

Multi-Copterler için Bilgisayar Kontrollü Otomatik İniş Sistemi

Ahmet Anıl Müngen¹, Fatih Özcan¹, Yrd.Doç.Dr. Ahmet Çınar¹, Dr. Levent Ozparlak²

¹ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Elazığ, Türkiye

² Ohio State University Civil, Environmental and Geodetic Engineering, Columbus, OHIO
amungen@gmail.com , fatihozcan@gmail.com , acinar@fırat.edu.tr , ozparlak.l@osu.edu

Özet: Bu makale multi-copterlerin bilgisayar aracılığı ile kontrol edilebilmesinin düşük maliyetli ve kolay bir yöntemini sunmaktadır. Bu yöntem ile bilgisayara bağlanan multi-copterler bilgisayarın sahip olduğu gelişmiş özellikleri bünyelerine kattıkları için çok daha geniş bir çalışma ve kullanım alanına sahip olmaktadır. Bununla birlikte multi-copterlere yeni özellik eklemek bu sistemde çok kolay bir hale gelmiştir. Bu sistem ile gerçekleştirilebilecek çalışmalardan biri belirli bir piste otomatik iniş uygulamasıdır. Sistemde quadcopter ile bilgisayarın iletişimi quadcopter kumandası ve bilgisayar arasında kurulan bir USB kablo ile sağlanmakta ve bu yoldan veri gönderilip alınabilmektedir. Kullanılacak yazılım USB den veri gönderebilen her hangi bir programlama dili kullanılarak yazılabilmektedir. Sonuç olarak multi-copterlerin profesyonel uçuş sistemlerinden gelen tüm özellikleri korunarak yeni özellik eklenmesi ve multi-copterin bilgisayardan yönetilmesi kolaylaştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: multi-copter, pise otomatik iniş, bilgisayarlı kontrol

Computer-Controlled robust automatic landing system for Quadcopters

Abstract: This paper presents controlling quadcopters by means of computer with a very small and low cost apparatus. Computer management on quadcopters provides a very wide working area because of computers' and quadcopters' skills. It is very easy to add some features after making connection between computer with quadcopter. Automatic landing in a specific track is only one example feature realizing with this system. In this system, the software can be implemented by means of any programming language that can use USB Port. As a result, to manage quadcopters and add feature will be very easily and keep natural quadcopter features that came from professional flight controller system.

Keywords: multi-copter, automatically landing on landing field, computer control.

1. Giriş

Multi-copterler hem akademik⁶ hem endüstriyel⁸ hem eğitim⁷ alanında çok popüler insansız küçük hava araçlarıdır. Quadcopterler ise bu hava araçlarından en sık kullanılanıdır. Genellikle sensörlerden veri toplama veya bütünleşmiş kameradan görsel veri almak için kullanılırlar⁶. Çoğu quadcopter GPS alıcısı birleşenine sahiptir⁵ ve bunların bir bölümü bağlantının kopması durumunda mevcut bulunduğu alana otomatik iniş yapabilirler⁴. Genel olarak qu-

adcopterler dâhili bir uçuş kontrol sistemine sahiptir ve bu sistem ilgili quadcopter için özelleştikten dolayı başarılı bir sürüş ve yüksek kullanıcı deneyimini sağlamaktadır. Yeneden bir uçuş kontrolü tasarlamak hem uzun bir zaman almakta hem de şirketler tarafından üretilmiş birçok hava aracında kullanılan uçuş kontrolleri kadar başarılı olmamaktadır⁹.

Günümüzde yapılacak quadcopter uygulamalarında nerdeyse her proje için quadcopterlere bazı yeni özellikler ve yetenekler

eklemek gerekebilir. Quadcoptere yeni bir özellik eklemenin en iyi yolu quadcopterin uzaktan kumandasına komut göndererek quadcopterin yönetilmesi yöntemidir. Böylece quadcopter iç sisteminde müdahale etmeden sadece kumanda ile bilgisayar arasında kurulacak USB gibi bir iletişim sistemi ile quadcoptere komut gönderimi gerçekleştirilebilir böylelikle otomatik hareket eden bir hava aracı ortaya çıkabilecektir.

