

Oran-Bozulum Güdümlü Parçalı-Düzlemsel 3B Sahne Gösterimi[†]

Rate-Distortion Guided Piecewise Planar 3D Scene Representation[‡]

Evren İmre, A. Aydın Alatan, Uğur Gdkbay*

Elektrik ve Elektronik Mühendisliğı Bölümü

ODTÜ, Ankara

*Bilgisayar Mühendisliğı Bölümü

Bilkent, Ankara

eimre@metu.edu.tr, alatan@eee.metu.edu.tr, gudukbay@cs.bilkent.edu.tr

Özetçe

Bu bildiride bir görüntü ve kestirimi arasındaki yeğinlik kestirim hatasını kullanarak, kaba bir 3B parçalı-düzlemsel gösterimi iyileştiren bir 3B parçalı-düzlemsel geri çatım algoritması önerilmiştir. Algoritma, ngrc kodlama uygulamalarında bir görüntü çiftindeki görsel artıklığı 3B sahne geometrisini kullanarak gidermeyi amaçlamaktadır. Bu yaklaşım kullanılan bit miktarını bozulumla ilişkilendirerek, belirli bir bit bütçesi için verimli bir gösterim elde edilmesini sağlar. Yapay ve gerek verilerle yapılan n deneyler, sz konusu yaklaşımın potansiyelini gstermektedir.

Abstract

This paper proposes a novel 3D piecewise planar reconstruction algorithm, which utilizes the statistical error between a particular frame and its prediction to refine a coarse 3D piecewise planar representation. The algorithm aims utilization of 3D scene geometry to remove the visual redundancy between frame pairs in any predictive coding scheme. This approach associates the rate increase with the quality of representation for determining an efficient description for a given budget. The preliminary experiments on synthetic and real data indicate the validity of the rate-distortion based approach.

1. Giriş

oklu-videolardaki grsel artıklığı giderme ve bir 3B TV bit katarının sıkıştırma oranını artırma alanlarındaki potansiyeli nedeniyle, sık 3B sahne gösterimleri 3B TV uygulamaları için oldukça önemlidir. Bu amaca ulaşmak için 3B geometrinin verimli ve doğru gösterimi esastır. Bu nedenle, oran-bozulum erevesi söz konusu problem üzerinde çalışmak için elverişli bir bağlamdır.

Bu konuda yapılan ilk çalışmalardan birinde, sık derinlik alanını kodlamak için gerekli bit miktarı ve geri atılan video

karesinin kalitesi, Markov rasgele alanı kullanılarak birlikte eniyelenmiştir [1]. Söz konusu çalışma oran-bozulum temelli yaklaşımların başarısını göstermesi açısından önemlidir. Ancak, 3B sahne gösterimi hala yeni ilerlemelere açık bir konudur.

2. Sık 3B Sahne Gösterimi

Bir sık 3B geri çatım, resimle aynı kafes üzerinde tanımlanmış bir derinlik haritasıyla (nokta-tabanlı), parametrik bir 3B yüzeyle, ya da vokseller gibi hacimsel gösterimlerle anlatılabilir. Fakat nokta ve voksellere dayanan yaklaşımlar sahnenin geometrisini dikkate almadıkları için, verimlilik açısından yetersiz kalırlar [12]. Sahne geometrisinin bilinmesi, sahneyi oluşturan noktaların daha üst seviye öğelerin yeleri olarak tanımlanmasını, böylece çok daha az artıklığa sahip bir gösterimi olanaklı kılar.

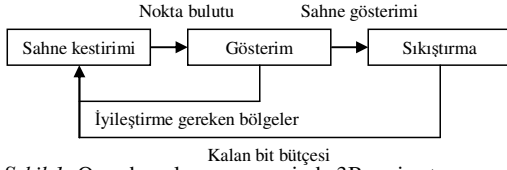
Parametrik bir 3B yüzey tanımlamak için, temel gösterim öğesinin belirlenmesi gerekir. Bu amaçla düzlemsel yamaların seçilmesi için pek çok sebep vardır. Öncelikle, pek çok insan yapısı ortam düzlemlerden oluşmuştur. Ayrıca doğal sahneler de düzlemsel yamalarla yaklaşıklandırılabilir. Düzlemler az sayıda değişkenle tanımlanabildikleri için, verimli bir gösterime elverişlidir. Son olarak, düzlemler önemli işlem gücü kazancı sağlayan pek çok özel durum yaratırlar.

