

3D NESNE MODELLEMeye YÖNELİK LAZERLİ BİR TARAYICI SİSTEMİN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Erkan BEŞDOK¹

Bilal KASAP²

¹Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi ve Bilgisayar Müh. ABD, Fen Bilimleri Enstitüsü

Erciyes Üniversitesi, 38000, Melikgazi, Kayseri

²Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Öğrencisi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Erciyes Üniversitesi, 38000, Melikgazi, Kayseri

¹e-posta: ebesdok@erciyes.edu.tr

²e-posta: bilalkasap@yahoo.com

Anahtar sözcükler: Kamera kalibrasyonu, lazer tarayıcı, mdl, dlt, 3 boyutlu model

ABSTRACT

In this paper, a simple 3D acquisition system has been designed and realized. The proposed system is useful for 3D optic-tracing of objects for preparation of model animation in computer vision with a small budget. Extensive simulations show that the proposed system supplies acceptable accuracy even if web-cams are used for 3D-capture as in this paper.

1. GİRİŞ

Gelişen teknolojiye bağlı olarak birçok uygulamada nesnelere ait üç boyutlu dijital modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda çok hızlı ilerleyen bilgisayarla görme ve 3 boyutlu bilgisayar grafiği araştırma alanlarının da yardımı ile yeni model üretim yöntemleri ortaya çıkmaya başlamıştır. Nesnelere ait üç boyutlu modeller; tasarım programları, aktif tarama yöntemleri ve pasif tarama yöntemleri kullanılarak oluşturulabilmektedir. 3D Studio Max, vb... tasarım programları kullanılarak üç boyutlu modeller oluşturmak uzun zamanlı uzman bir çalışma gerektirmektedir. Ayrıca nesnelerin geometrik yapısındaki karmaşıklık, tasarım programları kullanılarak üç boyutlu modeller oluşturmayı zorlaştırmaktadır [1,2]. Pasif tarama yöntemlerinde sadece nesne görüntüleri kullanılarak üç boyutlu modeller oluşturulmaktadır [3,4]. Aktif tarama yöntemi ise, nesne üzerine yansıtılan tarayıcı işaretlerden üç boyut bilgisinin çıkartılması esasına dayanmaktadır [5].

Bu çalışmada nesnelerin 2 boyutlu imgelerinden noktalar kümesinden oluşan 3 boyutlu modellerinin oluşturulması için lazer pointer ve 2 web kamera kullanan 3 boyutlu lazer tarayıcı sistemi geliştirilmiştir.

2. KAMERA KALİBRASYONU

Nesnelere ait 3 boyutlu modellerin oluşturulabilmesi için; 3 boyutlu (X,Y,Z) dünya koordinat sistemi ile 2 boyutlu (u,v) resim düzlemi arasındaki transformasyonu tanımlayan kamera kalibrasyonu yapılmalıdır. Kalibrasyon, ölçülen büyüklüğün gerçek değeri ile onu ölçen cihazın verdiği sonuç arasındaki ilişkiyi bulma işlemidir [6,7].

Kamera kalibrasyon işleminde 2 boyutlu resim düzlemi ile 3 boyutlu dünya koordinat sistemi arasındaki ilişki modellenerek kameralara ait parametreler hesaplanır. Bu ilişki modeline uygun, 3 boyutlu koordinat değerleri bilinen ve 12 kontrol noktasından oluşan kamera kalibrasyon paterni ve Değiştirilmiş Direkt Lineer Transformasyon (MDLT) metodu kullanılarak kameraları tanımlayan 11 kamera kalibrasyon parametreleri hesaplanır. MDLT; temel olarak Direkt Lineer Transformasyon (DLT) metodunu dikkate alan ve DLT metoduna lineer olmayan sınırlama eklenmesi sonucu oluşan bir kamera kalibrasyon metodudur. DLT metodu ise, resim düzlemi ile dünya koordinat sistemi arasındaki transformasyonu tanımlamaktadır [7,8,9]. Temel DLT eşitliği (1) ifadesinde verilmektedir.