Makale aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır. İlk bölüm giriştir ve quadcopterler ile ilgili genel bilgi vermektedir. İkinci bölüm çalışmanın genel yapısını anlatmaktadır. Üçüncü bölüm yapılan iki farklı uygulama projesinin tasarımı ve uygulamasını ifade eder. Diğer bölüm tartışma bölümüdür çalışma hakkında fikir ve düşünceler tartışılır. Son bölüm ise sonuç bölümüdür.

2. Genel Dizayn ve Sistem

Neredeyse tüm quadcopterler dâhili bir radyo alıcısı ve vericisine sahiptir. Lakin bazı uzaktan kumandaların bir komut giriş portu(trainer port) yoktur¹¹. Komut giriş portu olmayan uzaktan kumandalardan quadcoptere veri göndermenin bir yöntemi yoktur.

Çoğu uçuş kontrol sistemi SBUS(Smart-BUS Communication Protokol) protokolünü veya manuel pinleri destekler⁴. Bu alıcı ve vericilerin kolayca değiştirilmesine olanak sağlar. Gönderici Kumanda ile quadcopter içindeki alıcı arasındaki veri genelde güvenlik nedenleri ile şifrelenmiştir. Maddi ve zamansal kısıtlamalardan dolayı yeni bir uçuş kontrolörü tasarımı ve/veya iletişim sistemi tasarımı mantıklı bir çözüm değildir. Çünkü yeni tasarlanacak ve üretilen bir kontrolör hiç bir zaman ileri düzey ayarları ve yüksek kullanıcı deneyimini profesyonel kontrolör kadar iyi yapamayacaktır.

Neredeyse tüm yeni uçuş kontrolörlerinde komut giriş portu vardır⁴⁻¹⁰. Bunun anlamı, uzaktan kumandaya gönderdiğimiz komutu kuman-

da quadcoptere kolayca gönderebilmektedir. Normalde, uzaktan kumandaların komut giriş pinleri; eğitmen desteği sırasında kablo ile eğitmen kumandasının ana kumandaya bağlamak için kullanılmaktadır¹¹. Biz bilgisayarı kumanda gibi programlayarak ve eğitmen kumandası gibi tanıtılarak ana kumandaya göndermesi için veri yollayabilmekteyiz. Uzaktan kumanda bu veriyi direk olarak işlemekte ve quadcoptere göndermektedir. Sonuç olarak quadcopterlere bilgisayardan kolaylıkla hareket veya durum komutları gönderebilmekteyiz. Komutlar ve sistemin ana hatları belirlendikten sonra otomatik olarak quadcopter her hareketi veya hareket dizgilerini kolaylıkla yaptırabiliriz. Süre bazlı veya kamera/sensor/GPS gibi alıcılardan aldığımız verilere göre otomatik tepki veren bir sistem geliştirilebilecektir.

Uzaktan kumandalardaki komut giriş portları genellikle standarttır ve bu standarda göre komut giriş pinleri PVM sinyalleri almaktadırlar⁴⁻¹⁰⁻¹¹. USB teknolojisi bir seri veri yolu teknolojisidir. Seri iletişimden gelen veriyi PVM Sinyallerine çevirip kumandaya göndermek için kumanda ile bilgisayar arasında bir çevirici kullanılmaktadır.

Uzaktan kumandaların en yüksek ve en düşük referans değerleri vardır. Bu referans değerlerinin doğru tespit edilmesinden sonra kumandada yapılan hareketler kolaylıkla ve bire bir bilgisayardan komut göndererek yapılabilir.

3. Tasarım ve Uygulamalar

A. Piste Otomatik İniş Kalkış Uygulaması

RF ve GPS teknolojisinin ölçüm hatalarından ötürü quadcopterlerin kendi boyutlarına yakın küçük pistlere otomatik iniş yapma problemi sık karşılaşılan bir durumdur¹².

Görüntü işleme tabanlı, piste otomatik iniş sistemi otomatik iniş için yeni bir yöntemdir. Quadcoptere kamera yükleme büyük bir sorun teşkil etmese de havada iken bu kameradan alınacak görüntüyü işleme kolay bir işlem değildir.