Parçalı-düzlemsel gösterimler üzerine yapılan çalışmalar kabaca ikiye ayrılabilir. Birinci kategorideki yaklaşımlar düzensiz bir 3B nokta bulutuna parçalı-düzlemsel bir yüzeyin oturtulmasına dayanır. Bu yaklaşımın iyi bir rneği, 3B nokta bulutunun hücrelere bölünüp, RANSAC yardımıyla her hücredeki noktaları en iyi tanımlayan düzlemin hesaplanmasıdır [3]. Benzeri bir yöntem, sahnedeki düzlemleri saptamak için, yarattıkları homografilerin 2B nokta çifti kümeleri yardımıyla hesaplanmasıdır [2][4].

İkinci kategorideki yaklaşımların en belirgin özelliği, ğgensel örgülerin kullanımındır. Bu amaçla kullanılan en yaygın metot olan *Delaunay ğgenlemesi*, bir dğim kümesinin elemanlarını hiçbiri bir ğgenin çevrel çemberi içinde kalmayacak şekilde birleştirerek, bir ğgensel rg

[†] Bu alışma AT BTT 6. ereve Program 3B Televizyon Mükemmeliyet Ağı ve TÜBİTAK tarafından desteklenmektedir

[‡] This work is funded by EC IST 6th Framework 3D NoE and partially funded by TÜBİTAK under Career Project 104E022



Şekil 1: Oran-bozulum çerçevesinde 3B geri çatım

meydana getirir [5]. Düzensiz bir nokta bulutundaki noktalardan bu tür bir gösterim elde etmek için düğümlerin yalnızca 3B pozisyonlarından yararlanan algoritmalar mevcuttur [6]. Öte yandan, Morris ve Kanade tarafından önerilen görüntü-tabanlı-üçgenleme [7], yeşinlik bilgisinin de kullanılmasını sağlar. Bu algoritma, kenar-değişimleri kullanarak bir 2B örgüyü, sahnenin belirli bir kamera tarafından elde edilen bir görüntüsünü en iyi şekilde kestirecek biçimde değiştirir. Bu yaklaşım, örgü uzayını taramak için kenar-değişimine ilave pek çok yöntemden faydalanan bir benzetimli tavlama sürecinin kullanılmasıyla geliştirilmiştir [8]. Görünürlük kısıtı ve noktaların pozisyonlarındaki belirsizliği dikkate alan bir algoritma [10]'da sunulmuştur. Bir başka çalışmada ise, üçgenel örgü geometrinin değil, aykırılık görüntüsünün gösterimi için kullanılmıştır [9]. Bu çalışmayı diğerlerinden ayıran en önemli özellik, kaba bir örgüye yeni düğümlerin eklenmesi için kestirim hatasının en büyük olduğu yerlerin seçilmesidir.

Görüntü-tabanlı-üçgenleme metotları üçgenel örgüyü 3B düğümlerle değil, onların 2B izdüşümleriyle ördükleri için hatalı bağlantılar oluşturabilirler. Ancak, ilk kategorideki tekniklerin oluşturduğu düzensiz sınırlara sahip düzlemlerin aksine, bir Delaunay üçgenlemesinin gösterimi için sadece nokta pozisyonları yeterlidir. Ayrıca, üçgenel örgülerden görüntü elde edilmesi işlemi donanım tarafından da desteklenmektedir. Bu iki getiriden dolayı, üçgenel örgüler düzlem- oturtma metotlarına yeğlenmiştir.