$$u = \frac{L_1x + L_2y + L_3z + L_4}{L_9x + L_{10}y + L_{11}z + 1}, \quad (1)$$

$$v = \frac{L_5x + L_6y + L_7z + L_8}{L_9x + L_{10}y + L_{11}z + 1}$$

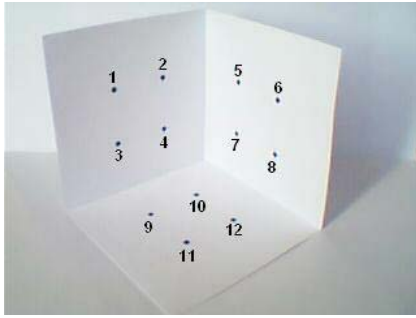
Temel DLT eşitliğini matrisel formda (2) ifadesinde gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_1x_1 & -u_1y_1 & -u_1z_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & z_1 & 1 & -v_1x_1 & -v_1y_1 & -v_1z_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_n & z_n & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_nx_n & -u_ny_n & -u_nz_n \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_n & y_n & z_n & 1 & -v_nx_n & -v_ny_n & -v_nz_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ L_{10} \\ L_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \vdots \\ u_n \\ v_n \end{bmatrix}$$

Burada;

x,y,z : 3 boyutlu dünya koordinat değerleri,
 u,v : 2 boyutlu resim düzlemi koordinat değerleri,
 $L_1,..L_{11}$: Kamera kalibrasyon parametreleridir.

Kamera parametrelerinin hesaplanabilmesi için 2 boyutlu resim düzlemi ile 3 boyutlu dünya koordinat sistemi arasındaki ilişkiyi tanımlayan ve 3 boyutlu koordinat değerleri bilinen bir kamera kalibrasyon paterni tasarlanmalıdır.



Şekil 1. Kamera Kalibrasyon Paterni ve Kontrol Noktaları

Tasarlanan paterne ait 3 boyutlu koordinat değerleri Tablo 1 de verilmiştir.

Kontrol No	X(cm)	Y(cm)	Z(cm)
1	0	6	6
2	0	3	6
3	0	6	3
4	0	3	3
5	3	0	6
6	6	0	6
7	3	0	3
8	6	0	3
9	3	6	0
10	3	3	0
11	6	6	0
12	6	3	0

Tablo 1. Kontrol Noktalarının 3 Boyutlu Koordinat Değerleri

Tasarlanacak kamera kalibrasyon paterninin kontrol noktası sayısı temel DLT eşitliği dikkate alınarak bulunabilir. Temel DLT eşitliği kullanılarak

hesaplanmak istenen 11 DLT parametresinin($L_1..L_{11}$) bulunabilmesi için minimum 12 eşitlik gereklidir. (1) ifadesindeki temel DLT eşitliği kullanılarak kamera kalibrasyon paternindeki her bir kontrol noktası için 2 eşitlik elde edilmektedir. 12 eşitliğin elde edilebilmesi için minimum 6 kontrol noktası gereklidir. Kontrol noktalarının sayısının artırılması ve tüm yüzeylere dengeli olarak dağıtılması kalibrasyon performansı açısından önemlidir [8]. Bunun için 12 kontrol noktası kullanılmıştır. Tasarlanan kamera kalibrasyon paterni Şekil 1 de görüldüğü gibidir.

(2) Kamera kalibrasyon paterni kullanılarak, 2 web kamera (Apache AWC 550) için ayrı ayrı yakalanan 640x480 piksel boyutlu görüntülerdeki kontrol noktaları resim düzlemi koordinat değerleri Tablo 2'deki gibidir.

Kontrol No	KAMERA 1' den elde edilen görüntüdeki koordinat değerleri		KAMERA 2'den elde edilen görüntüdeki koordinat değerleri	
	U	V	U	V
1	224	277	136	319
2	247	261	168	304
3	226	319	141	359
4	247	302	173	344
5	307	254	231	297
6	346	261	262	307
7	306	294	234	337
8	346	302	267	347
9	266	369	178	410
10	288	351	208	392
11	306	379	211	424
12	327	359	240	404

Tablo 2. Kontrol Noktalarının 2 Boyutlu Resim Düzlemi Koordinat Değerleri.

Kamera kalibrasyonunda amaç, 2 boyutlu resim düzlemiyle 3 boyutlu dünya koordinat sistemi arasında transformasyonu sağlayan kamera kalibrasyon parametrelerini hesaplamak ve elde edilen bu parametreleri 2 boyuttan 3 boyuta ya da tam tersi olarak 3 boyuttan 2 boyuta geçişte kullanmaktır.

