

Cephe dokularının tekli yersel bina görüntülerinden bölge büyütme tabanlı bir yaklaşım kullanılarak otomatik çıkarımı

Emre Sümer^{1,*}, Mustafa Türker²

¹ Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, 06810, Ankara, Türkiye

² Geomatik Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi, 06800, Ankara, Türkiye

Özet

Bu çalışmada bina cephe dokularının tekli yersel bina görüntülerinden elde edilmesini sağlayan otomatik bir yaklaşım sunulmaktadır. Doku bilgisi Watershed bölütleme kullanılarak çıkarılmakta olup bu işlem en başarılı bölütleme elde edene kadar tekrarlı olarak gerçekleştirilmektedir. Bölütleme başlatmak için işaretçi pikseller görüntünün hem ön planına (bina cephesi) hem de arka planına (gökyüzü, kaldırım, komşu binalar) otomatik olarak yerleştirilir. Geliştirilen kavram iki farklı veri kümesinde test edilmiştir. Birinci veri kümesi Ankara'nın Batıkent bölgesine ait bir yerleşim yerinden seçilen 15 dörtgenel binayı içermektedir. İkinci veri kümesi ise eTRIMS görüntü veritabanından seçilen 5 binadan oluşmakta olup bu veritabanı Avrupa'nın başlıca kentlerinden çekilmiş yüzün üzerinde binayı içermektedir. Bölütlenen cephe dokularının başarımlarını değerlendirmesi kantitatif bir ölçüm metriği ile gerçekleştirilmiştir. Her iki veri kümesi için de cephe dokusu çıkarımı ortalama %80'in üzerinde bir kantitatif doğrulukla elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar bina cephe dokularının tespiti için önerilen bu yaklaşımın umut verici olduğuna ve sanal şehirlerin otomatik üretimine doğru giden yolda önemli bir gelişme kaydedilmekte olduğunu göstermektedir.

Anahtar Sözcükler

Görüntü işleme, Cephe dokusu çıkarımı, Watershed bölütleme, Başarım değerlendirme

Abstract

An automatic region growing based approach to extract facade textures from single ground-level building images

An approach is presented for the automatic retrieval of building facade textures from single ground-level building images. The texture information is extracted using the Watershed segmentation which is carried out repetitively until the most successful segment is obtained. To initiate segmentation, the marker pixels are seeded automatically both for foreground (facade) and background (sky, pavement and neighboring buildings) regions. The proposed concept was tested on two different datasets. The first dataset contains fifteen rectilinear buildings selected from the residential area of the Batıkent district of Ankara, Turkey. The second dataset includes five buildings selected from the eTRIMS database, which contains over one hundred buildings captured in major European cities. The assessment of the segmented facade images was carried out using a quantitative evaluation metric. For both datasets, a quantitative accuracy of above 80% was achieved for facade texture extraction in average. The experimental results indicate that the proposed approach for the automatic retrieval of the facade textures is quite promising and a considerable progress has been made towards the automated construction of the virtual cities.

Keywords

Image processing, Facade texture extraction, Watershed segmentation, Accuracy assessment

Cilt: 2
Sayı: 1
Sayfa: 49 - 57
Mayıs 2013

Volume: 2
Issue: 1
Page: 49 - 57
May 2013

** Hakemli değerlendirme sürecinden geçerek, Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi'nde yayına kabul edilen ve asıl yazı dili İngilizce olan "An automatic region growing based approach to extract facade textures from single ground-level building images" başlıklı eserin Türkçe diline çevirisidir. Çeviren; Emre Sümer, Mustafa Türker

*Sorumlu Yazar: Tel: +90 (312) 2466666 Faks: +90 (312) 2466660
E-posta: esumer@baskent.edu.tr (Sümer E.), mturker@hacettepe.edu.tr (Türker M.)

© 2013 HKMO

1. Giriş

3B şehir modellemesi; araç takibi, kentsel planlama, sanal turizm, akıllı ulaşım sistemleri gibi konum tabanlı birçok uygulama için önem arz eden bir konudur. Bina cephelerinin doku ile kaplanması 3B katı şehir modellerini çerçeve gösterimine göre daha gerçekçi kılmaktadır. Fotogerçekçi dokular ise modele daha zengin bir görünüm katarak pencere, kapı ve balkon gibi yapılar için gerçekçilik seviyesini yükseltmektedir. Ancak, cephe dokularının çıkarılması heterojen bir yapıda olması nedeniyle çözümün zor bir problemidir. Bina cephe görüntüleri genellikle yersel görüntüleme sistemleri tarafından, bazen de hava fotoğrafları kullanılarak elde edilmektedir. Bunlara ek olarak, bazı doku kaplama uygulamalarında da yapay olarak üretilerek manüel bir yöntem ile bina cephelerine giydirilmektedir. Bahsedilen tüm yöntemlerin kendilerine göre bir takım eksiklikleri bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; ek görüntü ihtiyacı, otomasyon seviyesinin düşük kalması, gerçekçilikten uzak olma veya model oluşturmada zorluklar olarak sıralanabilir. Tüm bunların ötesinde kaçınılmaz olan, bina cephe dokularının gerçekçi dokuların üretilme gerekliliğidir.

Literatürde yer alan çalışmalardan birçoğu bina cephe dokularının çıkarımında yersel görüntülerden ve hava fotoğraflarından yararlanmışlardır. Bunların arasında büyük bir çoğunluk lazer tarama, görüntü dizileri veya tekli görüntüleri kullanan yersel tabanlı çalışmalardır. Daha az rastlanan bir grup çalışmada ise eğik hava fotoğraflarından yararlanılmıştır. Örneğin, Lorenz ve Döllner (2006) üst üste bindirilmiş yüksek çözünürlüklü ve tekrenkli hava fotoğraflarından cephe dokularının çıkarımını gerçekleştirmişlerdir. Önerilen yöntem, rektifiye edilmiş görüntüye dayalı olup büyük ölçekli şehir modelleri için doku kaplama işleminin başarılı bir biçimde gerçekleştirildiği belirtilmiştir. Wang vd. (2008) tarafından gerçekleştirilen diğer bir çalışmada görüntü çizgi analizi kullanılarak eğik hava fotoğraflarından otomatik doku üretimi gerçekleştirilmiştir. Yakın zamanda yapılan bir başka çalışmada ise eğik hava fotoğraflarından cephe dokularının çıkarımı sağlanırken kapanma (occlusion) problemi de çözüm üretilmeye çalışılmıştır (Rau ve Chu 2011).

