

# Yakın resim fotogrametrisinde endüstriyel uzman sistem uygulaması

**Bahadır ERGÜN\***, **M. Orhan ALTAN**

*İTÜ İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul*

## Özet

*Günümüzde, mikrofotogrametri elektronik sanayisinden sağlık hizmetlerine ve özellikle uzay sanayisine kadar pek çok bilimle ortak olarak çalışmaktadır. Bu çalışmalara destek sağlayan ve çalışmalarda kullanılan uzman sistemler laboratuvar çalışmalarında önemli bir yer tutmaktadır. Dijital olarak 0.5 cm ve daha küçük objelerin modellenmesi, ölçülmesi ve kalite kontrolünün sağlanması amacıyla yönelik olan bu sistem aynı zamanda uydu ve uzay çalışmalarında kullanılan dijital sensörlerin testi, kalibrasyonu ve modern görüntüleme ve ölçme çalışmalarında da kullanılabilmekte ve bu sayede üniversitemizde yapılacak birçok lisans, yüksek lisans ve doktora çalışmasında temel sistem olacaktır. Ayrıca ekonomik yönden, yüksek hassasiyette yapılması gereken çalışmalar için üniversitemize destek sağlayacaktır.*

**Anahtar Kelimeler:** *Yakın resim fotogrametrisi, uzman sistem, endüstriyel ölçme.*

## An application for industrial close range photogrammetric expert system

### Abstract

*Nowadays, microphotogrammetric works have been dealing with the other science like electronic, medicine especially space technology researchers. Expert Systems, which have been used for this works, have been improved and become important day by day. Therefore an expert system would have been built and used for researching the new technologies and measuring the very small objects for quality control and 3D modeling with aided computer vision technologies also using new calibration researching for the sensor technologies, etc. Firstly, built an expert system and calibrate this system is the aim of this Ph.D. Thesis. After that this expert system will have been used for diploma thesis, Master Degree Thesis and also Ph.D. Thesis in the future. The modern universities, which deal with this technologies of space reasearching, have an expert system like this for imaging, measuring and researching the sensor technologies. Multisensory remote sensing requires the simultaneous registration and real-time processing of the time-varying multi-sensor image data. The frame-based programming technique was developed to provide the appropriate multi-sensor data management. Any frame-based processing system supports the automatic data updating since the output of any sensor has been changed. The visual programming of data flows is naturally available through the usage of this approach.*

**Keywords:** *Close range photogrammetry, expert systems, industrial measurements.*

---

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Bahadır ERGÜN. [bergun@srv.ins.itu.edu.tr](mailto:bergun@srv.ins.itu.edu.tr); Tel: (212) 285 65 62.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İnşaat Fakültesi'nde tamamlanmış "Yakın resim fotogrametrisinde mikrofotogrametrik uzman sistem tasarımı, tesisi ve kalibrasyonu" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 12.03.2003 tarihinde dergiye ulaşmış, 28.05.2003 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.12.2003 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Giriş

Yakın resim fotogrametrisi günümüzün yüksek optik teknolojisi ile birlikte endüstriyel alanda sanayi devrimini takiben daha sık kullanılmaya başlandı. Bunun yanı sıra zamanla özellikle sanayide ve elektronik endüstrisinde karşılaşılan özel problemlere özel çözümler sağlayabilen ölçme yöntemlerinin geliştirilebildiği tek bilim dalı haline geldi. Önceleri çok yakın (very close range) resim fotogrametrisi olarak adlandırılan bu yeni dal daha sonra optik ve elektronik endüstrisinin, uzay teknolojisi ile birlikte yaptıkları atılım sonucunda bugün bulunduğu yere gelerek endüstriyel optik bilimi ile iç içe girdi. Günümüzde, bu çalışma alanına, gerek kullandığı optik özellikler gerekse inebildiği ölçme hassasiyeti dolayısı ile mikro-fotogrametri adı verilmiştir. Yakın resim fotogrametrisinin özel bir uygulaması olan bu dal artık daha çok optik biliminin endüstriyel alanda elektronik bilimi ile birlikte gelişimi üzerine gelişmekte olup yine temelinde fotogrametri ilkelerini ve bu ilkelere dayalı mühendislik problemlerinin çözümünü kullanmaktadır. Günümüzde opto-mekanik adı verilen bu gelişim süreci artık hem optik hem elektronik hem de fotogrametri biliminin ortak çalışma alanına giren disiplinler arası bir yapı olup daha çok endüstriyel ölçme ve kontrol çalışmalarının altyapısını oluşturmaktadır.

