

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE SAYISAL ARAZİ MODELİ ÜRETİMİ

A. E. Karkınlı^a, A. Kesikoğlu^{a*}, M. H. Kesikoğlu^a, U. H. Atasever^a, C. Ozkan^a, P. Çivicioğlu^b, E. Beşdok^a

^a Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 38039 Melikgazi / Kayseri, Turkey - (aekarkinli, akedikoglu, hayrikesikoglu, uhatasever, cozkan, ebesdok)@erciyes.edu.tr

^b Erciyes Üniversitesi, Uçak Elektrik-Elektronik Bölümü, 38039 Melikgazi / Kayseri, Turkey - civici@erciyes.edu.tr

ANAHTAR KELIMELER: Fotogrametri, UAV, Dense Matching, Shape From Motion, DTM

ÖZET:

İnsansız Hava Araçlarının görece ucuzlaması ve farklı yeteneklere sahip ölçme donanımlarının minyatürize edilmiş versiyonlarının bu platformlarda taşınabilmesi onların Harita Mühendisliği uygulamalarında kullanımlarını teşvik etmiştir. UAV tabanlı havadan görüntü alma uygulamaları, önceleri dokümantasyon ve foto-yorumlama gibi alanlarda kullanılmış olsada günümüzde, çok yüksek veri hacimlerinin işlenmesine olanak veren GPU teknolojilerinin de yaygınlaşmasıyla birlikte UAV'lerin topoğrafik harita yapımında kullanımı da yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu çalışmada, sivil standartlara uygun çok-palli, GPS ve oto pilot destekli bir UAV kullanılarak 600x800m bir alanın 100m. uçuş yüksekliğinde örtülmeli 720 yüksek çözünürlüklü görüntüsü elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler Tesla GPU destekli bir bilgisayarda yoğun-eşleme (dense matching) tekniği kullanılarak işlenmiş ve ilgili yüzeye ait çok-yüksek konumsal çözünürlüklü DTM verisi elde edilmiştir. Gerçekleştirilen kontroller, elde edilen DTM modelinin 2D konumsal doğruluğunun 6cm. ve yükseklik doğruluğunun 8 cm. civarında olduğunu göstermiştir.

KEY WORDS: Photogrammetry, UAV, Dense Matching, Shape From Motion, DTM

ABSTRACT:

As the prices of the Unmanned Aircraft got lower and the miniaturized versions of different talented measurement equipment could be easily carried in this platform, their usage in Geomatic applications has been encouraged. Although applications of UAV-based aerial image capture have been used in the areas such as documentation and photo interpretation, usage of UAVs in topographic mapping has become widespread as the GPU technologies able to process huge amounts of data pervaded. In this study, 720 overlapping high resolution images of a 600x800m area have been obtained at an altitude of 100m by using a multi-blade GPS within the civil standards. The captured images have been processed by a Tesla GPU supported computer using dense matching method and very high spatial resolution DTM data belonging to the related surface have been obtained. The tests have revealed that the 2D spatial accuracy of the obtained DTM model is about 6cm and the altitude accuracy is about 8cm.

1. GİRİŞ

1850' li yıllarda balon ve uçurtma kullanımı ile başlayan hava fotoğrafçılığı, değişen teknolojik imkânlarla bağlı olarak gerek kamera, gerekse uçuş donanımları açısından gelişmeye devam etmektedir. Hava fotoğrafçılığının sonucu olarak askeri amaçlarla doğan, günümüzde de askeri ve sivil amaçlarla kullanılmakta olan fotogrametri tekniği, veri temini, işleme ve sunma yöntemlerindeki gelişmelerle, geniş alanlara ait harita üretiminde yoğunlukla tercih edilmektedir. Yersel ölçme yöntemlerine kıyasla, hızlı ve oldukça hassas çözümler sağlayan fotogrametri için yüksek irtifa uçakları ve yüksek çözünürlüklü kameralar kullanılmaktadır. Profesyonel insanlı uçaklar, fotogrametrik kameralar ve uçuş için gerekli izinlerin getirdiği maliyet yükü fotogrametrik harita üretimini çok büyük alanlar için efektif hale getirmektedir. Bununla birlikte yakın geçmişte düşük maliyetle üretimi sağlanabilen sensör ve elektronik ekipmanların artmasıyla uzaktan kumanda edilebilen insansız hava araçlarının (İHA) kullanımı artmaya başlamıştır. İHA sistemlerinin GPS alıcıları, mikro işlemciler, jiroskoplara, micro ölçekteki sensör ve elektronik haberleşme elemanları ile düşük

maliyetli, yüksek konumsal ve zamansal çözünürlüğe sahip veri temin edebilme yeteneği bu sistemlerin cazipliğini artırmıştır (Eisenbeiss, 2004; Eisenbeiss, 2011).