Bu bildiride, bir kabadan-inceye 3B parçalı-düzlemsel geri çatım algoritması sunulmaktadır. Algoritma girdi olarak bir sahnenin iki görüntüsünü ve karşılık gelen kameraları alıp, kaba bir örgü oluşturmakta, ardından kestirim hatasını kullanarak iyileştirmeye ihtiyaç duyan bölgeleri saptayıp, buralara yeni düğümler eklemektedir.

3. Oran-Bozulum GÜdümlü Parçalı-Düzlemsel 3B Geri-Çatım

3.1. Amaç

Verimli bir parçalı-düzlemsel 3B gösterim oluşturabilmek için, geri-çatım sürecinin oran-bozulum özelliklerinin, inceden-kabaya ya da kabadan-inceye bir yaklaşım çerçevesinde dikkate alınması gerekir. Birinci yaklaşımın en önemli sakıncaları, maliyet fonksiyonun karmaşık bir yüzeye sahip olması ve işlem yüküdür. Ayrıca, kabadan-inceye yaklaşım aşamalı kodlama ve ölçeklenebilir bit katarlarına da izin vermektedir. Bu yüzden, bu çalışmada kabadan-inceye bir yaklaşım seçilmiştir. Böyle bir algoritmayı, "inceltmenin" nereye ve ne kadar uygulanacağını belirleyen kurallar tanımlar. Oran-bozulum bağlamında, yer bozulumu enazlayacak şekilde seçilir. Miktar ise, bit bütçesi tarafından sınırlanmıştır. Böyle bir sistemin işleyişi, Şekil 1'de gösterilmektedir.

Oran-bozulum ilkeleri çerçevesinde bir algoritma tasarlamak için, oran ve bozulumun tanımlanması gerekir. Bu

çalışmada, *oran*, gösterim için kullanılan nokta sayısı olarak seçilmiştir. Bu, amaca daha uygun bir nicelik olan sıkıştırılan örgünün büyüklüğüyle yakından ilintilidir ve üzerinde çalışılması daha kolaydır. *Bozulum* ölçevi için ise iki seçenek vardır. Literatürde en yaygın olarak kullanılan ölçev, belirli bir görüntü ve 3B gösterimden elde edilen kestirimi arasındaki yeşinlik hatasıdır (maksimum-sinyal-gürültü-oranı veya ortalama kare hatası). Ancak bu ölçev geometrideki hatalara çok duyarlıdır. Ayrıca, kamera pozisyonlarının yeterince doğru olarak bilinemediği durumlarda, böyle bir görüntü-tabanlı hatanın enküçüklenmesi, kameralardaki hatanın sahne geometrisindeki izdüşümsel bozulmalarla telafi edilmesine yol açar. Diğer yandan, nokta bulutundaki noktaların örgü tarafından tanımlanan yüzeye uzaklıkları yardımıyla, geometri-tabanlı bir hata ölçevi tanımlanabilir.

Burada dikkat edilmesi gereken bir konu, kameralarda hata olmaması koşuluyla, iki ölçevin enküçüklenmesinin de aynı sonucu vereceğidir. Aksi halde, görüntü-tabanlı ölçevin enküçüklenmesi hatayı geometriye, geometri-tabanlı ölçevin küçüklenmesi ise hatayı görüntüye aktarır. Bu gözlem, yeni görüntü sentezi ve görüntü kestirimi problemlerinde sıklıkla maksimum-sinyal-gürültü-oranının (PSNR) yeğlenmesini açıklar [1].

