLEBİCİOĞLU (ODTÜ)

Gözlem Amaçlı Uzaktan Kontrollü İnsansız Sualtı Aracı Tasarımı (Bildiri No : 92)

Cenk ULU (TÜBİTAK MAM)
İlter HANCIOĞLU (TÜBİTAK MAM)
E. Utku GENÇ (TÜBİTAK MAM)
M. Ufuk ALTINKAYA (TÜBİTAK MAM)
Onur CANBAK (TÜBİTAK MAM)
Eren ÖZSU (TÜBİTAK MAM)

Sabit Kanatlı Bir İnsansız Hava Aracı için Algılayıcı Arızası Tespiti ve Ayrımı (Bildiri No : 111)

Ahmet ERMEYDAN (Anadolu Üniversitesi)
Emre KIYAK (Anadolu Üniversitesi)

İnsansız Bir Hava Aracının Kısıtlamalı Model Öngörülü Kontrolü ve PID Kontrolör ile Kıyaslanması (Bildiri No : 141)

Halit Fırat ERDOĞAN (İTÜ)
Ayhan KURAL (İTÜ)
Can ÖZSOY (İTÜ)

İnsansız Hava Araçları İçin Optimal Gürbüz Takip Denetçisi (Bildiri No : 142)

İlker TANYER (Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü)
Enver TATLICIOĞLU (Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü)
Erkan ZERGEROĞLU (Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü)

Sualtı Deney Platformu için Kontrol Kartı Tasarımı (Bildiri No : 147)

Ahmet Furkan ERGAN (Kocaeli Üniversitesi)
Serhat YILMAZ (Kocaeli Üniversitesi)
Mehmet YAKUT (Kocaeli Üniversitesi)

Sualtı Deney Platformu için Kontrol Kartı Tasarımı

Ahmet Furkan ERGAN[1], *Serhat Yılmaz*[2], *Mehmet YAKUT*[3]

[1,2,3]Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli
ahmetfurkanergan@gmail.com, serhaty@kocaeli.edu.tr, myakut@kocaeli.edu.tr

Özetçe

Uzaktan kumanda edilen sualtı araçları (ROV) hem sığ hem de derin sulardaki deniz bilimleri, petrol ve gaz çıkarımı, keşif ve kurtarma gibi zorlu görevler için kullanılırlar. Bu uygulamalarda ROV hareketleri bir batmaz kablo bağlantısı veya akustik haberleşme sistemleri aracılığı ile yüzeyde bulunan bir pilot tarafından yönlendirilir. Bu çalışmada TÜBİTAK desteği ile hazırlanan sualtı deney platformu için derinlik ve yön kontrolünü gerçekleştirecek kontrol kartı tasarlanmış ve güç katı, motor sürücüler, algılayıcı modülleri gibi tasarım aşamaları anlatılmıştır. Kart 8 adet DC, 8 adet servo motor sürebilecek şekilde tasarlanmıştır. Kontrol kartı 4 iticili deney platformuna kullanılacak ve Derinlik ve yön kontrolünde PID ve YSA yaklaşımları uygulanıp hangi yöntemle daha dengeli kontrol yapılabildiğine karar verilecektir.

1. Giriş

İnsansız su altı araçları, günümüzde sualtı hareketlerinin izlenmesi, okyanus dibi sıcaklık haritalarının çıkarılması, gemi altı hasarlarının görüntülenmesine yönelik uzman incelemesi işlemleri, tehlikeli derinliklerde görüntü alma, batıkların incelenmesi, sahil güvenliğini sağlama, askeri bir takım görevleri yerine getirme, akarsuların denizlere döküldüğü alıcı su ortamlarının düzenli kirlilik analizi ve kirlilik haritalarının çıkarılması gibi çok geniş alanlarda kullanılmaktadır.