İHA' lar ile fotogrametrik veri toplamak için, yalnızca kontrol sistemine sahip küçük, hafif bir İHA platformu ve standart tüketici sınıfı bir kameraya ihtiyaç duyulması, bu platformların geleneksel fotogrametrik yöntemle ciddi bir alternatif olmasını sağlamaktadır. Dijital fotogrametrik sistemlere göre, çok düşük fiyatlarla kurulabilen İHA sistemleri özellikle sınırlı genişliklerdeki alanlar için uygunluk göstermektedir. Son yıllarda İHA'ların büyük ölçekli topoğrafik harita, sayısal arazi modeli ve ortofoto üretiminde kullanımı artmaya devam etmektedir (Cui, 2007). Spesifik olarak arkeolojik sitelerin ve yapıların 3D dökümantasyonunda da düşük irtifa görüntüleme sistemleri kullanılabilmektedir (Mozas-Calvache, 2012). Afet sonrası müdahale ve haritalama (Li, 2011), çevresel toprak ve su değişimlerinin takibi için düzenli ölçümler, deformasyon takibi (Niethammer, 2012), kazı alanları için hacim hesapları ve doğal kaynakların kayıt altına alınması amaçlarıyla da İHA' lar kullanılmaktadır. Yine düşük maliyetle sürekli tekrarlanabilir

uçuş ve haritalama çalışmaları ormancılık ve tarım sektörlerinde rekolte tahmini, hastalık tespit ve takibi (Stagakis, 2012), yangın bölgelerinin izlenmesi (Krüll, 2012) gibi amaçlar içinde oldukça kullanışlıdır. İHA ile veri üretimi multimedia coğrafi bilgi sistemleri için gerekli 3D veri altyapısının oluşturulmasına da hizmet etmektedir.

İHA sistemleriyle üretilen 3D veri çok sayıda sektör için yeterli hassasiyet ve doğrulukta olmasına rağmen söz konusu sistemlerin sınırlayıcı limitlerinin başında uçuş sürelerinin kısıtlılığı ve rüzgâr koşullarına karşı dayanıksızlığı gelmektedir. Bununla birlikte yüksek eğim açıları, örtüşme oranların sağlanmasında karşılaşılan sorunlar ve yetersiz örtüşmeler, klasik hava görüntülerine oranla yüksek distorsiyonlu görüntüler İHA ile fotogrametrik harita üretimi işlemini daha komplike hale getirmektedir.

Bu çalışmada, sivil standartlara uygun çok-palli, GPS ve oto pilot destekli bir UAV kullanılarak 600x800m bir alanın 100m. uçuş yüksekliğinde örtüşmeli 720 adet yüksek çözünürlüklü görüntüsü elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler Tesla GPU destekli bir bilgisayarda yoğun-eşleme (dense matching) tekniği kullanılarak işlenmiştir. İlgili yüzeye ait çok-yüksek konumsal çözünürlüklü DTM verisi elde edilmiş ve DTM modelinin doğruluğu değerlendirilmiştir. Bu bildirinin geri kalan bölümleri şu şekilde organize edilmiştir. 2. bölümde Kullanılan UAV ve Özellikleri tanıtılmıştır. 3. bölümde Yöntem ve Uygulama verilmiştir. 4. bölüm Sonuçlar' a ayrılmıştır.

