

## OpenCV ile Stereo Görüntülerden Derinlik Kestirimi

Murat Olcay Özcan<sup>1</sup>, Eser Sert<sup>2</sup>, Deniz Taşkın<sup>3</sup>, Cem Taşkın<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Namık Kemal Üniversitesi, Hayrabolu Meslek Yüksekokulu, Tekirdağ

<sup>2</sup> Trakya Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Edirne

<sup>3</sup> Trakya Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Edirne

<sup>4</sup> Trakya Üniversitesi, Tunca Meslek Yüksekokulu, Edirne

moozcan@nku.edu.tr, esersert@trakya.edu.tr, deniztaskin@trakya.edu.tr, cemtaskin@trakya.edu.tr

**Özet:** İki yada daha fazla kameradan alınan görüntülerin kullanılmasıyla sahnedeki nesnelerin üç boyutlu derinliklerinin kestirimi stereo görüşün önemli konularından biridir. Bu çalışmada açık kaynaklı bir bilgisayar görü kütüphanesi olan OpenCV kullanılarak stereo görüntülerden derinlik kestirimini nasıl yapılabileceği üzerinde durulmuş, OpenCV'de tanımlı olan blok eşleme ve yarı-global blok eşleme algoritmaları kullanılması ile elde edilen derinlik kestirimi sonuçları paylaşılmıştır. Derinlik kestirimi yapılırken Middlebury stereo veri kümeleri ve Tsukuba stereo görüntüleri üzerinde çalışılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Stereo Görüş, Derinlik Kestirimi, Stereo Eşleme, OpenCV.

## Depth Estimation From Stereo Images By OpenCV

**Abstract:** 3D depth estimation of objects in a scene using two or more cameras is one of the major subjects in stereo vision. In this study, it is emphasized how to get depth estimation from stereo images using OpenCV which is an open source computer vision library, the depth estimation results are shared using block matching algorithm and semi-global block matching algorithm defined in OpenCV. During depth estimation it is studied on Middlebury stereo datasets and Tsukuba stereo images.

**Keywords:** Stereo Vision, Depth Estimation, Stereo Matching, OpenCV.

### 1. Giriş

Bilgisayarla görüş makinelerin görmesini sağlayan bilim ya da teknoloji olarak tanımlanabilir. İnsanlarda bulunan binoküler sistemin incelenmesi ile stereo görüş sistemleri modellenmiştir. Stereo görüşte iki yada daha fazla kamera ile farklı bakış açılarından alınan görüntüler kullanılarak üç boyutlu sahne çıkarımı yapılabilir [1]. Stereo görüş uygulamaları robot yöngüdümü, teleoperasyon ve sanal gerçeklik gibi bir çok alanda kullanılmaktadır [2].

OpenCV C++ dili ile geliştirilmiş, bir çok bilgisayarla görü algoritmasına sahip olan

açık kaynak kodlu bir kütüphanedir[4]. Bu çalışmada .NET altyapısı ve C# programlama dilini kullanabilmek için ayrıca C# ile yazılmış olan OpenCVSharp isimli ara kütüphane kullanılmıştır [5].

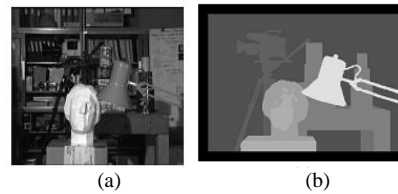
Bu çalışmanın ilk bölümünde stereo görüntülerden derinlik kestirimi hakkında bilgi verilecek, kestirim öncesi gerekli adımlar açıklanacaktır. OpenCV kütüphanesinde bulunan stereo eşleme fonksiyonları ve kullanımları açıklandıktan sonra Middlebury ve Tsukuba stereo görüntüleri kullanılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilecektir.

### 2. Stereo Eşleme ve Derinlik Kestirimi

Bir sahnenin 3 boyutlu yapısını elde edebilmek için farklı bakış açılarından çekilmiş stereo görüntülerinde görülen her noktanın uzaydaki koordinatlarının elde

edilmesi gerekir. Bir noktanın 3 boyutlu uzaydaki yerini bulmak için bir görüntü üzerindeki her bir noktanın diğer görüntü üzerindeki eşinin bulunması gereklidir. Stereo eşleme problemi aslında bir arama problemi olarak düşünülebilir [3].

Stereo eşleştirme algoritmalarının büyük bölümünün amacı genel olarak sol görüntüyü referans görüntü olarak belirleyerek, her bir piksel için bir aykırılık (disparity) kestirimi yapmaktır. Bu aykırılıklar sağ ve sol kameralarda görülen özelliklerin resim düzlemindeki koordinatları arasındaki farktır. Aykırılık kestirimleri gözlemlenen nesnelerin ters çevrilmiş uzaklıkları olarak yorumlanır [6]. Şekil 1'de Tsukuba sol kamera görüntüsü ve kesin referans verisi (ground truth data) görülmektedir. İdeal aykırılık haritası olarak ifade edebileceğimiz kesin referans verisinde açık renkli pikseller kameraya daha yakın olan nesnelere göstermektedir.