3 boyutlu dünya koordinat sistemi ile 2 boyutlu resim düzlemi arasındaki ilişki (1) ifadesindeki temel DLT eşitliğinde açıkça görülmektedir. Fakat temel DLT eşitliğinde kamera imgelerinin düzeltilmesine yönelik lens distorsiyon parametreleri dikkate alınmamaktadır. MDLT metodu kullanılarak; DLT dikkate alınmayan lens distorsiyon parametrelerinden kaynaklanan hata değerleri yok edilmeye çalışılmaktadır.

MDLT metodu, DLT metoduna (3) eşitliğindeki lineer olmayan ifadenin eklenmesi sonucu oluşmuştur. (3) ifadesi 11 DLT parametresi arasındaki lineer olmayan ilişkiyi göstermektedir.

$$(L_1L_5 + L_2L_6 + L_3L_7)(L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2) = (L_1L_9 + L_2L_{10} + L_3L_{11})(L_5L_9 + L_6L_{10} + L_7L_{11}) \quad (3)$$

Lineer sistem olan DLT' ye lineer olmayan (3) ifadesi, iteratif bir yaklaşım kullanılarak eklenebilir. İteratif yaklaşım olarak (4) ifadesinde belirtilen "Newton" yöntemi kullanılmıştır.

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad (4)$$

2.1. MDLT Çözümü

İlk adımda standart DLT kullanılarak 11 DLT parametresi hesaplanır. Başlangıç çözümü olarak kullanılır.

İkinci adımda, ilk adımda elde edilen DLT parametrelerinden biri çıkartılır (genellikle L1). Ardından (3) ifadesindeki eşitlik L1 için çözülerek L1 değeri elde edilir. L1 değeri Temel DLT eşitliğinde yerine konular. Sistem 10 parametreye indirgenir. Yani, $U=f(L2-L11)$ $V=g(L2-L11)$ olur. Elde edilen sistem 10 parametre için çözülür.

Üçüncü adımda, kararlı bir çözüm kümesi elde edilene kadar ikinci adım tekrarlanır.

Yukarıda bahsedilen MDLT metodu, kamera kalibrasyon paterni ve Newton metodu kullanılarak 10 iterasyon sonucunda hesaplanan; her bir kameraya ait kamera kalibrasyon parametreleri Tablo 3 ve Tablo 4 teki gibidir.

L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆
2,87590	-12,28972	-2,17431	207,69776	-0,43096	-0,23739
L ₇	L ₈	L ₉	L ₁₀	L ₁₁	
-13,01098	297,48033	-0,01362	-0,01041	-0,00700	

Tablo 3. Kamera 1 Kalibrasyon Parametreleri

L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆
2,98607	-13,03248	-1,14638	371,57395	-0,14821	-0,78943
L ₇	L ₈	L ₉	L ₁₀	L ₁₁	
-12,33264	254,13582	-0,01456	-0,01269	-0,00509	

Tablo 4. Kamera 2 Kalibrasyon Parametreleri

Hesaplanan kamera parametreleri 2 boyutlu resim düzleminde 3 boyutlu dünya koordinat sistemine geçişte kullanılmıştır.

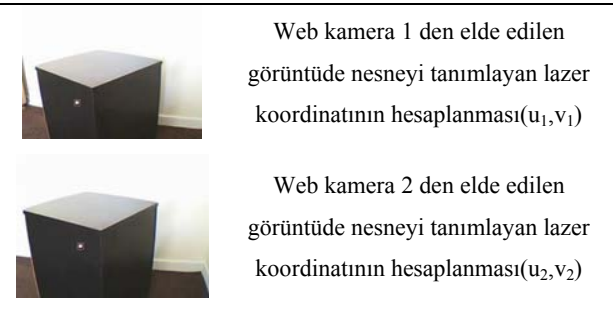
3.UYGULAMA

Uygun ışık ortamında 2 web kameranın konumları ve netlik ayarları sabitlenerek; Şekil 2 deki 3 yüzeyli nesne her iki kameranın görüş alanına yerleştirilmiştir.