2. İHA PLATFORMU VE ÖZELLİKLERİ

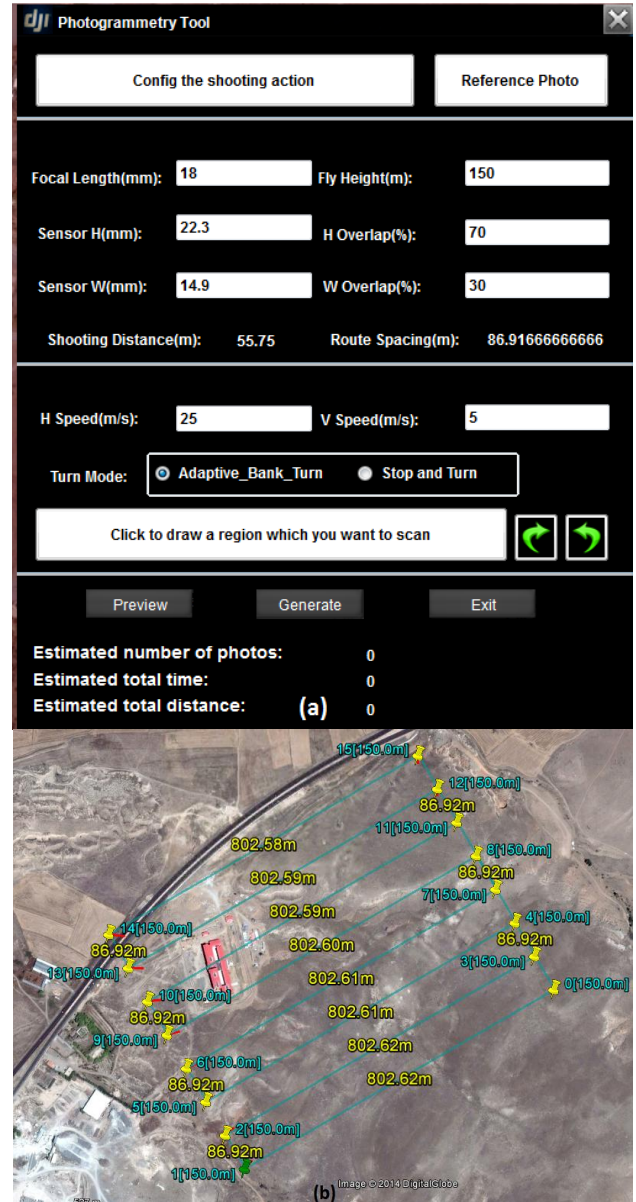
Bu çalışmada veri toplamak için Wookong M otopilot & kontrol kartına sahip DJI S800 spreading wings hexacopter (Şekil 1) kullanılmıştır. DJI S800 azami olarak 25 m/s yatay ve 5 m/s düşey yönde hızlanma kapasitesine sahip, pervane arası açıklığı 800mm olan 6 palli bir sistemdir. Sistem ile 2 adet 6 hücreli, 22.2V ve 10000mah' lik bataryaların paralel olarak bağlanmasıyla 20-25 dk' lık uçuşlar gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 1. DJI S800 Spreading Wings hexacopter.

Wookong-M kontrol kartı üzerinde bulunan 6 Dof IMU (3-eksenli ivmeölçer, 3 eksenli açısal hız ölçer ve barometrik altimetre) ve GPS sensörleri ile stabil ve otopilot destekli uçuşlara imkan sağlamaktadır. Sistem tasarlama, 15 knot rüzgâr'a kadar stabiletinin korunarak güvenli uçuş yapılabileceğini garanti etmektedir. Ayrıca WooKong-M Waypoint modeli ile birlikte uçuş planlama yazılımına ek olarak Photogrammetry Tool modülü (Şekil 2) gelmektedir. Bu modül kullanılacak olan kamera özellikleri, uçuş yüksekliği, uçuş hızı ve örtüşme oranları gibi bilgilerin tanımlanarak fotogrametrik uçuş planlanmasına imkan sağlamaktadır. İHA sistemi istenildiğinde otopilot devre dışı bırakılarak RC kumanda ile kontrol edilebildiği gibi, DJI LK900 modeli 900mhz' lik telemetri seti aracılığıyla eş zamanlı olarak bilgisayar ile

haberleşebilmektedir. Uçuş sırasında daha önce yapılmış uçuş planlaması güncellenebilmekte veya sonlandırılabilir.



Şekil 2. a) Photogrammetry tool modülü b) Uçuş planlama

Çalışmada görüntüleme aygıtı olarak 18 MP APS-C CMOS sensöre sahip Canon EOS 550d dslr kamera kullanılmıştır. Kamera üzerine 18-55mm f/3.5-5.6 IS lens monte edilmiştir. Kamera kontrolü için doğrudan otopilot kartına bağlantı yapılabilir veya harici bir tetikleyici kullanılabilir.

