

ARM Mikrodenetleyici Tabanlı Bilkopter'in 9DOF ile Dengelenmesi

Balancing of ARM Microcontroller Based Bilkopter using 9DOF

Çağrı ÇİÇEKDEMİR, Metin KESLER, Cihan KARAKUZU, Uğur YÜZGEÇ

Bilgisayar Mühendisliği
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

cagricekdemir@gmail.com, {metin.kesler, ugur.yuzgec, cihan.karakuzu}@bilecik.edu.tr

Özet

Günümüzde insansız hava araçları kullanımı ve üretimi her geçen gün artmakta ve hayatımızın bir parçası konumuna gelmektedir. En yaygın olanlarından 4 pervaneli olanlarına literatürde quadrotor adı verilmektedir. Bu çalışmada Bilkopter¹ ismi verilen 4 pervaneli insansız hava aracının tasarımı ve ARM mikrodenetleyicisi ile kontrolü gerçekleştirilmiştir. Bilkopter ve benzeri bu araçların en önemli özelliği havada iken olası durumlara veya sorunlara insan müdahalesi olmadan kendi kendine cevap verebilmesidir. Bu işlem için en önemli nokta Bilkopter' in sürekli havada dengede kalmasını sağlayan mekanizmadır. Bu çalışmada Bilkopter üzerindeki üç eksenli gyro, ivme ve pusula sensörleri ile ARM mikrodenetleyicisi kullanılarak havada dengede kalması amaçlanmıştır.

Abstract

Nowadays, the production and usage of unmanned aerial vehicles increases day by day, and they are a part of our lives. In literature, Quadrotor is called as the unmanned aerial vehicle with 4 propeller. In this study, design of unmanned aerial vehicle with 4 propeller that is called Bilkopter, and ARM microcontroller based control of it have been realized. The most important feature of these vehicles as like Bilkopter is that they have ability of response to the possible situations and problems in air without human intervention. The most important point for this process is to design mechanism to hold Bilkopter at balance in the air constantly. In this study, the main target is to be balance during moving in air using the ARM microcontroller with a three-axis gyro, accelerometer and compass sensors on Bilkopter.

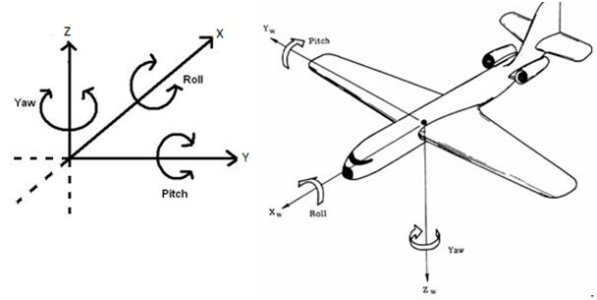
1. Giriş

Bilkopter tarzı insansız hava araçlarının üstlendiği birçok görev vardır. Bu görevler deprem, yangın gibi afet zamanlarında kurtarma, yüksek binalara ulaşım, insanlar için elverişsiz, tehlikeli ortamlar gibi gözlem uçuşlarında ve film çekimleri gibi birçok uygulama alanlarında kullanılabilir.

Günümüzde bu kadar önemli pozisyonlarda kullanılan bu tip araçların havada dengede kalması, kararlı çalışması gibi konular da önem arz etmektedir. Havadaki aracın dengede

kalması ivme, açısal hız (gyro) ve pusula sensörlerinden alınan bilgilerin değerlendirilmesi ile sağlanmaktadır. [1] Uygulamada her 20 ms içerisinde I2C protokolü ile her sensörden üç eksen bilgisi (x,y,z) olmak üzere toplam 9 ayrı değer okunmaktadır. Her eksenindeki üç ayrı sensör bilgisi birleştirilerek, DCM (Direction Cosinus Matrix) filtre yardımı ile gerçek üç açı bilgisine dönüştürülmektedir.

