

Dönerkanat Tipinde Bir İnsansız Hava Aracının Anatomisi

Mehmet Önder Efe¹, Mert Önkol¹, Nevrez İmamoglu¹, Aydın Eresen¹, Ünver Kaynak²

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Makina Mühendisliği Bölümü

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara

{onderefe, monkol, nimamoglu, aeresen, ukaynak}@etu.edu.tr

Özet

Dört motorlu kanatsız düzenleme sahip dönerkanat sistemlerinin düşey kalkış yeteneği, havada asılı kalabilmesi ve kamera gibi hafif yükleri taşıyabilmesi bu sistemlere olan ilgiyi arttırmıştır. Kontrol sinyallerinin doğrudan Kartezyen uzayda anlamlı olması ise kontrol araştırmacıları için bu sistemleri çekici kılan bir diğer özelliktir. Bu çalışmada bir dönerkanat sisteminin bileşenleri, eyleyici modeli ve almaçları üzerinde durulacak sistemin anatomisi irdelenecektir.

Abstract

Interest to quadrotor systems has increased due to their capabilities in vertical takeoff and landing, and capability of carrying lightweight loads like a camera. Having a coordinate system that fits in the physical signals of the vehicle is another prominent feature making this system interesting. This study analyzes the anatomy of the vehicle composed of physical components, thrust model and sensors.

1. Giriş

Tarihsel yönü Leonardo Da Vinci'nin çizimlerine kadar uzanan İnsansız Hava Aracı (İHA) kavramının fikri doğuşu, insanlı uçulardan çok daha öncedir. Son yüzyılda bu konuda gerçekleşen gelişim şöyle özetlenebilir: 1910'lu yıllarda I. Dünya Savaşında ilk defa kullanılan insansız araçların arz ettiği önem ve sağladığı taktik avantajın farkına varıldı. 1940'lı yıllarda, özellikle II. Dünya Savaşı esnasında Nazi Almanyasının kullandığı V-1 İHA'larının oluşturduğu tehdit, takip eden yıllarda ABD'li bilim insanlarını bu konuyu enine boyuna araştırmaya itecek, ve 1960'larda Vietnam savaşında İHA'lar gözetim amacıyla kullanılacaktı. 1970'lere gelindiğinde diğer ülkeler de bu konuda çalışmalara başlamış ve ABD'de yeni tasarımlar geliştirilmeye başlamıştır. 1980'lerle birlikte bu konuda liderliği İsrail almış ve birçok ülkeye İHA filoları satmaya başlamıştır. 1990'lı yıllardan bugüne kadar uzanan süreçte elektronik teknolojisinde boyutların küçülmesi ve haberleşme teknolojisinde hız ve güvenilirliğin artması komuta kontrol algoritmalarının ve veri iletişim sistemlerinin başarımını oldukça arttırmıştır.

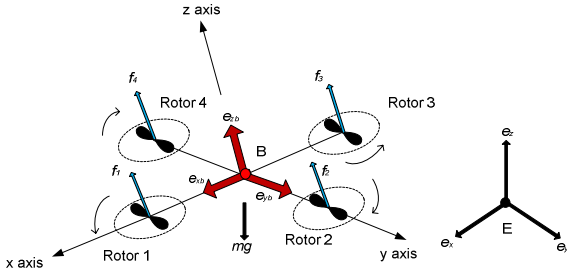
Dönerkanat düzenlemesi literatürde mevcut İHA sistemleri içerisinde özel bir yere sahiptir. Alçak irtifada faaliyet gösterecek dört motorlu bir insansız araç olan dönerkanat sistemi üzerine monte edili hafif kameralarla RF iletişim yoluyla bir merkez bilgisayara görsel geribildirim sağlayabilmekte ve kontrol sinyallerinin Kartezyen uzayda anlamlı olmasından dolayı pek çok araştırmacının ilgisini