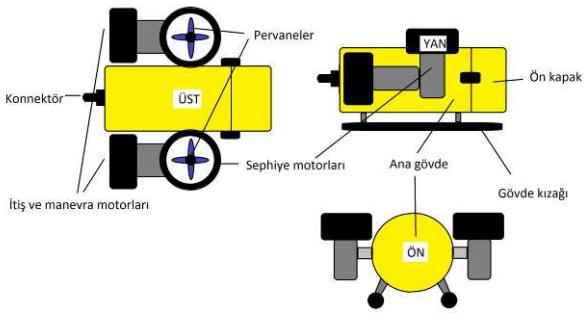
Sualtı araçlar özelliklede ROV'lar herhangi bir dalış ekibi ya da dalgıca gerek duyulmadan kıyıdan ya da su üstünde bulunan bir operatör tarafından kullanılan cihazlardır. Bu araçlar enerjilerini bünyelerindeki bataryalardan sağlayabildiği gibi yüzeydeki bir platformda konuşlandırılmış güç kaynağı ile bir kablo üzerinden de sağlayabilmektedirler. ROV'lar yapılacak çalışmaya uygun olarak çeşitli algılayıcılar, pençeler, boru veya kablo takip mekanizması, yan taramalı sonarlar ve multibeam sonarlar gibi donanımlarla donatılabilirler [1].

Çalışmanın amacı, sualtı aracı teknolojisindeki gelişmelere denetim yöntemleri açısından katkı sağlayacak bir platform geliştirmektir. Uzaktan kumandalı veya otonom olarak çalışan sualtı araçları belirli bir açıya yönelme, belirli bir derinliğe inme, yanaşma ve seyir gibi temel dinamik hareketleri yapabilmelidir. Bu hareketlerin, sualtı akıntıları gibi bozucu etkiler karşısında da başarılı olması beklenmektedir.

Bu amaçla testlerin yapılacağı bir sualtı aracı hazırlanmıştır. Aracın içinde çalıştırılacağı bozucu etki üreten bir deney tankı kurulmuştur. Araç derinlik bilgisini basınç algılayıcısından, yön bilgisini elektronik pusuladan almaktadır. Aracın temel dalış ve hareketleri yapabilmesi için kablo bağlantısıyla uzaktan yönlendirilmesi sağlanmıştır. Hazırlanan kontrol arayüzünde istenen hareketleri sağlayabilmek için gerekli algoritmalar çıkarılmıştır.

Bu çalışmada sualtı uygulamaları geliştirebilmek için tasarlanan bir sualtı deney platformu için hazırlanmış olan kontrol kartına ve kontrol uygulamasına yer verilmiştir. Yapılacak olan kontrol uygulaması TÜBİTAK desteği ile hazırlanan sualtı deney platformunda uygulanacaktır.

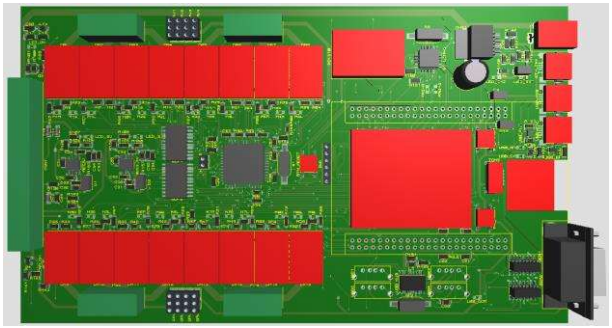
Araç gövdesi elektronik aksamı koruyacak bir ana gövde, bataryayı taşıyan bir gövde kızağı ve motorlardan oluşmalıdır. Literatür çalışmaları incelenerek, araçta bulunması gereken temel donanımlar belirlenmiş ve istenen aracın genel görünümü taslak olarak çıkarılmıştır (Şekil 1). Aracın derinlik (sephiye) kontrolü ve yalpa hareketi kontrolü için dikey iki motoru, aracın ileri ve geri yönde hareketi (itiş) ve sağa sola dönüşünü (manevra) kontrol edebilmek için ise yatay iki motoru bulunmalıdır. Araç gövdesi 200m derinliğe kadar sızdırmazlık sağlaması için 20bar basınç altında test edilmiştir [2].