Bazı gelişmiş kameralar WİFİ üzerinden anlık görüntüyü yayımlayabilmektedirler. Buna karşın WİFİ iletişim mesafesi görüntüyü bilgisayar gibi yüksek işlemci hızlı bir cihazda işleyip geri komut göndermek için uygun değildir¹³. Bugün cep telefonu veya tablet gibi akıllı taşınabilir cihazlar hayatımızın her yerindedirler ve çok uygun fiyata satılmaktadırlar. Bu akıllı cihazlar orta kalitede bir işlemci ve kameraya sahiptirler¹⁴.

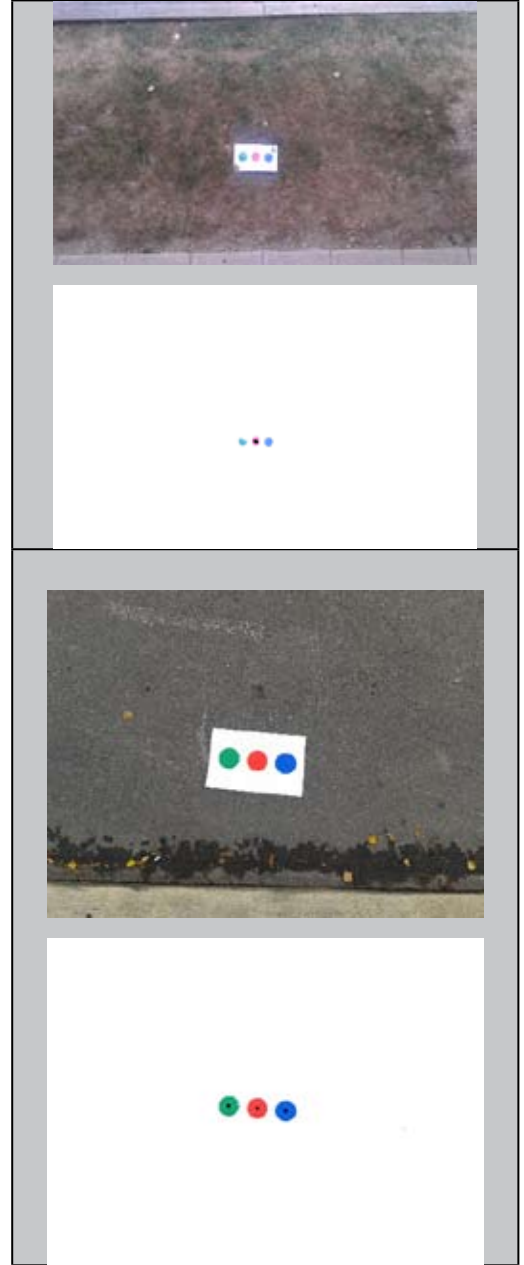
Diğer yandan birçok akıllı cihazın işletim sistemi esnek programlama platformu sağlamakta, kamera görüntüsü ve GPS verisi ile ilgili işlemler yapacak ve sonuçları GSM gibi iletişim yöntemleri üzerinden gönderecek programlar yazmaya ve çalıştırmayı izin vermektedir¹⁵.

Bunun sonucu olarak quadcopterin tabanına yerleştirecek kameralı programlanabilir bir cep telefonu piston yerinin tespiti açısından çok yararlı ve kolay bir çözümdür. Cep telefonu için programlama yaparken görüntü işleme konusunda kullanılacak OpenCV gibi kütüphaneler de mevcuttur¹⁶. Bu kütüphaneler ile yazılacak bir programla quadcoptere bütünleşmiş cihazın kamerasından alınan bir görüntü cihazda işlenip quadcopterin piste göre durumu kolaylıkla bulunabilmekte ve bu bilgi GSM ile gönderilebilmektedir.

Şekil 1 de test için kullanılan iki fotoğraftan ilk fotoğraf yerden 5 metre mesafeden ikincisi ise 2 metre mesafeden bir cep telefonu kamerası ile çekilmiştir. Siyah noktalar renklerin yoğunluklarının orta noktalarıdır. Bu çalışmada farklı yükseklik, alan ve güneş ışınları durumlarında alınan 40 fotoğraf test edilmiş ve yaklaşık %95 oranında orta nokta doğru bulunmuştur.

Sonuç olarak quadcopterin piste göre anlık konumunu kameralı akıllı bir cihaz ile kolaylıkla tespit edebilmekteyiz.