Yersel görüntüler kullanılarak gerçekleştirilen bina cephe dokularının tespitinde önemli bir payı lazer tarama tekniği almaktadır. Giderek yaygınlaşmasına rağmen bu tekniğin en büyük dezavantajı hala pahalı bir teknoloji olmasıdır. Böhm (2008) tarafından önerilen bir yaklaşımda cephe detaylarının eksik doku bilgisi durumunda çıkarımı lazer tarama yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Benzer şekilde, Carlberg vd. (2008) bina cephe yüzeylerinin geri çatımını (reconstruction) ve bölütlemesini gerçekleştiren 3B nokta bulutu tabanlı genel bir çerçeve önermişlerdir. Diğer bir çalışmada ise yersel lazer tarama ile bilgi tabanlı bina cephe modellerinin geri çatımı gerçekleştirilmiştir (Pu ve Vosselman 2009). Yakın zamanda yapılan bir diğer çalışmada ise nokta bulutları kullanılarak bina cephe özniteliklerinin otomatik olarak bölütlenmesi gerçekleştirilmiştir (Martinez vd. 2012).

Bina cephe dokusu çıkarımında görüntü dizilerinin kullanıldığı birçok çalışma literatürde yer almaktadır. Görüntü dizilerinin kullanımı, veri temininin daha ekonomik olması ve esneklik bakımından önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak, farklı perspektiflerden çekilen görüntülerdeki renk değişimleri, zıtlık ve ölçek uyumsuzlukları gibi çeşitli dezavantajları da mevcuttur. Görüntü dizilerinin kullanıldığı çalışmalardan bir tanesinde kızılötesi kamera görüntüleri kullanılarak 3B bina modellerine doku kaplanması işlemi gerçekleştirilmiştir (Hoegner ve Stilla 2009). Sonrasında, Poullis ve You (2009) tarafından yapılan bir çalışmada büyük ölçekli kentsel şehir modelleri gerçekçi dokular ile oluşturulmuştur. Jang ve Jung (2009)

tarafından önerilen benzer bir çalışmada ise görüntü dizileri kullanılarak büyük ölçekli bina modellemesi gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntemin temelinde birleşme noktalarının (vanishing points) ve köşelerin tespiti yer almaktadır. Tian vd. (2010) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada da yersel görüntü dizilerinden bilgi tabanı kullanarak otomatik bir yöntemle bina cephelerinin çıkarımı sağlanmıştır. Farklı bir çalışmada ise yakın mesafeden elde edilen tekrenkli görüntü dizilerinden bina cephe dokularının otomatik olarak mozaiklenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir (Kang vd. 2010). Yakın geçmişte yapılan bir diğer çalışmada ise stereo görüntüler kullanılarak bina cephelerini etiketleyen bir yöntem geliştirilmiştir (Delmerico vd. 2011). Yöntemin literatüre katkısı, mobil platform üzerinde bina cephe dokusu bölütlemesinde düzlem geçirme tekniklerinin kullanılması olarak görülmektedir.

Yer seviyesinden çekilen tekli görüntülerin kullanımına yönelik çalışmaların da literatürde önemli bir yere sahip olduğu görülmektedir. Tekli görüntülerin en önemli özellikleri arasında düşük maliyetli olması ve düşük miktarda saklama alanına ihtiyaç duyması sıralanabilir. Bunlara ek olarak, yüksek çözünürlüklü olması nedeniyle doku bilgisi içeren bina modellerinin gösteriminde önem arz etmektedir. Ayrıca, görüntü sayısının tek olması nedeniyle doku giydirmiş işlemlerinde kolaylık sağlamaktadır. Belirtilen tüm bu avantajlara karşın en büyük dezavantajı dokunun bir obje tarafından bloke edildiği kapanma durumlarıdır. Laycock vd. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada kentsel bir bölgenin otomatik olarak üretimi ve doku çıkarımı yenilikçi bir yaklaşımla sunulmuştur. Önerilen yaklaşıma göre kendi içinde büyük farklılıklar gösteren bina cephe dokularının çıkarımı prosedürel bir yöntemle ele alınmıştır. Mohan ve Murali (2007) tarafından gerçekleştirilen bir başka çalışmada da doku kaplı düzlemsel yüzeylerin otomatik olarak modellenmesine yönelik yenilikçi bir yaklaşım önerilmiştir. Yaklaşım, tekli görüntüler üzerindeki kenar bilgisi ve renk yoğunluğunu temel almaktadır. Farklı bir çalışmada ise rektifiye edilmiş tekli cephe görüntülerinden yüksek kalitede 3B modellerin otomatik çıkarımı sağlanmıştır (Müller vd. 2007). David (2008) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada bina cephe dokuları yer seviyesinden çekilmiş tekli ve geniş görüş açılı görüntülerden tespit edilmiştir. Ripperda (2008) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise bina cephe elemanlarının tespiti tekli görüntüler ve mesafe verisi kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada gramer tabanlı bir çıkarım yöntemi kullanılmıştır. Daha güncel bir çalışmada ise bina cephe görüntülerinin bölütlenmesi, çizgi tespiti ve birleşme noktalarının bulunmasına dayalı bir yöntemle, otomatik olarak gerçekleştirilmiştir (Wan ve Li, 2011).