Literatürde Şekil 1'de gösterildiği gibi x, y, z eksenlerinde yapılan hareketlere sırasıyla x ekseninde yalpalama (roll), y ekseninde yunuslama (pitch), z ekseninde yönelme (yaw) denilmektedir. Sırasıyla her ekseninde yapılan açıların matematiksel gösterimi α , γ ve β şeklindedir [1].



Şekil 1: Hava aracının eksen tanımları

2. Bilkopter

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği tarafından 2011 yılında Bilkopter'in çalışmalarına başlanarak ilk prototip çalışması 2012 Mayıs ayı sonunda tamamlanmıştır. Bilkopter'in mevcut kontrolü 9 kanallı bir RF kumanda ile yapılmaktadır. Bilkopter'in otonom kontrol özellikleri için çalışmalar halen devam etmektedir [2].

Bilkopter havada dengeli ve sabit bir şekilde durabilmesi için simetrik bir yapıda tasarlanmıştır (Bknz. Şekil 2). Bilkopter'in prototipinin ortasında RF alıcısı, harekette kararlı olmasını sağlayabilmek için elektronik kontrol devreleri, sensörler ve Bilkopter üzerinde bulunan motorları sürmek için motorlar ile merkez arasında 4 adet elektronik sürücü devreleri (Electronic Speed Controller) bulunmaktadır.

Bilkopter üzerindeki karşılıklı pervaneler aynı yönde dönecek şekilde saat yönü ve saat yönünün tersinde dönmektedirler.

¹ Bilkopter (BilecikQuadkopter)

Bu sayede pervanelerin dönerek oluşturduğu dönme kuvveti dengelenmektedir. Her bir motorun hızı üzerinde değişiklik yapılarak aracın istenilen yöne hareket etmesi ya da belirlenen konumda sabit kalması sağlanabilmektedir.



Şekil 2: Bilkopter

3. Materyal ve Yöntem

Yapılan uygulamada ST firmasının 32 bitlik STM32F4 Discovery kiti, Sparkfun üretimi olan ITG3200 gyro sensörü, ADXL345 ivme sensörü ve HMC5843 pusula sensörü kullanılmıştır. Yazılım kısmında ise Keil Derleyicilerinde program kodları oluşturulmuştur.

3.1. ARM Mikrodenetleyicisi

Çalışmada kullanılan STM32F4 Discovery kiti, RISC tabanlı 32 bitlik yüksek hızlı bir işlemci olup, çok çeşitli çevre birimlerine, yüksek RAM ve Flash kapasitelerine sahiptir. Güç tüketimini kontrol edebilmek için, çevre birimlerinin saat sinyalleri tamamen kapatılabilir. DMA ünitesi sayesinde bir adresten veya sıralı adreslerden okunan veriler alınarak, bir başka adrese ya da sıralı adreslere hiç CPU gücü kullanmadan taşınabilir. Saat kaynağı olarak, XTAL ya da dâhili RC osilator kullanabilir.

Cortex serisinin sahip olduğu I/O, ADC (*Analog Dijital Converter*), DAC (*Dijital Analog Converter*), Sayıcılar (*Timer*), PWM (*Pulse Width Modulation*), I2C (*Inter Integrated Circuit Interface*), SPI (*Serial Peripheral Interface*), UART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*) vs çevre birimleri hem sayıca çok hem de oldukça esnek kullanıma sahiptirler [3].

100 pinli bu uygulama geliştirme kitinin kısaca genel özellikleri aşağıda verilmiştir:

- 168 Mhz hızda çalışabilme
- Dâhili FPU (*Floating Point Unit*)
- 1MB Flash ve 192Kb RAM
- Dâhili 3 eksenli ivmeölçer
- USB desteği

