

TOPLUMSAL OLAYLARDA KOLLUK KUVVETLERİ TARAFINDAN DENETİM AMAÇLI İNSANSIZ HAVA ARACI (İHA) TOPLULUĞUNUN ETKİN KULLANIMI

Murat Onay¹,
Erciyes Üniversitesi / Havacılık ve Uzay
Fakültesi, Kayseri

İ. Kurtuluş Çıklaiblikçi²
Erciyes Üniversitesi / Havacılık ve Uzay
Fakültesi, Kayseri

ÖZET

İnsansız hava araçları günümüzde keşif, arama kurtarma, hasar tespiti gibi alanların yanında insanlar için bulunulması tehlikeli ortamlarda yapılacak görevlerde kullanılabilmektedir. Bu çalışmada 4 rotorlu insansız hava aracı tasarımı yapılması amaçlanmıştır. Tasarımla birlikte insansız hava aracının yükseklik ve yönelim kontrollerinin de yapılması amaçlanmıştır.

Çalışma da daha çok quadrotor kontrolü üzerine odaklanılmıştır. 4 rotorlu insansız hava araçları 6 serbestlik derecesine sahip araçlardır.

Bu çalışmada, sosyal olayların gerçek zamanlı havadan gözlenmesi için bir grup İHA kullanılmıştır.

Bu insansız hava araçları polis departmanları tarafından güvenlik amaçlı kullanılacaktır. Bu İHA'lar dikey iniş kalkış özelliğine sahiptirler. Ayrıca havada asılı kalabilirler.

Böylece polis departmanları sosyal olayları etkin ve kolay bir şekilde kontrol etme gücüne sahip olurlar.

Gerçekleştirilen İHA tasarımı ile Emniyet güçlerinin ihtiyaçlarını karşılayacak, hızını artıracak ve maliyetlerini azaltacak bir sistem elde edilmiştir. Özellikle son günlerde artan terör boykot eylemlerinde provokasyon yapanların tespiti konusunda etkin kullanım sağlayabileceği düşünülmektedir.

Eklenen yazılım ile havadan miting alanında bulunan kişilerin sayısı tespit edilmektedir. Aynı zamanda yer istasyonuna kamera görüntüleri aktararak. Şüpheli görülen kişilere olay oluşmadan kalabalığın içindeki sivil görevlilerin yönlendirilmesi yapılmaktadır.

Mevcut sistemlerden daha ucuz daha güvenli ve daha etkin olarak görev yapan insansız araçlar ülkeler ve insanlar için büyük önem taşımaktadır.

GİRİŞ

Son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmelerin ışığında insansız hava araçları (İHA) popülerliği giderek artan bir akademik çalışma ve mühendislik uygulama alanı haline gelmiştir. İHA, özellikle askeri uygulamalar başta olmak üzere doğal afetler, çeşitli spor faaliyetlerinin izlenmesi, trafik denetimi, kaçak yapılaşma v.b. birçok durumun çözüm veya analizinin hızlı ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır [Dikmen, Arısoy, Temeltaş, 2010].

Elektronik ve haberleşme de yaşanan gelişmeler İHA'ların hızlı bir şekilde gelişmesini sağlamıştır. İHA'nın kullanım alanının artacağı ve her geçen gün insanın hayatını kolaylaştıracığı öngörülmektedir. İnsanlar için yapılması zor, maliyetli ve hayati riskler taşıyan görevlerde İHA'ların daha sık kullanılacağı anlaşılmaktadır. İHA terimi çok genel bir ifade ile, bir pilot tarafından kumanda edilmeyen, önceden belirlenmiş bir rotada ya da uzaktan kumanda ile uçan sabit ya da

¹ Yrd. Doç. Dr., Uçak Elektrik-Elektronik Böl., E-posta: muratonay@erciyes.edu.tr

² Y.L. Öğrenci, Uçak Elektrik-Elektronik Böl., E-posta: kurtulusplikci@yahoo.com.tr
Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı

döner kanatlı hava araçlarını tanımlar. İHA'ları, güdümlü füze sistemlerinden ayıran husus, görevden sonra iniş yaparak tekrar kullanılabilme leridir [Mevlütöğlü, 2009].

Kullanım alanlarına göre elektrikli ve yakıtlı olan bu araçların boyları bir böcek kadar ufak veya binlerce kilograma çıkabilecek kadar büyük olabilmektedir [Owen, Bomes, 2009]

Elektronik ve yazılım teknolojilerindeki gelişmeler güçlü yapıya sahip ve yüksek performanslı sistemlerin mobil hale gelmesine imkân tanımıştır. Bu mobil sistemlerin en gelişmişlerinden biri de (İHA) sistemleridir. İHA'lar çoğunlukla askeri alanda ve tehdidin yoğun olduğu görev bölgelerinde insan kaybı riski olmadan etkin olarak kullanılabilen sistemler olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Bu çalışmada toplumsal olaylarda duyulan kontrol ve denetleme ihtiyaçlarını havadan karşılayan ve emniyet güçlerine yardımcı olacak İHA 'lardan bahsedilecektir.

Bu tez çalışmasında dikey iniş – kalkış yapabilen ve havada asılı kalabilen İHA tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Bu İHA yer istasyonu ile irtibatlı halindedir ve girilen koordinatlarda otonom olarak seyrüsefer yapmaktadır. İHA sayısı artırıldığında birlikte koordineli çalışabilecekleri gibi, ayrı ayrıda görev yapabilme kabiliyetine sahiptirler. Bu sayede güvenliğe etkin katkı sağlayacaklardır.

Bu İHA'lar üzerine monte edilen yüksek çözünürlüklü kameralar ile istenen bölgedeki yollar, evler ve çatılar etkin biçimde izlenebilecektir. Alınan bilgiler yer istasyonu ile hızlı bir şekilde paylaşılmaktadır. İmge işleme teknikleriyle işlenen imgelerden faydalı bilgiler alınmaktadır. Ayrıca bu İHA, üst düzey devlet yetkilisinin koruması amacıyla da kullanılabilir. İHA, devlet yetkilisiyle birlikte havadan seyrüsefer yaparak güvenliğin sağlanmasına katkıda bulunabilecek donanıma sahiptir. İHA, istenirse belirli mesafede ve yükseklikte tutularak etraftan yerinin belli olması engellenebilir.