Bu çalışmada, yerden çekilen tekli görüntülerden bina cephe dokularının otomatik olarak çıkarımını sağlayan bir yaklaşım önerilmektedir. Önerilen yaklaşımın otomasyon seviyesi Watershed bölütleme algoritmasının tekrarlı olarak kullanımını ile yükseltilmiştir. Ayrıca, bölütleme işlemi başlatılacak işaretçi piksellerin konumlandırılması otomatik olarak yapılmaktadır. Bölütlenen cephe dokularının başarımlar değerlendirilmesi literatürde yer alan bir tekniğin mevcut yapıya uyarlanması yoluyla gerçekleştirilmiştir. Önerilen yaklaşım MATLAB programlama ortamı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2. Yöntem

Yersel bina görüntülerinden cephe dokusu çıkarımını sağlayan yöntemin özeti Şekil 1'de görülmektedir. Doku bilgisinin

otomatik olarak çıkarılması watershed bölütleme algoritması temelinde dayanan bir yaklaşımla sağlanmıştır. Bu yaklaşım bina cephe bölgesinin gökyüzü, kaldırım, yol, araba gibi arka plan objelerinden ayrıştırılmasına olanak vermektedir. Watershed bölütleme algoritmasının çıkış noktası matematiksel morfoloji olup su bilimi ve su bölümü çizgisi (watershed) çalışmaları bu yöntem için esin kaynağı olmuşlardır. Watershed bölütleme yönteminin temelleri ve çalışma prensipleri [Beucher ve Meyer \(1992\)](#) ve [Vincent ve Soille \(1991\)](#) tarafından yapılan çalışmalarda detaylı bir biçimde irdelenmektedir.

Bölütleme işlemini başlatacak işaretçi piksellerin ilk konumlarının verilmesi gerek bina bölgesi gerekse arka plan bölgesi için otomatik olarak yapılmaktadır. Bina bölgesi için işaretçi piksellerin ilk konumları görüntü çerçevesinin merkezinde yer alacak biçimde; arka plan için ise görüntü çerçevesinin kenarlarda kalacak bir şekilde belirlenmektedir. Şekil 2(a)'da bina bölgesine ait kırmızı renkli işaretçi pikseller ve arka plana ait yeşil işaretçi pikseller için başlangıç pozisyonları görülmektedir. Bu pozisyonlardan başlayarak en yakın bağlantılı bileşen bölgeleri gradyant görüntü üzerinde tekrarlamalı olarak birleştirilir. Gri seviye bir görüntünün gradyant karşılığında yüksek ve düşük piksel yoğunluklu bölgeler yer almaktadır. Yüksek yoğunluklu bölgeler su bölümü çizgilerine karşılık gelirken düşük yoğunluklu bölgeler ise su tutma havzalarına (catchment basin) karşılık gelen homojen bölgeler olup bölütlemenin başladığı bölgelerdir. Mevcut çalışmada taşırma (flood fill) algoritmasının bağlantısallığı 8 komşulu olarak tanımlanmıştır. Bölütleme işlemi tekrarlı bir biçimde ve yeni işaretçi pikselleri bir önceki adımda elde edilen bölüt içerisine gelişigüzel olarak yerleştirmek suretiyle çalışmaktadır. İşaretçi piksel sayısı (ilk konumlandırma hariç) görüntüdeki toplam piksel sayısının %1'i olarak hesaplanmaktadır. Bu durumda, 480x480 pikselden oluşan bir görüntü için işaretçi piksel sayısı 2304 (480 x 480 x 0.01) olarak hesaplanabilir.

Bölütleme sürecini bitirmek için iki aşamalı bir durma kriteri kullanılmaktadır. Birinci aşama bölütün büyüme oranının (BO) sabitlenmesi prensibine dayalı olup ikinci aşama ise bölütlemeye kullanılan maksimum tekrarlamaya sayısını (MTS) temel almaktadır. Bu kriterlerden bir tanesinin sağlanması halinde bölütleme algoritması durdurulmaktadır. Birinci aşamanın kontrol edilmesinde bina bölütünün büyüme oranı, $BO = (\text{etiketlenen bina piksel sayısı} / \text{toplam piksel sayısı})$ algoritmanın her bir tekrarı için hesaplanır. Daha sonra ardışık BO değerleri arasındaki fark hesaplanarak belirlenen bir eşik değerinin altında kalıp kalmadığına bakılır. Bu eşik değeri, Büyüme Oranı Eşiği (BOE) olarak adlandırılmakta olup bu değer altında kalınması durumunda algoritma durdurulur. Bunun anlamı, üretilen ardışık bina

bölütlerinin birbirine çok yakın olması, bir başka deyişle değişimin çok düşük olması veya hiç olmamasıdır. Eksik bölütleme (under-segmentation) problemini minimum düzeye indirmek için BOE değeri mümkün olduğunca küçük bir değer (BOE = 0.001) seçilmiştir. Yapılan testler her ne kadar seçilen değerler optimal bir değere yakın olduğunu gösterse de bazı problemlerli durumlar oluşabilmektedir. Bu durumlara örnekler aşağıda verilmektedir:

Durum-1:

BOE değerinin fazla bölütleme (over-segmentation) durumuna yol açtığı bir durumu ele alalım. Bölüt #1 için $BO = 91 / 10000 = 0.0091$ değeri olsun. Bölüt #2'nin iyi bir gelişim gösterdiğini kabul ederek BO değerinin $125 / 10000 = 0.0125$ 'e yükseldiğini kabul edelim. Hesaplanan iki oran arasındaki fark $0.0125 - 0.0091 = 0.0034$ olacaktır. Bu durumda algoritma $0.0034 > 0.0010$ (BOE) koşulu sağlandığından çalışmaya devam edecektir. Bölüt #3 için gelişimin devam ettiğini düşünelim ve BO değerinin $490 / 10000 = 0.049$ değerine ulaştığını kabul edelim. Bu durumda ardışık iki oran arasındaki fark $0.049 - 0.0125 = 0.0365$ olacaktır ve algoritma $0.0365 > 0.0010$ durumu sağlandığı için çalışmaya devam edecektir. Son aşamada bölüt #N için ($N < MTS$ olmak şartıyla) gelişimin devam ederek BO değerinin $10000 / 10000 = 1$ olduğunu kabul ettiğimizde hesaplanan tüm ardışık oranların BOE değerinden büyük olduğu durum ortaya çıkar. Bu durumda görüntünün tüm pikselleri bina bölgesi olarak etiketlenmiş olur ve fazla bölütleme durumu oluşur. Böyle bir durumda algoritmanın zamanında sonlanması için BOE değerinin daha büyük seçilmesi gerekliliği ortaya çıkar.