- Mikrofon ve ses çıkış jakları

3.2. İvme Sensörü

Bilkopter hava aracının üç eksendeki konum bilgileri için kullanılan ivme sensörleri üzerlerine düşen statik (yerçekimi) veya dinamik (aniden hızlanma veya durma) ivmeyi ölçmektedirler. Ölçülen bu değerler yer çekimi (g-force) türünden ifade edilebilir. Eğer uzayda veya herhangi bir çekim alanında bulunulmuyor ise sensör üzerine 1 g ($9.8m/sn^2$) bir yerçekimi kuvveti etki etmektedir. [4] Çalışmada Şekil 3' de kullanılan ürün, Sparkfun üretimi olan ADXL345 ivme sensörüdür.[5]



Şekil 3: ADXL345

2.3. Açıl Hız Sensörü

Bilkopter hava aracının üç eksendeki konum bilgileri için ivme sensörü ile beraber kullanılan açıl hız sensöründe hız dakikadaki dönüş sayısı (rpm) ya da saniyedeki dönüş derecesi (deg/sn) olarak ifade edilmektedir. [4] Çalışmada Şekil 4' de kullanılan açıl hız sensörü, Sparkfun üretimi olan ITG3200 gyro sensörüdür.[6]



Şekil 4: ITG3200

2.4. Pusula Sensörü

Bilkopter hava aracının z yönündeki açıl konum bilgileri için kullanılan Pusula sensörleri (magnetometer), manyetik alanın yoğunluğunu ölçmeye yarayan bir araçtır. Magnetometer, ortamdaki demir yoğunluğuna hassasiyeti ile çalışır. [4] Çalışmada Şekil 5' de kullanılan sensör, Sparkfun üretimi olan HMC5843 pusula sensörüdür.[7]



Şekil 5: HMC5843

3.5. IMU (Inertial Measurement Unit)

Üretici firmalar kullanıcılara daha kolay ve pratik kullanımlar sağlamak için sensörleri mümkün olduğunca küçülterek aynı sistemler içerisine entegre etmektedirler. Çalışmada kullanılan Şekil 6'da gösterilen ürün Sparkfun üretimi olan SEN-10321 kartıdır.



Şekil 6: SEN-10321

SEN-10321 tarzı ürünlere literatürde IMU adı verilmektedir. Bu kart üzerinde HMC5843 pusula sensörü, ITG3200 gyro sensörü ve ADXL345 ivme sensörü bulunmaktadır. Her sensörden üç eksen bilgisine ait toplam dokuz ham veri alınmaktadır. Ortak I2C veri yolu, Vcc ve Vdd girişlerine sahiptirler [8].

4. DCM ve Euler Açıları

Literatürde DCM ifadesi rotasyon matrisi olarak da geçer. Bir cismin hareketini tanımlamak için bir koordinat sisteminin başka bir koordinat sistemine göre tanımlanması gerekmektedir. XYZ koordinat düzlemini hava aracının gövde çerçevesi olduğu kabul edilerek, hava aracı çerçevesinin yönelimi, XYZ koordinat çerçevesine göre ifade edilirken açı ve eksen ifadelerini içeren rotasyon matrisleri kullanılması gerekir [9].

Hava aracı çerçevesi ve XYZ koordinat çerçevesi başlangıçta çakışmış şekilde kabul edilerek, hava aracı çerçevesini z eksenini etrafında α açısıyla döndürerek, yeni x ve y eksenleri oluşturulur. Hava aracı çerçevesi oluşan yeni y eksenini etrafında γ açısı kadar döndürüldüğünde aynı zamanda oluşan x eksenini etrafında β açısı kadar dönüş yaptırıldığında

$$Rab(\alpha, \gamma, \beta) \quad (1)$$

şeklinde net bir yönelim ifadesi oluşur. Rotasyonu göstermek için α , γ ve β olmak üzere üç açı kullanılır. [6] (α , γ , β) açıları Euler açıları olarak ifade edilir. Bütün rotasyonlar hareket eden çerçevenin eksenleri etrafında gerçekleştiğinden dolayı x, y ve z eksenleri etrafındaki dönüşleri ayrı ayrı

$$Rx(\beta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\beta & \sin\beta \\ 0 & -\sin\beta & \cos\beta \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$Ry(\gamma) = \begin{bmatrix} \cos\gamma & 0 & \sin\gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\gamma & 0 & \cos\gamma \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$Rz(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

temel matrisleriyle ifade edilebilir. Hava aracı çerçevesinin son yönelimini elde etmek için bu üç rotasyon matrisi kullanılır [1,9]. Hava aracının XYZ koordinat düzlemine göre rotasyonu bu üç matrisin çarpımıyla elde edilir ve tek bir matris şeklinde ifade edilebilir.