Şekil 1: Sualtı Aracının İlk Tasarım Çizimleri

2. Kontrol Kartı

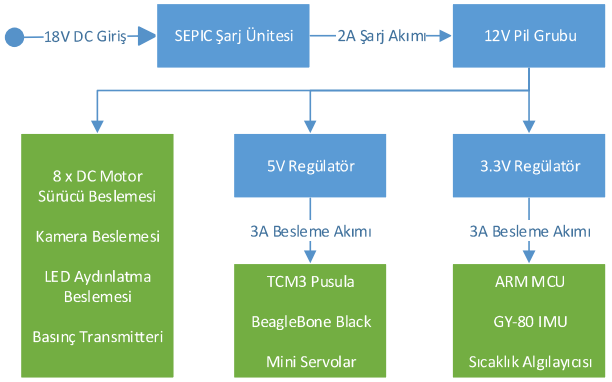
Tasarım bir deney platformu için yapıldığı için uygulamanın yapılacağı donanımdan farklı donanımlar içinde kullanılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Kart üzerinde iki adet mikrodenetleyici bulunmaktadır. Bunların bir tanesi ARM Cortex-M4 tabanlı STM32F407VGT6 mikrodenetleyicisidir, bir diğeri ise üzerinde ARM Cortex-A8 tabanlı Texas Instruments AM335x mikrodenetleyici ailesinden bir mikrodenetleyici barındıran BeagleBone Black geliştirme kartıdır. Bu iki mikro kontrolör kontrol uygulamasında ayrı ayrı kullanılabileceği gibi aralarında iş bölümü yapılarak birlikte de kullanılabilmektedir.



Şekil 2: Kontrol Kartı 3D Görünüşü

2.1. Besleme Katı

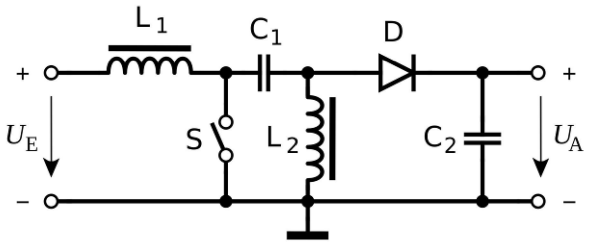
Kontrol kartımız 12 Volt pil grubundan beslenecek şekilde tasarlanmıştır. Uygulama için seçilen DC motorlarımızın beslemesi de 12 Volt civarında olduğundan motor beslemeleri için ayrı bir besleme katı tasarlanmamış motor beslemeleri direkt olarak pillerden sağlanmıştır. Pillerden sağlanan besleme gerilimimiz anahtarlamalı dönüştürücüler kullanılarak mikrodenetleyiciler ve algılayıcıları besleyecek seviyelere düşürülmüştür. Ayrıca 12V pilleri şarj edebilmek için de bir SEPIC şarj ünitesi kart üzerine eklenmiştir.



