

STEREO İÇİN GÜVENİLİRLİK TABANLI ÇİZGE-KESME ALGORİTMASI

RELIABILITY BASED GRAPH-CUTS ALGORITHM FOR STEREO

Ulaş Vural, Abdullah Akay, Yusuf Sinan Akgül

GYTE Bilgisayarla Görme Laboratuvarı, <http://vision.gyte.edu.tr/>

Bilgisayar Mühendisliği

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü

Gebze, Kocaeli

{ uvural, akay, akgul }@bilmuh.gyte.edu.tr

ÖZETÇE

Stereo probleminde kullanılan enerji fonksiyon modelleri hala gerçek problemi yansıtmaktan çok uzaktır. Modellerin içindeki terimler tüm resim bölgelerinde başarılı değildir ve bu terimlerin ağırlıklarını uyarlamak oldukça zordur. Problemi tam yansıtmaya çalışacak modeller ise oldukça karmaşık ve hesaplanması zordur. Basit modellerle iyi sonuçlar alabilmek için algoritmaların ve modellerin hangi bölgelerde hatalı sonuçlar verdiğinin bilinmesi önemlidir. Bu çalışmada, çizge-kesme algoritmasının çifte-ağ çatısı altında kullanılmasıyla bu önemli bilginin elde edilebileceği deneysel olarak gösterilmiştir. Geliştirilen bir algoritma ile doğru hesaplanıldığı düşünülen bölgeler güvenilir, diğer bölgeler ise güvenilir olarak işaretlenebilmektedir. Algoritma bu güvenilirlik bilgisini kullanarak yanlış hesaplanma ihtimali olan bölgelerin doğru hesaplanmış bölgeleri sapturmasını engeller. Enerji modelinin güvenilir şekilde hesaplamadığı bölgeler ise güvenilir değerler kullanılarak onarılır. Algoritma Middlebury stereo resim kümesinde ve X-ışını resimlerinde denetlenmiştir. Sonuçlar diğer algoritmalarla karşılaştırılmıştır ve elde edilen sonuçların hem temel çizge-kesme algoritmasından hem de çifte-ağ algoritmasından iyi olduğu gösterilmiştir.

ABSTRACT

Energy functions that are used in stereo problem, are still far from modeling the real world. The energy terms in the models are not successful on all image regions and it is very difficult to adjust the weights of these terms automatically. An exact model for the stereo problem will be too complex and intractable. Therefore, we need some extra information to achieve better results while using basic energy models. Knowing where a method fails is a very important information and in this paper, we show that graph-cuts based dual-mesh framework can provide this information. The proposed method can mark the reliable and unreliable parts of the image regions. It then blocks the effect of unreliable parts over the reliable parts and it repairs unreliable

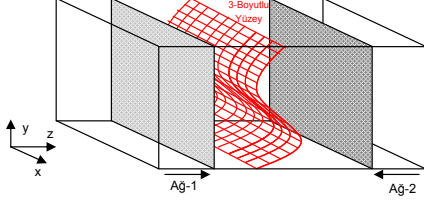
parts iteratively by using the information from reliable parts. We tested our algorithm on Middlebury image dataset and on stereo X-ray images. We compare our algorithm with the other stereo algorithms and achieve better results than the base graph-cut algorithm as well as the graph-cut based dual-mesh algorithm.

1. GİRİŞ

Nesnelerin üç boyutlu yapılarının bulunması önemli bir problemdir ve çözümü için bir çok farklı teknik geliştirilmiştir. Klasik stereo algoritmalarının kullandığı eşleme yöntemleri yerel benzerlik ölçütlerine dayandığı için iyi sonuçlar vermez [1]. Eşleme ve üç boyutlu yapıyı yeniden inşa etme adımlarını bir araya getiren modern stereo algoritmaları daha başarılı sonuçlar üretmektedir. Bununla birlikte modern algoritmaların süreçleri daha karmaşıktır ve küresel enerji fonksiyonlarının optimize edilmesini gerektirirler. Genel olarak stereo probleminin çözümü için tasarlanan fonksiyonların çözülmesi NP-Hard bir problemdir. Bu problem için geliştirilen yaklaşımsal çözümler ise başlangıç koşullarına, enerji fonksiyonlarının türüne, güdültüye ve yerel en iyi noktalara duyarlıdır.