Buna ek olarak, bu İHA, koordinatları girilen karayollarında seyir durumu, trafik yoğunluğu, trafik kaza bilgisi, hız limitini aşan araçların tespiti, karayolu üzerinde bulunan trafik akışını engelleyici cisim tespiti, trafik güvenliğini tehlikeye sokan araçların tespiti gibi alanlarda etkin olarak kullanılabilir.

1.1.Yetenekler

- Tam otonom kalkış, seyrüsefer ve iniş
- Önceden planlanmış uçuş planı
- Gerekğinde birden fazla hava aracını aynı anda kontrol edebilen seyyar yer kontrol istasyonu

2. TEMEL KAVRAMLAR VE AMAÇ

Son yıllarda robotiğe olan ilginin giderek büyüdüğü net bir şekilde anlaşılmaktadır. Birçok endüstrilerde zahmetli, tehlikeli ve sıkıcı işlerde insan yerine robotlar kullanılmaktadır. İHA' larda bu alanlardan biridir. 3 boyutlu hareketi elde edebilmek için balon yapılar, sabit kanatlı uçaklar, tek rotorlu helikopterler, kuş benzeri yapılar gibi konfigürasyonlar kullanılmıştır. Bu yapıların avantajları olduğu gibi dezavantajları da mevcuttur. Fakat quadrotor yapısının dikey iniş kalkış yapabilme, askıda kalabilme ve düşük hızda uçuş yapabilme, küçük boyutları ve daha iyi manevra kabiliyeti olması nedeniyle birçok avantajları vardır [Dikmen, Arısoy, Temeltaş, 2010].

“Quadrotor 4 eşit rotor ve eşit pervaneli bir hava aracıdır ve pervanelerin hızına göre aracın manevraları ve askıda kalması gerçekleştirilir. Quadrotora ait yönelmeler şunlardır: yunuslama (y ekseninde), yuvarlanma (x ekseninde), yönelme (z ekseninde), aşağı-yukarı ve yere paralel kaymadır.” [Çiçekdemir, Kesler, Karakuzu, Yüzgeç, 2012]

Dengeli bir uçuş için quadrotor motorları ileri derecede hassas kontrol sistemi gerektirir. Quadrotorlarda ön ve arka rotorlar ikisi de saat tersi yönünde dönerken sağ ve sol tarafta ki rotorlar saat yönünde dönmektedirler böylece toplam aerodinamik tork sıfır olmaktadır. Hava araçları sabit kanatlı ve döner pervaneliler olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Pervanelilerde kaldırma kuvveti pervanenin dönmesi ile oluşurken sabit kanatlılarda ise ileri hareketle birlikte kanatlardan hava akımı geçirilmesi ile bir kaldırma kuvveti oluşturulur [Karaahmetoğlu, 2000].

Bu çalışmada pervanelerin kaldırma kuvvetinden istifade edilirken, kanatlardan hava akımının geçirilmesi ile havada asılı kalabilme kabiliyeti sağlanmıştır. Yine 4 rotora eşit tork kuvveti uygulanarak asılı kalma kabiliyeti güçlendirilmiştir. Hazırlanan İHA veya İHA topluluğu, kullanım amacı olarak emniyet güçlerine aşağıda belirtilen konularda yardımcı olabilecektir.

Ülkemizde yaşayan insanların hak arama, siyasi mitingler, milli bayramlar, sevinç gösterilerinde, konserlerde, kurultaylarda, önemli kişilerin cenaze törenlerinde ve benzeri olaylarda toplumun gözetimi ve denetiminin yerden yapılması çok zor ve sınırlıdır. Bu sınırlı denetimi İHA grubunun havadan aldığı ve yer istasyonuna aktardığı gerçek zamanlı görüntüler ile etkin bir şekilde güçlendirecektir. Sürekli havada seyrüsefer yapan İHA, çıkması muhtemel olaylar için caydırıcı etki yapacaktır. Emniyet güçleri havadan İHA ile alınan görüntüleri analiz ederek süratli bir şekilde olası olaylar oluşmadan önlem alacaktır. Olayların oluşması halinde suçluların bulunması ve provokatörlerin doğru tespiti sağlanacaktır.

Şimdiye kadar toplumsal olayların denetimi emniyet güçlerinin yerden müdahalesi dışında elinde bulunan az sayıda helikopter ile havadan destek sağlanmaya çalışılmaktadır. Helikopterin adet fiyatları, uçuş maliyetleri, bakım ve onarım maliyetleri yüksektir. Ayrıca pilotun can güvenliği söz konusudur. Buna çözüm olarak İHA'ların adet fiyatları, uçuş maliyetleri, bakım ve onarım maliyetleri düşüktür. Can güvenliği söz konusu değildir. Helikopter büyük bir hacme sahip olduğu için hedef olması halinde hem pilot ve yardımcı personel için, hem de yerde bulunan insanlar için hayatı tehlike arz etmektedir. İHA ise küçük boyutları sayesinde vurulması zor bir hedeftir. Vurulması halinde çok hafif olduğundan süzülerek kimseye zarar vermeden yere inecektir. Sonuç olarak düşük maliyetli, güvenli, akıllı, can kaybı olmayan tek bir İHA veya grubu Emniyet Güçlerimiz için etkin bir katkı unsuru olacaktır.

Bu çalışma ile güvenlik güçlerinin toplumsal olayları izleme ve denetlemesinde yardımcı olacak, dikey iniş-kalkış ve havada asılı kalabilen İHA'nın çektiği görüntülerin online aktarımı ve yazılım ile denetlenmesi ile yer istasyonuna bilgi vermesi sağlanmıştır.

Rotorların quadrator yapısı şeklinde tasarımı sayesinde dikey iniş kalkış ve havada asılı kalabilme kabiliyetine sahip 1 adet İHA tasarım ve uygulaması yapılmıştır. Bu İHA'ya monte edilen yüksek çözünürlüklü kamera ile yer istasyonu bilgisayarında ki görüntü ve imge işleme yazılımına bilgi aktarılmıştır. Bu sayede toplumsal olayların ve mitinglerin güvenlik güçlerince kontrolüne etkin katkı sağlayacak bir çalışma yapıldığı düşünülmektedir. Ayrıca ihtiyaç duyulması halinde yol ve trafik yoğunluğunun gözlemlenmesinde, kaza koordinat ve kaza durumu hakkında hızlı bilgi alınmasında, asayiş birimlerinin suç mahali tespit ve takibinde görüntü aktarımında kullanılabilecektir. Bu sayede emniyet güçlerinin farklı birimlerine ve üst düzey devlet yetkililerinin korumalarına yardımcı olacaktır.