$$Rab = Rz(\alpha)Ry(\gamma)Rx(\beta) \quad (5)$$

Eşitlik (5) temel matrisler ile aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [9].

$$Rab = \begin{bmatrix} \cos\alpha\sin\gamma & \cos\alpha\sin\gamma\sin\beta - \sin\alpha\cos\beta & \cos\alpha\sin\gamma\cos\beta - \sin\alpha\sin\beta \\ \sin\alpha\sin\gamma & \sin\alpha\sin\gamma\sin\beta - \cos\alpha\cos\beta & \sin\alpha\sin\gamma\cos\beta - \cos\alpha\sin\beta \\ -\sin\gamma & \cos\gamma\sin\beta & \cos\gamma\cos\beta \end{bmatrix} \quad (6)$$

Eşitlik (6)'nın determinanı alınarak, her eksenindeki açısal değişim elde edilir [9].

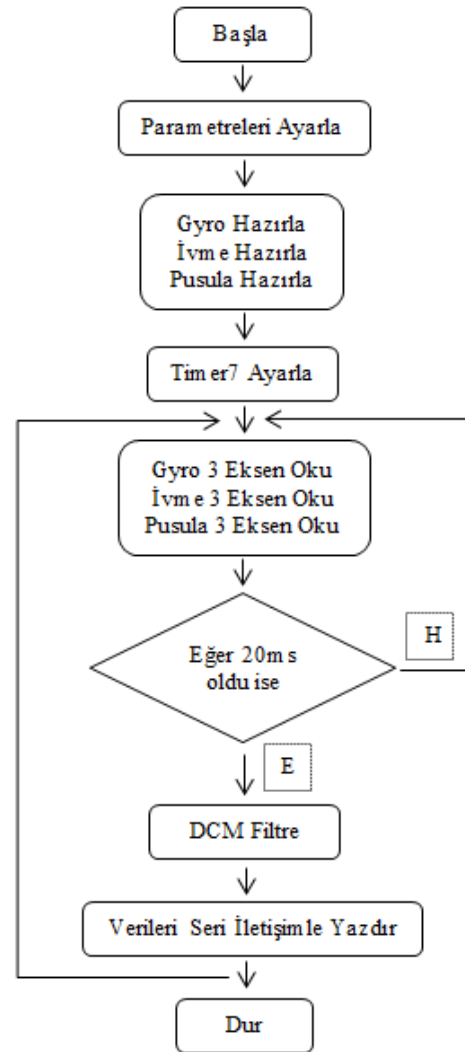
$$\text{Yönelme} \quad \psi = \tan^{-1} \frac{DCM(2,3)}{DCM(3,3)} \quad (7)$$

$$\text{Yalpalanma} \quad \Phi = \sin^{-1}(-1 * DCM(1,3)) \quad (8)$$

$$\text{Yunuslama} \quad \theta = \tan^{-1} \frac{DCM(1,2)}{DCM(1,1)} \quad (9)$$

4. Akış Diyagramı

Yapılan çalışmanın adımları Şekil 7'de verilen akış diyagramında gösterilmiştir [1].



Şekil 7: Akış Diyagramı

- 1.Adım: Sensörlerdeki bilgilerin okunabilmesi için Bilkopterin başlangıç parametreleri ayarlanır.
2. Adım: 3 sensör (Gyro, ivme ve pusula) bilgileri okumak için hazır konuma geçirilir.
- 3.Adım: 20ms içerisinde sensörlerden ham bilgiler mikrodenetleyicinin hızına bağlı olarak defalarca okunur.
- 4.Adım: Sorgulama sonucunda 20ms ulaşıldı ise, ham veriler DCM filtresinden geçirilerek açı bilgileri elde edilir.
- 5.Adım: Açı bilgileri seri iletişimle ekrana yazdırılır, dönu devam ettirilir.