Bu uygulamamızda DJI Phantom quadcopterinin standart alıcısında veri giriş portu olmadığı için veri giriş portu olan Futaba 6J modelindeki⁴ alıcı ve verici ile değiştirdik .



Şekil. 1 Cep telefonu kamerasından alınan veri ile yapılan konum tespit testleri

Futaba 6J uzaktan kumandası veri giriş portundan PVM sinyali kabul etmektedir. Buna karşılık bilgisayarımızda sadece seri ve paralel iletişim portları vardır. Biz çalışmamızda

USB portunu kullanılmaktadır. PCTx isimli cihaz USB portundan aldığı veriyi 8 bit halinde PVM'e dönüştürüp kumandanın komut giriş portuna vermektedir¹⁷. Aslında biz quadcopteri yönetmek ve komut göndermek için sadece 5 kanala ihtiyaç duymaktayız ve diğer 3 kanalı kullanılmamaktadır¹⁹. PCTx sadece ondalık düzende ve belli aralıklarda gönderilmiş verileri kabul etmektedir. Not: Çalışma ile ilgili bazı veriler B bölümünde verilmiştir

Çalışmada kullandığımız yazılımımız anlık GPS koordinatlarını almakta ve hedef GPS koordinatına göre gideceği yönü tespit etmektedir. Hedef alana ulaştıktan sonra quadcopter üzerindeki cihaz ile fotoğraf çekilecek ve fotoğraf cihazdaki işlemcide işlenecektir. Sonuçlar GSM ile merkez veritabanına gönderilecektir. Bu gönderilecek veri çok basit şekilde sağ sol, ileri geri, yüksel ve alçal şeklinde olmaktadır. Gönderilen veride işlenecek komut USB üzerinden PCTx'e oradan da kumanda aracılığı ile quadcoptere gönderilecektir. Böylece kameradan alınan görüntüye göre quadcopterin yönlendirilmesi sağlanacaktır.



Diagram 1. Sistem İşleyiş Diagramı

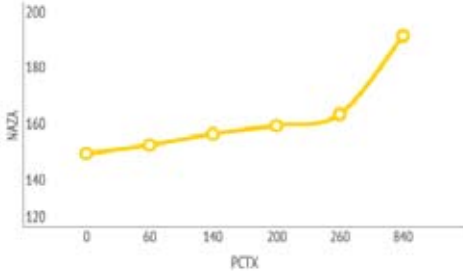
Uygulama sonucunda pisten bilgiler belli süre aralıklarında alınmış, bu bilgilere göre quadcopter sistem tarafından yapılacak hareketler anlık olarak ve ilgili alana hiçbir kullanıcı müdahalesine gerek kalmadan otomatik olarak iniş sağlanmıştır.

B. DJI Phantom – Futaba 6J – PCTx Referansları

Bu bölüm PCTx'e gönderilen verinin Futaba 6J kumandasındaki değerini ve DJI Phantom üzerindeki etkisi ile ilgili bazı referans değerleri içermektedir. Bu değerler manuel testler sonucunda ve NazaM asistan gibi benzetim programları aracılığı ile bulunmuştur ve bütün değerler onluk tabandadır.

Sistem ilk önce bilgisayardan USB aracılığı ile PCTx e veri göndermektedir. Veri; seri olarak gönderilip PCTx tarafından PVM sinyallerine dönüştürülmektedir. PCTx ise bu bilgiyi pinler aracılığı ile kumandaya göndermektedir. Kumanda aldığı bilgiyi direk Quadcopterin uçuş kontrol sistemi olan Naza'ya göndermektedir. PCTx işletim sistemine kendini bir ağ bağdaştırıcı olarak tanıtmaktadır. PCTx e veri; bağdaştırıcının bağlantı noktasından gönderilmektedir. Programın bağdaştırıcı ismine göre bağlantı noktasını bulması ile dinamik bir program ortaya çıkmıştır. PCTx kumandanın kabul edeceği PVM sinyaline çevirme işlevini yapmaktadır. Kumandanın gönderilen veriler quadcopter uçuş kontrol sistemi tarafından direk uygulanmaktadır. Bilgisayardan gönderdiğimiz komutun quadcopter üzerinde oluşturduğu etkilerin referans değerlerini bulmamız kumandayı birebir taklit edip istediğimiz hareketi yaptıracak komutu göndermeyi sağlayacaktır.