Elektronik ve yazılım teknolojilerindeki hızlı gelişmeler yüksek performanslı ve az enerji harcayarak daha çok iş yapabilme kabiliyetine sahip sistemlerin mobil hale gelmesine imkân tanımıştır. Bu mobil sistemler boyutları itibarı ile küçülürken hız ve işlevsellik olarak daha çok performans kazanmıştır. İHA sistemleri de, bu teknolojik gelişme içinde askeriye dışında insan hayatına fayda sağlamak adına gerekli yerini almış ve hızla gelişmeye devam etmektedir.

Bahsi geçen İHA seçim atmosferinde ve şehitlerin çoğaldığı bu günlerde, mitinglerde ve toplumsal olaylarda duyulan kontrol ve denetleme ihtiyaçlarını havadan karşılamak üzere emniyet güçlerine yardımcı olacaktır. Devam edecek çalışmalar ile İHA sayısı çoğaltılarak, tasarım ve uygulaması geliştirilerek emniyet güçlerine kazandırılması hedef alınmıştır. Bu İHA'lar üzerine monte edilen yüksek çözünürlüklü kameralar vasıtasıyla miting alanına açılan yollardaki insan yoğunluğu, evlerin camlarında ve çatılarındaki hareketlilik etkin biçimde tespit edilerek olası bir olay çıkma ihtimali ve çözüm için hangi unsurların, hangi yoldan sevk edilmesi gerektiği bilgileri yer istasyonu ile hızlı bir şekilde paylaşılır. Toplumsal olaylarda, provokatörlerin İHA üzerindeki yüksek çözünürlüklü kameralardan alınan görüntülerin bilgisayarlı görüntü ve imge işleme yazılımları ile hızlı bir şekilde

tespit edilerek yer istasyonundaki personelin emniyet güçlerine bilgi vermesi ile gerekli müdahalenin yapılması temin edilir. Mobese veya polis kameralarından saklananlar havada asılı kalarak dolaşma ve görüntü alma kabiliyetine sahip İHA veya İHA topluluğunun hangi taraftan geleceğini tahmin edemeyeceklerinden mutlaka kameralardan birine veya birkaçına yakalanacaklardır. Bir devlet büyüğü gittiği başka bir il ziyareti esnasında havaalanından başlayarak ziyaret edeceği mekanlar ve çevresindeki yol ve trafik durumu olsun, binalar ve çatılar olsun geçeceği güzergah boyunca hemen öncesinde İHA ile birlikte kontrol altında tutulacaktır.

Trafik ve yol güvenliği ile ilgili olarak hizmet etmeleri beklendiğinde yolların doluluk oranı, kaza bilgisi geldiğinde, en süratli şekilde kaza yerine gönderilecek, alınan görüntülerle kazanın büyüklüğü, kazaya müdahale için gerekli ihtiyaçlar ve kaza yeri koordinatları bilgileri sağlanır. Bu bilgiler ışığında kazaya hızlı ve koordineli müdahale edilir. Bu sayede zaman tasarrufu sağlanarak gecikmelerden kaynaklanan ölümlerin önüne geçilmiş olur. Ayrıca bu İHA'lar ile trafikteki sinyalizasyon arızaları ve trafik işaret levhası eksiklikleri etkin bir şekilde denetlenir.

Bahsi geçen İHA, karayollarında seyir durumu, trafik yoğunluğu, trafik kaza bilgisi, hız limitinin aşan araçların tespiti, karayolu üzerinde bulunan trafik akışını engelleyici cisim tespiti, trafik güvenliğini tehlikeye sokan araçların hızlı bir şekilde tespit edilmesinde ve gerekli güvenlik tedbirlerinin alınmasında etkin bir şekilde kullanılabilir.

Güvenlik güçlerinin suça karışmış bir aracı takibi esnasında aracın yol ve trafik güvenliğini tehlikeye düşürerek sürüş yapmasının önüne geçebilmek için yerden uzak takip ve İHA ile havadan takip yapılacak ve aracın durduğu mahalde operasyon yapılacaktır.

Tez çalışması kapsamında öncelikle İHA'nın gövde tasarımı ve aerodinamik analizleri yapılmıştır. Bu tasarımlar ve aerodinamik analizler Erciyes Üniversitesi rüzgâr laboratuvarlarında yapılmıştır. Yapılan analizler ışığında optimum yapıya ulaşılan kadar gövde ve kanat yapısı yenilenmiştir. Testleri biten gövde, bilgisayar, elektronik ve haberleşme sistemlerinin birleştirilmesi Sivil Havacılık Yüksekokulu laboratuvarlarında yapılmıştır.

İHA'nın kontrol yazılımı Yrd. Doç. Dr. Murat ONAY tarafından hazırlanmıştır. İHA için gerekli mobil yer istasyonu ihtiyaçlar doğrultusunda revize edilmiştir. Bu İHA'nın yer istasyonunca belirlenen yol güzergâhı boyunca uçuş yaparken, trafik ve yol güvenliği ile ilgili görüntüler yer istasyonuna aktarılmıştır. Gelecek çalışmalarda üretilecek İHA, yol görüntüsü ile birlikte çekilen görüntülerin koordinatları, yoldaki araç ve insan kalabalığı, kuralları ihlal eden araç bilgisi ve şüpheli şahıs bilgilerini de yer istasyonuna iletecektir.

3. İNSANSIZ HAVA ARACININ MATEMATİKSEL MODELİ

Bu bölümde 6 serbestlik derecesine sahip quadrotorun matematiksel modeli çıkarılacaktır. Matematiksel denklemler kinematik ve dinamik denklemler vasıtasıyla elde edilecektir.

Kinematik : Kinematik sistemlerin hareketini tanımlarken sisteme etkiyen kuvvet ve torkları ele almadan hareketi tanımlayan mekaniğin bir dalıdır. 6 serbestlik dereceli bir sistemin hareketi tanımlanırken 2 adet referans eksenden faydalanılır [Bresciani, 2008].

Aşağıda ki nedenlerden dolayı farklı birtakım referans eksenler kullanılmaktadır.