## Yakın resim fotogrametrisi

### Mikro-Fotogrametri

Yapısı ve hassasiyeti itibari ile özel optik sistemlerin temelini oluşturduğu fotogrametrik ölçme yöntemlerinin genel adıdır. Adından da anlaşılacağı üzere mikro deyimi çok küçük objeleri ve aynı zamanda hassasiyetin birimi olan mikron büyüklüğünü ifade etmektedir. Bu dal esasında küçük objelerin hayatımızda aldığı rol kadar büyük bir yelpazeye sahiptir. Hassasiyeti açısından mikro-fotogrametri, mikronun bindelelerinden, milimetreye kadar olan presizyonda çalışma alanına sahiptir. Kullanılan ölçme sistemleri itibari ile de mikro-fotogrametri yüksek teknolojiyi kullanan sistemleri gerektirir.

Örneğin elektron mikroskopları ve gökyüzünü izlemede kullanılan gelişmiş teleskoplar hemen

hemen aynı prensiple çalışırlar ancak elektron mikroskopları çok daha yakına odaklanmış sistemlerdir.

## Uzman sistem

Bilinen en eski ve hala kullanılan uzman sistem yapısı sanayide kullanılan yürüyen bant yapısıdır. Uzman sistem, bir üretim ya da bir kontrolü yapmak için geliştirilmiş oto-kontrole sahip mekanik yapı ya da yazılımların genel adıdır. Adından da anlaşıldığı üzere uzman sistem belli bir konuda uzman bir yapıya ve işleyişe sahiptir. Günümüzde pek çok alanda değişik işlevler için uzman sistemler geliştirilmiştir. Uzman sistemlerin en gelişmiş olanları robotlardır. Uzman sistemler çok nadir olarak genel amaçlı olurlar, uzman sistemler özel amaçlar, uygulamalar için tasarlanır ve yapılırlar. Endüstriyel ölçme ve kontrol çalışmaları otomasyon ve yüksek presizyonu bir arada gerektiren çalışmalardır. Bu sebeple yüksek elektronik ve optik teknolojisi ile kurulan fotogrametrik uzman sistemler günümüzün en iyi endüstriyel fotogrametrik ölçme sistemlerini oluşturmaktadır. Günümüz sanayisinde en önemli üretim metodu seri ve hatasız üretimdir. Endüstriyel ölçme şartları göz önüne alındığında Dijital Fotogrametrinin ölçme hızı, veri işleme, değerlendirmesi ve ölçme doğruluğu açısından üretilen malın değerlendirilmesinde en uygun sonucu verdiği ayrıca ölçme işleminin üretim koşullarında yapılabilmesi ile en uygun ölçme yöntemi olduğu görülmüştür.