2000'li yılların başında küresel enerji fonksiyonlarını optimize etmek için çizge-kesme tabanlı algoritmalar kullanılmaya başlanmıştır. İyi bilinen çizge teorisini [2] temel alan bu algoritmalar hızla yaygınlaşmış ve geçen zaman içinde bir çok probleme başarıyla uygulanmıştır. Elde edilen sonuçların yüksek doğrulukta olması ve algoritmaların verimli çalışmasına rağmen çizge kesme algoritmalarının bazı zayıf yönleri de mevcuttur. Çizge-kesme algoritmalarının başlangıç koşullarına bağlı olduğu ve optimizasyon sürecinin yerel en iyi noktalara takılabildiği bilinmektedir. Çizge-kesme tabanlı algoritmaları yerel en iyi noktalardan kurtarmak için kullanılan yöntemlerden bir tanesi de çifte-ağ tekniğidir [3]. Çifte-ağ tekniği, optimizasyon süreçlerinin iklendirmeye bağlılığı ortadan kaldıran bir yapı sunar [4]. Çifte-ağ çatısı, altında çalıştırılan iki farklı çizge-kesme sürecinin tek başına elde edebilecekleri enerji seviyelerinden daha kötü bir sonuç bulmayacağına garanti eder.

Çizge-kesme tabanlı çifte-ağ (ÇKTÇA) algoritması stereo probleminde temel algoritmaya oranla çok daha düşük enerji seviyelerine inmiş ve daha doğru sonuçlar üretmiştir[3]. Bununla birlikte enerji fonksiyonlarda kullanılan modellerin yetersizliği nedeniyle daha düşük enerji seviyeleri her zaman daha doğru



Şekil 1: İki farklı ağ, optimizasyon uzayının farklı uçlarından başlayarak tüm uzayı tararlar.

çözümler anlamına gelmemektedir. Bu nedenle çifte-ağ çatısı çok fazla yaygınlaşamamıştır.

Bu çalışmada öncelikli olarak çizge-kesme algoritmalarının hangi resim bölgelerini daha doğru şekilde çözebildiği incelenmiştir. Bunun için çifte-ağ çatısının detaylı deneysel bir incelemesi yapılmıştır. Çifte-ağ çatısı altında optimize edilen çizge-kesme süreçlerin ilk iterasyon sonunda kavuştuğu bölgelerde doğruluk oranlarının kavuşmayan kısımlara oranla çok daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Çalışmanın ikinci özgün yanı ise bu doğruluk bilgilerini kullanabilen bir algoritmanın oluşturulmasıdır. Yeni oluşturulan algoritma doğruluğuna güvendiği piksellerin değerlerini kullanarak yanlış olduğunu düşündüğü kısımlara en iyi sonuçları atamaktadır. Bu sayede derinlik bilgisinin yanlış olarak hesaplanma olasılığı yüksek olan piksellerin kendi komşu piksellerinin derinlik değerlerini saptırmasının önüne geçilmektedir. Geliştirilen yöntem hem temel çizge-kesme algoritmasından hem de mevcut ÇKTÇA algoritmasından çok daha başarılı sonuçlar üretmiştir. Stereo resim setlerinde yapılan deneylerle, geliştirilen algoritma test edilmiştir ve sonuçları mevcut algoritmalarla karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada stereo görüntü üretebilen bir x-ışını tabanlı bagaj görüntü sistemi kullanılarak stereo resimler elde edilmiştir. Geliştirilen yöntem bu resimler üzerinde de denenmiş ve görsel olarak iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

2. ÇIFTE-AĞ ÇATISI

Güvenilirlik tabanlı çizge kesme algoritması (GTÇKA), çifte-ağ çatısı altında çalışan çizge-kesme süreçlerinin deneysel incelenmesiyle ortaya çıkmıştır. Bu nedenle öncelikle çizge-kesme algoritmalarının çifte-ağ çatısı altındaki mevcut kullanımını açıklanacaktır. Çizge-kesme algoritmaları hakkında daha detaylı bilgi almak için [5] incelenebilir.