3. YÖNTEM VE UYGULAMA

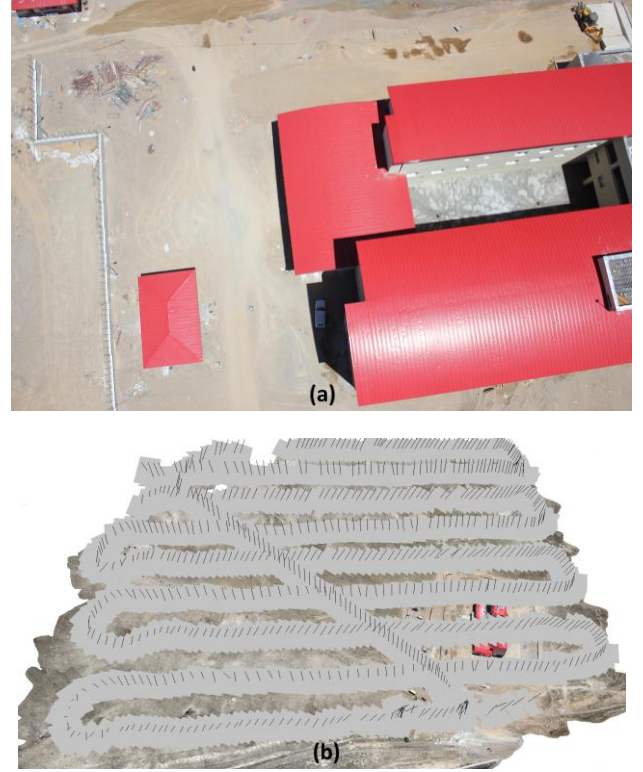
Bu çalışmada Kayseri ili Kocasinan ilçe sınırları içerisinde bulunan Çavuşağa köyünde 48 hektarlık bir alanın İHA ile alınan görüntülerinden SFM (shape from motion) (Besl, 1992) ve yoğunluk eşleme (dense matching) (Scharstein, 2002) algoritmaları kullanılarak topografik haritası üretilmiştir. Şekil 3' de temel işlem adımları gösterilmiştir.



Şekil 3. Fotogrametrik işlem adımları

Fotogrametrik yöntemler 3 boyutlu bilginin geri çatılması için temelde iki boyutlu görüntü dizilerinden yararlanmaktadır. Bunun içinse kamera kalibrasyon parametreleri olan iç (odak uzaklığı, ana nokta konumu, distorsiyon parametreleri) ve dış (kamera konum ve oryantasyon) parametrelere ihtiyaç duymaktadır (Beşdok, 2006). SFM (shape from motion) tekniği ise 3 boyutlu geri çatım için gerekli bu parametreleri, bilgisayarlı görü alanında geliştirilen algoritmalar yardımıyla doğrudan birbiri ile örtüşen görüntülerden hesap etmektedir. Analiz edilmek istenen sahnenin 3 boyutlu geometrisi, görüntü kayıt anındaki bakış açılarının farklılığından yararlanılarak en az iki resimde bulunan eşleşen detay noktalarıyla trigonometrik olarak çözümlenmektedir (Besl, 1992). Bu işlem sonucunda lokal bir koordinat sisteminde eşleştirilebilen nokta sayısınca 3 boyutlu nokta bulutu elde edilmektedir. Yer kontrol noktalarının eklenmesi ile bu nokta bulutu georeferanslandırılmakta ve optimize edilerek doğruluğu artırılmaktadır. Optimizasyon işlemi için sıklıkla ışın demetleri ile blok dengeleme yöntemi tercih edilmektedir. Bir sonraki aşamada Multiview stereo algoritmalarına dayanan yoğun-stereo eşleme yöntemiyle görüntü bloklarındaki resimlerin hemen her bir pikseli için eşleme yapıp 3 boyutlu çatım işlemi gerçekleştirilmektedir. Yoğun eşleme algoritmaları görüntü tutarlılığı ve belirlenen doğruluk kriterini baz alarak, homolog pencerelerin birbirleriyle eşlenmesini sağlamak ve sürekli bir formda 3D veri elde edebilmektedir (Scharstein, 2002).