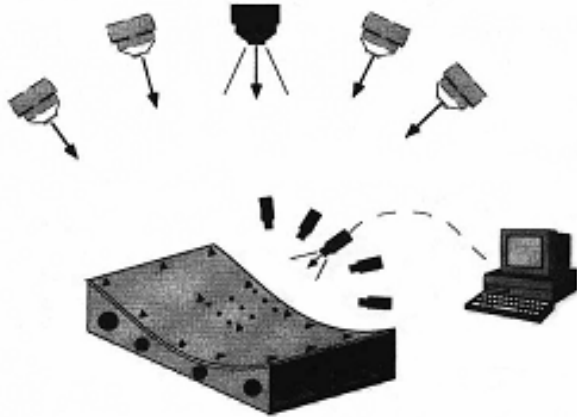
Dijital Endüstriyel sistemler gerçekten maliyet açısından çok pahalı olmalarına karşın uzun süre kullanılabilmeleri ve üretimin kontrol ve hızını artırmaları açısından özellikle yüksek maliyet gerektiren sanayilerde (uçak motoru ve otomotiv sanayii gibi) en çok tercih edilen sistemlerdir. Endüstriyel fotogrametrinin üretim sektöründe kullanılan en geniş uygulama alanı içerisinde en önemli özellik gerçek zaman ve ya gerçek zamana yakınlık denilen üç boyutlu konum belirlemedeki kesinliktir. Resim ölçeklerinin diğer yakın mesafe fotogrametrisine oranla daha büyük olması nedeni ile endüstriyel fotogrametride cisim uzayı için iki boyutlu resim koordinatlarından üç boyutlu cisim koordinatlarının hesaplanmasında iki ayrı sistem yapısı geliştirilmiştir.

### Bağımsız sistemler

Son zamanlara değin geniş ticari çevrelerce kabul gören bir tane endüstriyel fotogrametri sistem yapısı bulunmaktaydı. Bu sistem ayrıık bir yapı örneği sergilemekte olup geniş ve orta açılı resim çekme kameraları, çok istasyonlu monoskopik konvergent ağlarla örülmüş self-kalibrasyon yapma özelliğine sahip otomatik ve analitik olarak değerdendirme yapan bir sistemdi. Rollei-Metric System ve Geodetic Service'in ürünü olan Stars bu tür sistemlere örnek olarak gösterilebilir.

1993'ten bu yana bağımsız tek algılayıcı sistemler CCD görüntüleyiciler alanında geniş bir kullanım alanına kavuştu. Özellikle Kodak Megaplug serisi kameralar bu sistemlerde kullanılır oldu.

Endüstriyel yakın mesafe fotogrametrisinde kullanılan bağımsız sistemlerin en önemli özelliği birbirinden bağımsız olarak görüntü alan kamera yapısının üç boyutlu koordinatları çok presizyonlu olarak hesaplanmış bir çerçeve yapısı ile birlikte kullanılmasıdır. Bu yapıda üç boyutlu olarak boyutları belirlenecek cisim bu çerçeve üzerinde görüntülenerek gerekli ölçmelerin fotogrametrik olarak yapılması esasına dayanmaktadır (Şekil 1).