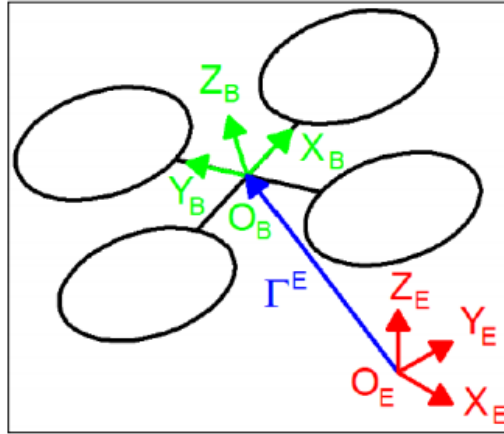
- Newton denklemleri quadrotor gövde üzerinde tanımlı koordinat ekseninde ifade edilirler.
- Aerodinamik kuvvetler ve torklar gövde eksenine uygulanır.
- İvmeölçer ve jiroskop gibi sensörler ölçümlerini gövde eksenine göre yaparlar. Alternatif olarak GPS pozisyon, hız ve açı gibi ölçümlerini yeryüzü atalet eksenine göre ölçer.

- Uçuş planlaması gibi görevler yeryüzü atalet eksenine göre ek olarak harita bilgisi de yeryüzü atalet eksenine göre verilir. Bir koordinat sisteminden diğer koordinat sistemine geçiş dönüşüm ve aktarma operasyonları ile yapılır [Beard, 2008].

Quadrotor hareketini modellemede kullanacağımız iki referans koordinat eksenini şunlardır.

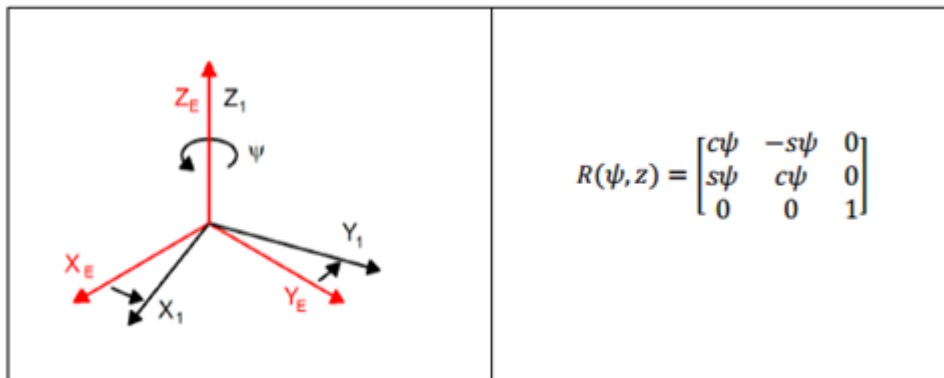
- Yeryüzü atalet referans eksenini (Earth inertial reference E-frame)
- Gövdeye sabit referans eksenini (Body fixed reference B-frame)

Yeryüzü atalet ekseninde kuzeyi gösterir, batıyı gösterir, yeryüzüne göre yukarıyı gösterir ve ise eksenin orijini. Bu ekseninde quadrotorun lineer pozisyonu ve açısal pozisyonu tanımlanır. 6 Gövdeye sabit referans ekseninde, quadrotorun önünü gösterir, quadrotorun solunu gösterir, quadrotor gövdesine göre yukarıyı gösterir quadrotor eksenlerinin merkezini gösterir. Lineer hız, açısal hız, kuvvetler ve torklar bu ekseninde tanımlanırlar. Quadrotorun lineer pozisyonu yeryüzü atalet referans eksenine göre gövdeye sabit referans ekseninin orijini ile yeryüzü atalet referans ekseninin orijini arasında ki vektörün koordinatları ile aşağıda ki denklemden olduğu gibi ifade edilir. Aşağıda ki figürde ise iki koordinat ekseninin ilişkileri gösterilmektedir [Bresciani, 2008].

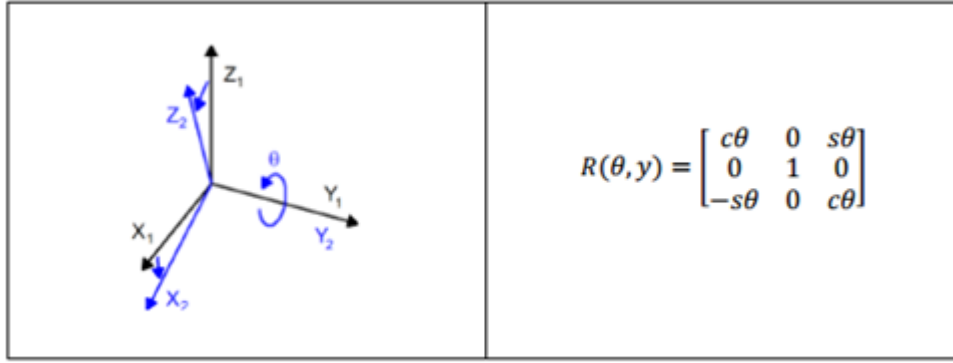
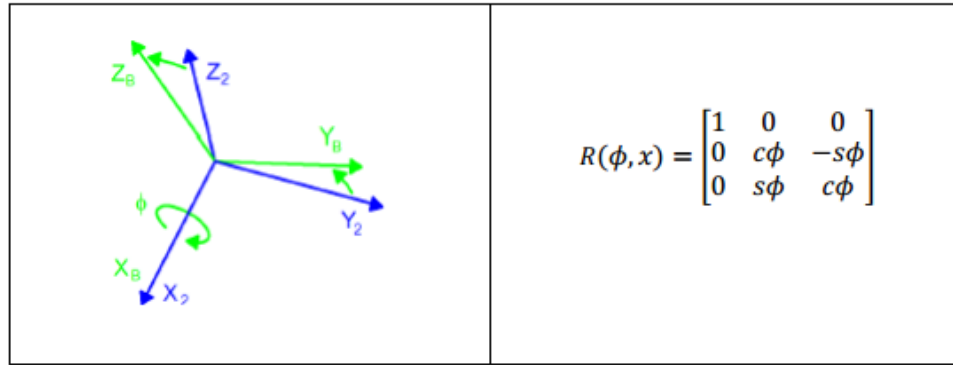


Şekil 1: İki Koordinat Eksenini Arasında ki İlişki

Quadrotorun açısal pozisyonu gövdeye sabit ekseninin yeryüzü atalet eksenine göre oryantasyonu ile ifade edilir. Bu işlemler gerçekleştirilirken “yuvarlanma, yunuslama ve yönelme” açıları kullanılır ve aşağıda ki denklemden olduğu gibidir. Dönüşüm matrisi hareketi tanımlamak için gövdeye sabit ekseninin yeryüzü atalet eksenine göre tanımlanmasını sağlar ve aşağıda ki sırayla verilen basit dönüşüm matrislerinin çarpımı ile elde edilir.