3.2. Önerilen Metot

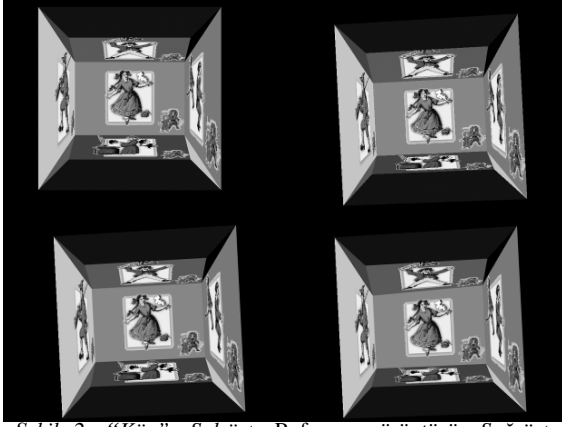
Önerilen algoritma doğru ve oran-bozulum açısından verimli bir 3B sahne geometrisi gösterimi hesaplamayı amaçlar. Bozulum, bir hedef görüntü ve referans görüntüsünden elde edilen kestiriminin yeşinlik değerlerinin arasındaki fark olarak tanımlanmıştır. Algoritmanın girdileri, sahnenin sınırlarını gösteren 4-8 düğümlü bir başlangıç örgüsü, bir referans görüntüsü, bir hedef görüntüsü, ve bunlara karşılık gelen kameralardır.

Algoritmanın ilk adımı, iyileştirme gerektiren yamanın saptanmasıdır. Bu amaçla, referans görüntüsündeki yeşinlik değerlerinin aktarılmasıyla hedef görüntünün bir kestirimi oluşturulur. Aktarım için mevcut 3B sahne gösterimindeki düzlemsel yamaların yarattığı homografiler kullanılır. Hatanın en çok olduğu bölgeye karşılık gelen yama iyileştirme için seçilir.

İzleyen adım, eklenecek olan 3B düğümün yerinin saptanmasıdır. Bunun için yamanın referans ve hedef görüntüdeki izdüşümleri bulunup, bu bölgelerdeki önemli öznitelikler *Harris köşe bulucusu* yardımıyla belirlenir. Eşleşen öznitelik çiftlerini bulmak için güdümlü eşleme kullanılır. Güdümlü eşleme, bir öznitelik diğer görüntüdeki eşinin *temel matris* tarafından belirlenen bir çizgi üzerinde olduğu bilgisinden yararlanmaktadır [13]. Temel matris, girdi olarak verilen kamera matrislerinden hesaplanabilir. Böylece, her çift için bir 3B düğüm bulunur.

Eklenecek olan düğüm, mevcut sahne gösterimine en az uyandır. Uyum, düğümlerin yamaya uzaklığıyla ölçülebilir. Ancak, bu ölçevin geometrik bir anlamının olması için ölçümlemeli kameralara gerek vardır. İzdüşümsel bir ölçev olan simetrik aktarım hatasının [13] kullanılması, bu ölçümleme gereksinimini ortadan kaldırır. Denklem 1'de tanımlanan ölçevde \mathbf{x}_1 ve \mathbf{x}_2 öznitelik çiftinin homojen koordinat vektörleri, \mathbf{H} ise düzlemsel yama tarafından yaratılan ve yamanın iki görüntüdeki izdüşümlerini ilişkilendiren homografidir.

$$d = (\mathbf{x}_1 - \mathbf{H}^{-1}\mathbf{x}_2)^2 + (\mathbf{x}_2 - \mathbf{H}\mathbf{x}_1)^2 \quad (1)$$



Şekil 2: “Küp”. Sol-üst: Referans görüntüsü. Sağ-üst: Hedef görüntü. Sol-alt: Kestirim, 4 düğüm. Sağ-alt: Kestirim, 11 düğüm.

Örgü, simetrik aktarım hatasının en büyük olduğu düğümle güncellenir. Süreç, yeğinlik kestirim hatası yakınsayana ya da bit bütçesi tükenene kadar tekrarlanır. Algoritma aşağıda verilmiştir.