Çifte-ağ çatısı içinde birbirleriyle etkileşim içinde ve eşzamanlı olarak koşan iki optimizasyon süreci vardır (Şekil. 1). Bu optimizasyon süreçlerinden her biri literatürdeki yeri gereği ağ olarak tanımlanmaktadır. Çatı içindeki bir ağ yapısı, üç boyutlu uzayda yatay ve dikey olarak birbirlerine bağlı noktalar olarak tanımlanabilir. Ağ elemanlarının x ve y koordinatları resimlerin o konumlardaki piksellerini temsil ederler. Resimlerin W , H boyutunda oldukları düşünülürse her bir ağın boyutları da W , H olacaktır. Ağın z koordinatı ise derinlik bilgisini gösterir. Bu nedenle ağ elemanı uygun derinlik konumuna ulaşıp, küresel enerjiyi asgari değere çekmek için z koordinatı üzerinde hareket eder.

Ağların z koordinatı üzerinde aynı konumlara gelmesi ve aynı sonucu göstermeleri beklenir. Optimizasyon süreci içinde bir ağ yerel en iyi noktaya takılırsa ağlar aynı konuma gelmeden dururlar. Bu durumlar için klasik veri ve düzgünlük durumlarına bakan enerji fonksiyonuna ağların etkileşimi sağlayan bir enerji terimi daha eklenmiştir. Bu etkileşim terimi birbirle-

rine kavuşmamış yada birbirlerini geçmiş ağ elemanlarının aralarında bir enerji oluşturur. Bu enerjiye göre elemanlar aynı konuma gelebilmek için birbirlerini iterler ya da çekerler. M ve N optimizasyon süreçlerinin kullanıldığı bir çifte-ağ tekniğinde M ağının N ağına bağlı olarak toplam enerjisi Eşitlik-1. ile hesaplanır. Burada, m ve n ağlardaki tek bir ağ elemanını göstermektedir.

$$E_{Ag}(M, N) = \sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^H E_{Veri}(m_{ij}) + E_{Duzgunluk}(m_{ij}) + E_{Etkilesim}(m_{ij}, n_{ij}). \quad (1)$$

Veri enerjisi sağ ve sol resimde eşleşecek piksellerin aynı renk yoğunluklarına sahip olup olmadığını kontrol eder. Enerji terimini hesaplarken tek tek pikselleri karşılaştırmak yerine piksellerin belirli bir komşuluk alanı aranıp eşlenmeye çalışılır. Bu yöntemle elde edilen sonuçlar tek bir pikselin vereceği sonuçtan çok daha güvenilir olur. Veri enerjisi hesaplama yöntemi olarak yoğunluk farklarının karesi kullanılmaktadır. R ve L sağ ve sol resimleri, $R_{i,j}$ ve $L_{i,j}$ sırasıyla sağ ve sol resimlerdeki i . satır ve j . sütundaki pikselleri gösterir. Sol resimde L 'den alınan bir komşuluk penceresi sağ resim R içindeki bir s arama uzayında aranır. Stereo resim setleri üzerinde yapılan ön işlemlerle genelde s arama uzayı tek boyuta indirgenir. Eğer komşuluk penceresinin boyutu $2K \times 2K$, ve arama uzayının boyutu $2S$ olarak alınırsa her bir ağ elemanı için veri enerjisi Eşitlik-2 kullanılarak bulunur. Bu hesaplamaların hızlanması için ön-hesaplamalar yapılmaktadır.

$$E_{Veri}(m) = \sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^H \sum_{k,l=-K}^K \sum_{s=-S}^S (L_{i+k,j+l} - R_{i+s+k,j+l})^2, \quad (2)$$