çekmektedir. Uygulama alanlarının çok çeşitli olması her ülkeyi bu alanda araştırma ve teknoloji geliştirme konusunda cesaretlendirmekte, ucuz ve hafif olmaları, riskli gözetim ve takip gerektiren durumlarda İHA kullanımını teşvik eden temel etmenlerdir. Bu konuda özellikle savunma sanayisinde kullanım alanı bulabilmiş İHA uygulamalarında geri plandaki komuta kontrol, otonom seyir/sefer, görüntüleme ve haberleşme gibi kritik değerini koruyan işlevsel ayrıntıları, bu projede tasarlanan bir prototip üzerinde ele alınacak temel konulardandır. Bu konuda literatürde şu gelişmeler kaydedilmiştir. Bazı durum değişkenlerinin başka bazı durum değişkenlerini kontrol ediyor olmasından dolayı Hamel vd. geriadımlama tekniğini kullanarak benzer bir dönerkanat sisteminin stabilizasyonunu kuramsal olarak göstermiştir, [1]. Altuğ vd. görsel geribesleme ile araç kontrolünü ele almış [2-3], iç ortam deneylerinde araç 130cm yükseklikte tutulmaya çalışılmıştır. Klasik oransal integral türevsel (PID) ve doğrusal kuadratik kontrol yöntemleri üzerinde duran Bouabdallah vd. [4], bağımlı kipte deneyler yapmakta, ve PID kontrolörü kullanarak pek tatmin edici olmasa da iç ortamda aracı havada tutabilen bir komuta kontrol sistemi geliştirmektedir. Kontrol sistemi sapma, dönme ve yunuslama açılarını 0 radyan değerinde tutma amacı gütmektedir. Aynı yazarların bir diğer çalışması ise doğrusal olmayan modelleme ve Lyapunov teknikleri ile tasarım üzerinde durmaktadır, [5]. Hoffman vd. [6], kayan kipli denetim yöntemi ile dönerkanat yörünge kontrolünü ele almakta, durum değişkenlerinin ve hızların elde edilmesinde ise Kalman süzgeci kullanmaktadır. Çamlıca [7], dönerkanat sistemini orijin etrafında doğrusallaştırmakta ve aracın bağımlı kipte kumandasını doğrusal modele dayanarak geliştirilen bir doğrusal kuadratik kontrolör ile gerçekleştirmektedir. Algılayıcılardaki sapmaların vurgulandığı bu çalışmada gerçekleştirilen aracın ağırlığının seçilen ekipmana göre fazla olduğunun altı çizilmekte, ölçülen sinyallerin kalitesinin nasıl artırılacağı üzerinde durulmaktadır. Castillo vd. [8-9], dönerkanat sistemi için gerçek zamanlı deneyler yapmış, doğrusal olmayan bir kontrolörün performansını doğrusal kuadratik tipte bir kontrolör ile karşılaştırmalı olarak irdemiştir. Kartezyen uzayda sapma, dönme ve yunuslama açıları 0 radyan yöneliminde $x=0$, $y=0$ ve basamak değişiklik arz eden irtifa (z) yörüngesi takip ettirilmiştir. Hanford vd. [10], PI tipi bir kontrolör ile dönerkanat sistemine PIC tabanlı işlem birimi ve mikroelektromekanik sistem (MEMS) tabanlı açılma hız sensörleri kullanarak basit bir kontrol çevrimi içerisinde kumanda etmeye çalışmış, bağımlı kipte tasarladıkları PI kontrolörün yetersiz olduğunu vurgulamıştır. Klasik kontrol yöntemlerinin başarısızlığına vurgu yapan Waslander vd.

[11], integral kayan kipli denetim ve pekiştirmeli öğrenme yöntemi ile doğrusal olmayan bozucuların olumsuz etkilerinin bertaraf edilebildiğini ve çok erkinli denetimin başarılabilirliğini rapor etmekte ve önceden belirli yörüngelerin takibi üzerinde durmaktadır. Kaynak [12]'de dönerkanat sisteminin belli yönelim/pozisyon kısıtları altında geçerli bir doğrusal modeli elde edilmiş ve Kalman süzgeciyle gürültüden arındırılan durum bilgilerini kullanan PID tipinde bir alt düzey kontrol yaklaşımı kullanılmıştır. Kamera kalibrasyonu önceden belirli işaretçilerle yapılmış böylelikle tek kamerayla durum saptama (lokalisasyon) problemi ele alınmıştır. Tournier vd. [13], hedef üzerine işlenmiş Moire örüntülerine dayanarak pozisyon ve yönelimi belirleyen uçuş stratejisi geliştirmekte ve hedefi Moire üzerindeki örüntülerinin betimlediğini varsaymaktadır. Bu çalışmanın zeminini teşkil eden çalışmalar ise [14-16] kaynaklarında verilmekte, benzetim çalışmalarını müteakip bazı modelleme ve kapalı çevrim kontrol çalışmaları [16] kaynağında ele alınmaktadır.

Bu bildiri şu şekilde düzenlenmiştir. İkinci bölümde dönerkanat sisteminin dinamik modeli, üçüncü bölümde araç üzerine ve çevreye sabitlenmiş algılayıcılar, dördüncü bölümde eyleyiciler, beşinci bölümde güç yönetimi ile ilgili gözlemler, altıncı bölümde alt düzey kontrol, yedinci bölümde görüntü tabanlı kontrol ve son olarak genel değerlendirmeyi müteakip sonuçlar sunulmuştur.