5. Uygulama

Bilkopter üzerindeki STM32F4 mikrodenetleyicisi ile sensörlerden elde edilen veriler alınarak DCM işlemleri ile işlenerek eksenlerde yapılan açısal değişimler bulunarak, tüm sonuçlar, seri iletişim protokolü (RS232) ile bilgisayara gönderilmektedir. Seri iletişim ile alınan sonuçlar aşağıdaki formattadır:

#YPR: Yaw, Pitch, Roll

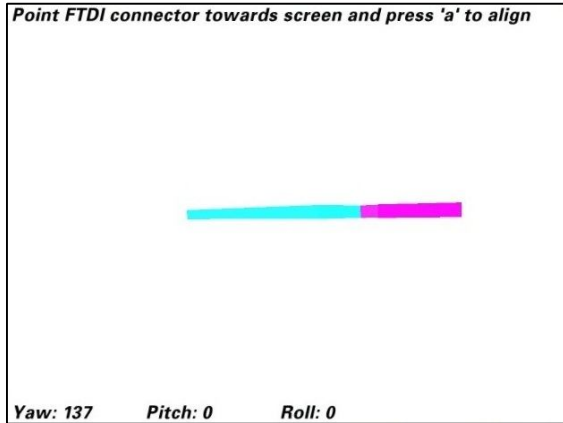
Yaw; Z ekseninde yapılan hareket, Yönelme (ψ)

Pitch; X ekseninde yapılan hareket, Yalpalanma (Φ)

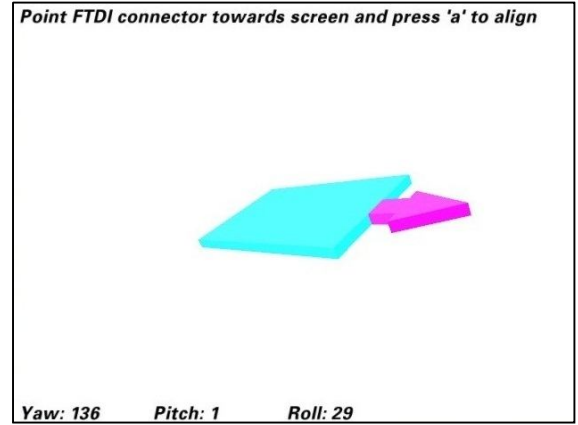
Roll; Y ekseninde yapılan hareket, Yunuslama (θ)

Yapılan çalışmanın benzetim sonuçları, 2001 yılında kurulan bir grubun geliştirdiği açık kaynak kodlu processing adı verilen c++, open gl ve java tabanlı dil kullanılarak alınmıştır. Uygulama mikrodenetleyiciye bağlı 9 eksenli sensörden alınan bilgileri DCM ile işleyerek gerçek 3 eksen bilgisini seri iletişim yolu ile gönderdiği ekrana grafiksel olarak çizmektedir [10].

Hava aracının gövdesini turkuaz renkli dikdörtgen kısım, yönünü ise pembe renkli üçgen kısım göstermektedir. Hava aracı Şekil 8'de ki durumda iken, X (yalpalama), Y (yunuslama) yatay düzlemlerine paralel ve manyetik kuzey ile 137 derecelik açı (yönelme) yapmaktadır.