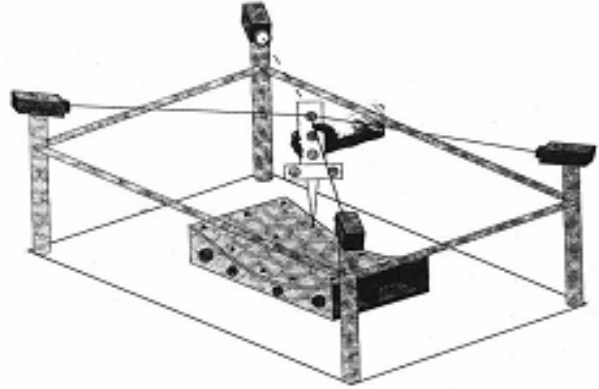


Şekil 1. Bağımsız sistemler

### Bütünleşik sistemler

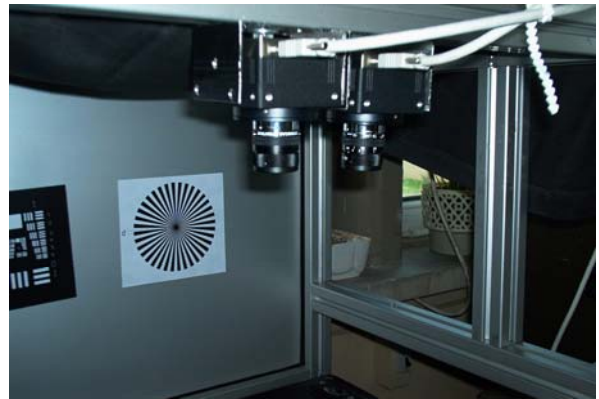
Yakın mesafe fotogrametrisinin en önemli ve en güçlü sistemleri olan bu tür sistemler gerçekten adından da anlaşılacağı gibi aynı anda görüntü alan birbirine bağımlı kamera yapısı ile ve taşınabilir bir koordinat yapısına sahip çerçeveden oluşan sistemlerdir. Bu sistemlerde aynı anda

farklı kameralardan gelen cisim görüntüleri ve çerçeve yapısına ait görüntüler bilgisayar ortamında yöneltilerek cisme ait üç boyutlu koordinat yapısının aynı anda hızlı bir şekilde belirlenebilmesi sağlanmakta ve bu üç boyutlu koordinat bilgisinin bir CAD sisteminde işlenmesine ait gereken veri elde edilebilmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Bütünleşik sistemler

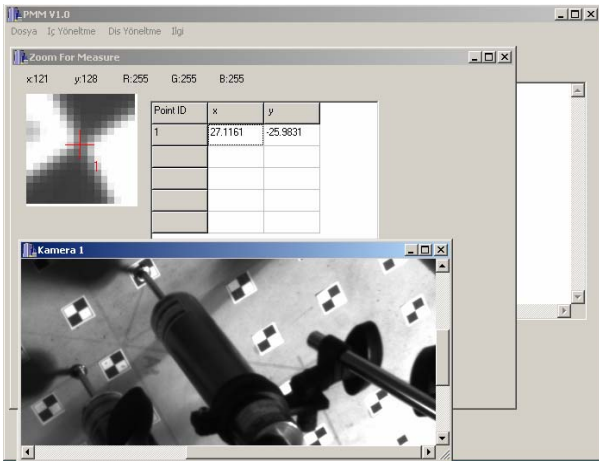
Bu çok algılayıcı sistemler gelişen teknoloji ile birlikte CCD video kameralarında sistem içine eklenmesi gerçek zamanlı bir üç boyutlu cisim modellerinin belirlenmesine yönelik son derece hızlı ve yüksek doğruluk veren sistemler olmuştur. Bu sistemler günümüzde özellikle uzay teknolojisi üreten firmaların tek kontrol sistemlerini oluşturmaktadır. Özellikle yüksek doğruluk gerektiren bu tür sanayi içinde dijital bütünleşik sistemler en çok kullanılan en uygun sistemlerdir. Bölümümüz laboratuvarında geliştirilen bu bağımsız sistem yapı, donanım ve geliştirilen yazılım itibarı ile dünyadaki benzerlerinden farklı değildir (Şekil 3).



Şekil 3. Uzman sistem donanım ve yapı bölümü

## Yazılım

Bu sistemde fotogrametrik olarak alınan görüntülerin yönlendirilmesi ve ölçülmesi için Microsoft Visual C++ kullanılarak bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen ve PMM (Photogrammetric Measurement Machine) ismi verilen yazılım sistem içinde, ölçülen cisme ait iki kameradan da elde edilen stereoskopik görüntüler üzerinde fotogrametrik olarak resim koordinatlarının ölçülmesi, odak uzaklığı ve kontrol noktalarının üç boyutlu koordinatlarına bağlı olarak sistemde kullanılan iki kameranın dış yöneltme parametrelerinin dengeleme ile hesaplanması ve sonucun Pictran D ve B yazılımına aktarılabilmesi bir formatta dosya oluşturması esasına dayanmaktadır. Geliştirilen bu yazılımdan elde edilen dış yöneltme parametreleri Pictran D ve B yazılımında kesin değer olarak girilerek yöneltmelerin kolayca yapılması ve ölçme aşamasına süratli bir geçiş sağlanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. PMM yazılımı

Pictran yazılımı fotogrametrik olarak daha geniş bir istatistik sonuç vermekte ve yöneltme aşamasında dengeleme parametreleri için daha geniş bir kullanım sunmaktadır. Bu sebeple geliştirilen yazılım öncelikle kamera kalibrasyonu aşamasında Pictran ile test edilmiştir.