Şekil 2. 3 Boyutlu Modeli Oluşturulacak Nesne

Nesneyi tanımlayan 2 boyutlu resim düzlemi koordinat listelerini oluşturmak için basit bir lazer pointer kullanılmıştır. Uygun ışık ortamında yapılan incelemelerde lazerin gerçekte kırmızı olmasına rağmen yakalanan fotoğraflarda ilgili piksel değerinin web kameraların aşırı doyuma ulaşması nedeni ile beyaz renk olduğu tespit edilmiştir. Bu özellikten faydalanılarak nesneye ait 2 boyutlu resim düzlemi koordinat değeri Şekil 3 te gösterildiği gibi hesaplanmıştır (Kullanılan kameraların distorsiyonlarının zaten aşırı değerlere sahip olmasından dolayı lazer işaretçiye ait merkez koordinatlarının elde edilmesi için gaussian analizler yapmaya gerek duyulmamıştır. Standard DLT'nin distorsiyon modellerini içermediği unutulmamalıdır. Bu çalışmada mümkün olan en az hesap yükü ve maliyetle 3D ölçümü amaçlandığından distorsiyon modelleri kullanılmamıştır.).



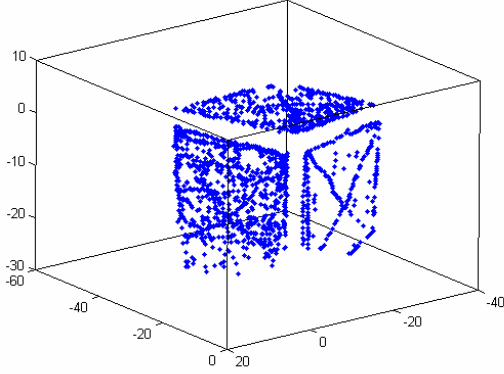
Şekil 3. Web Kameralarından alınan imgeler.

Konumları ve netlik ayarları sabitlenen kameralar kullanıp öncelikle kamera kalibrasyon işlemi yapılarak kameraları en iyi tanımlayan parametreler hesaplanmıştır. Daha sonra her iki kameranın görüş alanına yerleştirilen Şekil 2 deki nesne lazerle taranmaya başlanarak her iki kameradan eş zamanlı 640*480 piksel boyutunda saniyede 5 görüntü yakalanmıştır. Bu işleme devam edilerek nesneyi tanımlayan 2074 adet 2 boyutlu resim düzlemi koordinat değeri her bir kamera için ayrı ayrı oluşturulmuştur.

(1) ifadesinde belirtilen temel DLT eşitliği kullanılarak; 2 boyutlu resim düzlemi koordinat değerlerinden 3 boyutlu dünya koordinat sistemine geçiş için aşağıdaki matrisel ifade kullanılmıştır:

$$\begin{bmatrix} u_1 * L_9 - L_1 & u_1 * L_{10} - L_2 & u_1 * L_{11} - L_3 \\ v_1 * L_9 - L_5 & v_1 * L_{10} - L_6 & v_1 * L_{11} - L_7 \\ u_2 * L_9 - L_1 & u_2 * L_{10} - L_2 & u_2 * L_{11} - L_3 \\ v_2 * L_9 - L_5 & v_2 * L_{10} - L_6 & v_2 * L_{11} - L_7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 - L_4 \\ v_1 - L_8 \\ u_2 - L_4 \\ v_2 - L_8 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Şekil 2 deki nesneyi tanımlayan, 2074 adet (x,y,z) koordinat değerine bağlı olarak tasarlanan; noktalar kümesinden oluşmuş 3 boyutlu dijital model Şekil 4 te verilmektedir.



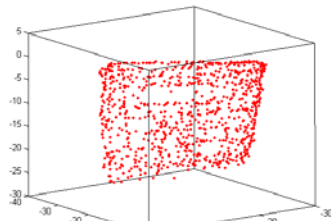
Şekil 4. Noktalar Kümesinden Oluşan 3 Boyutlu Model.

4. SİSTEM PERFORMANSI

Sistem performansının ölçülebilmesi için de Şekil 3'te belirtilen 3 yüzeyden oluşan nesnenin Şekil 5' te belirtilen bir yüzeyi lazerle taranarak bu yüzeye ait eş zamanlı 855 görüntü (Nesne kamera arası uzaklık:1,5 metre) -dolayısı ile 855 lazer işaretçi noktası-yakalanmıştır.