**Şekil 1.** Tsukuba stereo görüntüleri (a) sol kamera görüntüsü (b) kesin referans verisi

Bir stereo görüş sisteminin derinlik kestirimi yapabilmesi için yerine getirmesi gereken bazı adımlar vardır. Stereo eşleme yapılabilmesi için kameraların stereo kalibrasyon ve görüntülerin stereo düzeltme

(rectification) işlemlerinin de yapılmış olması gerekmektedir. Ancak kalibre edilmiş ve düzeltilmiş görüntüler üzerinde sağlıklı bir derinlik kestirimi yapılabilir.

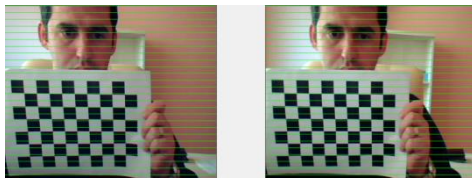
## 2.1 Stereo Kalibrasyon

Stereo görüş tekniklerinin doğrulukla uygulanabilmesi için kameraların kalibre edilmesi gerekmektedir. Gerçekte hiç bir lens mükemmel değildir ve görüntüde üretim sürecinden kaynaklanan bozulmalar meydana gelir [7].

Kameralar ölçüleri bilinen bir kalibrasyon nesnesinin farklı açılardan alınmış görüntüleri kullanılarak kalibre edilir. Kalibrasyon sonrasında elde edilen iç (intrinsic) parametreler lens bozukluklarının düzeltilmesinde kullanılır. Dış (extrinsic) parametreler ise kameralar arasında ki birbirlerine göreceli geometrik ilişkiyi göstermektedir. Stereo düzeltme işleminin ve derinlik kestiriminin gerçekleştirilebilmesi için kameralar arasındaki geometrik ilişkinin bilinmesi gereklidir.

## 2.2 Stereo Düzeltme

İki kameradan alınan görüntü düzleminin tam olarak hizalanması aykırılık değerlerini hesaplamak için gereklidir. Bu işlemden sonra iki görüntü üzerindeki satırlarının hizalanması sonucunda stereo eşleme işlemi daha gerçekçi ve hesaplanabilir olmaktadır. Satır hizalanmış görüntülerde eşleştirilecek karşılıklı piksellerin aranması işlemi 2 boyutlu bir aramadan aynı yatay çizgide tek boyutlu bir aramaya dönüşmektedir. Şekil 2'de stereo düzeltme uygulanmış iki kamera görüntüsü görülmektedir. Satır hizalama işleminin kontrolünü kolaylaştırmak maksadıyla görüntüler üzerine yatay çizgiler çekilmiştir.



Şekil 2. Stereo düzeltme uygulanmış satır-hizalı kamera görüntüleri

## 2.3 OpenCV ile Stereo Eşleme

OpenCV kütüphanesinde stereo eşleme işlemi için blok eşleme ve çizge kesme algoritmaları ayrı fonksiyonlar olarak tanımlanmıştır.

### 2.3.1 Blok Eşleme Algoritması

Blok eşleme algoritması her bir pikselin diğer görüntüde ki eşini bulmak yerine, arama işlemine komşu pikselleri de dahil ederek bir blok halinde arama yapar. Bu şekilde problemin çözüm kümesinin kısıtlanması amaçlanmıştır [9]. Referans görüntü

üzerindeki bu blok ile diğer görüntü üzerindeki blokların benzerlikleri parlaklık yoğunluğu farkı kullanılarak ölçülür.

OpenCV'de blok eşleme algoritması için *FindStereoCorrespondenceBM* (*left*, *right*, *disparity*, *state*) fonksiyonu kullanılmaktadır. Parametreler aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

- *left* : 8 bitlik sol görüntü
- *right*: sağ görüntü(sol görüntü ile aynı tip ve aynı ölçüde)
- *disparity*: aykırılık haritası çıktısı
- *state*: stereo eşleme yapısı (blok boyutu ve diğer özellikler bu nesne kullanılarak tanımlanır.)

### 2.3.2 Yarı-Global Blok Eşleme Algoritması

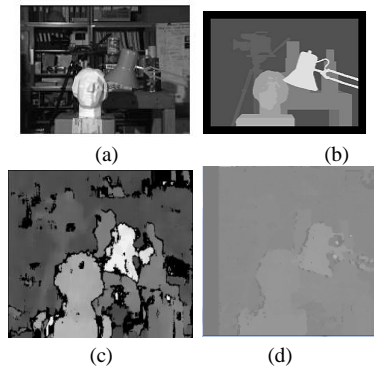
OpenCV'de tanımlanmış olan yarı-global blok eşleme algoritması H. Hirschmüller tarafından 2005 yılında tanımlanmış olan yarı global eşleme algoritması temel alınarak geliştirilmiştir [10]. Blok eşleme algoritmasında ki bazı iyileştirme işlemleri algoritmaya dahil edilmiştir.

