

Tek Kamera Ve Aynalar Kullanan Bir Görsel Denetleme Sistemi A Visual Inspection System Using A Single Camera And Mirrors

Şevket Gümüştekin

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Urla, İzmir
sevketgumustekin@iyte.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada bir görüntüleme sisteminin geometrik özellikleri incelenmiştir. Bu sistem farklı kameraların işlevlerini gören aynalar içermektedir. Burada geliştirilen geometri bir nesnenin görüntülerini en anlamlı bakış noktalarından alabilmemize yardımcı olur. Görüntüleme sisteminin istenen geometrisi aynaların pozisyon ve yönlerinin ayarlanması ile gerçekleştirilir. Özel bir kalibrasyon şekli görüntüsü kullanılarak yapılan kalibrasyon sonucunda bilinmeyen kamera parametreleri bulunur ve sistemin istenen geometriye ne kadar yakın olduğu konusunda bir geribesleme alınır. Kalibre edilmiş kamera ve ayna görüntüleri düzgün nesne yüzeylerinin iki boyutlu görüntülerinin oluşturulması için kullanılır. Denetlenmesi istenen nesnenin önceden belirlenen bir dış veya iç yüzeyinin aynaların yardımıyla farklı açılardan görüntülenmesinin ardından bu görüntüler düzeltilip harmanlanarak denetleme amacıyla kullanılacak olan tek bir görüntü oluşturulur. Bu şekilde, üç boyutlu nesnelerin yüzey dokularını ile birlikte denetlenmesi gibi iyi tanımlanması zor olan bir işlem iki boyutlu görüntüler üzerinde yapılacak duruma getirilerek denetleme işlemini daha iyi tanımlı ve süratle gerçekleştirilebilecek hale getirilmiştir.

Abstract

In this paper the geometrical properties of an imaging system are investigated. This system uses mirrors to simulate additional cameras. The geometry developed here helps us to capture the images of an object from meaningful viewpoint locations. The imaging system with the desired geometry is realized by adjusting the positions and orientations of mirrors. A special calibration pattern is used for the process of camera calibration which finds the unknown camera parameters and gives feedback about the degree of compliance with the desired geometry. The calibrated camera and its mirror images are used to create a 2D image of an object surface with a uniform geometry. After a pre-defined inner or outer surface of a test object is imaged from different view angles using mirrors, these images are warped and blended in a single image which is used for visual inspection. Hence, the vaguely defined process of inspecting 3D objects and their surface textures is converted to an efficient and well defined process of inspecting 2D images.

1. Giriş

Birçok sanayi dalında üretim kapasitesinin hızla artması ürünlerin kalite kontrolünde bilgisayarla görme tekniklerinden yararlanılmasını kaçınılmaz hale getirmektedir. Özellikle çok sayıda üretilen ürünlerin üretim aşamasında hızlı bir şekilde denetlenmesi hataların anında görülebilmesi verimlilik açısından son derece önemlidir. Bu şekilde hatalı ürünler ayıklandığı gibi gereken önlemler de anında alınabilir.

Uygulamada olan bilgisayarla görme sistemleri genellikle iki boyutlu görüntü işleme tekniklerine dayalıdır. Oysa birçok durumda denetlenmesi gereken ürünlerde aranan hatalar ancak üç boyutlu görme teknikleri ile saptanabilir. Söz konusu görme sistemlerinin üretim hızında ve bakım gerektirmeden uzun süre çalışabilmesi gerekir. Bu yüzden bu sistemlerde amaç yönelimli hızlı algoritmalar içeren yazılımlar ve mümkün olan en dayanıklı parçaları içeren donanımlar kullanılmaktadır.

Bu bildiride sunular sistem birden fazla kamerayı tek kamera ve aynaların kullanılmasıyla gerçekleyen ve üç boyutlu nesnelerin özelliklerini hızlı bir şekilde algılayabilen bir sistemdir. Tek kamera kullanılması sistemin donanım maliyetini azalttığı gibi kontrol parametrelerinin azalması yazılımın çalışmasını da kolaylaştırmaktadır. Bir ve iki aynanın kullanılması ile tasarlanan sistemlerin geometrik yapısı aşağıda incelenmektedir. Bu sistemin oluşturduğu görüntüler üzerindeki işlemler sonraki bölümlerde açıklanmaktadır.