Şekil 3: Kart Besleme Şeması

2.1.1. SEPIC Şarj Ünitesi

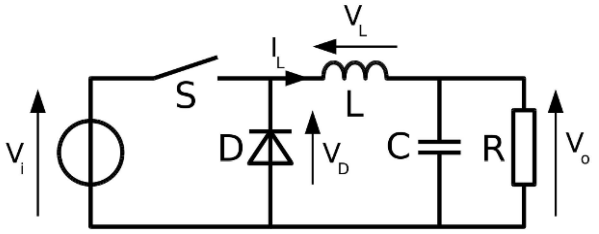
Kontrol kartımızın şarj kısmında akım modlu bir anahtarlama elemanı kullanılmıştır. Bu anahtarlama elamanı 500KHz frekansında anahtarlama yapmaktadır. Dönüştürücü elemanlarda kullanılan gerilim geribeslemesine ek olarak anahtarlama elemanımızın akım geribeslemeside bulunmaktadır. Bu sayede pilleri şarj etmek istediğimiz akımı kendimiz belirleyebilmekteyiz. Kullanılan anahtarlama elemanı farklı kimyalardaki pilleri şarj etmek içinde uygundur. Gerilim geribeslemesi istenilen şekilde ayarlanarak farklı gerilimlerdeki pilleri şarj etmekte mümkündür. Şarj devresinde akım geribeslemesi referans olarak 0 Volt alındığından ve pilden tamamen bağımsız olduğundan hassas bir şarj akımı ayarına izin vermektedir. Şarj ünitemizin akım geribeslemesi 2 Amper şarj akımı verecek şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca, SEPIC topolojileride bir tür alçaltan-yükselten dönüştürücü olduğu için giriş voltajı pilin voltajından daha düşük olduğunda da şarj imkânı vardır [3]. Fakat giriş voltajı düştüğü zaman giriş kaynağından çekilecek olan akımın artacağı unutulmamalıdır.



Şekil 4: SEPIC Dönüştürücü Basitleştirilmiş Devresi

2.1.2. Alçaltıcı Dönüştürücüler

Kontrol kartının mikrokontrolörlerini ve algılayıcılarını beslemek için ise anahtarlamalı alçaltıcı dönüştürücüler kullanılmıştır. 5 Volt ve 3,3 Volt beslemeler için iki ayrı dönüştürücü tasarlanmıştır. Bu iki dönüştürücü tasarım olarak birbirinin birebir aynısıdır. Yalnızca çıkış gerilimlerini ayarlamak için geribesleme dirençleri birbirinden farklıdır. Alçaltıcı dönüştürücüler için seçilen anahtarlama elemanları 340KHz frekansta anahtarlama yapabilen elamanlar olduğu için çıkış bobini boyutları oldukça küçülmüştür. İki dönüştürücününde anahtarlama elemanları direkt olarak pillerden beslenmektedir ve 3 Amper çıkış akımı sağlayabilmektedirler ve %96 ya varan verimle çalışırlar.



Şekil 5: Alçaltıcı Dönüştürücü Basitleştirilmiş Devresi

2.2. Kontrol Katı

Kartın kontrol katı motor sürücüleri, algılayıcılar ve mikrodenetleyicileri içermektedir. Bu bölümde bu kısımlar açıklanacaktır.

Kontrol kartımızın üzerinde STM32F407VGT6 mikrodenetleyicisi bulunmaktadır kartımızın algılayıcı bilgilerini toplamak, PID kontrolü yapmak, motorları, led aydınlatmayı, kamerayı kontrol etmek gibi görevlerini bu mikrodenetleyici üstlenmektedir. Kart üzerinde video görüntüsünü yakalayabilmek için yüksek güçlü bir geliştirme kartı (BeagleBone Black) için bağlantı konektörleri bulunmaktadır. BeagleBone Black sadece kameradan aldığı görüntüleri Ethernet üzerinden yayınlamak için kullanılabileceği gibi, asıl kontrolör olan STM32F407VGT6

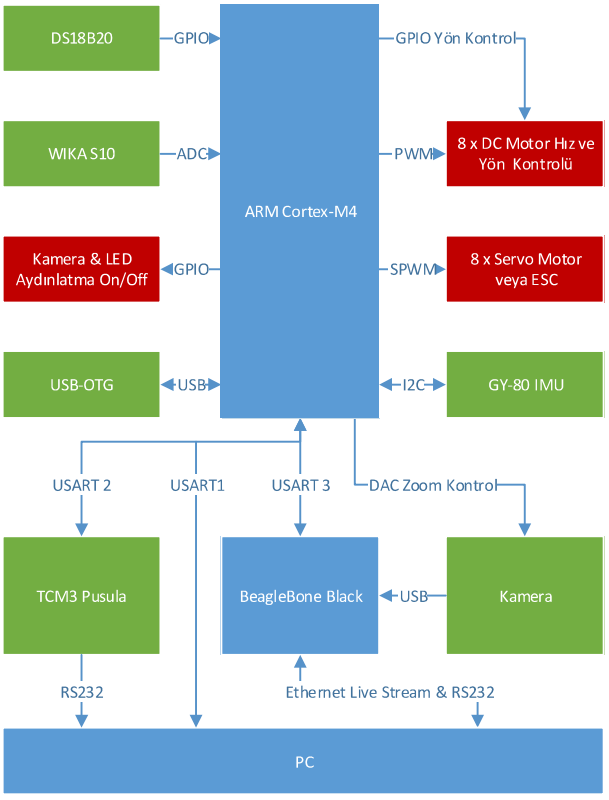
mikrodenetleyicisinin görevini üstlenebilecek şekilde tasarıma dahil edilmiştir.