## Sonuçlar ve öneriler

Yapılan çalışmalar ve tesis edilen sistem, gerek kullandığı yöntem ve gerekse daha başka yöntemlere uygun olabilirliliği açısından otomasyon ve fotogrametrik endüstriyel ölçme konusunda

ülkemizde bir ilk oluşturmaktadır. Sistemden, kullandığı dijital çözünürlük ve elde edilen 0.06 milimetrelilik karesel ortalama hata açısından incelendiğinde bu konfigürasyon için amaçlanan sonuç elde edilmiştir. Bu sayısal sonuç A9 Analog fotogrametrik değerlendirme aletinin kalibrasyon plakası olan 10 mm aralıklı kare grid ağı içeren cam plakadaki gridlerin sistemde ölçülmesi ile elde edilmiştir. Kullandığı kameralar ve 16 mm odak uzaklıklı lensler dahil değiştirilebilir ya da yeni eklemeler yapılabilir olması sistemin esas gücünü oluşturmaktadır.

Yapılan kalibrasyon çalışması ve kullanılan kalibrasyon cismi itibari ile sistemin test sonuçları yurtdışında bulunan benzer sistemlerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırma sonucunda;

- 1.Sistem kullandığı kamera sayısına göre benzer sistemler kadar güvenli bir ağ yapısına sahiptir. Sistem güncel olan teknolojiyi kullanmakta ve değişen teknoloji ile yenilenebilme özelliğine sahiptir.
- 2.Sistem ek kamera ve konfigürasyona imkan vermektedir.
- 3.Sistem kendinden beklenen sürate ve doğruluğa sahiptir.
- 4.Sistem online bir sistem olmasına karşın, sonuçların kullanılması açısından istatistik testler yapılmadan yurt dışındaki sistemler kadar güvenilir değildir. Bunun başlıca sebebi kamera sayısıdır. Bu sebeple dengeleme sonuçları mutlaka istatistik olarak test edilmelidir.
- 5.Günümüz sanayi üretiminde kullanılan endüstriyel ölçme sistemlerinin bir kısmı online bir kısmı ise offline olarak tasarlanmaktadır. Bunun sebebi soruna en iyi ve en ucuz çözümü üretebilme amacıdır. Dolayısı ile sistem yapısı ve tasarımı her iki yöntemde de önemlidir.

Fotogrametrik açıdan bakıldığında ise doğruluğun en önemli bileşeninin resim koordinatlarının ölçülmesindeki hassasiyet olduğu açıktır. Bu dijital fotoğrafçılık teknolojisi ile birlikte resim işlenmesindeki yeni tekniklerle özellikle subpiksel metodları ile artırılan resim koordinatı presizyonunun bir sonucudur. Dijital resim işleme teknikleri açısından sistemin otomasyonu ve

doğruluğu otomatik ölçme yöntemlerinin etkinliğinin araştırılmasına da olanak vermekte ve bu konudaki ilerlemeler sistem hızını olumlu olarak etkilemektedir.

Endüstriyel olarak sistemde ölçülebilen olası hacim  $0.1 \text{ cm}^3$  ile  $35 \text{ cm}^3$  arasında değişmektedir. Bu hacim endüstride özellikle makina ve elektronik alanında optimum hacmi oluşturmaktadır.

Bunun yanı sıra endüstriyel otomasyonun gerektirdiği doğruluk sistem tarafından fazlası ile karşılanmaktadır. Sistemden elde edilen sonuçların CAD ortamına aktarılması ile üç boyutlu dizayn ve kalite kontrol çalışmasını yada modelleme ve tasarım çalışmalarını desteklemek mümkün olmaktadır.