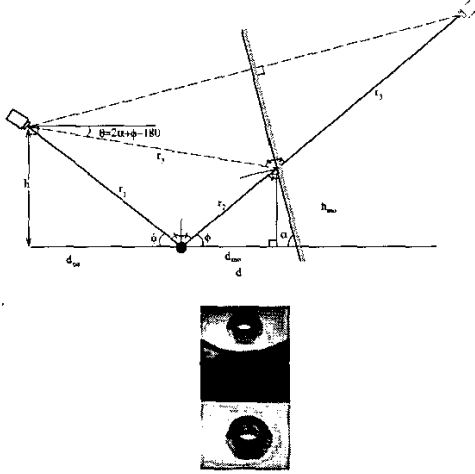
2. Görüntüleme Sistemi

Nesnelerin en uygun şekilde görüntülenmesini sağlamak için ilk aşamada yapılması gereken kamera ve aynaların üç boyutlu uzayda yerleştirilmesidir. Bu işlem iki kriter esas alınarak yapılabilir:

1. Kamera ve sanal kameraların aynı düşey açı ile nesneye bakması (bkz Şekil 1.a'daki ϕ).
2. Kamera ve sanal kameraların görüş açılarının yatay düzlemde 360° 'yi düzgün paylaşması.

Tek aynalı ve tek sanal kameralı durumda 2 nolu kriterimiz kamera, nesne ve sanal nesnenin oluşturduğu düzlem ayna düzlemine dik olacak şekilde aynanın yatay düzlemde çevrilmesiyle kolayca sağlanır.

1 nolu kriterin sağlanması için aynanın Şekil 1.a'da görüldüğü gibi α açısıyla düşey olarak çevrilmesi gerekmektedir. h , d_{co} , d_{mo} uzaklıkları bilindiğinde bu açı kolayca hesaplanabilir.



Şekil 1: (a) Görüntüleme sisteminin aynaya ve yatay düzleme dik düşey düzlemdaki iz düşümü. (b) Tek kamera ve tek ayna kullanan sistemden alınan örnek görüntü.

$$\alpha = \frac{\theta - \phi + 180^\circ}{2} \quad (1)$$

θ ve ϕ açıları Şekil 1(a) daki geometriden aşağıdaki gibi bulunur:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{h-h_{mo}}{d_{co}+d_{mo}}\right), \quad \phi = \tan^{-1}\left(\frac{h}{d_{co}}\right) \quad (2)$$

α açısı ve d uzaklığı aynanın istenen konumunu belirler.

$$h_{mo} = d_{mo} \tan(\phi) \quad (3)$$

$$d = d_{mo} + h_{mo} \cot(\alpha) \quad (4)$$

Bu geometride nesnenin sanal kameraya ve kameraya uzaklıklarının oranı iki görüntünün büyüklük oranını verir:

$$s = \frac{r_2 + r_3}{r_1} \quad (5)$$

r_1, r_2, r_3 uzaklıkları şu şekilde bulunabilir:

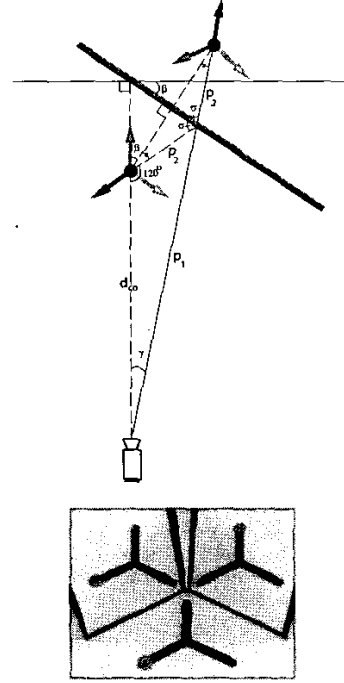
$$r_1 = \sqrt{d_{co}^2 + h^2}, \quad r_2 = \sqrt{d_{mo}^2 + h_{mo}^2}, \quad (6)$$

$$r_3 = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos(180^\circ - 2\phi)}$$

İki aynalı ve iki sanal kameralı durumda 2 nolu kriterimizin sağlanması için oluşan görüntülerin nesnenin 120° farklı açılardan alınmış görüntüleri olması gerekir. Şekil 2'de bu durumun nasıl oluştuğu görülebilir.

Şekil 2.a'ya göre gerçek görüntü ile sanal görüntünün büyüklük oranı:

$$s = \frac{p_1 + p_2}{d_{co}} \quad (7)$$



Şekil 2: (a) Tek kamera ve iki aynalı görüntüleme sisteminin yatay düzlemdaki iz düşümü. Şekilde aynalardan sadece birisi görünmektedir. Şeklin kamera-nesne ekseninde göre simetrisi diğer aynanın oluşturduğu geometriyi verir. (b) Tek kamera ve tek ayna kullanan sistemden alınan örnek görüntü.