Naza'nın port aralığı 0dan başlamakta ve 1000e kadar gitmektedir. PCTx'in ise DJI Phantom için komut aralığı 96 ile başlar ve 196 da biter. Bu bağlamda PCTx'in 146 değeri Phantom kumandasının kaydırma çubuğunun orta değeri olmaktadır. Aynı zamanda bu değer quadcopterin sabit durma değeridir. Bu uygulamada örnekleme frekansı 1/20 olmaktadır. Yani PCTx de değer 3,5 birim artırıldığında DJI Phantomun skalasında 70 birim artacaktır. Sınırlar dışında kalan değerlerin sisteme bir etkisi yoktur.



Şekil 2. NAZA PCTx Veri Etkileşim Referans Grafiği

Kanal 1: İsmi A dır ve aracın sağ sol yönelmesini yönetir

Kanal 2: İsmi Elevator'dur ve aracın ileri geri yönelmesini yönetir

Kanal 3: İsmi T dir ve aracın yükselmesi alçalmasını yönetir

Kanal 4: İsmi Yow dur ve aracın kendi ekseninde dönüş yönelmesini yönetir

Kanal 7: Uçuş Ayarıdır. GPS Modu, Güvenli Mod, Yükseklik Mod'larından birinin seçilmesini sağlar.

Katsayı	NAZA	PCTX	Sonuç
0	0	146	Dengede
1	60	149	Çok Az Yüksel
2	140	153	Az Yüksel
3	200	156	Az Yüksel
4	260	160	Yüksel
12	840	188	Çok hızlı Yüksel
-1	-60	143	Çok Az Alçal
-2	-140	139	Az Alçal
-3	-200	136	Az Alçal
-4	-260	132	Alçal
-13	910	99	Çok hızlı Alçal

Tablo 1: Kanal 3 için Naza ve PCTx arasındaki referans değerleri

Kanal 7 dışında diğer tüm kanalların referans değerleri benzerdir ve Tablo 1 de gösterilmiştir.

Kanal 7 diğerlerinden farklı bir yapıya sahiptir. Her uçuş mod seçeneğinin bir azami ve asgari değeri vardır. Bu aralık içinde kalan değerlerden birer tanesi tablo 2 de gösterilmiştir.

NAZA	PCTX	Result
737	187	GPS MODE
-558	175	FailSafe
34	145	ATT

Tablo 2: Kanal 7 için Naza ve PCTx arasındaki referans değerleri

Bu çalışmada quadcopter bu değerlere göre kontrol edilmiştir. Bu değerlerin katalog değerleri olmadığı, testler ve benzetim araçları aracılığı ile bulunduğu unutulmamalıdır.

4. Cihazlar ve Tanımlamalar

Bu çalışmada quadcopter olarak DJI Phantom kullandık. Phantomu seçmemizin nedenin parçalarının kolayca değiştirilebilirliği ve çok gelişmiş uçuş sistemidir¹⁸. Uzaktan kumanda olarak ise komut girişi olan ve manuel yolla Phantomu bağlanabilen Futaba 6J ve R2006GS alıcı kullandık. Futaba sadece PVM sinyali kabul etmektedir bundan dolayı bilgisayardan aldığımız veriyi PVM sinyaline çevirecek PCTx isimli dönüştürücüyü kullandık.

PCTx Endurance RC firmasının bir ürünü olmakla birlikte 8 kanala kadar destek vermekte bunun yanında High ve Low modları sayesinde örnekleme frekansını arttırıp daha hassas bir dönüştürücü ortaya çıkabilmektedir.

Yazılımımız USB iletişimini kolayca kullanabileceğimiz ve diğer sistemler ile hızlı ve kolayca iletişim sağlayabilecek CSharp programlama dilinde yazılmıştır²⁰.

Görüntü alan cihaz olarak 5 megapiksel çözünürlüklü cep telefonu kamerası kullanılmıştır²¹. Alınan görüntünün işlenmesi cep telefonu üzerinde Android işletim sistemi uygulaması ile yapılmıştır, böylece sunucu ile büyük miktarda veri iletişimine gerek olmamıştır.

Pist için quadcopter boyutundan biraz daha büyük bir pist düşünülmüş, pistin algılanması için pist üzerine renkli bazı şekiller yapılmıştır.