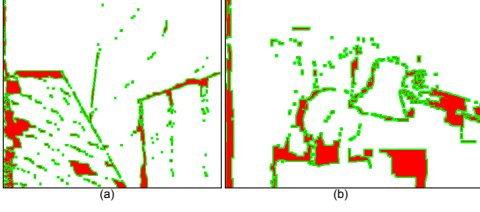
Düzgünlük terimi kullanılarak bir pikselin derinliğinin diğer komşu piksellerin derinliklerine bağımlı olması sağlanır. Bu sayede sistem gürültüye karşı daha kararlı olur. Nesne kenarlarındaki ani atlamalar ise düzgünlük terimi tarafından yumuşatılabilir. Bunu engellemek için konveks olmayan düzgünlük terimleri kullanılır. Bu terimlerin hesaplamaları oldukça maliyetlidir. Pott's tarzı düzgünlük terimi [6] ise ani fark değişimlerini korur ve hesaplama karmaşıklığı düşüktür. Bu nedenle algoritmada düzgünlük terimi olarak 4 komşuluklu Pott's tarzı düzgünlük terimi kullanılmıştır.

$$E_{Duzgunluk}(m_{ij}) = V(m_{ij}, m_{i+1j}) + V(m_{ij}, m_{ij+1}) + V(m_{ij}, m_{i-1j}) + V(m_{ij}, m_{ij-1}) \quad (3)$$

Her bir komşuluk için düzgünlük maliyeti ise aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Ağ elemanlarının düzgünlük maliyeti atadıkları derinlik değerlerine göre belirlenir. $d()$ fonksiyonu parametre olarak verilen ağ elemanının derinliğini verir.

$$V(m_{ij}, m_{kl}) = \begin{cases} 0 & d(m_{ij}) = d(m_{kl}), \\ \lambda_1 & |d(m_{ij}) - d(m_{kl})| \leq esik_1, \\ \lambda_2 & degilse. \end{cases} \quad (4)$$

Aynı derinliğe sahip iki komşu ağ elemanının birbirlerine düzgünlük cezası vermesi engellenmiş olur. Eğer iki ağ elemanının derinlik farkları belli bir eşik değerinin altındaysa daha düşük, üstündeyse daha yüksek bir düzgünlük cezası alır.



Şekil 2: (a) Venus ve (b) Tsukuba resimleri için ilk iterasyon sonundaki güven haritası. Güvenilir bölgeler beyaz, yarı-güvenilir bölgeler ise yeşil renkle gösterilmiş. Güvenilmez bölgeler kırmızıyla gösterilmiştir ve bu bölgeler genellikle süreksiz, dokusuz ve kapanma olan alanlarda görülmektedir.

$$E_{Etkilesim}(m_{ij}, n_{ij}) = \begin{cases} 0 & d(m_{ij}) = d(n_{ij}) \\ \lambda_3 & \text{degilse.} \end{cases} \quad (5)$$

Etkileşim enerjisi her zaman aktif değildir. Bu enerji sadece iki ağ birbirlerine kavuşmadan durduklarında etkin hale gelir. İki ağ ilk konfigürasyon olarak olası fark değer aralığının farklı uçlarından başlarlar. Ağlardan bir tanesi sürekli ve sıralı şekilde asgari fark değerinden azami fark değerine doğru giderken, diğer ağ ise azami fark değerinden asgari fark değerine doğru ilerler. Etkileşim enerji yüksek enerjili ağdaki kavuşmamış pikselleri düşük enerjili ağdaki değerlere çekmek için kullanılır. Böylece ağ yerel en iyi çözümden kurtarılır.