Şekil 2: z_B Eksenini Etrafında Belirli Bir Yönelme Açısıyla (ψ) Dönme Durumu

Şekil 3.: y_B Eksenini Etrafında Belirli Bir Yunuslama Açısıyla (θ) İle Dönme DurumuŞekil 4.: x_B Eksenini Etrafında Belirli Bir Yuvarlanma Açısıyla (ϕ) Dönme Durumu

Yukarıda tanımlanan üç rotasyon matrisinin çarpımı ile tam rotasyon matrisi elde edilir ve aşağıda hesaplandığı gibidir.

$$R_\theta = R(\psi, z) R(\theta, y) R(\phi, x) \quad (3.1)$$

$$R_\theta = \begin{bmatrix} c\psi c\phi & -s\psi c\phi + c\psi s\theta s\phi & s\psi s\phi \\ s\psi c\phi & c\psi c\phi + s\psi s\theta s\phi & -c\psi s\phi + s\psi s\theta c\phi \\ -s\theta & c\theta s\phi & c\theta c\phi \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Dinamik : Dönüşüm matrisi hesaplandıktan sonra quadratorun matematiksel modeli hesaplanabilir. Matematiksel model hesaplanırken kullanılacak denklem takımının temel hali aşağıda ki gibidir.

$$\begin{bmatrix} F \\ \tau \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} mI_{3 \times 3} & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega \times m \dot{x} \\ \omega \times I \omega \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Diğer bir gösterimle:

$$\begin{bmatrix} F^B \\ \tau^B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} mI_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}^B \\ \dot{\omega}^B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega^B \times m V^B \\ \omega^B \times I \omega^B \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Burada;

F = ağırlık merkezine etkileyen toplam kuvvet

τ = ağırlık merkezine etkiyen toplam tork

m = quadrotorun kütlesi

$I_{3 \times 3}$ = 3x3 lük birim matris

x = ağırlık merkezinin pozisyonu

I = ağırlık merkezinin eylemsizlik momenti

ω = quadrotorun açısal hızı

Newton denkleminin son kısmında ki $\omega \times m\dot{x}$ ifadesi hayali güçler (merkezkaç kuvveti ve koryolis etkisi gibi) için kullanılmıştır[Griffin, 2011].

$F = m \cdot a$ temel denkleminde yola çıkarak denklemler yeniden düzenlenirse ;

$$m\dot{V}^B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -mg \end{bmatrix} + R \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \sum F_i \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Her motor tarafından z_B ekseninde üretilen kuvvet $F_i = b\Omega_i^2$ şeklinde modellenir. Bu denklemlerde R dönüşüm matrisini, Ω_i motora ait açısal hızı, b ise itme sabitini ifade eder. Bu denklemlerde ilgili kuvvetler z_B ekseninde olduğundan denklemin 2. kısmında bulunan rotasyon matrisi ile çarpım yapılırken matrisin 3. Sütunu ile işlem yapılır. İşlemler tamamlandıktan sonra hesaplanan durumlar aşağıda ki gibidir.

$$m\dot{V}^B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -mg \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c\psi c\phi & -s\psi c\phi + c\psi s\theta s\phi & s\psi s\phi + c\psi s\theta c\phi \\ s\psi c\theta & c\psi c\phi + s\psi s\theta s\phi & -c\psi s\phi + s\psi s\theta c\phi \\ -s\theta & c\theta s\phi & c\theta c\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \sum F_i \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$$m\ddot{x}_b = (\sin\psi \sin\theta + \cos\psi \sin\theta \cos\phi)b(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \quad (3.7)$$

$$m\ddot{y}_b = (-\cos\psi \sin\phi + \sin\psi \sin\theta \cos\phi)b(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \quad (3.8)$$

$$m\ddot{z}_b = -mg + (\cos\theta \cos\phi)b(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \quad (3.9)$$

Quadrotorun ötelenme dinamikleri yani lineer eşitlikleri yukarıda ki 3 durumda hesaplandığı gibi olmaktadır. Ötelenme dinamiklerinin yanında quadrotora ait dönel dinamikler yani açısal eşitlikler de vardır bunlarda hesaplanacaktır. Yeryüzü atalet eksenine göre bilindiği üzere tork (moment)

açışal momentumun zamana göre türevidir, $M = \frac{d}{dt}(I \cdot \Omega)$ bu denklemde I atalet matrisidir [Dvorak, 2011].

$$I = \begin{bmatrix} I_x & 0 & 0 \\ 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & I_z \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

Quadrotor simetrik inşa edilirse yani quadrotorun ağırlık merkezi ile geometrik merkezi birbirine en yakın ise eylemsizlik matrisi yukarıda olduğu gibidir.

$$[\tau^B] = [I] [\dot{\omega}^B] + [\omega^B \times I \omega^B] \quad (3.11)$$

$$\omega^B = \begin{bmatrix} \omega_x^B \\ \omega_y^B \\ \omega_z^B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

$$I \omega^B = \begin{bmatrix} I_x & 0 & 0 \\ 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & I_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_x p \\ I_y q \\ I_z r \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

$$\omega^B \times I \omega^B = \begin{bmatrix} \tau^x & \tau^y & \tau^z \\ \dots & \dots & \dots \\ p & q & r \\ I_x p & I_y q & I_z r \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

$$\tau^x = I_z r \cdot q - I_y q \cdot r = (I_z - I_y) q \cdot r \quad (3.15)$$

$$\tau^y = -(I_z r \cdot p - I_x p \cdot r) = (I_x - I_z) r \cdot p \quad (3.16)$$

$$\tau^z = I_y q \cdot p - I_x p \cdot q = (I_x - I_y) p \cdot q \quad (3.17)$$

$$\tau_x^B = I_x \dot{p} + (I_z - I_y) q \cdot r \quad (3.18)$$

$$\tau_y^B = I_y \dot{q} + (I_x - I_z) r \cdot p \quad (3.19)$$

$$\tau_z^B = I_z \dot{r} + (I_y - I_x) p \cdot q \quad (3.20)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \ddot{\phi} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\psi} \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

$$\ddot{\phi} = \frac{\tau_x^B + (I_y - I_z).qr}{I_x} \quad (3.22)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{\tau_y^B + (I_z - I_x).rp}{I_y} \quad (3.23)$$

$$\ddot{\psi} = \frac{\tau_z^B + (I_x - I_y).pq}{I_z} \quad (3.24)$$

Quadrotor gövdesine etkiyen momentleri ele alacak olursak her üç açıda (yuvarlanma, yunuslama, yönelme) meydana gelen hızlanmalar gövdeye jirokobik etki yapar. Bu bütün gövdenin açısal hızı tarafından oluşturulan momenttir. Aşağıda ki denklemler bu üç açı ile oluşan gövde jirokobik etkiyi tanımlar [Schmidt, 2011].