OpenCV'de yarı-global eşleme algoritması için StereoSGBM sınıfının *FindStereoCorrespondence* (*left*, *right*, *state*) metodu kullanılmaktadır. Parametreler aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

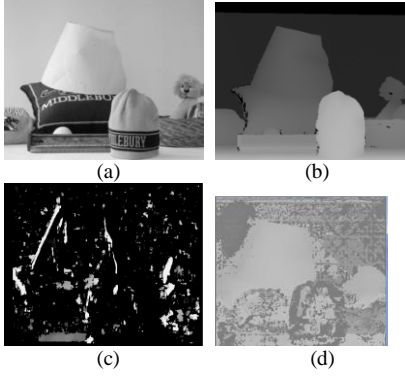
- *left* : 8 bitlik sol görüntü
- *right*: sağ görüntü(sol görüntü ile aynı tip ve aynı ölçüde)
- *state*: stereo eşleme yapısı

## 3. Deneysel Sonuçlar

Kullanılan OpenCV fonksiyonlarından blok eşleme algoritması standart kameralar için tanımlı varsayılan parametreler kullanılarak, yarı-global blok eşleme algoritması parametreleri ise bizim



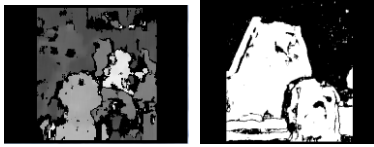
Şekil 3. Deneysel sonuçlar (a) sol kamera görüntüsü (b) kesin referans verisi (c) blok eşleme algoritması derinlik haritası (d) yarı-global blok eşleme algoritması derinlik haritası



Şekil 4. Midd2 veri kümesi[7] deneysel sonuçlar (a) sol kamera görüntüsü (b) kesin referans verisi (c) blok eşleme algoritması (d) yarı-global blok eşleme algoritması

tarafımızdan belirlendiğinde Şekil 4 ve Şekil 5'te görülmekte olan sonuçlara ulaşılmıştır. Algoritmalar kalibrasyon ve düzeltme işlemi yapılmış olan Tsukuba ve Middlebury stereo görüntüleri üzerinde çalıştırılmıştır.

Blok eşleme algoritması varsayılan parametrelerden farklı parametreler kullanılarak çalıştırıldığında ise Şekil 5'teki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5. Yeni parametreler kullanılan blok eşleme algoritması sonuçları

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada OpenCV kütüphanesi ile farklı algoritmalar kullanılarak stereo görüntülerden derinlik kestirimi yapılmıştır. Kullanılan iki algoritma arasında blok eşleme algoritması Middlebury görüntülerinde varsayılan parametreler ile yeterli başarıyı sağlayamazken, yarı-global blok eşleme algoritması iki veri setinde de kesin referans verisine daha yakın sonuçlar vermiştir. Blok eşleme algoritmasının başarımının kullanılan parametreler değerlerinden oldukça etkilendiği sonucuna varılmıştır.

Açık kaynaklı bir kütüphane olan OpenCV'nin de modern programlama dillerinin kullanımına olanak veren, bilgisayarla görü uygulamaları için kullanılabilirliği yüksek ve kolay ulaşılabilir bir kütüphane olduğu sonucuna varılmıştır.

#### 5. Kaynaklar

[1] Short N.J., "3-D Point Cloud Generation from Rigid and Flexible Stereo Vision Systems", Yüksek Lisans Tezi, Virginia Polytechnic Institute, Computer Engineering, 2009.

[2] Lipnickas A. Knys A. "A Stereovision System for 3-D Perception", Electronics and Electrical Engineering, 2009.

[3] Compan, P., Satorre, R., Rizo, R., Molina, R., "Improving Depth Estimation using Colour Information in Stereo Vision", Visualization, Imaging, and Image Processing, Eylül 2005.

[4] <http://opencv.willowgarage.com> (Erişim 10.09.2012)

[5] <http://code.google.com/p/opencvsharp> (Erişim 10.09.2012)

[6] Kack, P., "Robust stereo correspondence using graph cuts", Yüksek Lisans Tezi, School of Computer Science and Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2004.

[7] Hirschmüller, H., Scharstein, D., "Evaluation of cost functions for stereo matching", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2007), Minneapolis, Haziran 2007

[8] Bradski G., Kaehler A., "Learning OpenCV", O'Reilly Media, 2008.

[9] Candemir, S., "İstatistiksel Anlam Tabanlı Bilgisayarla Görme Uygulamaları", Doktora Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği, 2011.

[10] Bhatti, A., "Stereo Vision", Intech, 2008.