Durum-2:

Ele alınan başka bir durumda ise BOE değerinin eksik bölütlemeye yol açtığı senaryoyu örneklendirelim. Durum-1'in aksine bu defa BO değerlerinin çok küçük çıktığını kabul edelim. Bölüt #1 için $BO = 91 / 10000 = 0.0091$ değeri olsun. Bölüt #2'nin çok küçük bir gelişim gösterdiğini kabul ederek BO değerinin $99 / 10000 = 0.0099$ olduğunu kabul edelim. Bu durumda hesaplanan iki oran arasındaki fark $0.0099 - 0.0091 = 0.0008$ olacaktır. Hesaplanan bu değer BOE için belirlenen 0.0010 değerinden daha küçük olduğundan algoritma sonlanacaktır. Oluşabilecek bu durum, bina bölgesi için belirlenen işaretçi piksellerin lokal bir bölgeye denk gelmesi halinde meydana gelebilir. Böyle bir durumda algoritmanın devam edebilmesi için BOE değerinin daha küçük seçilmesi gerekmektedir.

Bölütleme sürecini sonlandırmada kullanılan ikinci kriter MTS değeridir. Bu değer yapılmış olan birçok denemenin sonrasında 50 olarak belirlenmiştir. Belirlenen değer algoritmanın erken yakınsama durumunu önlemede ideal bir değer olduğu düşünülmektedir. Önerilen yaklaşımın çalışma prensibi Şekil-2'de gösterilmektedir. Buna göre; Şekil 2(a)'da bina bölgesi (kırmızı) ve arka plan (yeşil) için belirlenen başlangıç işaretçi pikseller görülmektedir. Algoritmanın birinci tekrarı sonrasında oluşan bina bölgesine ait bölüt (beyaz) ve arka plan (siyah) Şekil 2(b)'de verilmektedir. Sonraki üç tekrarlama için üretilen işaretçi pikseller Şekil 2(c), 2(e) ve 2(g)'de gösterilmekte iken elde edilen bina bölütleri ise Şekil 2(d), 2(f) ve 2(h)'de verilmektedir. Yaklaşımın algoritması sözde kod olarak Ek 1'de verilmiştir. and 2(h). The pseudo-code for the implementation of the approach (extractFacadeImage) is presented in Appendix 1.

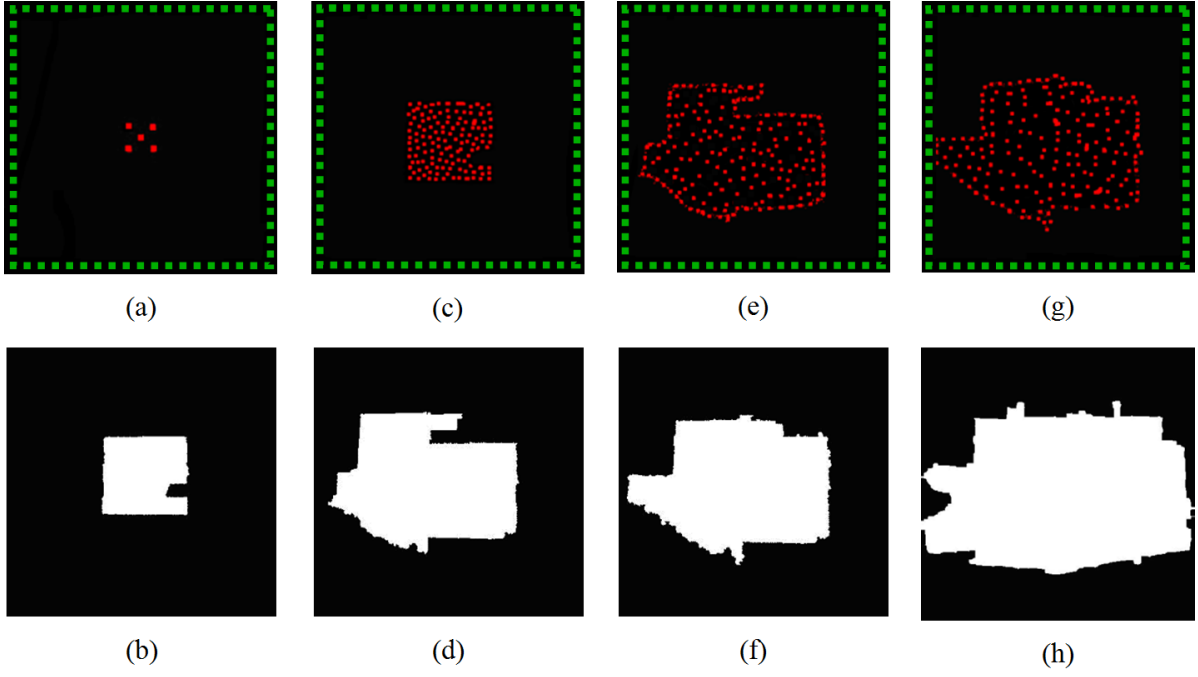
Yersel bina görüntüsü



Çıkarılan bina cephe dokusu



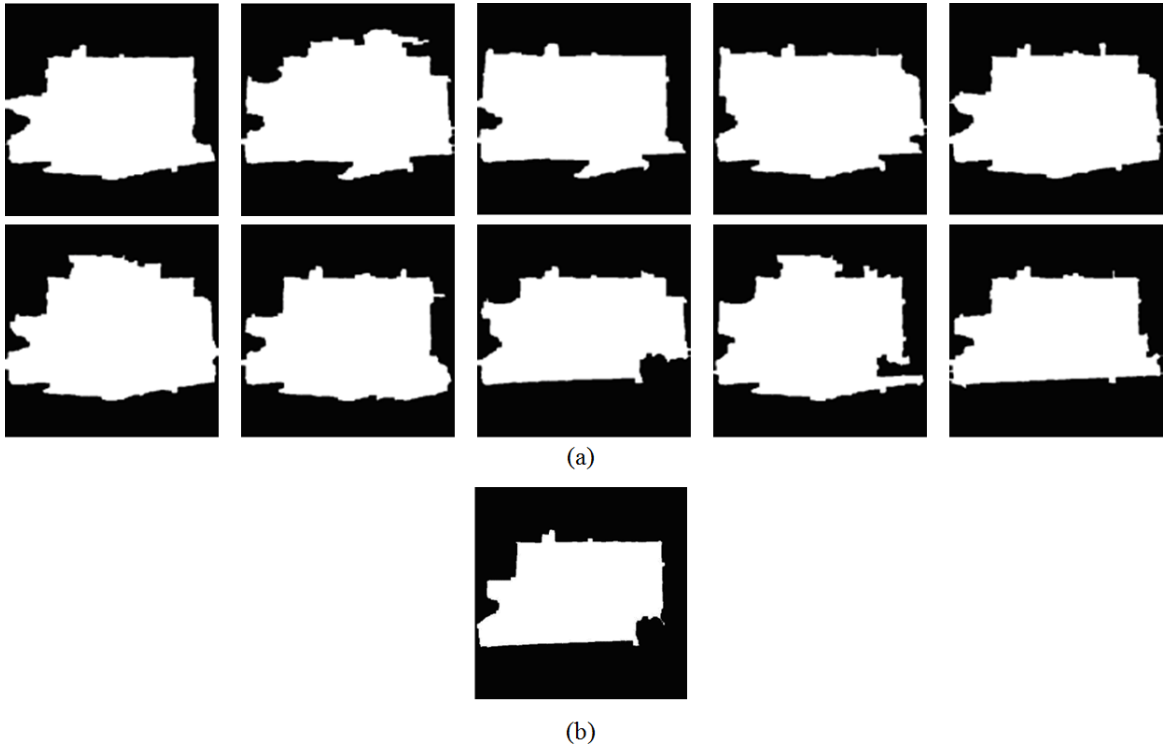
Şekil 1: Önerilen doku çıkarımı yönteminin özeti