Aynı şekil üzerinde kosinüs kuralı kullanıldığında:

$$p_1^2 = d_{co}^2 + p_2^2 + d_{co}p_2 \quad (8)$$

(7) nolu denklem şu şekilde yazılabilir:

$$sd_{co} = \sqrt{d_{co}^2 + p_2^2 + d_{co}p_2} + p_2 \quad (9)$$

Buradan,

$$p_2 = \frac{d_{co}(s^2 - 1)}{1 + 2s} \quad (10)$$

Yine kosinüs kuralının kullanılmasıyla:

$$\gamma = \cos^{-1}\left(\frac{d_{co}^2 + p_1^2 - p_2^2}{2d_{co}p_1}\right) \quad (11)$$

Aynı zamanda,

$$\begin{aligned} \gamma &= 180^\circ - (120^\circ + 180^\circ - 2\sigma) = 2\sigma - 120^\circ \\ &= 2(\beta + 30^\circ) - 120^\circ \end{aligned} \quad (12)$$

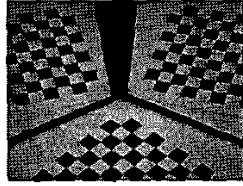
$$= 2\beta - 60^\circ$$

olduğundan aradığımız açı:

$$\beta = \frac{\gamma}{2} + 30^\circ \quad (13)$$

3. Kamera kalibrasyonu

Görüntüleme platformunun üç boyutlu uzayda iyi tanımlanmış bir şekilde konumlandırılmasına karşın, bu geometrinin (yani dış kamera parametrelerinin) elde edilen görüntülerden doğrulanması ve iç kamera parametrelerinin de belirlenebilmesi için bir kalibrasyon işlemi gereklidir. Şekil 3'te görülen grid deseni ile kaplı düzlemsel bir nesne yardımıyla gerçek ve sanal görüntüler içinde noktaların eşlenmesi yapılır. Jean-Yves Bouguet'in [1] ve [2] üzerine kurulu olan "Camera Calibration Toolbox for Matlab" yazılımı [3] yardımı ile kamera kalibrasyonu gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3: Kalibrasyon gridinin iki aynalı sistem ile görüntülenmesi.

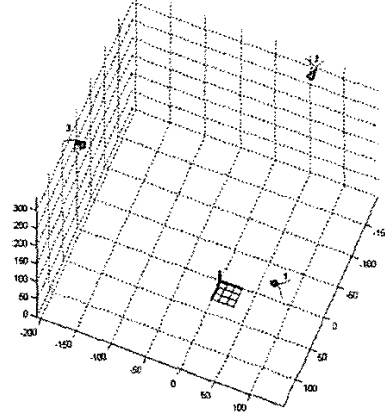
Gerçek ve sanal görüntülerinin maskelenmesi ile elde edilen görüntüler sanal görüntülerin yatay ekseninde çevrilmesinin ardından (bkz. Şekil 4) kalibrasyon işleminde kullanılır. Seçilen ve eşlenen köşe noktaları yardımıyla kalibrasyon gerçekleştirilir. Bu işlem odak uzaklığı ve çarpıtma katsayısı gibi iç kamera parametreleri ile birlikte kamera pozisyonu ile ilgili dış kamera parametrelerinin bulunmasını sağlar.



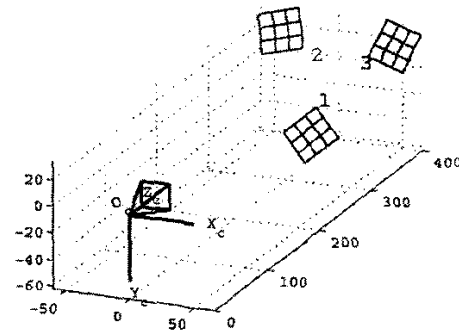
Şekil 4: Kalibrasyon gridi ve ayna etkisi giderilmiş (yatay çevrilmiş) sanal gridler üzerinde kalibrasyon şekli belirlenmesi.

Kalibrasyon sonucunda elde edilen dış kamera parametreleri üç boyutlu çevirme matrisi ve yer değiştirme vektörü şeklindedir [4][5]. Kalibrasyon şekli dünya koordinatları üzerinde sabit tutulup kameraların pozisyonları hesaplandığında Şekil 5'te canlandırılan durum elde edilir. Kamera koordinat eksenini üzerinde kalibrasyon şeklinin farklı konumları hesaplandığında ise Şekil 6'da durum gerçekleşir.