3. GÜVENİLİRLİK TABANLI ÇİZGE KESME ALGORİTMASI (GTÇKA)

Çifte-ağ çatısı ile elde edilen enerji seviyelerinin tek bir optimizasyon sürecinden daha kötü olamayacağı garanti edilmiştir ancak geliştirilen modellerin yetersizliklerinden dolayı daha düşük enerjiler her zaman daha doğru çözümlere denk gelmezler. Çifte-ağ yapısı ile optimizasyon süreçlerini daha düşük enerji değerlerine inmeye zorlamak doğru çözümlerin bozulması anlamına gelebilir. Mevcut stereo algoritmaları resimlerin her pikseline aynı enerji fonksiyonunu uygulurlar. Bunun nedeni resimdeki pikseller hakkında bilgi sahibi olunmayışıdır. Örneğin, süreksizlik olan bölgelere uygulanan düzgünlük enerjisi ani derinlik atlamalarını bozabilmekte yada kapanma olan bir bölgeyi veri enerjisi en uygun yere atamak yanlış derinlik hesaplanmasına neden olabilmektedir. Bu problemin çözümü için daha iyi modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Genel olarak modellerin iyileştirilmesi sürecinde modeller aşırı karmaşıklaşır ve optimize edilemez hale gelirler. Basitçe optimize edilebilecek iyi bir model geliştirmek stereo için her zaman mümkün değildir. Bunun için genel olarak yüzey hakkında bilgi sahibi olmak gerekir. İnsan yüzü gibi süreksizliklerin çok keskin olmadığı durumlarda konveks düzgünlük enerjileri ile iyi sonuçlar alınabilmektedir ama bir stereo algoritması için bu tür yüzeylerde çalışmak oldukça kısıtlayıcıdır. Çifte-ağ çatısı altında çizge-kesme algoritması kullanılarak yapılan çalışmalarda çatının stereo resim bölgeleri ve model hakkında bilgiler verdiği gösterilmiştir [3].

GTÇKA, çifte-ağ çatısı altındaki ağların ilk iterasyon sonunda kavuşmayan bölgelerinin kavuşan bölgelere oranları çok daha yüksek hata oranları olduğu gözlemine dayanmaktadır (Tablo. 2). Mevcut algoritmada doğruluk olasılığı hesaba katılmamaktadır. Yani, yanlış hesaplanma ihtimali yüksek olan bir piksel düzgünlük enerjisi nedeniyle doğru bir pikseli kendi

derinlik değerine doğru çekebilmektedir. Düzgünlük enerjisi $E_{Duzgunluk}$, sadece tek bir optimizasyon süreci içinde yer alsa da yanlış hesaplanan pikseller etkileşim enerjisi $E_{Etkilesim}$ aracılığıyla diğer süreçteki değerleri de bozabilmektedir. Kapanma olan bölgelerdeki düşük veri enerjisi nedeniyle toplam enerjisi düşük olan ağ diğer ağdaki doğru hesaplamaları bozmakta ve bu durum etkileşim sürdükçe daha da kötüleşmektedir.

Burada önerilen yöntem ile yanlış hesaplama olasılığı yüksek (güvenilmez) olan piksellerin değerlerinin bulunması için sadece doğru hesaplanma olasılıkları yüksek (güvenilir) olan piksellerin kullanılması sağlanmıştır. Güvenilirlik hesabı ağların kavuşma durumlarına göre belirlenmiştir. Ağların kavuşan bölgeleri güvenilir, kavuşmayan bölgeleri ise güvenilmez olarak işaretlenmiştir. En az bir komşusu güvenilir olan güvenilmez pikseller ise yarı-güvenilir olarak adlandırılmıştır. Venüs ve Tsukuba resimleri için örnek güven haritaları Şekil-2'de gösterilmiştir.

Güvenilirlik tabanlı algoritmada ilk olarak etkileşim enerjisi olmadan ÇKTÇA algoritması bir iterasyon çalıştırılır. Ağların buldukları derinlik değerleri karşılaştırılarak güven haritaları çıkartılır. ÇKTÇA algoritması için oluşturulan çizgelerde tüm pikseller için bir düğüm bulunurken, bu algoritmada güvenilmeyen bölgedeki pikseller çizgede yer almazlar. Etkileşim enerjisi aktifleştirilerek, her iki ağ tekrar çalıştırılırlar. Yarı güvenilir piksellerin tamamı kavuştuklarında güven haritası tazelenir ve yeni yarı-güvenilir pikseller için algoritma tekrarlanır. Tüm pikseller güvenilir olduğunda algoritma sonlanır.