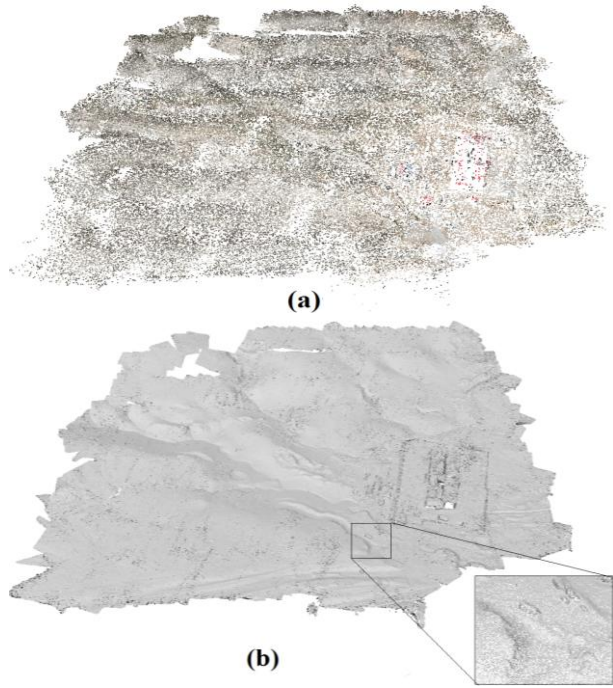
Bu çalışmada uçuş planlaması, uçuş yüksekliği 100m, enine örtüşme oranı %70 ve boyuna örtüşme oranı %25 olacak şekilde DJI Mission Planner Photogrametry Tool kullanılarak yapılmıştır. Uçuş bölgesinde georeferanslama ve doğruluk kontrolünde kullanılmak üzere 10 adet yer kontrol noktası belirlenerek, 1m x 1m boyutlarında hedeflerle işaretlemiştir. Bu noktaların 3 boyutlu konumları Cors-TR destekli bir GNSS cihazıyla hassas olarak belirlenerek kaydedilmiştir. Uçuş Süresince 720 adet yüksek çözünürlüklü görüntü alınmıştır.



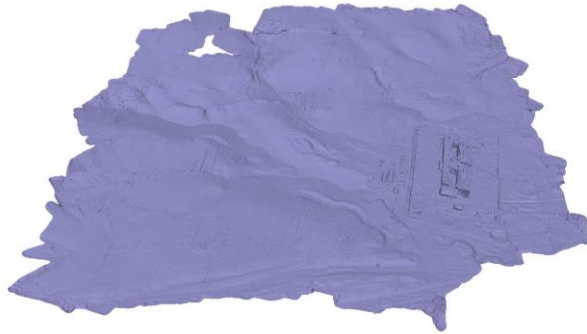
Şekil 4. a) İHA ile kayıt edilmiş görüntü b) Hesaplanmış kamera oryantasyonları

Her biri 18 MP çözünürlüğe sahip 720 adet görüntünün işlenebilmesi çok ciddi bilgisayar kaynağı gerektirmekte ve sıradan bilgisayar sistemleri ile bu işlemlerin gerçekleştirilebilmesi mümkün olamamaktadır. Söz konusu uygulamaya 2 adet Xeon® E5-2640 v2 işlemci, 64gb DDR3 ram, Nvidia Quadro K5000 Ekran kartı ve Tesla K20c paralel işlemci konfigürasyonuna sahip bir iş istasyonunda gerçekleştirilmiştir. İşlemler Tesla K20c CUDA işlemci kullanılarak paralel programlama tekniğiyle çok kısa sürede tamamlanmıştır.

SFM ile çözümlenen görüntü bloklarından 6.461.576 adet 3D noktadan oluşan bir bulut elde edilmiştir. Yoğun-stereo eşleme işlemiyle elde edilen nokta bulutu 32.145.775 noktadan oluşmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. a) SFM ile elde edilen 3D nokta bulutu b) Dense Matching ile elde edilen 3D nokta bulutu



Şekil 6. Sayısal Arazi Modeli

Yer kontrol noktası olarak arazide belirlenmiş detaylardan 5 adeti georeferanslandırmak için kullanılmış olup diğer 5 adet nokta ise DTM doğruluğunun hesaplanabilmesi için kullanılmıştır. Georeferanslama işlemi ve blok dengeleme sonrası kontrol noktalarında meydana gelen hata değerleri Tablo 1'de, georeferanslama için kullanılan yer kontrol noktalarında gerçekleşen hatalar Tablo 2'de verilmiştir.