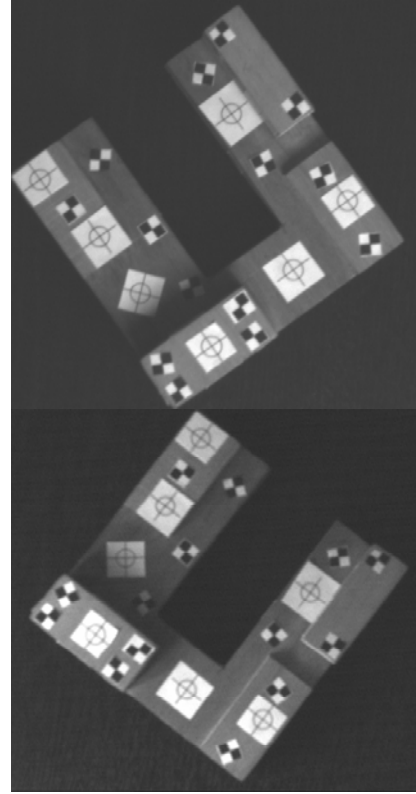
Sistemin geleceği olarak gelişen teknoloji ile birlikte yeni yöntem ve elektronik gereçlerin ilave edilmesi ile birlikte kamera sayısının artırılması sonucunda sistem hızı ve doğruluğu yüksek uzay teknolojisine hizmet verecek düzeye gelebilecektir. Tabii olarak bütün bu teknolojik gelişme önemli miktarda maddi kaynak gerektirmektedir. Sistemin kurulması ve bu seviyeye getirilmesi için bile gerekli olan miktarın az olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır (Şekil 5).



*Şekil 5. Tesis edilen sistem*

Sistem bundan sonra yapılacak çalışmalarda hem yazılım hem donanım açısından geliştirilmeye uygun bir durumdadır. Öncelikle sistem için ilk planda geliştirilmesi gerekli olan lens seçeneğinin artırılmasıdır. Modellenen ya da ölçülecek cisimlerin boyutuna bağlı olarak istenen görüntü

derinliğinin sağlanabilmesi için farklı odak uzaklıklarına sahip sabit odak uzaklıklı lensler kullanılarak sistem geliştirilmelidir. (Şekil 6)

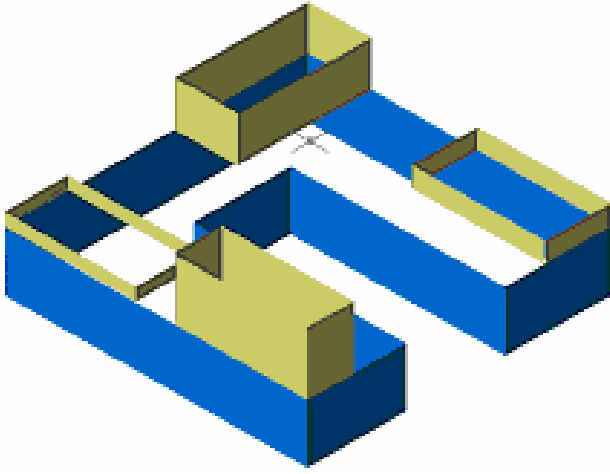


*Şekil 6. Sistemden elde edilen bir cisme ait görüntüler*

Sistem için ikinci olarak önemli bir konu da kamera sayısıdır. Sistemin kamera sayısının artırılması ile koordinat eksenleri arasındaki doğruluk birbirine daha yakın duruma gelecek ve sistemin doğruluğu homojen bir durum alacaktır. Bununla beraber ikiden çok kamera kullanılması durumunda uzaysal kesişim kontrol edilebilir ve fazla ölçü sağlanarak da kameralardan elde edilen global konumda dengeleme hesabı içerisinde bir parametre olarak eklenebilir. Sonuç olarak sistemde ikiden fazla kamera bulunması dengeleme ve görüntü sayısını arttıracak bu şekilde sistemden elde edilen doğruluk da artacaktır.