5. Tartışma

Bu çalışmada genel olarak quadcopterlerin iletişim ve karar yetenekleri geliştirilmiştir. Bu yeni yaklaşım birçok yeni özelliğin eklenebileceği quadcopterler için ufuk açıcı olmuştur. Tüm bu yeni özellikler çok daha gerçekçi, uygun ve anlık durumlara daha iyi cevap verebilecek bağımsız bir quadcopter yapısı ortaya çıkarmıştır.

Bu projeden önce, multi-copterlerin tüm yönetimi neredeyse manüel olarak yapılmaktaydı²³. Manuel kontrol insan hataları ve bu hatalardan doğan kazalara neden olmaktadır²². Manüel kontrol sırasında sistem insanın görüş ve kontrol limitleri ile sınırlıdır. Otomatik yönetimli quadcopterler bu sorunların üstesinden gelmektedir.

Uzman olmayan kullanıcılar birçok kazaya neden olabilmektedirler. İniş kazaları en sık görülen ve yeni kullanıcılar için büyük problem olan kaza türlerinden biridir. İniş problemlerinden başka hem uzman hem yeni kullanıcılar için; görme mesafesi dışındaki alanlarda engellerden kaçma ve doğacak zararları önleme büyük bir problem olmaktadır. Bu proje ile kullanıcının görsel teması olduğu veya olmadığı alanlarda dahi otomatik indirme sorun olmaktan çıkmaktadır.

Bu çalışma, sistem ve referans değerleri bir öncü çalışmadır. Quadcopterlerin bilgisayar aracılığı ile gelen verilere göre otomatik yönetilmesi ilerde çok daha kolay olacak ve geliştirilmeye açık bir sistem haline dönüşecektir.

Sistemin bazı zorlukları ve problemleri vardır. Bu problemlerden en önemlisi quadcopterlerin gelen komut için iç değerlendirme sistemleri olmaması ve bundan dolayı sehven yanlış veya eksik komut gönderilmesi durumunda sorunlar ve kazalar ortaya çıkmasıdır. Bundan dolayı yazılım geliştirici ve/veya kullanıcı çok dikkatli olmak zorundadır. Bizim sistemimiz dâhil hiç bir sistem batarya ile ilgili bilgi sahibi olamamaktadır²⁴. Bu eksiklik bazı ciddi problemlere davetiye çıkarmaktadır. Bu problemin

çözülmesi için voltaj bilgisi alınması gerekir. Bunun için de bir donanımsal yapı oluşturulup quadcopterin kontrol sistemine bütünleştirilmesi gerekmektedir.

6. Sonuç

Sonuç olarak, quadcopterlerin bilgisayar tarafından yönetilebilmesine imkân sağlamak quadcoptere yeni özellikler eklemeyi kolaylaştırıp birçok avantaj katmıştır. Bu yöntem ile çok daha kolaylık ve az maliyet ile yeni özellikler eklenebilen, insan görüşü ve sınırlarının takıldığı yerlerde bilgisayar iletişimi ile çok daha geniş hareket yeteneğine sahip olan, gelen verilere göre otomatik hareket edebilen bir uçuş aracı ortaya çıkacaktır. Yöntem geliştirmeye çok açık olması ile birçok uygulama kolaylıkla gerçekleştirilebilecek ve daha büyük çalışmalar yapılabilecektir²².

7. Teşekkürler

Bu çalışma Ohio State University Computer Vision Lab da yapılan hava araçlarından alınan görüntüler ile 3D modelleme projesinden esinlenilerek yapılmıştır.

Ohio State University Civil, Environmental and Geodetic Engineering Bölümü Öğretim Üyesi ve Computer Vision Lab Profesörü Alper Yılmaz'a fikrin genişletilmesi ve teknik kısımlarda verdiği bilgiler ile kontrol cihazlarının kullanılması konusunda yardımlarından dolayı özel teşekkür ederiz.

Projenin başta quadcopter olmak üzere tüm maliyeti TÜBİTAK tarafından karşılanmıştır

8. Referanslar

[1] Achtelik, M.Tianguang Zhang, Kuhnlenz, K, Buss, M, "Visual landing fielding and control of a quadcopter using a stereo camera system and inertial sensors," presented at the Mechatronics and Automation, 2009. ICMA 2009. International Conference.