$$\text{yuvarlanma açısı jirokobik etkisi} = \dot{\theta}\dot{\psi}(I_y - I_z) = (I_y - I_z).qr \quad (3.25)$$

$$\text{yunuslama açısı jirokobik etkisi} = \dot{\phi}\dot{\psi}(I_z - I_x) = (I_z - I_x).rp \quad (3.26)$$

$$\text{yönelme açısı jirokobik etkisi} = \dot{\phi}\dot{\theta}(I_x - I_y) = (I_x - I_y).pq \quad (3.27)$$

Eşitlikler gösteriyor ki diğer iki açılarda değişen hızlar hedef açıda ki hızlanmayı etkilemektedir. Üzerinde durulması gereken bir diğer tork ise rotorların oluşturduğu kaldırma kuvveti tarafından oluşturulan torktur. Bu tork kaldırma kuvveti tarafından oluşturulan torktur ve sadece yuvarlanma ile yunuslama açılarını etkiler. Aşağıda ki eşitlikler bu torku ifade eder.

$$\text{yuvarlanma açısı kaldırma kuvvetinin oluşturduğu moment} = l(-T_2 + T_4) \quad (3.28)$$

$$\text{yunuslama açısı kaldırma kuvvetinin oluşturduğu moment} = l(T_1 - T_3) \quad (3.29)$$

Bu denklemlerde pervane ekseni ile ağırlık merkezi arasında ki mesafe yani quadrotorun kol uzunluğudur. Yönelme açısı rotorların kaldırma kuvveti ile oluşturdukları momentten etkilenmese de bir biri ile ters yönlü dönüp kaldırma kuvveti oluşturan rotor çiftleri arasında dengelenmemiş rotor torklarından etkilenir. Kaldırma kuvvetleri dengelenirse yönelme açısı değişimi gürültüler de elimine edilirse sıfır olur. Kaldırma kuvveti dengesizliği yönelme açısını kontrol ederek helikopterlerde olduğu gibi ikinci bir anti-tork rotoru kullanmayı ortadan kaldırır. Bu duruma ait denklem aşağıda ki gibidir.

$$T_1 + T_3 - T_2 - T_4 \quad (3.30)$$

Son bir tork takımı ise pervaneler tarafından ayrı ayrı oluşturulan jirokobik etki torklarıdır. Bu jirokobik etkiler rotor eylemsizliğine, rotor hızına ve değişen açı değerlerine bağlıdır. Rotor jirokobik etkileri aşağıda ki gibidir.

$$yuvarlanma \text{ rotor jirokobik etkisi} = J_r \dot{\theta} \Omega_r = J_r q \Omega_r \quad (3.31)$$

$$yunuslama \text{ rotor jirokobik etkisi} = J_r \dot{\phi} \Omega_r = J_r p \Omega_r \quad (3.32)$$

Z ekseninde ki atalet zıt-tork momentleri x ve y ekseninde ki jirokobik etkilere benzerdir ve aşağıda ki gibidir.

$$atalet \text{ zıt - tork etkisi} = J_r \dot{\Omega}_r \quad (3.33)$$

Bu eşitlikler pervanelerin kendilerinin oluşturdukları toplam torklardır. rotorun eylemsizliğini, ise rotorun dönme hızını göstermektedir. Diğer torklara nazaran bu jirokobik etkiler quadrotorun hareketinde önemsiz etkilere sahiptir. Bu etkiler gerçek bir sistemi tanımlamak için gösterilmiştir simülasyon çalışmalarında veya kontrolcü tasarımlarında sistem karmaşıklığını azaltmak amacıyla göz ardı edilebilir [Schmidt, 2011].

Durum denklemlerini daha net toparlayabilmek için sistemin girişlerini özetlersek;

$$u_1 = u_{yükseklik} = b(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \quad (3.34)$$

$$u_2 = u_{yuvarlanma} = l.b(\Omega_4^2 - \Omega_2^2) \quad (3.35)$$

$$u_3 = u_{yunuslama} = l.b(\Omega_1^2 - \Omega_3^2) \quad (3.36)$$

$$u_4 = u_{yönelme} = d(\Omega_1^2 - \Omega_2^2 + \Omega_3^2 - \Omega_4^2) \quad (3.37)$$

Bu denklemlerde ki ve aerodinamik etkilere bağlı sabit parametrelerdir ve hava yoğunluğu ile rotor pervanelerinin yunuslama açısı, boyutu ve şekline bağlıdır [Ghadiok, 2011].

Durum denklemleri aşağıda ki gibi toparlanmıştır;

$$\ddot{x} = (\sin\psi\sin\theta + \cos\psi\sin\theta\cos\phi) \frac{u_1}{m} \quad (3.38)$$

$$\ddot{y} = (-\cos\psi\sin\phi + \sin\psi\sin\theta\cos\phi) \frac{u_1}{m} \quad (3.39)$$

$$\ddot{z} = -g + (\cos\theta\cos\phi) \frac{u_1}{m} \quad (3.40)$$

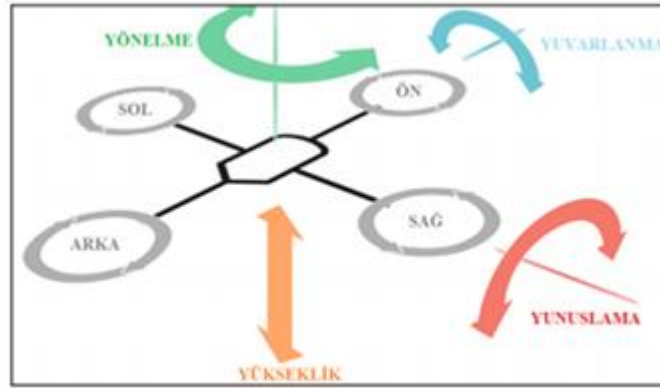
$$\ddot{\phi} = \frac{(I_y - I_z) \cdot q r}{I_x} - \frac{J_r q \Omega_r}{I_x} + \frac{u_2}{I_x} \quad (3.41)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{(I_z - I_x) \cdot r p}{I_y} + \frac{J_r p \Omega_r}{I_y} + \frac{u_3}{I_y} \quad (3.42)$$