Kullanım kolaylığı sağlamak için kart üzerine STMicroelectronics firmasının üretmiş olduğu mikrodenetleyicileri programlayabilen ve hata ayıklama yapabilen bir USB programlayıcı dahil edilerek USB aracılığıyla STM32F407VGT6 mikrodenetleyicisinin programlanabilmesi ve hata ayıklama kullanılarak programlama hatalarının giderilebilmesi amaçlanmıştır.

2.2.1. Mikrodenetleyici

Kartın ana kontrolörü STMicroelectronics firmasının üretmiş olduğu ARM Cortex-M4 tabanlı STM32F407VGT6 mikrodenetleyicisidir. Bu mikrodenetleyici yeterli çevre birimleri ve yüksek çalışma frekansıyla kontrol kartımızın ana işlemlerini yapabilecek kapasitede bir mikrodenetleyicidir.

Kontrol algoritmasında STM32F407VGT6 mikro kontrolörünün üstlendiği birçok görev vardır. Gerek algılayıcı değerlerinin okunması olsun gerekse PID veya YSA kontrolünün sağlanması olsun kontrol kısmının büyük bir yükü bu mikrodenetleyiciye binmektedir. STM32F407VGT6 pusula ve ivme algılayıcılarından aldığı verileri geri besleme olarak kullanırken aynı zamanda işlediği verileri BeagleBone Black kartına veya istenirse direkt olarak kontrol arayüzüne gönderebilmektedir.



Şekil 6: Mikrodenetleyicinin Şematik Gösterimi

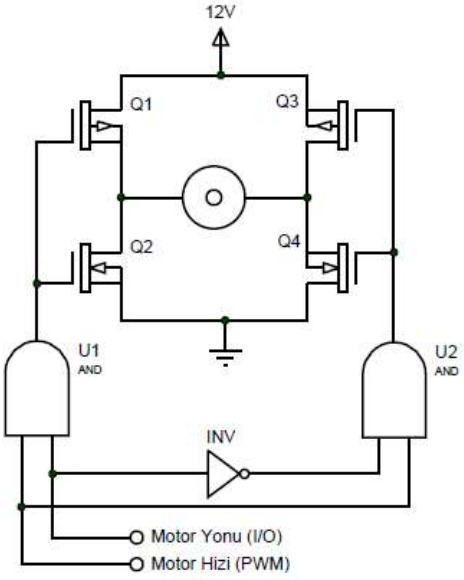
2.2.2. Algılayıcılar

Bu çalışmada yön bilgisini algılamak için PNI firmasının üretmiş olduğu TCM3 elektronik pusula modülü ve GY-80 IMU, derinlik bilgisini elde etmek için ise WIKA firmasının üretmiş olduğu S10 basınç algılayıcısı kullanılmaya karar verilmiştir. Fakat tasarım bu algılayıcıların yerine farklı algılayıcılar kullanmak içinde uygundur. TCM3 elektronik pusulası yüksek hassasiyetli ve insansız araçlar için sık kullanılan bir elektronik pusula modülüdür. Manyetik alandan doğru verileri elde edebilmek için uygulanması gereken birçok filtreyi içerisinde barındırmaktadır. Bu sayede ekstra bir çaba sarf etmeden 0,5° hassasiyetle yön bilgisi elde edilebilmektedir. Aynı şekilde WIKA S10 basınç algılayıcısı da endüstriyel alanlarda kullanılan hassas bir basınç algılayıcısıdır. GY-80 IMU ise üzerinde manyetometre, akselerometre, jiroskop ve barometre bulunduran hepsi bir arada bir insansız araç kontrol modülüdür TCM3 modülüne ucuz bir alternatif olarak karta eklenmiştir.