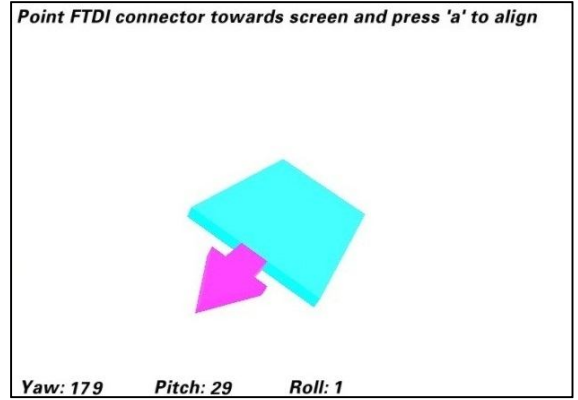


Şekil 8: Benzetim Ekran Görüntüsü-1



Şekil 9: Benzetim Ekran Görüntüsü-2

Hava aracı Şekil 9'da ki durumda ise, Y (yunuslama) düzlemi ile 1 derecelik açı yapar iken, X (yalpalama) düzlemi ile 29 ve yönelme düzlemi ile 136 derecelik açı yapmaktadır. Hava aracı Şekil 10'da ki durumda iken, Y (yunuslama) düzlemi ile 29 derecelik açı yapar iken, X (yalpalama) düzlemi ile 1 ve yönelme düzlemi ile 179 derecelik açı yapmaktadır.



Şekil 10: Benzetim Ekran Görüntüsü-3

6. Sonuçlar ve Tartışma

Gerçekleştirilen uygulamada, ARM ailesinden STM32F4 mikrodenetleyici yardımı ile Bilkopter üzerindeki farklı sensörlerden (Gyro, İvme, Pusula Sensörleri) gelecek ham bilgilerin DCM filtresinden geçirilerek açı bilgilerine dönüştürülmesi ve kontrol yazılımı ile Bilkopterin havada dengede kalması amaçlanmıştır.

İlk aşamada yapılan uygulama ile sensörlerden gelen veriler açık kaynak kodlu görsel bir program üzerinde değerlendirilmiş, bu yapılan benzetim çalışmalarının ardından Bilkopter için geliştirilen kodun uygulama çalışmaları da geçtiğimiz günlerde tamamlanmıştır. İleriki aşamalarda uygulamada kullanılan 9 DOF sensöre ilaveten baro ve ultrasonik sensör ölçümleri de yapılarak geliştirilen kontrol algoritması ve GPS modülü ile Bilkopterin verilen görevleri minimum hata ile gerçekleştirmesi hedeflenmektedir.

7. Kaynaklar

- [1] Çiçekdemir, Ç., 2012. *ARM mikrodenetleyici ve 9 serbest dereceli sensör ile Bilkopter dengeleme ölçümü*, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Lisans Bitirme Tezi.
- [2] G. Ekinci, M. Kesler, U. Yüzgeç, C. Karakuzu, "BİLKOPTER İnsansız Hava Aracının (İHA) Tasarımı ve Kontrolü" ASYU 2012 Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Sf. 89-93, Trabzon, Türkiye, 3-4 Temmuz 2012.
- [3] M.Fatih İNANÇ, <http://www.fatihinanc.com/diger/stm32f4-discovery-gelistirme-kiti-incelemesi/>. 2011. [Ziyaret Tarihi: 8 Mayıs 2012].
- [4] Barış SAMANCI, <http://www.barissamanci.net/Makale/26/accelerometer-gyroscope-imu-nedir/>. 2011. [Ziyaret Tarihi: 10 Mayıs 2012].
- [5] Datasheet, 2009. *ADXL345*, Callifornia: Analog Device
- [6] Datasheet, 2009. *HCM5843*, Plymouth: Honeywell.
- [7] Datasheet, 2010. *ITG3200*, Sunnyvale: InvenSense.
- [8] Anonim, <http://www.sparkfun.com/products/10321>. 2010. [Ziyaret Tarihi: 1 Şubat 2012].
- [9] Enginer, B., 2007. *Quadrotor VTOL Aracının Modellenmesi ve Kontrolü*, İstanbul
- [10] Anonim, <http://processing.org/about/>. 2001. [Ziyaret Tarihi: 12 Mayıs 2012].