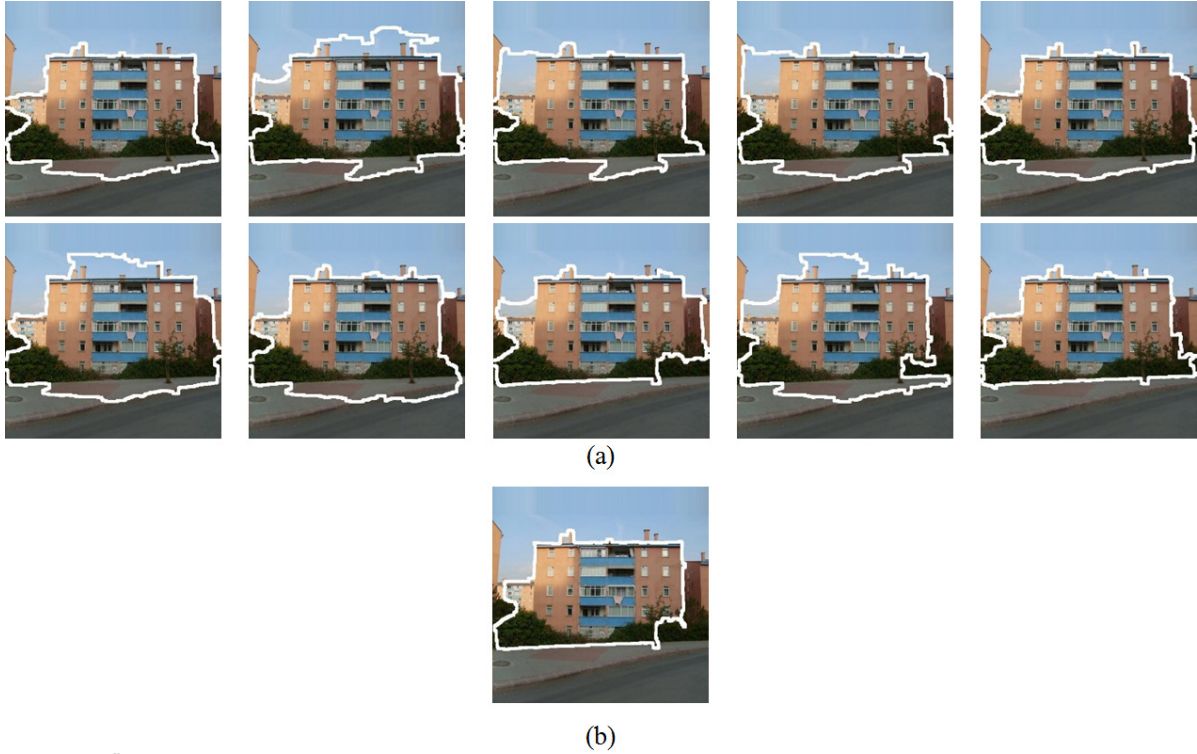
Şekil 2: Önerilen tekrarlı watershed bölütleme yaklaşımı: (a) Başlangıç işaretçi pikseller. (b) Birinci tekrar sonrasında elde edilen bölütleme sonucu. (c, e ve g) İkinci, üçüncü ve dördüncü tekrarlar için üretilen işaretçi pikseller. (d, f ve h) İkinci, üçüncü ve dördüncü tekrarlar için bölütleme sonuçları.

Seçilen durma kriteri değerlerine bağlı olarak meydana gelebilecek fazla bölütleme durumu, eksik bölütleme durumu ile karşılaştırıldığında çözümü daha kolay bir probleme dönüşmektedir. Bunu kolay kılan durum ise bu çalışma kapsamında önerilen tekrarlı watershed bölütleme yönteminin ardışık olarak uygulanmasıdır. Buna göre, tekrarlı yaklaşım birden fazla defa çalıştırılarak her bölütleme sonucu kaydedilir. Mevcut çalışma kapsamında algoritmanın yeniden çalıştırılma sayısı (AYÇS) 10 olarak belirlenmiştir. Sonrasında her bir çalıştırmada elde edilen aday bölütler (Şekil 3(a))

üst üste bindirilerek kesişim alanları hesaplanır. Bu hesaplama mantıksal “VE” operatörü kullanılarak; bina bölütleri mantıksal 1 değeri, arka plan bölgeleri ise mantıksal 0 değeri olacak şekilde gerçekleştirilir. Elde edilen kesişim bölgesi (Şekil 3(b)) yaklaşımın ürettiği nihai bölütleme sonucu olarak kabul edilir. Bu adım sayesinde fazla bölütleme durumu büyük ölçüde ortadan kaldırılmış olmaktadır. Bu bağlamda, elde edilen aday bölütlerin ve kesişim sonucu üretilen sonuç bölütünün sınırlarının (beyaz) orijinal bina cephe görüntüsü üzerine bindirilmiş halleri Şekil 4’te gösterilmektedir.