2. Dinamik Model



Şekil 1: Fiziksel değişkenler ve eksenler

$$\begin{aligned}\ddot{\phi} &= \dot{\theta}\dot{\psi} \frac{I_{yy} - I_{zz}}{I_{xx}} + \frac{J_r}{I_{xx}} \dot{\theta}\Omega_d + \frac{l}{I_{xx}} u_2 \\ \ddot{\theta} &= \dot{\phi}\dot{\psi} \frac{I_{zz} - I_{xx}}{I_{yy}} - \frac{J_r}{I_{yy}} \dot{\phi}\Omega_d + \frac{l}{I_{yy}} u_3 \\ \ddot{\psi} &= \dot{\theta}\dot{\phi} \frac{I_{xx} - I_{yy}}{I_{zz}} + \frac{1}{I_{zz}} u_4\end{aligned}\quad (1)$$

(1) ifadesinde yer alan Ω_d değişkeni ve u_1, u_2, u_3, u_4 kontrol girişleri (2) ve (3) ifadelerinde tanımlanmaktadır. Ω_i değişkeni i -nci rotorun açısal hızını (rad/s) göstermektedir. (3) ifadesindeki b ve d katsayıları sırasıyla itki¹ ve sürüklenme² katsayılarını ifade etmektedir.

$$\Omega_d = -\Omega_1 + \Omega_2 - \Omega_3 + \Omega_4 \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b & b & b & b \\ 0 & -b & 0 & b \\ -b & 0 & b & 0 \\ d & -d & d & -d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Omega_1^2 \\ \Omega_2^2 \\ \Omega_3^2 \\ \Omega_4^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

¹ İng. Thrust Coefficient

² İng. Drag Coefficient

Dönerkanat dinamik modeli durum uzayında yazılırsa (4) ifadesi elde edilir. Burada $\mathbf{u} = [u_1 \ u_2 \ u_3 \ u_4]^T$ giriş vektörünü, $\mathbf{x} = [\phi \ \dot{\phi} \ \theta \ \dot{\theta} \ \psi \ \dot{\psi}]^T$ durum vektörünü göstermektedir. Kontrol işaretlerinin itki cinsinden ifadeleri (5)-(8) denklemlerinde, \mathbf{f} vektör fonksiyonunun açık ifadesi ve parametre değerleri ise (9) denkleminde verilmektedir.

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) \quad (4)$$

$$u_1 = b(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \quad (5)$$

$$u_2 = b(\Omega_4^2 - \Omega_2^2) \quad (6)$$

$$u_3 = b(\Omega_3^2 - \Omega_1^2) \quad (7)$$

$$u_4 = d(\Omega_2^2 + \Omega_4^2 - \Omega_3^2 - \Omega_1^2) \quad (8)$$

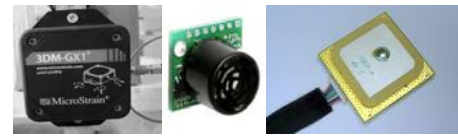
$$\mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) = \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta}\dot{\psi}a_1 - \dot{\theta}a_2\Omega_r + b_1u_2 \\ \dot{\theta} \\ \dot{\phi}\dot{\psi}a_3 + \dot{\phi}a_4\Omega_r + b_2u_3 \\ \dot{\psi} \\ \dot{\theta}\dot{\phi}a_5 + b_3u_4 \end{bmatrix}, \quad \begin{aligned} a_1 &= (I_{yy} - I_{zz}) / I_{xx} \\ a_2 &= J_r / I_{xx} \\ a_3 &= (I_{zz} - I_{xx}) / I_{yy} \\ a_4 &= J_r / I_{yy} \\ a_5 &= (I_{xx} - I_{yy}) / I_{zz} \\ b_1 &= l / I_{xx} \\ b_2 &= l / I_{yy} \\ b_3 &= 1 / I_{zz} \end{aligned} \quad (9)$$

Tablo 1. Sistem parametreleri

Aracın toplam ağırlığı	m	0.748 kg
Yerçekimsel ivmelenme	g	9.81 kg/m ²
Aracın kol uzunluğu	l	0.3 m
x eksenine göre atalet	I_{xx}	15.67 × 10 ⁻³ kgm ²
y eksenine göre atalet	I_{yy}	15.67 × 10 ⁻³ kgm ²
z eksenine göre atalet	I_{zz}	28.34 × 10 ⁻³ kgm ²
İtki katsayısı	b	192.32 × 10 ⁻⁷ Ns ²
Sürüklenme katsayısı	d	4.003 × 10 ⁻⁷ Nms ²
Pervane ataleti	J_r	6.01 × 10 ⁻⁵ kgm ²

3. Algılayıcılar

Tipik bir dönerkanat sisteminin temel algılama birimleri Ataletsel Ölçme Birimi (AÖB), ses ötesi algılama birimi ve küresel yer belirleme sistemi (GPS) birimidir.