4. DENEYLER

Geliştirilen algoritma Middlebury [9] resim setinde test edilmiştir. Sistemin gerçekleşmesinde [5] tarafından sağlanan çizge-kesme kütüphanesi kullanılmıştır. ÇKTÇA ve GTÇKA algoritmalarında temel algoritma olarak BVZ (Boykov-Veksler-Zabih) algoritması [6] kullanılmıştır. İlk olarak geliştirilen sistem diğer çizge-kesme algoritmalarıyla karşılaştırılmıştır (Tablo 1). Güvenilirlik bilgisi kullanımına dayanan basit bir yaklaşımla ve basit bir enerji formülüyle iyi sonuçlar elde edilmiştir. KZ1 (Kolmogorov-Zabih.1) [7] ve KZ2 (Kolmogorov-Zabih.2) [8] algoritmaları resimlerin stereo için problemleri olan bölgelerini modellemek için çok daha karmaşık modeller kullanmaktadır. Bu nedenle bu algoritmalarla doğrudan bir kıyas adil olmayacaktır. Özellikle Cones gibi zor bir resimde hiç bir modelleme olmadan süreksiz bölgelerdeki başarı bu algoritmalara oldukça yaklaşmıştır. Geliştirilen algoritmanın görsel sonuçları Şekil 3'de verilmiştir. Venüs resmi üzerindeki büyük delikler başarılı bir şekilde kapatılmıştır ve diğer resimlerdeki gürültülü sonuçlar büyük ölçüde giderilmiştir.

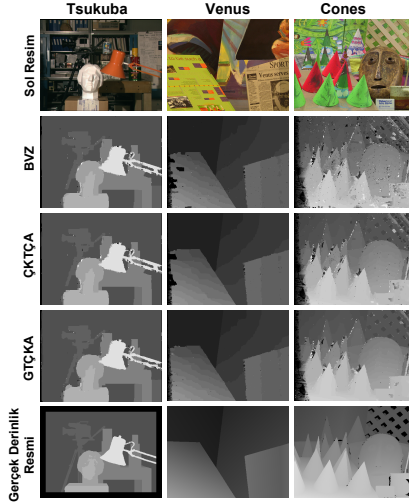
	Görünür	Tüm	Süreksiz	Yüzde
Tsukuba	0,87	1,84	4,44	81,9
Venus	0,41	0,95	2,47	86,8
Cones	2,07	5,39	4,71	59,5

Tablo 2: İlk iterasyon sonundaki güvenilir piksellerin tüm piksellere göre yüzde oranları.

Son olarak Tablo 2'de güvenilir olarak işaretlenen bölgelerin doğruluk oranları gösterilmiştir. Buradan da rahatlıkla görülebileceği gibi resimlerin %80'inden fazla bir bölümü güvenilir olarak belirtilmesine rağmen bu büyük alan-

Tablo 1: Güvenilirlik tabanlı algoritmanın diğer çizge-kesme tabanlı algoritmalarla karşılaştırılması. Tablodaki değerler bir derinlik farkından daha fazla hatayla bulunmuş piksellerin yüzdesidir (BPP).

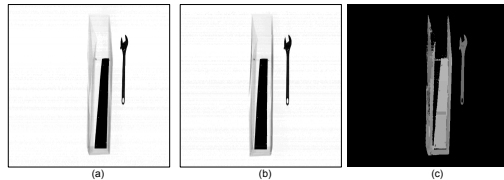
Algoritma	Tsukuba			Venus			Cones		
	Görünür	Tüm	Süreksiz	Görünür	Tüm	Süreksiz	Görünür	Tüm	Süreksiz
BVZ [6]	1,96	4,20	9,71	2,03	3,69	12,1	19,2	28,3	25,7
KZ1 [7]	1,83	2,48	6,42	1,06	1,52	5,53	5,78	12,9	13,2
KZ2 [8]	1,33	2,15	6,94	1,22	1,78	5,99	6,08	13,2	13,3
ÇKTÇA [3]	1,91	4,13	9,50	1,64	3,29	10,5	9,37	19,6	17,5
GTÇKA	1,73	3,67	8,75	1,62	3,26	11,4	6,70	17,2	14,9



Şekil 3: GTÇKA ve diğer çizge-kesme tabanlı algoritma sonuçlarının görsel karşılaştırılması.

ların hatası toplam hata içinde oldukça küçük kalmaktadır. Bu deneysel sonuç güvenilirlik mekanizmasının doğru olduğunu göstermektedir. Cones gibi temel modelle uyumsuz bir resimde güvenilir piksel oranı %60'lara kadar düşse de algoritma başarılı şekilde güvensiz kısımları hesaplayabilmiştir.