Şekil 3: (a) Önerilen yaklaşımın yeniden çalıştırılması sonucu üretilen aday bölütler ve (b) kesişim işlemi sonrasında elde edilen sonuç bölütü



Şekil 4: (a) Üretilen 10 aday bölüt sınırı ve (b) nihai bölüt sınırının orijinal bina cephe görüntüsü üzerine bindirilmiş halleri

Bu çalışma dahilinde 10 olarak belirlenmiş olan AYÇS değeri yapılan testler sonrasında en uygun değer olarak belirlenmiştir. Test sonuçlarına göre, bu değerin daha yüksek verilmesi aday bölütlerin elde edilen ilk 10 bölütten çok farklı olmadıklarını göstermiştir. Ayrıca bu değerin artırılmasının algoritmanın hesaplama karmaşıklığını da artırdığı gerçeğine ulaşılmıştır. İlgili değerin 10'dan küçük olması durumunda da fazla bölütleme problemi ortaya çıkmıştır. Örneğin, AYÇS değerinin 3 seçilmesi halinde elde edilen nihai bölütün (Şekil 5(a)) 10 değeri seçildiğinde oluşan bölüte (Şekil 5(b)) göre daha başarısız bir sonuç ürettiği görülmektedir.

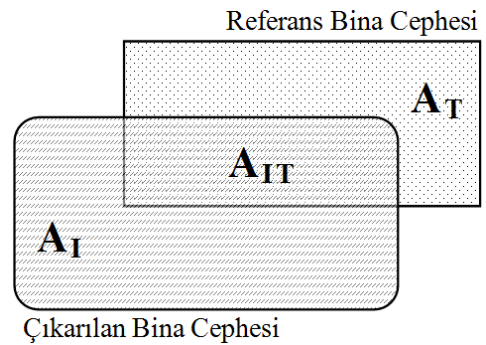
3. Başarım Değerlendirmesi

Önerilen bina cephe dokusu çıkarımı sonuçlarının başarımlarını değerlendirmesinde elde edilen bölüt piksellerinin bir referans verisi ile karşılaştırılması ilkesine dayalı kantitatif bir yöntem kullanılmıştır (Shufelt 1999; Shan ve Lee 2005). Mevcut çalışma kapsamında bina cepheleri için bir referans

veri kümesi manuel olarak hazırlanmıştır. Bu durumda Doğru Pozitif (DP), Yanlış Pozitif (YP) ve Yanlış Negatif (YN) olmak üzere her piksel için üç farklı durum dikkate alınmıştır. Bunlardan DP, hem algoritma sonucunun hem de referans verisinin aynı piksel değerini “bina cephe pikseli” olarak etiketlemesi halinde oluşan durum olarak değerlendirilir. YP ise aynı piksel değerinin algoritma tarafından “bina cephe pikseli” olarak etiketlenip referans verisi tarafından “arka plan pikseli” olarak etiketlendiği durumdur. YN durumu ise YP durumunun tam tersidir. Bahsi geçen bu üç durum Şekil 6'da görülmektedir. Buna göre, AIT olarak belirtilen bölge DP piksellerini temsil ederken AT bölgesi YN piksellerini, AI bölgesi ise YP piksellerini ifade etmektedir. Çıkarılan bina cephe dokularının başarımlarının değerlendirilmesinde yukarıda bahsi geçen DP, YP ve YN değerlerinden faydalanılarak cephe tespit oranı (CTO), ayrılma faktörü (AF) ve kalite oranı (KO) metrikleri hesaplanmıştır (Shufelt 1999). Bu metrikler ile ilgili formüller denklem (1) – (3) arasında verilmektedir.



Şekil 5: (a) AYÇS = 3 değerine göre elde edilen nihai bölüt sınırları ile (b) AYÇS = 10 değerine göre elde edilen nihai bölüt sınırlarının orijinal bina cephe görüntüsü üzerine bindirilmiş halleri



Şekil 6: Önerilen bina cephe dokusu çıkarımı sonuçlarının başarımlarını değerlendirmesinde ortaya çıkan üç durum

$$CTO = \frac{100 \times DP}{DP + YN}$$

$$AF = \frac{YP}{DP}$$

$$KO = \frac{100 \times DP}{DP + YP + YN}$$

Tanımlanan bu metriklerden CTO, nesne tespit performansının önemli bir ölçütü olup etiketlenmiş bina cephe piksellerinin referans piksellere bölünmesi olarak nitelendirilir. AF fazla bölütleme durumunun belirlenmesinde kullanılan bir metrik olup fazla bölütleme durumunun olmadığı durumlarda minimum değerini (AF = 0) alır. Öte yandan, bu metrik maksimum değere (AF = 1) ulaştığında arka plan piksellerinin tamamıyla ters olarak etiketlendiği anlaşılır. KO metriği ise çıkarılan cephe dokusu bölütleri için kesin kaliteyi yansıtır. Eğer bu metrik %100 değerine sahipse yapılan bölütle-

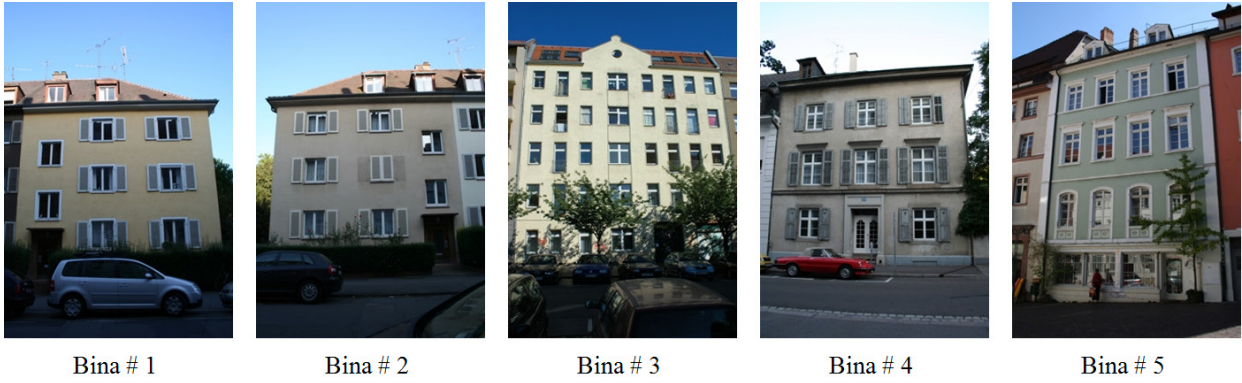
(1) me işlemi mükemmel olarak nitelendirilir. Bir başka deyişle, bölütleme sonucunda YN ve YP değerlerinin hiç oluşmadığı durumu yansıtır.