Algoritma: Parçalı-Düzlemsel Geri-Çatım

Girdi: Başlangıç örgüsü, referans görüntüsü, hedef görüntü, referans ve hedef görüntü kameraları

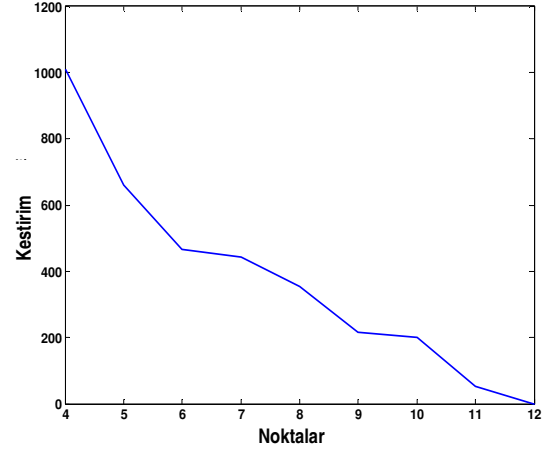
1. Kestirim hatası yakınsayana ya da bit bütçesi tükenene kadar:
2. Referans görüntüsündeki 2B noktalar hedef görüntüye taşınır ve her yama için, karşılık gelen bölgedeki yeğinlik kestirim hatası hesaplanır.
3. Görüntülerde hatanın büyük olduğu yamaya karşılık gelen bölgelerde öznelik çiftleri bulunur.
4. Her çift için simetrik aktarım hatası hesaplanır. Hatanın en büyük olduğu çifte karşılık gelen 3B nokta bulunur ve sahne gösterimine eklenir.
5. 1. adıma geri dönülür.

Algoritma görüntü-tabanlı bir hatayı enküçüklemeştir. Ancak, yeni düğümler geometrik bir hata ölçevine göre seçilmektedir. Bu yaklaşım, algoritmanın geometride yaratacağı bozulmanın miktarını sınırlamak amacıyla tercih edilmiştir.

4. Deneyler

Algoritma 3 ayrı veri üzerinde çalıştırılmıştır. Bunların ilki olan “Küp” (Şekil 2), 9 yüzey ve 12 köşeden oluşan ve kamera ile geometrinin hatasız olarak bilindiği bir veridir. Algoritma 4 noktadan oluşan bir nokta bulutundan başlayıp, kestirim hatasını enküçükleyerek tüm noktaları bulmuştur. Geri çatım süreci, Şekil 3’teki oran-bozulum eğrisinde gösterilmiştir.

İkinci veri seti, “Venus” [14] (Şekil 4) için sadece kameralar bilinmektedir. Geri çatım süreci 8 noktaya başlayıp, 40 nokta civarında hatanın neredeyse minimum olduğu noktaya ulaşmıştır (Şekil 5, 8). Görüntü üzerindeki 2B noktaların otomatik olarak belirlenmesi ve eşlenmesindeki hatalar, artık hatanın belirli bir seviyenin altına inmesini engellemiştir.



Şekil 3: “Küp” için kestirim ortalama kareler hatası- geri çatımdaki nokta sayısı eğrisi.

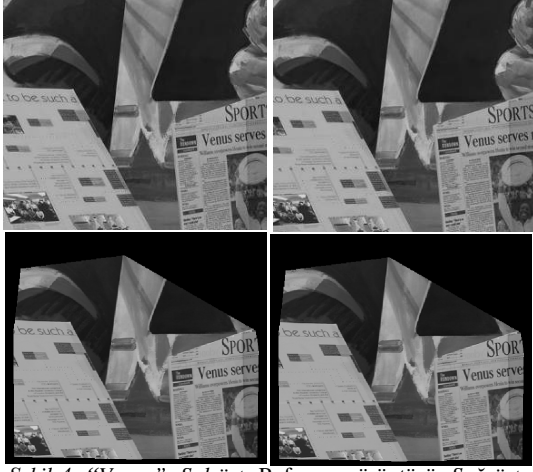
Son veri seti, “Uçurum”, televizyondan elde edilmiş bir görüntü dizisidir (Şekil 6). Kamera pozisyonları [11]’de anlatılan metotla hesaplanmıştır. 8-noktadan oluşan bir ağla başlayan süreç, 100 nokta civarında son kestirim hatasına yakınsamıştır (Şekil 7, 8). Oran-bozulum eğrisinde geometrideki ve kameralardaki hataların etkisi görülmektedir.