Şekil 2: AÖB, ses ötesi algılayıcı, GPS algılayıcı

Ataletsel ölçme birimi hava, kara, deniz ve uzay araçlarında sıklıkla kullanılan ataletsel kılavuzluk sisteminin ana unsurudur. AÖB açısal pozisyonları, hızı ve ivmeleri ölçmek için kullanılmaktadır. BU çalışmada sunulan dönerkanat uygulamasında 3DM-GX1 almacı kullanılmaktadır. 3DM-GX1 içerisinde 3 adet açısal hız ölçer (Euler açıları), 3 adet ortogonal doğrusal ivme ölçer (x,y,z) ve 3 adet ortogonal manyetometre bulunduran bir ataletsel ölçme birimidir. 3DM-GX1 almacı dönme, yunuslama ve sapma açılarını Kalman süzgeci yardımıyla ölçmekte, kalibre edilmiş ivmelenme ve açısal hız değerleri vermektedir. Almacıdan okunan açısal pozisyon ve açısal hız, 50 Hz veri çıkış hızıyla, dSPACE1104 kartına rs232 seri haberleşme arayüzü aracılığıyla, 38400 baud/saniye veri aktarım hızıyla alınmakta

ve modelleme ve kontrol çalışmalarında Matlab® ortamının tüm olanaklarından yararlanılabilmektedir.

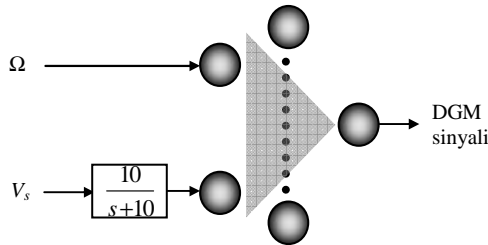
Dönerkanat sisteminin özellikle iniş aşamasında kullanılacak olan ses ötesi algılayıcısı Maxbotix® EZ1 tipinde bir algılayıcı bu algılayıcı 0cm ile 6.45m arasındaki nesnelere algılayabilmekte ve 15cm ile 6.45m arasında da mesafe bilgisi verebilmektedir. Almacın analog ve rs232 seri port çıkışı mevcuttur. Mesafe verilerinin kontrol bilgisayarına okunması sırasında hem analog hem de RS232 seri port bağlantısı kullanılabilir.

Küresel yer belirleme sistemi dönerkanat sisteminin yeryüzünde bulunduğu konumu ve zamanı okuyan bir cihazdır. Bu çalışmada Sparkfun® EB85-A anteni ve bu antene ait geliştirme kartı kullanılmıştır. GPS anteni NMEA protokolünde verileri 5 Hz frekansında ve 38400 bit/sn hızında göndermektedir. Bu veriler belli bir biçime sahip paketler olarak okunmaktadır.

4. Eyleyici ve İtki Modeli

Dönerkanat projesinde eyleyici olarak AXI 2212/34 fırçasız doğru akım motorları tercih edilmiştir. Fırçasız doğru akım motorları yüksek verim, tork değerleri ve dayanıklılığı ile İHA uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Motoru sürmek için JETI tipinde elektronik hız kontrolörü (EHK) kullanılmaktadır. EHK, dSpace kartı tarafından üretilen darbe genişlik modülasyonu³ (DGM) sinyalini alarak motoru sürecekt üç faz sinyali üretmektedir. EHK darbe genişliği 1-2 ms arasında değişen DGM sinyaliyle çalışmaktadır. 1 ms yüzde sıfır, 2 ms ise yüzde yüze tekabül etmektedir. Yüksek seviyede itki kuvveti yaratmak amacıyla motorlara CR12x4.5 tipinde pervane monte edilmiştir. Pervane çiftleri birbirine ters yönlere dönerek karşıt torkları dengelemektedirler. Bu sayede kendiliğinden oluşacak sapma hareketinin de önüne geçilmektedir.

Uygulamada çözülmesi gereken sorunlardan birisi de tork cinsinden çıkış üreten kontrolörün ürettiği işaretin DGM cinsine dönüştürülmesi ve bu süreçte bataryanın gerilim durumunun da dikkate alınmasıdır. Oldukça karmaşık bir problem olan itki modelinin geliştirilmesinde fırçasız motorların batarya gerilimini modüle ederek batarya geriliminin okunmasını güçleştirmesi de ayrıca süzgeç kullanımı gerektiren bir sorundur. Bu sorunun çözümüne dair yazarların önerdiği bir çözüm yöntemi [16] kaynağında ayrıntılarıyla ele alınmakta, özetle itki geçici rejiminin birinci dereceden modellerle yaklaşılması ve doğrusal olmayan işlevlerin ise toplanan sayısal veriler yardımıyla Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılarak çözümü şeklindedir.