(a)

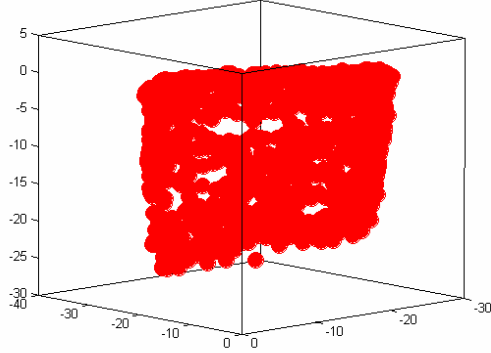


(b)

Şekil 5. (a) Sistem Performansını ölçmek için taranan düzlem ve (b) Taranan düzleme ait 3D model.

Yakalanan eş zamanlı 855 görüntüde düzlem üzerinde bulunan lazer koordinat değerleri (u_1, v_1, u_2, v_2) hesaplanmıştır. Düzlemi tanımlayan ve 855 koordinat değerinden oluşan 2 boyutlu resim düzlemi koordinat değeri listeleri de her bir kamera için ayrı ayrı oluşturulmuştur.

Şekil5-a'ya ait 3 boyutlu model Şekil 5-b'de verilmektedir.

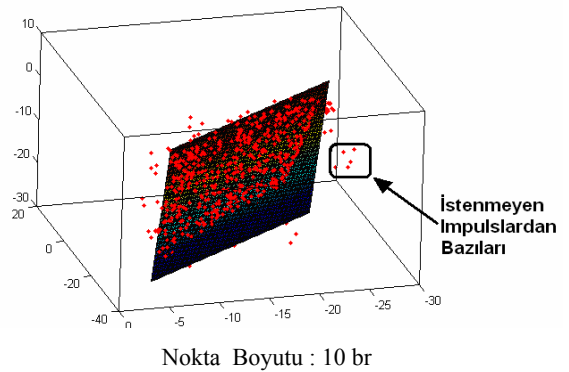


Şekil 6. Sistem Performansını Ölçmek için Taranan Düzleme Ait Noktalar Kümesinden Oluşan 3 Boyutlu Model.

Her bir koordinat değeri bir nokta belirttiği için düzlem 3 boyutlu dünya koordinat sisteminde 855 adet nokta ile ifade edilmektedir. 855 adet noktayla tanımlanan yüzeye ait ölçümler 1.5 metre uzaklıktaki kameralar yardımıyla yapılmıştır. 855 noktadan (x,y,z) oluşabilecek en iyi düzlem bulunarak her bir noktanın bu düzleme olan uzaklıklarının ortalaması alınarak sistem performansı hesaplanmıştır. 855 nokta kullanılarak hesaplanan düzlem denklemi SVD çözümü ile

$$-0.0347 * x - 0.0233 * y - 0.0074 * z - 0.9991 = 0 \quad (6)$$

olarak hesaplanmıştır. Ölçülen 3D noktalarda bazıları sistemin donanım kısıtlarından kaynaklanan nedenlerle hesaplanan (6) yüzeyinin altında veya üstünde kalan impulslara olarak algılanabilmektedir. Bu impulslar Şekil 7'de gösterilmiştir.



Nokta Boyutu : 10 br

Şekil 7. 855 Adet Noktaya Bağlı Olarak Oluşturulan Düzlemdeki İstenmeyen İmpulslar

Bahsi geçen istenmeyen impulsların nasıl giderileceğine dair; [16] nolu referans incelenip daha detaylı bilgi sahibi olunabilir. Tasarlanan sisteme ait performansın ölçülebilmesi için düzlemi oluşturan 855 adet noktanın; düzleme olan uzaklıklarının ortalaması hesaplanmalıdır. Herhangi bir noktanın düzleme olan uzaklığı (7) ifadesindeki formülle ifade edilmektedir:

$$H = \frac{|a*x + b*y + c*z + d|}{\sqrt{a*a + b*b + c*c}}, \quad (7)$$

Buna göre elde edilen uzaklıkların ortalaması 1.6106 cm'dir. Yani (6) ifadesinde belirtilen düzlem için sistemin hata oranı ± 1.6106 cm olarak hesaplanmıştır. Ölçüm yapılan mesafe 150cm olduğu için sistemin çalışmasındaki doğruluk oransal olarak %98.93'tür.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, nesne üzerine yansıtılan tarayıcı işaretlerden 3 boyut bilgisinin çıkartılması esasına dayanan aktif yöntem kullanılarak, lazerle taranan nesnelerin 2 boyutlu resim düzlemi görüntülerinden, noktalar kümesinden oluşan 3 boyutlu model oluşturan 3 boyutlu lazer tarayıcı sistemi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Yapılan deney sonucunda sistemin hata oranı ± 1.6106 cm olarak bulunmuştur. Sistemin çalışmasındaki doğruluk oranı %98.93'e tekabül etmekte olup sistemin kabul edilebilir sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir. MDLT kamera kalibrasyon metodunda, kamera imgelerinin düzeltilmesine yönelik lens distorsiyon parametreleri dikkate alınmadığından; sonuçların sayısal kaliteleri üzerindeki en önemli olumsuzluk etkisi, kullanılan web kameraların çok yüksek geometrik deformasyona sahip imgeler üretmesinden kaynaklanmaktadır.

Geliştirilen bu sistem engel tanıma tabanlı robotik navigasyon sistemlerinde kullanılabilir. Ayrıca geliştirilen sistem; 3D animasyonlar için konum yakalamaya da uygundur. (Yüz üzerinde özel noktalar yakalanarak yüz modeline mimik katılabilir).

KAYNAKLAR

- [1] Atalay V., Adem Y.M., Oğuz Ö., Ulaş Y., Otomatik Üç Boyutlu Nesne Modelleyici: İnternet Üzerinde Tanıtım ve Pazarlamada Üçüncü Boyuta Doğru, "Bilişim 2000", 2000.
- [2] Yıldırım, B.Demir, S. Ertürk, "E-Devlet için Kültür Varlıklarının 3-Boyutlu Modellenmesi ve Gösterimi" 14. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU'2006) Bildirileri Kitabı, 17-19 Nisan 2006, Antalya, TÜRKİYE, 2006.
- [3] Mulayim, A.Y., Yılmaz, U., Atalay, V., "Silhouette- Based 3D Model Reconstruction From Multiple Images", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part B, 33(4), pp. 582-591, 2003.

- [4] Kuzu, Y., Rodehorst, V., "Volumetric Modeling Using Shape From Silhouette", Fourth Turkish-German Joint Geodetic Days, Vol. 1, pp. 469-476, Berlin, 2001.
- [5] Yılmaz, U. İnternette Üçüncü Boyut ve Üç Boyutlu Model Üretimi", TMMOB EMO Dergisi, Sayı:418, 2003.
- [6] Camera Calibration Toolbox for Matlab, California Institute of Technology, CALIFORNIA, <http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib.doc>, Aug. 2005.
- [7] Visol Corporation, Kwon3d, Human and Technology Create Future, KOREA, <http://kwon3d.com/theory/dlt/dlt.html>, <http://kwon3d.com/theory/dlt/mdlt.html>, 2005.
- [8] Hatze, H., High-precision three-dimensional photogrammetric calibration and object space reconstruction using a modified DLT-approach. J. Biomechanics 21, 533-538, (1988).
- [9] Abdel-Aziz, Y.I., & Karara, H.M., Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. Proceedings of the Symposium on Close-Range Photogrammetry (pp. 1-18). Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry, (1971).
- [10] Chen, L., Armstrong, C.W., & Raftopoulos, D.D., An investigation on the accuracy of three-dimensional space reconstruction using the direct linear transformation technique. J. Biomech 27, 493-500, (1994).
- [11] Bouguet Jean-Yves, Visual Methods For Three Dimensional Modeling, Ph.D. Thesis, California Institute of Technology Pasadena, California, 1999.
- [12] The Holistic Numerical Methods Institute, Simultaneous Linear Equations, LU Decomposition, <http://numericalmethods.eng.usf.edu/index.html>.
- [13] Zhengyou Zhang, A Flexible New Technique for Camera Calibration, Senior Member, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol 22, No 11, November 2000.
- [14] Davis, J. Chen, X. "A Laser Range Scanner Designed for Minimum Calibration Complexity", Third International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM '01), pp.91, 2001.
- [15] Shapiro, R. (1978). Direct linear transformation method for three-dimensional cinematography. Res. Quart. 49, 197-205.
- [16] Çivicioğlu, P., Sayısal İmgelerdeki Dürtü Gürültüsünün Giderilmesi İçin Yeni Algoritmalar Ve Analog Devre Yapıları, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2004.