2.2.3. Motor Sürücüleri

Daha öncede belirtildiği gibi kontrol kartı 8 DC ve 8 servo motoru kontrol edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Servo motorlar için direkt olarak mikrodenetleyiciden PWM çıkışları alınmıştır. Yüksek güç gerektiren uygulamalarda servo motorlar için ayrılmış olan çıkışlar Elektronik Hız Kontrolörü (ESC) kullanılarak fırçasız DC motor sürmek içinde kullanılabilir. DC motorlar içinse hız ve yön kontrolü yapabilen iki adet yarım köprü sürücüler beraber kullanılarak H-Köprü sürücüler tasarlanmıştır.

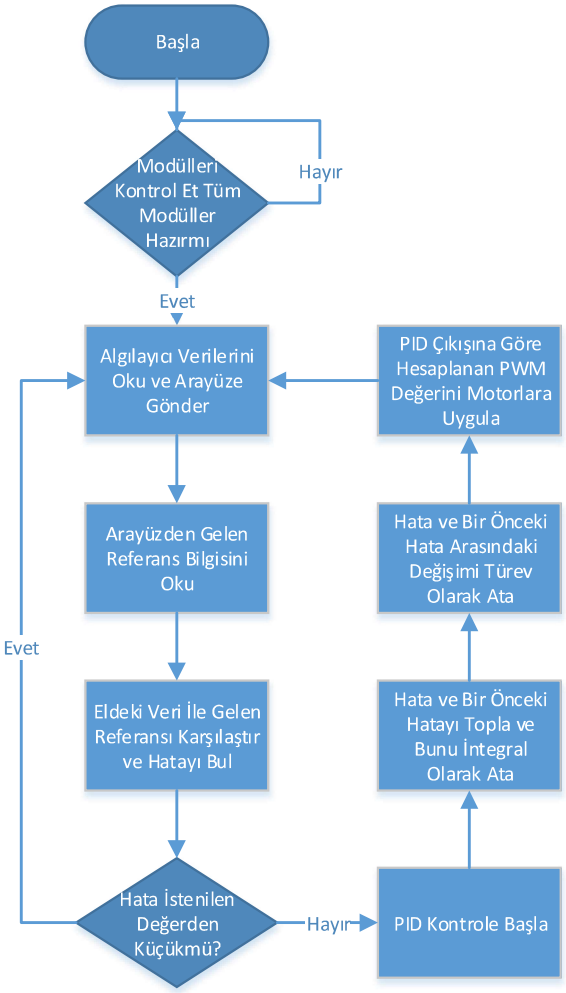
DC Motorun uçlarını bir gerilim kaynağına bağlarsak, motor bir yönde dönmeye başlar, DC Motoru ters kutupladığımızda ise motorun ters yönde hareket ettiğini görürüz. DC Motorun yön kontrolünü sağlayabilmek için H-Bridge (H-Köprü) denilen bir yöntem kullanılmıştır. H-Bridge genel olarak 4 adet transistor, diyot ya da MOSFET ile gerçekleştirilen motorun iki yönlü dönebilmesini sağlayan bir yöntemdir. [4]