Elde edilen kamera parametreleri görüntüleme düzengesini hakkında 1. bölümde bahsedilen kriterlerden kayda değer bir sapma olduğu durumda düzengenin tekrar yapılandırılması için kullanıcıya bir geri besleme vermesi için de kullanılır.



Şekil 5: Kalibrasyon şeklinin, asıl kameranın (#1) ve sanal kameraların (#2 ve #3) dünya koordinatları üzerindeki konumu.

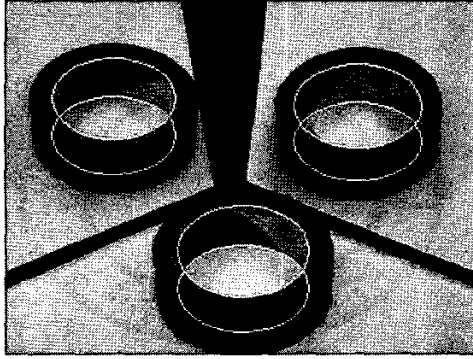


Şekil 6: Kalibrasyon şeklinin (#1) ve sanal şekillerin (#2 ve #3) kamera koordinatları üzerindeki konumları.

4. Üç boyutlu nesne yüzeylerinin denetlenmesi

Denetleme işlemi gereken durumlarda nesnelerin üç boyutlu geometrisini tümüyle elde etmek hassas ve pahalı donanım gerektiren zor bir iş olmakla birlikte birçok durumda gereksizdir. Nesnenin denetlenmesi gereken yüzeyleri doğrudan gözlemlenebilir.

Burada incelediğimiz yüzeyler ancak birden fazla kamera kullanarak tümüyle izenebilir olmasına karşın çok karmaşık geometrisi olmayan silindirik yüzeylerdir. Şekil 7'de görüldüğü gibi istenen konuma getirilen, boyutları önceden bilinen silindirik şeklindeki bir nesnenin iç yüzeyi iki aynalı görüntüleme düzeneği ile tümüyle kapsanmaktadır.



Şekil 7: İç yüzeyinin denetlenmesi planlanan bir nesnenin ve sanal görüntülerinin üç boyutlu model görüntüleri ile çakıştırılmış görünümü.

Nesnenin ve düzeltilmiş sanal görüntülerinin görünen iç yüzeyleri düzlem üzerine aktarıldıktan [6][7] sonra elde edilen görüntüler silindirin 120° kesitleri üzerinde çakıştırılır. Üst üste gelen piksellerin kendi imge uzaylarında görüntünün sınırına olan uzaklığı ile orantılı olarak ağırlıklı ortalamaları alınarak bileşik görüntü oluşturulur.



Şekil 8: Şekil 7'deki nesnenin iç yüzeyinin düzleştirilmiş görünümü

5. Sonuç ve Gelecek Çalışmalar

Üretim bantlarında hızlı bir şekilde çalışabilecek bir bilgisayarlı görme sisteminin geometrisi tasarlanmıştır. Tek bir kamera ve aynalar üzerine kurulan bu sistem düşük maliyetli olmasının yanında kontrol parametrelerinin az olmasından dolayı daha güvenilir ve bakımı kolay bir

sistemdir. Bu sistemden alınan silindirik şeklindeki nesnelerin görüntüleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Nesnenin boyutlarının ve pozisyonunun bilindiği varsayılmıştır. Bu varsayımların geçerli olmadığı durumların ve daha karmaşık geometrilerin incelenmesi ilerideki hedeflerimiz arasındadır.

6. Kaynakça

- [1] Z. Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp 1330-1334, Nov. 2000.
- [2] J. Heikkilä, O. Silven, "A Four-step Camera Calibration Procedure with Implicit Image Correction", Proc. of CVPR97.
- [3] http://www.vision.caltech.edu/bouguet/calib_doc/
- [4] E. Trucco, A. Verri. "Introductory Techniques for 3D Computer Vision", 1998, Prentice Hall .
- [5] R. Hartley, A. Zisserman. "Multiple View Geometry in Computer Vision", 2002, Cambridge Press.
- [6] W. Puech, J.M. Chassery, I. Pitas. "Cylindrical Surface Localization in Monocular Vision", pp 711-722, Pattern Recognition Letters, 1997.
- [7] W. Puech, A.G. Bors, I. Pitas, J.M. Chassery. "Projection Distortion Analysis for Flattened Image Mosaicing from Straight Uniform Generalized Cylinders", pp 1657-1670, Pattern Recognition, 2001.