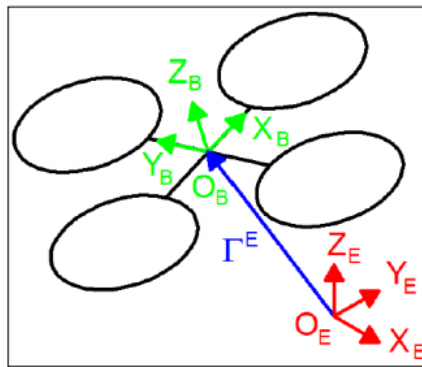
$$\ddot{\psi} = \frac{(I_x - I_y) \cdot p q}{I_z} + \frac{u_4}{I_z} \quad (3.43)$$

4. İNSANSIZ HAVA ARACINA ETKİ EDEN KUVVETLER:

Quadrotor gövdesine etkiyen momentleri ele alacak olursak her üç açıda (yuvarlanma, yunuslama, yönelme) meydana gelen hızlanmalar gövdeye jiroskobik etki yapar. Bu bütün gövdenin açısal hızı tarafından oluşturulan momenttir.



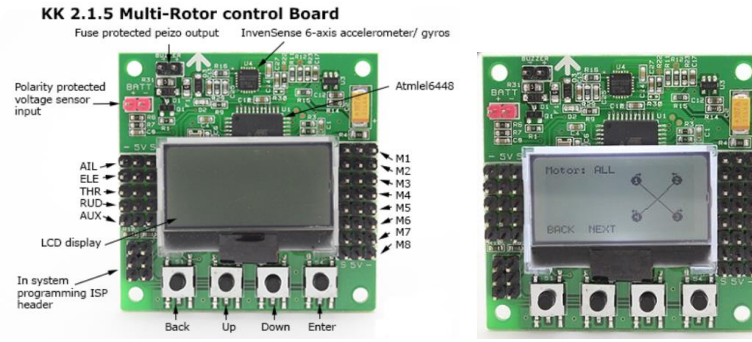
Şekil 5: Dönme Açıları Yuvarlama, Yunuslama ve Yönelme [Güllü, 2013].



Şekil 6: İki Koordinat Ekseninde ki İlişki [Dikmen, Arısoy, Temeltaş, 2010].

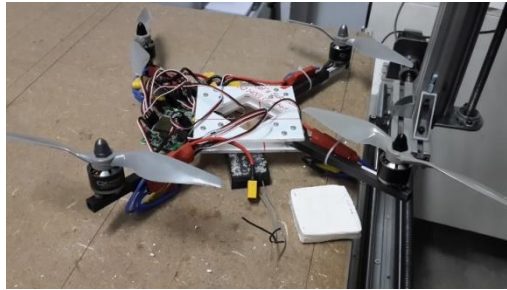
Quadrotorun açısal pozisyonu gövdeye sabit eksenin yeryüzü atalet eksenine göre oryantasyonu ile ifade edilir. Bu işlemler gerçekleştirilirken “yuvarlanma, yunuslama ve yönelme” açıları kullanılır [Dikmen, Arısoy, Temeltaş, 2010].

5. QUADROTOR TASARIM ADIMLARI



Şekil 7: Uçuş kontrol kartı

Multi rotor uçuş kontrol kartı tasarım aşamasında en çok uğraştıran parçalardan birisi oldu. Kullanımı hakkında yeterli kaynak araştırması zaman aldı. Kartı programlarken (+) ve (x) olmak üzere iki farklı şekilde rotorlar yerleştirilebiliyor. Ağırlık merkezinde bulunması gerekiyor.



Şekil 8: Quadrotor tasarımı

Farklı tasarımlar üzerinde duruldu. Bunlardan bir tanesi karbon çubuklar ile oluşturulmuş olan (x) şeklinde yapıdır. Bu yapı ile çeşitli uçuş denemeleri yapıldı.



Şekil 9: Quadrotoru ipler ile bağlayarak zarar görmeden denge ayarlarının yapılması

Uçuş denemelerine geçmeden önce laboratuvar ortamında ipler ile dört ayrı yöne sabitleyerek güvenlik önlemi alındı. Quadcopterin havalanmasına, yönelmesine (yuvarlama, yunuslama, yönelme) bakıldı. Trim ayarları ve ağırlık merkezi ayarlamaları yapıldı. Test aşamalarında havalanma ve yönelmeler iplerle bağlı iken görülmektedir.



Şekil 9: Quadrotorun rotor güç bağlantıları

Güç dağıtım bordu dengeyi bozmayacak şekilde hazırlanarak denge noktasına sabitlenmiştir.



Şekil 10: Quadrotorun uçuş denemeleri

İplerle güvenlik önlemi ve ayarlamalar bittikten sonra, laboratuvar ortamında uçuş aşamaları peşinden, Laboratuvar dışında arazi ortamında uçuş görülmektedir.



Şekil 11: Farklı tasarımlar

Reklamcıda malzemeler kestirilerek farklı bir yapı oluşturulmuştur. Bu yeni ince reklam malzemesi yapısında denemeler yapılırken pervanelerden gelen sert rüzgar titreşimleri ve denge problemleri oluşturmuş ve bu yapıdan vazgeçilmiştir. Yoksa servolar vasıtası ile yaklaşık 90° ye kadar rotorların yatması ile güzel birtasarım olmuştu. Dikine havalandıktan sonra rotorlar yatıyor ve yatay seyrüsefer yapılacaktı.



Şekil 11: Reklam malzemesi ile hazırlanan iskeletin deneme çalışmaları

Yukarı şekildeki vazgeçilen yapıda, dik havalandıktan sonra yatay seyrüsefer için ön pervaneler aşağı inerken arka pervaneler yukarı çıkıyordu. Belirtildiği gibi titreşimler ve esnemeler denge problemi oluşturmuştur.



Şekil 12: Yeni bir tasarım ile uçak kanat yapısına geçilerek denge sağlanmıştır.

Dik kalkış için yere sabitlenmek üzere tasarlanmış iki adet ayak görülmektedir. Bu ayaklar sayesinde daha tehlikesiz bir kalkış yapmaktadır. Kanatlar denge ve havada asılı kalırken daha az enerji tüketmesini sağlamıştır.

Aşağıda laboratuvar aşamaları bittikten sonra ERÜ uçuş deneme sahasında yapılan çalışmalardan görüntüler yer almaktadır.