- [2] Bemporad, A.; Pascucci, C. A.; Rocchi, C.,” Hierarchical and hybrid model predictive control of quadcopter air vehicles “Analysis and Design of Hybrid Systems, Volume # 3 | Part# 1 , 2009
- [3] Elchin, Mammadov , Long-range Communication Framework for Autonomous UAVs, thesis on Univesity of Ottawa , 2013
- [4] Futaba 6J Channel, Futaba Company, 18.11.2013 <http://www.futaba-rc.com/systems/futk6000.html>
- [5] DJI-NAZA M , DJI Company, 18.11.2013 <http://www.dji.com/product/naza-m/>
- [6] View Planning for Multi-View Stereo 3D Reconstruction Using an Autonomous Multi-copter; Korbinian Schmid, Heiko Hirschmüller, Andreas Dömel, Iris Grixia, Michael Suppa, Gerd Hirzinger; Journal of Intelligent & Robotic Systems January 2012, Volume 65, Issue 1-4, pp 309-323
- [7] AR-Drone as a Platform for Robotic Research and Education Tomáš Krajník, Vojtěch Vonásek, Daniel Fišer, Jan Faigl; Research and Education in Robotics - EUROBOT 2011 Communications in Computer and Information Science Volume 161, 2011, pp 172-186
- [8] Design and wind tunnel tests of a tiltwing UAV J. Holsten, T. Ostermann, D. Moormann CEAS Aeronautical Journal December 2011, Volume 2, Issue 1-4, pp 69-79
- [9] Precise Model of Multicopter for Development of Algorithms for Autonomous Flight R. Baranek, F. Solc; Mechatronics 2013 2014, pp 519-525
- [10] DX9 Transmitter, Spectrum Company, 18.11.2013 <http://www.spektrumrc.com/Products/Default.aspx?ProdId=SPMR9900>
- [11] Futaba 4YF Channel, Futaba Company, 18.11.2013 <http://www.futaba-rc.com/systems/futk4200.html>
- [12] Theory and performance of narrow correlator spacing in a GPS receiver AJ Van Die-rendonck, P Fenton, T Ford - Navigation, 1992 - sokkia.com.tw <http://www.sokkia.com.tw/novatel/Documents/Papers/File2.pdf>
- [13] Long-distance 802.11b links: performance measurements and experience ;Kameswari Chebrolu; MobiCom ‘06 Proceedings of the 12th annual international conference on Mobile computing and networkingPages 74-85
- [14] Fastest Processor Mobile Phone,20.11.2013, <http://www.phonegg.com/Top/Fastest-Processor-Cell-Phones.html>
- [15] A public safety application of GPS-enabled smartphones and the android operating system; Whipple, J. ; Inf. Syst. Eng. Dept., Southwest Res. Inst., San Antonio, TX, USA ; Arensman, W. ; Boler, M.S. Systems, Man and Cybernetics, 2009. SMC 2009. IEEE International Conference on
- [16] Android – OpenCV,20.11.2013 <http://opencv.org/platforms/android.html>
- [17] Endurance R/C PCTX, ,20.11.2013, <http://www.endurance-rc.com/pctx.php>
- [18] DJI Phantom Features ,20.11.2013, <http://www.dji.com/feature/phantom-features/>
- [19] DJI Phantom Tech Spec ,20.11.2013, <http://www.dji.com/tech-spec/phantom-sepc/>
- [20] Writing apps for USB devices (Windows Store apps using C#/VB msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/apps/dn263144.aspx)
- [21] Galaxy Family Site ,20.11.2013, http://www.samsung.com/galaxyace/ace_techspec.html

[22] A summary of unmanned aircraft accident/incident data: Human factors implications
KW Williams - 2004 - DTIC Document

[23] A formal approach to reactive system design: unmanned aerial vehicle flight management system design example Koo, T.J. ; Sino-
poli, B. ; Sangiovanni-Vincentelli, A. ; Sastry,
S. ; Computer Aided Control System Design,
1999. Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on

[24] Battery power loss compensated fractional order sliding mode control of a quadrotor UAV; Mehmet Önder Efe; Asian Journal of Control Volume 14, Issue 2, pages 413–425, March 2012