(2)

(3)

4. Uygulama verileri

Uygulamalar iki farklı veri kümesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Birinci veri kümesi, [Korç ve Förstner \(2009\)](#) tarafından eTrims konsorsiyumu üyeleri ile birlikte oluşturulmuş eTrims veritabanından rastgele seçilmiş beş görüntüyü içermektedir (Şekil 7). Bu veritabanı, birkaç Avrupa şehrinde toplanmış yüzün üzerindeki binaya ait açıklamalı KYM (Kırmızı, Yeşil, Mavi) bina görüntülerini içermektedir. İkinci veri kümesi, Ankara'nın Batıkent bölgesinden Samsung WB500 dijital kamera ile çekilmiş 15 bina cephe görüntüsünü içermektedir (Şekil 8). Fotoğraflar, yeterli görüş açısı ve bina yüzünde makul miktarda kapanma olacak şekilde uygun çekim koşullarına ait pozisyonlardan çekilmiştir,



Şekil 7: eTrims görüntü veritabanından seçilmiş bina yüzü görüntüleri



Şekil 8: Ankara'nın Batıkent bölgesinden toplanmış bina yüzü görüntüleri

5. Bulgular ve tartışma

Her iki veri kümesi için, bina yüzü dokusu çıkarımına ait kantitatif değerlendirme sonuçları Tablo 1 ve 2 de verilmektedir. eTrims veri kümesi için hesaplanmış olan CTO değerleri 74.1% - 96.9% arasındadır. Benzer şekilde, AF ve KO değerleri sırasıyla, 0.002–0.011 ve 66.7%–96.6% aralıklarında hesaplanmıştır. Ortalama CTO, AF ve KO değerleri sırasıyla 81.7%, 0.005 ve 81.4% olarak bulunmuştur (Tablo 1). KO değerleri CTO değerlerine yakın çıkmıştır, çünkü bu veri kümesi için ayrılma faktörleri nispeten düşüktür. Bu demektir ki bina yüzleri dokularının çıkarımında fazladan bölütleme ile neredeyse hiç karşılaşılmaştır.

Batıkent veri kümesi için, CTO değerleri 53.6% - 100% aralığında kalırken, AF ve KO değerleri sırasıyla, 0.004–0.245 ve 53.5%–97.8% aralıklarında kalmıştır. Bina cephe dokusu çıkarımı için ortalama yüzde değeri 89.5% olarak bulunmuştur. Diğer taraftan, sırasıyla AF ve KO için ortalama değerler 0.088 ve 82.3% olarak hesaplanmıştır (Tablo 2). eTrims veri kümesi ile karşılaştırıldığında, Batıkent veri kümesindeki CTO ve KO ortalama değerleri arasında önemli fark olduğu görülmektedir. Bu farkın, yüksek AF değerlerinden kaynaklandığını, ki bu değerler eTrims veri kümesinde nispeten düşüktür, tahmin etmekteyiz. Bu durum, arka plan piksellerinin bina pikselleri olarak etiketlendiği Batıkent veri kümesinde fazla bölütlemenin olduğunu göstermektedir. Hesaplanmış bina cephe tespit oranları olan 53.6% (bina # 8) ve 67.7% (bina # 12) nin da kayda değer ölçüde düşük olduğu gözlemlenmektedir. Bu düşük doğruluk değerlerinin, yüksek sayıdaki YN piksellerden dolayı olduğu düşünülmektedir. Eğer bu binalar veri kümesinden hariç tutulursa ortalama bina cephe çıkarımı yüzdesi 93.9%' a yükselmektedir.

Tablo 1: eTrims veri kümesi için cephe dokusu çıkarımı sonuçları

Bina No	DP	YP	YN	CTO (%)	AF	KO (%)
1	28237	127	9847	74,1	0,005	73,9
2	28669	320	8595	76,9	0,011	76,3
3	29989	54	14920	66,8	0,002	66,7
4	41336	153	2808	93,6	0,004	93,3
5	40716	117	1301	96,9	0,003	96,6

Table 2: Batıkent veri kümesi için cephe dokusu çıkarımı sonuçları

Bina No	DP	YP	YN	CTO (%)	AF	KO (%)
1	65769	9067	2290	96,6	0,13	85,3
2	68801	13886	687	99,0	0,20	82,5
3	68749	1296	240	99,7	0,01	97,8
4	70822	4751	3	100	0,06	93,7
5	80136	19617	465	99,4	0,24	80,0
6	104676	2898	26291	79,9	0,02	78,2
7	67038	10874	14	100	0,16	86,0
8	78006	504	67404	53,6	0,00	53,5
9	68683	3647	6401	91,5	0,05	87,2
10	45743	710	6465	87,6	0,01	86,4
11	81688	3219	24358	77,0	0,03	74,8
12	110865	476	52855	67,7	0,00	67,5
13	65731	3683	6383	91,1	0,05	86,7
14	86805	19801	180	99,8	0,22	81,3
15	84725	5428	207	99,8	0,06	93,8

Sonuçlar önerilen yöntemin bina cephe dokusu çıkarımı için oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Ancak, geliştirilen bina cephe dokusu çıkarımı yöntemi birkaç durumda gerektiği şekilde çalışmamaktadır. Problemlerden birisi bina cephe dokusu çıkarımı sırasında oluşan eksik bölütlemelerdir. Bu durumda, bölütleme algoritması bina cephe görüntüsünü başarılı bir şekilde bölütlemeyebilir ve dolayısıyla, çıkarılan bina cephe görüntüsünün doğruluğu, bina # 12 ve # 8 için olduğu gibi, azalır. Örneğin, Bina # 12'nin yapısının ince olmasından dolayı bazı başlangıç işaretçi pikseller bina yüzüne düşmemiş olabilir. Bu durum eksik bölütleme problemine ve dolayısıyla görüntünün bina yüzü kısmının beklendiği şekilde yayılmamasına neden olmaktadır. Bu da YN piksellerinin artması ve cephe dokusu tespit oranının azalması sonucunu doğurur. Bina # 12'ye benzer şekilde bina # 8 de eksik bölütleme probleminden etkilenmektedir. Bu durumda, bina görüntüsünün ortasında bulunan baca ayrı olarak bölütlenmektedir. Bunun nedeni, önemli sayıda bina cephesi başlangıç işaretçi piksellerinin bacanın üzerine düşmesidir. Dolayısıyla, bina # 12'ye benzer şekilde görüntünün bina cephe kısmı beklendiği şekilde yayılmayabilir ve YN pikseller artar.