Şekil 12: Uçuş testleri havalanma esnasında yakın ve uzaktan çekilen görüntüler



Şekil 13: En son tasarımda kamera da donanıma eklenmiştir



Şekil 14: Havadan insan kalabalığı görüntüsü

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Gerçekleştirilen İHA tasarımı ile Emniyet güçlerinin ihtiyaçlarını karşılayacak, hızını artıracak ve maliyetlerini azaltacak bir sistem elde edilmiştir. Özellikle son günlerde artan terör boykot eylemlerinde provokasyon yapanların tespiti konusunda etkin kullanım sağlayabileceği düşünülmektedir.

Eklenen yazılım ile havadan miting alanında bulunan kişilerin sayısı tespit edilmektedir. Aynı zamanda yer istasyonuna kamera görüntüleri aktararak. Şüpheli görülen kişilere olay oluşmadan kalabalığın içindeki sivil görevlilerin yönlendirilmesi yapılmaktadır.

Mevcut sistemlerden daha ucuz daha güvenli ve daha etkin olarak görev yapan insansız araçlar ülkeler ve insanlar için büyük önem taşımaktadır. Havada bu amaçla bir helikopterin dolaşması daha çok dikkat çekici ve maliyetlidir. İHA gibi ileri teknoloji ve büyük bir bilgi birikimi gerektiren bu tür araçların üretimine ağırlık verilecektir. Yazılıma ağırlık vererek topluluk halinde uçuş ve birbirleri ile haberleşme geliştirilecektir. Aynı zamanda motor ve sürücü devreleri üzerinde çalışılarak daha az enerji harcayarak havada daha uzun süre kalabilmek için motor ve güç sistemi verim çalışmaları yapılacaktır.

7. TEŞEKKÜRLER

Bu bildiriye konu olan sistem FYL-2014-4886 kod numaralı "Toplumsal Ve Bireysel Olayların Denetimi İçin Kullanılacak İnsansız Hava Aracı Topluluğu Tasarım Ve Bir Adet İnsansız Hava Aracı İmalatı" isimli projemiz Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi(BAP) birimi tarafından desteklenmiştir. Teşekkür ederiz.

8. KAYNAKLAR

- Beard, R.W., Quadrotor Dynamics and Control , Brigham Young Univercity, 2008.
- Bresciani, T., Modelling, Identification and Control of a Quadhelicopter, Master Thesis, Lund Univercity, Lund/Sweden, 2008
- Çiçekdemir, Ç., Kesler, M., Karakuzu, C., Yüzgeç, U., “ARM Mikrodenetleyici Tabanlı Bilkopter’ in 9DOF ile Dengelenmesi”, ELECO, Bursa,673-677, 29 Kasım- 1 Aralık, 2012.
- Dikmen İ. C., Arısoy A. and Temeltaş H., (2010) “Dikey İniş-Kalkış Yapabilen Dört Rotorlu Hava Aracının (Quadrotor) Uçuş Kontrolü”, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, sayı 3, sayfa 33-40.
- Dvorak, J., Micro Quadrotor: Design, Modelling, Identification and Control, Czech Tecnical Univercity, Prague 2011.
- Ghadiok, V., Autonomous Aerial Manipulation Using a Quadrotor, Master Thesis, Utah State Univercity , Logan, 2011.
- Griffin, B. M., Control of an Indoor Autonomous Mobile Communications Relay via Antenna Diversity, Master Thesis, The Univercity of Mexico, Albuquerque, 2011.
- Güllü Recep “İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması” 05 Agustos 2013
- Karaahmetoğlu A., “Dört Rotorlu Hava Aracının Durum Kestirimine Dayalı LQG ile Yörünge Kontrolü,” İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Bitirme Tasarım Projesi, İstanbul, Türkiye, 2000
- Mevlütoğlu, Arda (2009), “İnsansız Hava Araçları Ve Ağ Merkezli Muharebe Kavramı”,TMMOB Makina Mühendisleri Odası V. Ulusal Uçak, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Kurultayı, Eskişehir.
- Owen,Bomes (2009), “RoyalAir Force, Directorate of DefenceStudies, AirPower- UAVs: TheWiderContext,”.
- Schmidt, M., D., Simulation and Control of a Quadrotor Unmanned Aerial Vehicle, Master Thesis, Univercity of Kentucky, Lexington/Kentucky, 2011.

9. EKLER

Toplumsal olayda miting veya gösteriye katılan küçük ve büyük insan sayısını gösteren program.

```
clc;
clear all;
imageorj=imread('C:\kafa.jpg'); %Resmimizi okuyoruz.
figure(1),imshow(imageorj);

image=rgb2gray(imageorj); %Resmimizi gri tona çeviriyoruz. (2-Boyut)
level=graythresh(image);
bw=im2bw(image,level);
figure(2),imshow(bw);
```

```
bw=imcomplement(bw); %Resmi negatiflik ekliyoruz.
```

```
figure(3),imshow(bw)
```

```
bw=imfill(bw,'holes');%Resimde çukur diye nitelendirilen yerleri dolduruyoruz.
```

```
bw = bwareaopen(bw,30);%30px den daha az sayıda olan nesneler kaldırılıyor.
```

```
figure(4),imshow(bw);
```

```
se=strel('elips',11); %Yarıçapı 11px olan elips biçiminde yapısal element oluşturuyoruz.
```

```
bw2=imerode(bw,se);
```

```
figure(5),imshow(bw2);
```

```
[B,L] = bwboundaries(bw2); % length(B) ile kafa adetini öğrendik ve etiket atadık
```

```
stats = regionprops(bw2, 'Area','Centroid');
```

```
figure(6),imshow(imageorj);
```

```
    toplam = 0;
```

```
    for n=1:length(B)
```

```
        a=stats(n).Area; % Her kafanın alanını öğrendik. Boyutlara göre küçük veya büyük şeklinde hesaplama yaptık.
```

```
        centroid=stats(n).Centroid;
```

```
        if a> 1200
```

```
            btoplam = btoplam + 1;
```

```
            text(centroid(1),centroid(2),'Büyük');
```

```
        elseif a >800 && a < 1050
```

```
            ktoplam = ktoplam + 1;
```

```
            text(centroid(1),centroid(2),'Küçük');
```

```
        else
```

```
            end
```

```
    end
```

```
    title(['Toplam büyük sayısı = ',num2str(btoplam),' kişi'])
```

```
    title(['Toplam küçük sayısı = ',num3str(ktoplam),' kişi'])
```