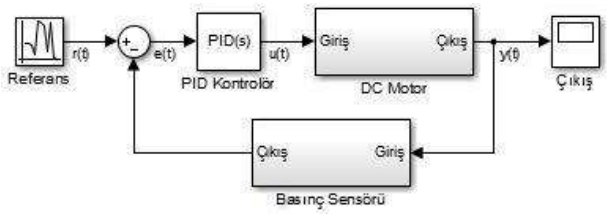
Şekil 7: DC Motor Sürücülerinin Basit Gösterimi

3. PID Kontrolör

PID kontrol döngüsü yöntemi, endüstriyel kontrol sistemlerinde yaygın kullanılan bir kontrol döngüsü geribildirim mekanizmasıdır. Bir PID denetleyici ölçülü bir süreç içinde değişen ve istenilen ayar noktası ile arasındaki farkı alarak bir "hata" değeri hesaplar [5]. Kontrolör süreç kontrol girişini ayarlayarak hatayı en aza indirerek istenilen ayar değerine ulaşmaya çalışır.



Şekil 8: Kontrol Algoritması



Şekil 9: Derinlik için PID Kontrol Bloğu

Blok diyagramda u(t) kontrol sinyalini, y(t) çıkış sinyalini, r(t) referans sinyalini ve e(t) ise hata sinyalini göstermektedir. Yukarıda verilen blok diyagrama göre PID çıkışı u(t) Denklem 1 ve 2'deki gibi hesaplanır.

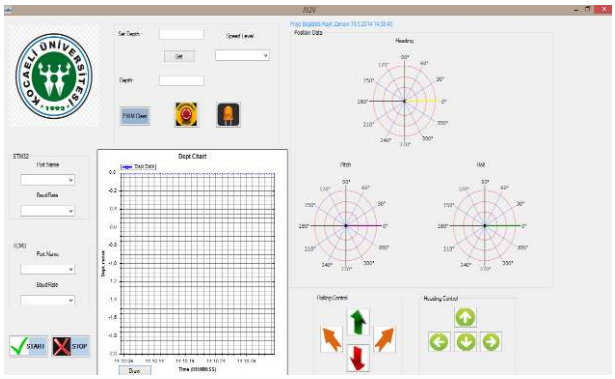
$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int e(t)dt + K_D \frac{d}{dt} e(t) \quad (1)$$

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (2)$$

PID kontrolde sistem çıkışının istenen referans değerini takip edebilmesi için K_P, K_I ve K_D katsayılarının uygun şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Burada hata işareti derinlik kontrolü için referans derinlik değeri ile basınç algılayıcısından okunan gerçek derinlik bilgisi arasındaki ilgili örneklemedeki farktır. Denetim işareti ise dikey motorlara uygulanacak PWM işareti tarafından belirlenen ortalama gerilimdir. Yön kontrolünde ise denetlenecek yön hangisi ise istenen açı değeri ile elektronik pusulada o açıya ait eksenden gelen gerçek açı değeri arasındaki fark hatayı temsil eder. Denetim işareti söz konusu eksende dönüşü sağlayan motorlara uygulanan gerilimin karşılığı olan PWM işaretidir.

4. Bilgisayar Arayüzü

Aracın uzaktan kontrolü PC tarafından sağlanmaktadır. Aracın durumunu görüntüleyebilmek ve değerlerini araca göndermek için C# ile bir bilgisayar arayüzü oluşturulmuştur. Şu anki haliyle arayüz sadece kontrol denemelerini yapabilmek amacıyla basit olarak tasarlanmıştır ve RS232 aracılığıyla araçla haberleşmektedir. İlerleyen tasarımda grafik arayüzden aracın kamera görüntüleri de izlenebilecektir. Aracın hareketleri şuanda grafik arayüz üzerindeki yönelim butonları ve bu butonlara karşılık gelen klavye tuşları ile yapılmaktadır. Sonraki arayüz düzeltmelerinde araç hareketleri bir kumanda kolu aracılığıyla yapılacak şekilde tekrar düzenlenecektir.