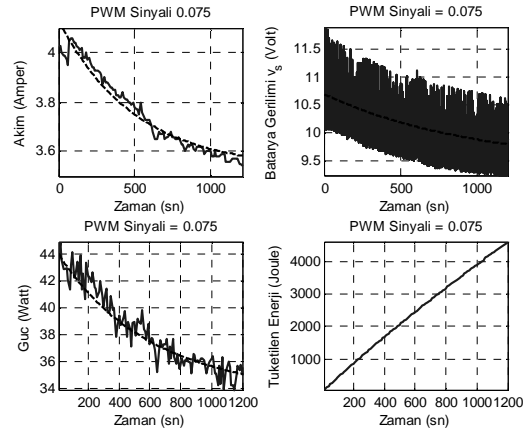
Şekil 3: YSA tabanlı DGM tespit yaklaşımı

Şekil 3'te kontrolör çıkışının gerektirdiği açılmal hız değeri (3) denklemiyle hesaplanır ve bataryanın modüle olmuş gerilim değeri (V_s) süzülerek YSA sistemine uygulanır. Böylelikle sisteme uygulanacak DGM düzeyi belirlenmiş olur.

5. Güç Yönetimi

Batarya tarafından güç sağlanan İHA sistemlerinin yakıtlı İHA sistemlerine nazaran uygulaması daha kolay olmasına rağmen yakıtlı sistemlerin dayanma süresi daha uzun ancak gerekli ekipman ağırlığı daha fazladır. Bu sebeplerle bir İHA sisteminde kullanılacak güç kaynağının seçimi İHA'nın gerçekleştireceği görev ve çalışma şartları tarafından belirlenir. Bu çalışmada alçak irtifa kısa mesafe otonom gözetim görevi üzerinde durulduğu için aracın hafif olması istenmiş ve bu nedenle de elektrikli güç sistemi seçilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda gözlemlenen önemli bir bulgu Li-Po bataryanın tam şarjlı iken sahip olduğu 12.5V değerindeki gerilim değerinin batarya kullanıldıkça düşmesi ve bu düşüşün pervane açılmal hızının (veya devir/dakika) düşmesine neden olmasıdır. Bu durumu ne denli önem taşıdığına dair yapılan deneyler gerilimdeki düşüşün sistem modelini önemli ölçüde değiştirdiğini göstermiş olup buna dair bazı ölçüm sonuçları Şekil 4'te gösterilmektedir. 0.050 ile 0.085 arasında değişen DGM seviyesi 0.075 düzeyinde tutularak bataryaya ait elektriksel büyüklüklerin zamana göre değişimleri gösterilmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere bataryanın durumu modeli –dolayısıyla kontrolörü- etkileyen önemli bir değişkendir.



Şekil 4: Sabit ve ortalama bir DGM seviyesinde batarya ile ilgili yapılan ölçümlerin zamana göre seyri

6. Alt Düzey Kontrol

Alt düzey kontrolörlerin geliştirilmesinde batarya gerilimindeki düşüşün modele olumsuz etkisi dikkate alınmamış, dönerkanat sistem akım kapasitesi 39A olan güç kaynaklarının beslenmiş ve davranış kontrolü bağımlı kipte ele alınmıştır (Bkz. Şekil 5).

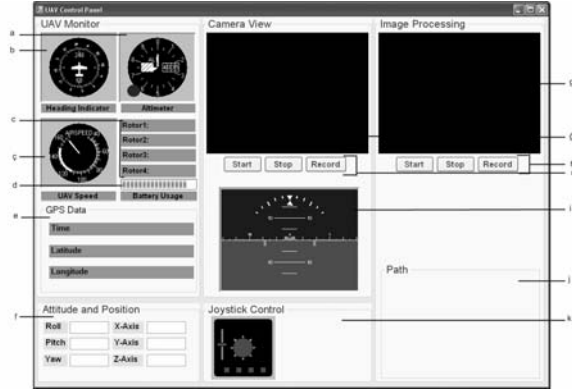


Şekil 5: Dönerkanat sisteminin bağımlı kipteki resimleri

³ İng. Pulse Width Modulation (PWM)

momentleri gerçek zamanlı sistemler için hem yeterince hızlı hem de iyi sonuçlar vermişlerdir. Özellikleri çıkarılan nesnenin takip edilmek istenen nesne olduğu belirlenirse, takip işlemi için gerekli referans işareti üretilmelidir. Üretilen referans işaretine göre insansız hava aracının kontrolü alt düzey kontrolörler üzerinden yapılır. Bu sürecin algoritmik ayrıntıları Şekil 8’de gösterilmektedir.