5. Sonuç

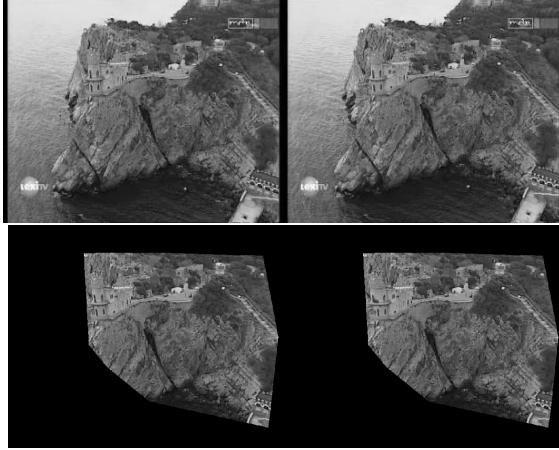
Bu bildiride bir parçalı-düzlemsel 3B geri çatım algoritması anlatılmıştır. Algoritma bir üçgenel örgüyü, yerleri kestirim hatasından yararlanılarak belirlenen düğümlerin eklenmesiyle iyileştirip, oran-bozulum bağlamında verimli bir gösterim elde etmeyi hedeflemektedir. Deneyler, algoritmanın söz konusu amaca yönelik önemli bir adım olduğunu göstermektedir. Ancak kamera ve geometrinin bilinmediği durumlarda, algoritmanın başarısı bu parametrelerin ne kadar doğru kestirildiğine bağlıdır.

6. Kaynakça

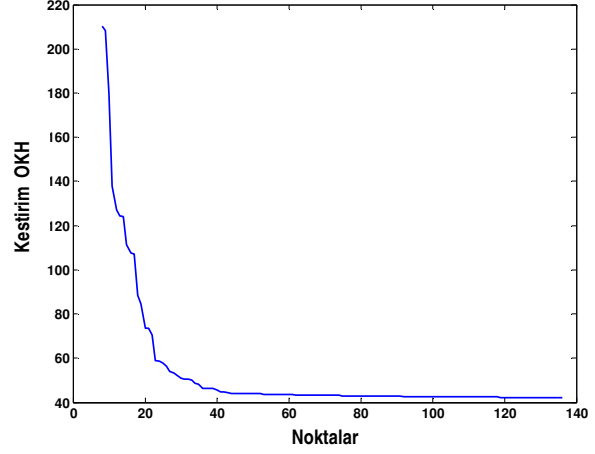
- [1] Alatan, A., Onural L., “Estimation of Depth Fields Suitable for Video Compression based on 3D Structure and Motion of Objects,” IEEE Trans. on Image Proc., vol. 5, no. 6, pp.904-908, June 1998.
- [2] Bartoli, A., Sturm, P., Horaud, R., “A Projective Framework for Structure and Motion Recovery from Two Views of a Piecewise Planar Scene”, Technical Report RR-4970, INRIA, 2000.
- [3] Schindler, K., “Spatial Subdivision for Piecewise Planar Object Reconstruction”, Proc. of SPIE and IS&T Electronic Imaging-Videometrics VIII, pp. 194-201, St. Clara, CA, 2003.
- [4] Fraundhofer, F., Schindler K., Bischof H., “Piecewise Planar Scene Reconstruction from Sparse Correspondences”, Image and Vision Computing 24(4), pp.395-406, 2006.
- [5] Musin, R., “Properties of the Delaunay Triangulation”, in Proc. of 13th Annual Symposium on Computational Geometry, pp. 424-426, 1997.
- [6] Hoppe, H., “Surface Reconstruction from Unorganized Points”, PhD. Thesis, University of Washington, Department of Computer Science and Engineering, 1994.