Şekil 10: Bilgisayar Arayüzü

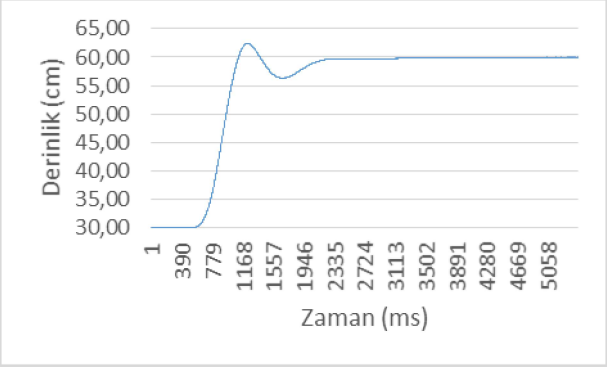
5. Sonuçlar

Aracın derinlik kontrol uygulamaları ve testleri için bir test platformu oluşturulmuştur. Ayrıca bozucu etki oluşturmak içinde platform içerisine daldırılacak bir dalgıç pompa temin edilmiştir.



Şekil 11: Derinlik Kontrolü Uygulaması

Aracın derinlik kontrolü test platformunda test edilmiş ve 30cm derinlikten 60cm derinliğe dalarken basınç algılayıcısından 1ms aralıklarla derinlik bilgisi okunmuş ve bu bilgiler kullanılarak bir derinlik grafiği çizdirilmiştir. Grafikten anlaşılacağı gibi araç 60cm derinliğe yaklaşık 0.6sn de dalmış ve yaklaşık 2sn sonunda 60cm derinlikte kendisini sabitlemiştir.



Şekil 12: Derinlik-Zaman Grafiği

Bu çalışma devam etmekte olan bir çalışmanın tamamlanan kısımlarını içermektedir. Çalışmada su altı deney platformu için bir kontrol kartı tasarlanmış olup PID derinlik kontrol uygulaması gerçekleştirilmiştir. Devam eden aşamalarda PID kontrol yön kontrolü içinde uygulanacaktır. Aynı zamanda bir YSA yapısı oluşturulup PID kontrol sonuçları ile karşılaştırılacaktır. Verimli olan kontrol biçimine karar verilip STM32F407VGT6 mikrodenetleyicisine gömülecek ve aracın sadece seri haberleşme ile kontrol edilebilmesi sağlanacaktır. Ayrıca kontrol arayüzüde geliştirilip kart ayarlarının değiştirilebilmesine olanak sağlanacak ve kamera görüntüsünün ethernet aracılığıyla arayüz üzerinden izlenmesi sağlanacaktır. Aracın hareketlerinin kolay kontrol edilebilmesi içinde arayüze kontrol kolu desteği eklenecektir.

Teşekkür

Makalede sunulan platform 111E294 No'lu TÜBİTAK Projesi kapsamında kontrol kartı ise Kocaeli Üniversitesi BAP Hızlı Desteği kapsamında yapılmıştır. Yazarlar projeye desteklerinden dolayı TÜBİTAK ve Kocaeli Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimi'ne teşekkürlerini sunar.

Kaynakça

[1] L. Valdovinos, T. Jiménez, M. Sánchez, L. Balanzar, R. Alvarado and J.A. Ledesma, 2013: Modelling, Design and Robust Control of a Remotely Operated Underwater Vehicle

[2] S. Yılmaz, M. Yakut, S. İnce, 2013: Derinlik ve Yön Kontrol Uygulamaları için Deney Platformu Tasarımı, Tübitak 1002 Hızlı Destek Projesi Final Raporu, Proje No:111E294, Temmuz 2013.

[3] I.D. Kim, J.Y. Kim, E.C. Nho, and H.G. Kim, 2010: Analysis and Design of a Soft-Switched PWM Sepic DC-DC Converter

[4] http://ieee.itu.edu.tr/lab/hbridge.pdf Ziyaret Tarihi:27.06.14

[5] F. Golnaraghi, B.C. Kuo, Automatic Control Systems, Nineth Ed., Chapter 9, Jonh Wiley and Sons Inc., 2009.