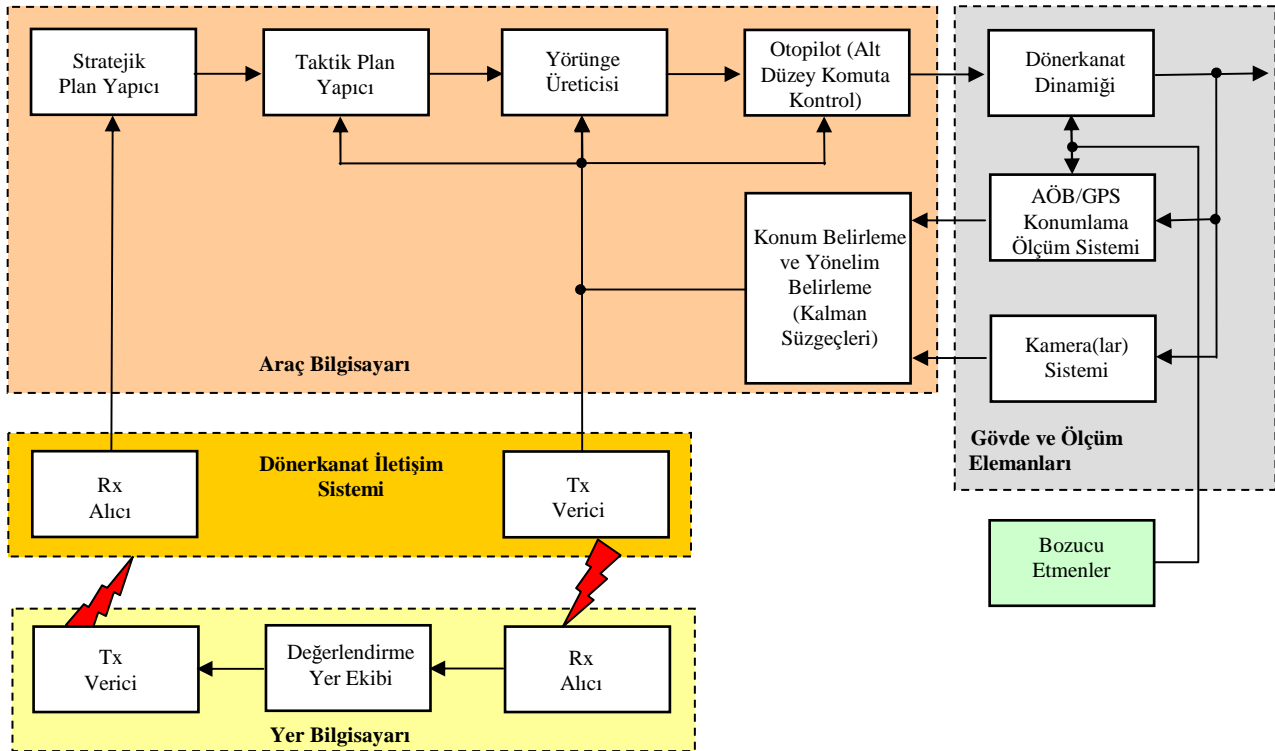
Bir sonraki aşamada ise elde edilen görsel bilginin yer istasyonunda değerlendirilmesi için bir arayüz tasarımı üzerinde durulmuştur (Bkz. Şekil 8).



Şekil 8. Yer istasyonu kontrol ara yüzü

- a İnsansız hava aracının yükseklik değerinin gösterilmesi
- b İnsansız hava aracının öntü olarak belirlenen kısmının durumu
- c Motorlar hakkındaki istenilen verinin gösterilmesi
- ç Aracın x ve y eksenindeki hareket hızı
- d Pillerin doluluk oranının gösterilmesi
- e GPS verilerinin gösterileceği bölüm
- f Euler açılarının ve konumunun gösterilmesi
- g Kameradan gelen görüntünün gösterilmesi
- ğ Görüntü işleme sonucu oluşan görüntünün gösterilmesi
- h-1 Görüntü gösterilerinin başlatılması durdurulması ve kayıt işlemlerinin yapılmasını sağlayan tuşlar
- i İnsansız hava aracının Euler açılarına göre duruşunun grafiksel olarak gösterilmesi
- j İnsansız hava aracının izlediği yolun gösterilmesi
- k Kontrol kolu ile kontrol girdisinin gösterilmesi

Görüntü tabanlı kontrolün ana unsurlarından biri de servolama işlevidir. Bu işlev kamera görüntüsünden alınan bilgilerle - stratejik ve taktik hedefler doğrultusunda- bir referans yörünge üretilmesini müteakip alt düzey kontrolörler marifetiyle üretilen referans sinyallerinin takibini sağlayacaktır. Bu konuda gerçekleştirilen çalışmalar üç boyutlu uçuş güzergâhı içerisinde yapılan benzetimler içermekte ancak ilerleyen safhalarda bu çalışmaların gerçek zamanlı deneylerle doğrulanması hedeflenmektedir.