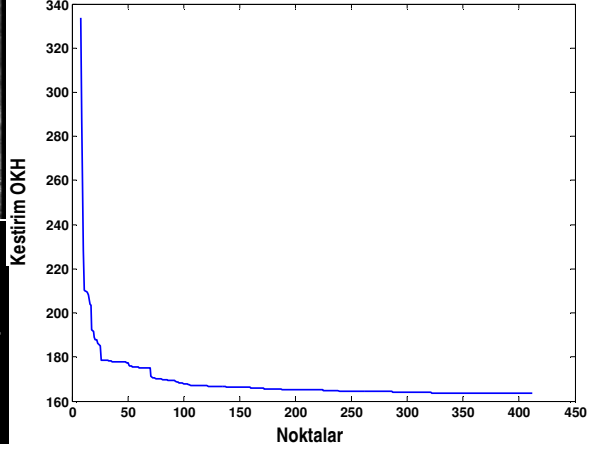
Şekil 4: “Venus”. Sol-üst: Referans görüntüsü. Sağ-üst: Hedef görüntü. Sol-alt: Kestirim, 8 düğüm. Sağ-alt: Kestirim, 40 düğüm.



Şekil 6: “Uçurum”. Sol-üst: Referans görüntüsü. Sağ-üst: Hedef görüntü. Sol-alt: Kestirim, 8 düğüm. Sağ-alt: Kestirim, 100 düğüm.

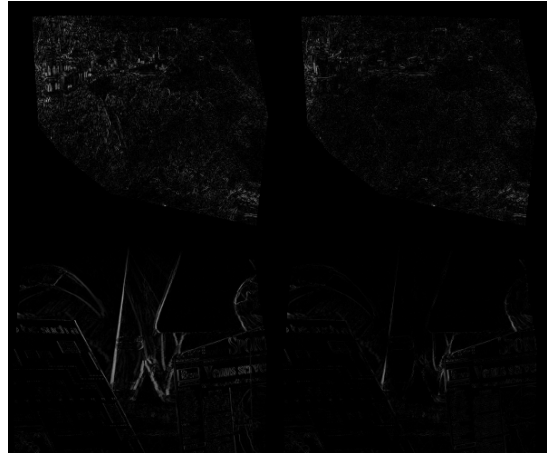


Şekil 5: “Venus” için kestirim ortalama kareler hatası- geri çatımdaki nokta sayısı eğrisi.



Şekil 7: “Uçurum” için kestirim ortalama kareler hatası- geri çatımdaki nokta sayısı eğrisi.

- [7] Morris, D. D., Kanade, T., “Image Consistent Surface Triangulation”, in Proc. of CVPR2000, pp. 332-338, 2000.
- [8] Vogiatzis, G., Torr, P., Cipolla, R., “Bayesian Stochastic Mesh Optimization for 3D Reconstruction”, in Proc. of BMVC’2003, vol.2, pp. 711-718, 2003.
- [9] Park, J. H., Park, H. W., “A Mesh Based Disparity Representation Method for View Interpolation and Stereo Image Compression”, IEEE Trans. on Image Processing, Vol.15, No.7, pp. 1751-1762, 2006.
- [10] Manassis, A., Hilton, A., McLaughlan, P., Palmer, P., “A Statistical Geometric Framework for Reconstruction of Scene Models”, Proc of BMVC’2000, vol. 1, pp. 222-231, 2000.
- [11] Imre, E., Knorr, S., Alatan, A. A., Sikora, T., ”Prioritized Sequential 3D Reconstruction in Video Sequences of Dynamic Scenes”, in Proc. of ICIP’06, pp. 1-4, 2006.
- [12] “3D Time Varying Scene Representation Technologies: A Survey”, 3DTV NoE Technical Report, 2005.
- [13] Hartley R., Zisserman A., “Multiple View Geometry in Computer Vision” ,Cambridge University Press, Cambridge, 2003



Şekil 8: Hata görüntüleri. Sol üst: “Uçurum”, ilk kestirim Sağ üst: “Uçurum”, son kestirim, Sol alt: “Venus”, ilk kestirim, Sağ alt: “Venus” son kestirim

[14] <http://cat.middlebury.edu/stereo/data.html>