Geliştirilen algoritma x-ışını resim setinde de test edilmiştir (Şekil 4). X-ışını resim seti laboratuvarında geliştirilen x-ışını cihazı kullanılarak elde edilmiştir. İki farklı sensör setinden gelen görüntüler elle doğrultulmuştur. Bu resim setinde oldukça büyük dokusuz bölgeler bulunmaktadır ve çözülmesi zordur. Bu nedenle renk değeri 235'den büyük olan pikseller arkaalan olarak tanımlanmıştır ve bu pikseller için çizgeye düğüm eklenmesi engellenmiştir, algoritma bu piksellere otomatik olarak 0 derinlik değeri atamıştır.



Şekil 4: (a,b) X-ışını stereo resim çifti ve (c) GTÇKA kullanılarak elde edilen derinlik haritası.

5. SONUÇLAR

Stereodan derinlik elde etme problemlerinde kapanmaları, süreksizlikleri ve dokusuz bölgeleri modellemek oldukça zordur. Geliştirilen modeller gerçekten oldukça uzaktır, modeller karmaşıklıktan hesaplanabilirlikleri kaybederler. Bir modelin doğru şekilde hesaplayamadığı bölgeleri bilmek, o bölgeler için farklı yaklaşımlar geliştirilmesinin önünü açar. Burada çizge-

kesme algoritmaları kullanılarak modelin başarılı çalışmadığı bölgeler tespit edilmiştir. Geliştirilen basit bir yaklaşımla temel algoritmadan çok daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Güvenilir bölgelerdeki değerler güvensiz bölgelerin tahmin edilmesinde kullanılmış ve güvensiz bölgelerin güvenilir bölgeleri saptırmasının önüne geçilmiştir. Gerçek stereo resimleri üzerinde yapılan deneylerde süreksiz bölgelerde temel algoritmanın başarı yükseltilmiştir ve bu işlem için model karmaşıklığı artırılmamıştır. Çifte-ağ çatısı altında daha karmaşık modeller kullanılarak, o modellerin de güvenilirlik analizleri yapılabilir. Elde edilen güven bilgisi düzlem uydurmaya dayanan yeni nesil stereo algoritmaları için güvenilir girdiler sağlayabilir ve yine aynı şekilde güvenilirlik tabanlı diğer algoritmalarla birlikte kullanılabilir. Son olarak basit bir modelle başlayarak, o modelin yetersiz kaldığı yerlerde model karmaşıklığı artırılarak daha doğru sonuçlara verimli şekilde ulaşılabilecektir.

6. KAYNAKÇA

- [1] B.K.P. Horn, *Robot Vision*, The MIT Press, 1986.
- [2] Y. Boykov and V. Kolmogorov, "An experimental comparison of min-cut/max-flow algorithms for energy minimization in vision," in *EMMCVPR02*, 2002, p. 359 ff.
- [3] U. Vural and Y.S. Akgul, "A multiple graph cut based approach for stereo analysis," in *DAGM-Symposium*, 2006, pp. 677–687.
- [4] Yusuf Sinan Akgul and Chandra Kambhmettu, "Recovery and tracking of continuous 3d surfaces from stereo data using a deformable dual-mesh," in *International Conference on Computer Vision*, 1999, pp. 765–772.
- [5] V. Kolmogorov and R. Zabih, "What energy functions can be minimized via graph cuts?," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 26, no. 2, pp. 147–159, 2004.
- [6] Y. Boykov, O. Veksler, and R. Zabih, "Fast approximate energy minimization via graph cuts," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 23, no. 11, pp. 1222 – 1239, Nov 2001.
- [7] V. Kolmogorov and R. Zabih, "Multi-camera scene reconstruction via graph cuts," in *European Conference on Computer Vision*, 2002, p. III: 82 ff.
- [8] V. Kolmogorov and R. Zabih, "Computing visual correspondence with occlusions via graph cuts," in *International Conference on Computer Vision*, 2001, pp. II: 508–515.
- [9] D. Scharstein and R. Szeliski, "A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms," *International Journal of Computer Vision*, vol. 47, no. 1-3, pp. 7–42, Apr. 2002.