Şekil 9. Sistemin genel şeması

8. Genel Değerlendirme

Gerçeklenen dönerkanat tipindeki İHA sisteminin işlevsel şeması Şekil 9’da gösterilmektedir. Hâlihazırda dönerkanat

sisteminin dinamiği türetilmiş olup modelin kusursuzlaştırılması süreci devam etmektedir. Otopilot için alt düzey kontrol yöntemleri üzerindeki çalışmalar sürdürülmekte, veri alış verişi ise kablosuz iletişim yeteneği olan kamera

modülleri ile sağlanmaktadır. Mevcut çalışma kamera görüntüsü ile elde edilen bilginin nesne takibi için gerekli kontrol sinyallerine dönüştürülmesi ekseninde devam etmektedir.

Diyagramda yer alan stratejik plan yapıcı üst düzey kararları belirleyecek bileşendir. Bu bileşen aracın kalkış/iniş, takip, güvenlik gibi ana davranışlar arasından hangisini ne zaman sergileyeceğini belirleyecek, taktik plan yapıcı ise bu davranışların her biri için alt davranış türlerini sentezleyecektir. Örneğin takip davranışı esnasında hedefin görüntü dışında kalması halinde uygun bir arama stratejisinin uygulanması takip kipinde uygulanması gereken bir alt davranıştır. Bu çalışmalara henüz başlanmamış olmakla birlikte dönerkanat projesinin müteakip aylarında bu yeteneklerin de tüm sisteme entegrasyonu planlanmaktadır.

9. Sonuçlar

İnsansız hava araçlarının şu görevlerde sıklıkla kullanıldığı bilinmektedir.

- Arama kurtarma
- Sahil güvenlik
- Narkotik araştırma
- Kablosuz ağ iletişimde aktarma/yönlendirme desteği
- Orman yangınlarında söndürme taktik belirleme
- Suç mahalli araştırması
- Trafik izleme
- Kasırga ve afet niteliğindeki hava faaliyetlerinin izlenmesi
- Denizlerde özellikle petrol kirlenmesinin yayılma şeklinin belirlenmesi
- Kaçak avlanma takibi ve denetimi
- Konser ve stadyum olaylarının eşzamanlı görüntülenmesi ve takibi
- Enerji iletim ve dağıtım sistemlerinin kuşbakışı gözetimi
- Boru hatları güvenliği ve denetimi
- Zirai uygulamalar
- Görüntüleme, haritalama, video edinimi
- Volkanik faaliyetlerde bilgi toplama
- Ağaçlandırma ve orman çalışmaları
- Göç ve kesintisiz sınır denetimi uygulamaları
- Otoyol ve trafik denetim
- Vahşi yaşamla ilgili envanter çalışmaları
- Keşif devriye, olası çatışma alanında düşmanın konuşlanması hakkında bilgi
- İletişim sistemlerinde olabilecek kalıcı hasarlara karşı acil iletişim için kablosuz ağ aktarma bağlantı noktası
- Yer seviyesinde görülemeyen tehlikelere karşı görüş mesafesini artırıcı erken uyarı birimi
- Sınır ve liman güvenliği
- RF haberleşme sinyallerini kasıtlı olarak karıştırma
- Mayınlı bölge ve patlayıcı tespiti
- Hedef doğrulama (teyit)
- Nükleer tesislerde, barajlarda ve elektrik santrallerinde çevre gözetimi
- Afet bölgeleri gibi tehlikeli bölgelerde hasar tespiti
- Radyoaktif, biyolojik veya kimyasal madde sezimi

Yukarıdaki listenin pek çok sektörü ilgilendiren uygulamalar içerdiği hemen dikkat çekmektedir. Tüm bu işlevlerin insanlı tasarımı insanların tehlikeli görevlerde yer almasını

gerektirdiği için İHA teknolojisinin sınırsız yararları konusunda şüphe yoktur. Bu motivasyonla başlanan dönerkanat projesinin bileşenlerini, sistem düzeyindeki kurgusunu ve alt düzey kontrole dönük ayrıntılarını ele alan bu bildiri pek çok ayrıntıyı derinlemesine ele almadan bileşenler, problemler ve sistem entegrasyonu anlamında yapılan çalışmaları özetlemektedir.

İleride yapılacak çalışmalar dönerkanat sisteminin kendi bilgisayarı ile otonom uçuş yapmasını amaçlayan deneyler olacaktır.