Bütün bu öneriler çerçevesinde sistem için yazılan PMM (Photogrammetric Measurement Machine) yazılımı da geliştirilmelidir. Sisteme eklenen kamera sayısı ya da lens çeşidi çerçevesinde sistem yazılımı olan PMM'nde

yeni ilavelere ihtiyacı olacaktır. Bu sistem baz alınarak geliştirilen yazılım, düşünce itibarı ile iki görüntüden daha fazla görüntüyü açarak ölçme yapabilir konuma getirilmelidir. Bununla beraber sisteme eklenen kameraların özelliğine bağlı olarak renkli görüntü ile çalışma ve renkli görüntüler için görüntü işleme tekniklerini kullanmak ve bunları geliştirmek ayrıca geliştirilen uygulamaları test etmek de mümkün olacaktır. Sistemde şimdi kullanılan otomatik ölçme ve tanıma yöntemi sekiz bitlik siyah beyaz görüntüler için geliştirilmiştir. Bunun sebebi sistemde kullanılan Basler A302fs kameralarının bu özellikte dijital görüntü elde etmeleridir (Şekil 7).



Şekil 7. Sistemde ölçülen cismin CAD çizimi

Sistemin değişen teknolojiye göre geliştirilmesi esasen bilimsel çalışmalar için önem taşımaktadır. Bu sebeple sistem için gerekli olan değişen teknoloji itibarı ile yeni kamera donanımlarının sisteme eklenmesini sağlamak ve geliştirilen bilgisayar programını bu yeni donanım ile sorunsuz çalışacak şekilde yenilemektir.

## Kaynaklar

- Orun, A. B., (1998). *Real-time photogrammetrical surface based object recognition and automatic archiving system*, ASPRS-RTI Annual Conference, March 30- April 3, Tampa Conventional Center, Tampa-Florida, US.
- Childers, B. A., Snow, W. L., Jones, S. B., Franke, J. M., Shortis, M. R., (1994). *Support of wake vortex detection research in flight and wind tunnel testing using videometric techniques*, Commission V Symposium on Close Range Techniques and Machine Vision, Fryer J. G. and Shortis M. R. (eds), 30: 41-46. Melbourne: ISPRS.
- Childers, B. A., Snow, W. L., Shortis, M. R., (1994). *Videometric system using VITC for computer-aided image management*, Videometrics III, SPIE, 2350: 93-98. Boston: SPIE.
- Fraser, C. S., (1994). *Large Scale Mapping from Small Format Imagery*, Commission V Symposium on Close Range Techniques and Machine Vision, Fryer JG and Shortis MR (eds), 30: 332-337. Melbourne: ISPRS.
- Fraser C. S., Shortis, M. R. (1994). *Industrial inspection using a still video camera*, Resource Technology '94, Bishop ID (ed), 362-375. Melbourne: Centre for Geographic Information Systems and Modelling.
- El-Sheimy N. ve Schwarz K. P., (1995). *A Unified Approach to Multi-sensor Integration in Photogrammetry*, Invited paper, ISPRS Joint Workshop on Integrated Acquisition and Interpretation of Photogrammetric Data, November 8-10, 1995, Stuttgart, Germany.
- Atkinson K. B., (1996). *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*, Whittles Pub.
- Suthau, T., More, J., Wiedemann, A., Franzen, J. (2001). *Close Range Photogrammetry with CCD Cameras and Matching Methods Applied To The Fracture Surface Of An Iron Bolt*, IV. International Symposium, Turkish-German Joint Geodetic Days, Volume I page 439, Berlin.
- Ergün, B., (1999). *Üç Boyutlu Otomobil Yüzeyinin Dijital Fotogrametrik Yöntemle Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.