Yer Kontrol Noktası	Hata (m)		
	dx	dy	dz
6	-0.049	0.046	0.085
7	0.048	0.050	0.004
8	0.050	0.046	0.071
9	0.051	-0.048	0.020
10	0.042	0.041	-0.091

Tablo 1: Yer kontrol noktalarında gerçekleşen hatalar

Yer Kontrol Noktası	ITRF-96 koordinatları (m)			Hata (m)		
	Y	X	Z	dx	dy	dz
1	471214.0581	4302278.1938	1173.5532	-0.038	-0.011	-0.006
2	471270.4238	4302275.4053	1179.2128	-0.015	-0.043	-0.004
3	471381.1087	4302250.0922	1182.3582	0.044	-0.042	-0.004
4	471447.5476	4302220.1086	1175.8556	0.017	0.035	0.009
5	471502.9762	4302285.8965	1189.4306	-0.009	-0.020	-0.002

Tablo 2: Georeferanslama için kullanılan yer kontrol noktalarında gerçekleşen hatalar

4. SONUÇLAR

Otomatik stereo görüntü eşleme uygulamaları son 20 yıldır kullanılmalarına rağmen yazılım ve donanımlardaki gelişmeler, 3D veri üretiminde yoğun-stereo eşleme yöntemlerinin yaygınlaşmasını tetiklemiştir. Yapı itibari ile yakın resim (close-range) fotogrametrisine daha yakın olan İHA resim bloklarının işlenmesi, klasik fotogrametriye oranla daha karmaşık olabilmektedir. Bunun temel nedeni görüntü bindirme oranlarının çok hassas sağlanamaması, uçuş stabilitesinin daha kolay bozulabiliyor olması, güçlü radyometrik ve geometrik değişiklikleri, görüntü ölçeği ve yakınsak (covergent) görüntü geometrisidir. Tüm bu limitlere rağmen söz konusu yöntemlerin sağladığı doğruluk birçok farklı amaç için yeterli olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmada konumsal doğruluğun ortalama 6.6 cm ve standart sapmasının 0.5 cm olduğu, yükseklik doğruluğunun ise ortalama 8.5 cm ve standart sapması 0.8 cm olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu yayında kullanılan yazılım ve donanımların elde edilmesindeki katkılarından dolayı Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi'ne teşekkür eder. Bu araştırma Erciyes Üniversitesi FBA-2013-4525 proje kodu ve Düşük İrtifa Görüntüleme Sistemleri İle Üretilen Haritalarda Konumsal Doğruluğunun İncelenmesi adı altında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Besl, P.J., Mckay, N.D., 1992. A method for registration of 3-d shapes, IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence, pp. 239-256.
- Beşdok, E., Kasap, B., 2006. 3D Nesne modellemeye yönelik lazerli bir tarayıcı sistemin tasarımı ve gerçekleştirilmesi, Eleco'2006, Elektrik - Elektronik - Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı Bildirileri, Bursa.
- Cui, H., Lin, Z., 2007. UAVs (Unmanned Aerial Vehicle system) for generation of digital large-scale orthophotos Proceedings of Asia Display, 1-2, 2009-2012.
- Eisenbeiss, H., Sauerbier, M., 2004. Investigation of uav systems and flight modes for photogrammetric applications, Photogrammetric Record, pp. 400-421.
- Eisenbeiss, H., 2004. A Mini Unmanned Aerial Vehicle (Uav): System Overview And Image Acquisition, International Workshop on "Processing AND Visualization Using High-Resolution Imagery", 7 syf, CDROM, 2004
- Krüll, W., Tobera, R., Willms, I., Essen, H., Wahl, N., 2012. Early Forest Fire Detection and Verification using Optical Smoke, Gas and Microwave Sensors, Procedia Engineering, Elsevier, pp. 584-594.
- Li, C., Zhang, G., Lei, T., Gong, A., 2011. Quick image-processing method of UAV without control points data in earthquake disaster area, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Elsevier, pp. 523-528.
- Mozas-Calvache, A. T., Perez-Garcia, J. L., Cardenal-Escarcena, F. J., et al., 2012. Method for photogrammetric surveying of archaeological sites with light aerial platforms, Journal Of Archaeological Science, Elsevier, pp. 521-530.
- Niethammer, U., James, M.R., Rothmund, S., Travelletti, J., Joswig, M., 2012. UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results, Engineering Geology, Elsevier, pp. 2-11.
- Scharstein, D., Szeliski, R., 2002. A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms, International Journal Of Computer Vision, pp. 7-42.
- Stagakis, S., Gonzalez-Dugo, V., Cid, P., et al., 2012. Monitoring water stress and fruit quality in an orange orchard under regulated deficit irrigation using narrow-band structural and physiological remote sensing indices, Isprs Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing, pp. 47-61.