10. Kaynakça

- [1] T. Hamel, R. Mahony, R. Lozano, J. Ostrowski, "Dynamic Modelling and Configuration Stbilization for an X4-Flyer," 15th IFAC Triennial World Congress, Barcelona, İspanya, 2002.
- [2] E. Altuğ, J.P. Ostrowski, C.J. Taylor, "Quadrotor Control Using Dual Camera Visual Feedback," Proc. of the 2003 IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation, September 14-19, Taipei, Taiwan, s.4294-4299, 2003.
- [3] E. Altuğ, C. Taylor, "Vision Based Pose Estimation and Control of a Model Helicopter," Proc. of the Int. Conf. on Mechatronics (ICM'04), June 3-5, Istanbul, Turkey, pp.316-321, 2004.
- [4] S. Bouabdallah, A. Noth, R. Siegwart, "PID vs LQ Control Techniques Applied to an Indoor Micro Quadrotor," Proc. of 2004 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, September 28 - October 2, Sendai, Japonya, 2004.
- [5] S. Bouabdallah, P. Murrieri, R. Siegwart, "Towards Autonomous Indoor Micro VTOL," Autonomous Robots, v.18, pp.171-183, 2005.
- [6] G. Hoffmann, D.G. Rajnarayan, S.L. Waslander, D. Dostal, J.S. Jang, C.J. Tomlin, "The Stanford testbed of Autonomous Rotorcraft for Multi Agent Control (STARMAC)," Proc. of The 23rd Digital Avionics Systems Conf. (DASC'04), Ekim 24-28, Salt Lake City, ABD, 2004.
- [7] F.B. Çamlıca, "Demonstration of a Stabilized Hovering Platform for Undergraduate Laboratory," Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2004.
- [8] P. Castillo, R. Lozano, A.E. Dzul, "Stabilization of a Mini Rotorcraft with Four Rotors," IEEE Control Systems Magazine, pp.45-55, December 2005.
- [9] P. Castillo, R. Lozano ve A.E. Dzul, Modelling and Control of Mini Flying Machines, Springer Verlag, 2005.
- [10] S.D. Hanford, L.N. Long, J.F. Horn, "A Small Semi-Autonomous Rotary-Wing Unmanned Air Vehicle (UAV)," AIAA2005-7077.
- [11] S.L. Waslander, G.M. Hoffmann, J.S. Jang, C.J. Tomlin, "Multi-Agent Quadrotor Testbed Control Design: Integral Sliding Mode vs. Reinforcement Learning," 2005 IEEE/RSJ Int. Conf. On Intelligent Robots and Systems, August 2-6, Edmonton, Alberta, Kanada, s.468-473, 2005.
- [12] W. Bath, J. Paxman, "UAV Localisation & Control Through Computer Vision," Proc. of the 2005 Australasian Conf. on Robotics & Automation, Dec. 5-7, Sydney, Australia, 2005.
- [13] G.P. Tournier, M. Valenti, J.P. How, E. Feron, "Estimation and Control of a Quadrotor Vehicle Using Monocular Vision and Moire Patterns," AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, Ağustos 21-24, Keystone, Colorado, ABD, AIAA2006-6711, 2006.
- [14] M.Ö. Efe, "Dört Motorlu Bir Dönerkanat Sisteminin Dinamik Modeli ve PD Kontrolör ile Yörünge Denetimi,"

Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı (TOK'07), 5-7 Eylül, Sabancı Üniversitesi, 194-199, 2007.

- [15] M.Ö. Efe, "Robust Low Altitude Behavior Control of a Quadrotor Rotorcraft Through Sliding Modes," The 15th Mediterranean Conf. on Control and Automation (MED'07), June 27-29, Athens, Greece, Paper# T23-035, 2007.
- [16] M. Önkol, M.Ö. Efe, "Experimental Model Based Nonlinear Control Algorithms for a Quadrotor Unmanned Vehicle," 2nd Int. Symposium on Unmanned Aerial Vehicles, June 8-10, Reno, Nevada, U.S.A., 2009.
- [17] A. Eresen, N. İmamoğlu and M.Ö. Efe, "Motion Detection and Tracking of Classified Objects with Intelligent Systems," The 2nd IFAC Int. Conf. on Intelligent Control Systems and Signal Processing (ICONS'09), Sep.21-23, İstanbul, Turkey, 2009. (kabul edildi)
- [18] N. İmamoğlu, A. Eresen, M.Ö. Efe, "Wavelet based Segmentation of an Object and Classification with Intelligent Systems," Int. Symp. on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA 2009), June 29-July 1, 2009, Trabzon, Türkiye.

11. Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 1001 Programı (Kontrat No 107E137) tarafından desteklenmiştir. Yazarlar TOBB ETÜ İnsansız Hava Araçları Laboratuvarını (<http://donerkanat.etu.edu.tr>) takdim etmekten memnuniyet duyarlar.