Geliştirilmiş olan tekniğin bir diğer noksanlığı, bina tabanının yoldan düşük olmasından dolayı, doku bilgisinde oluşan kısmi kayıptır. Bu durumda, bina cephesinin yoldan düşük olan kısmı görüntüde yer almaz. Doku kaybı binanın bir katı büyüklüğünde olabilir. Bu durum Şekil 9 da gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere, bina temeli ile yol arasındaki kot farkının, kırmızı çizginin altında kalmış olan binanın önemli bir kısmı görüntüden çıkarılmamaktadır.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, düşük maliyetli dijital fotoğraf makinesi ile yer seviyesinden çekilmiş bina cephesi fotoğraflarından otomatik cephe dokusu çıkarımı için bir yöntem sunulmuştur. Yöntemin uygulama testleri oldukça tatmin edici sonuçlar vermiştir. Ortalama bina cephe tespit ve kalite yüzde değerleri; Batıkent veri kümesi için sırasıyla 89.5% ve 82.3%, eTrims veri kümesi için sırasıyla 81.7% ve 81.4% olarak hesaplanmıştır. Fazla bölütleme seviyesinin minimum seviyede tutulması şartıyla, büyük bir alana ait doku bilgisinin çıkarılmasında önerilen tekrarlamalı watershed bölütleme tekniğinin oldukça etkin olduğu görülmüştür. Başlangıç işaretçi piksellerin manuel olarak yerleştirildiği standart wa-



Şekil 9: Bina temeli ile yol arasındaki kot farkının görünümü

tershed bölütleme yöntemine karşın bu çalışmada devingen şablona dayalı bir otomatik başlangıç işaretçi piksel yerleştirme tekniği önerilmiştir. Dolayısıyla, watershed bölütleme yönteminin otomasyon seviyesi artırılmıştır.

Her ne kadar önerilen yöntem gerçekçi cephe dokularının çıkarılmasında çoğunlukla başarılı olsa da, bazı durumlarda noksanlıkların olduğu görülmektedir. Örneğin, eğer fotoğrafı çekilen bina cephesinin önemli bir kısmı ağaç vb. veya üzerine düşen gölge tarafından kapanıyorsa bu durumda eksik bölütleme ile karşılaşmaktadır. Bunun yanında, çıkıntıları olan binaların oldukça zorlayıcı oldukları görülmüştür. Bunun nedeni, geliştirilen doku çıkarımı algoritmasının bu kısımları ön plan olarak bölütlemesidir. Bir diğer durumda, birbirine yakın binaların cephe dokuları tek bir bina cephe dokusu olarak çıkarılmaktadır ki bu binaların spektral yansımadaki benzerlikten kaynaklanmaktadır. Son olarak, bu çalışmada elde edilmiş olan başarılı sonuçlara dayanarak inanmaktayız ki, tarafımızca geliştirilmiş olan gerçekçi bina cephe dokularının yerden çekilmiş dijital fotoğraflardan otomatik çıkarımı tekniği, sanal şehirlerin otomatik oluşturulmasına önemli oranda katkı sağlayacaktır.

Ek 1

- 0 Begin Procedure: *extractFacadeImage*
- 1 INITIATE markers for the first run
- 2 SET number of candidate facade segment as 0
- 3 IF number of candidate facade segment == 10 THEN
- 4 GO TO Step-14
- 5 ELSE
- 6 EXECUTE watershed segmentation
- 7 IF (difference between any consecutive growth ratio < growth ratio threshold) OR (repetition count >= maximum repetition count) THEN
- 8 STORE candidate facade segment
- 9 INCREMENT number of candidate facade segment by one
- 10 GENERATE new markers for the next run
- 11 ENDIF
- 12 GO TO Step-3
- 13 ENDIF
- 14 INTERSECT candidate facade segments
- 15 End Procedure: *extractFacadeImage*

Kaynaklar

- Beucher S., Meyer F., (1992), *The Morphological Approach of Segmentation: The Watershed Transformation*, Mathematical Morphology in Image Processing' in İçinde, (Dougherty E., Ed.), Marcel Dekker Inc., ss.433-481.
- Böhm J., (2008), *Facade Detail from Incomplete Range Data*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVII, Part B5, Beijing, Çin.
- Carlberg M., Andrews J., Gao P., Zakhor A., (2008), *Fast Surface Reconstruction and Segmentation with Ground-Based and Airborne LIDAR Range Data*, Proceedings of 4th International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission (3DPVT'08), Atlanta, Georgia, ABD.
- David P., (2008), *Detection of Building Facades in Urban Environments*, Proceedings of SPIE' nin İçinde, 6978, ss.139-148, doi: 10.1117/12.779280.
- Delmerico J. A., David P., Corso J. J., (2011), *Building Facade Detection, Segmentation, and Parameter Estimation for Mobile Robot Localization and Guidance*, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems' in İçinde, San Francisco, ABD, ss.1632-1639.
- Hoegner L., Stilla U., (2009), *Thermal Leakage Detection on Building Facades Using Infrared Textures Generated by Mobile Mapping*, Proceedings of 2009 Urban Remote Sensing Joint Event, Shanghai, Çin.
- Jang K.H., Jung S.K., (2009), *Practical Modeling Technique for Large-scale 3-D Building Models from Ground Images*, Pattern Recognition Letters, 30, 861-869, doi: 10.1016/j.patrec.2009.04.004.
- Kang Z., Zhang L., Zlatanova S., Li J., (2010), *An Automatic Mosaicking Method for Building Facade Texture Mapping Using a Monocular Close-range Image Sequences*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 65(3), 282-293, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2009.11.003.
- Korç F., Förstner W., (2009), *eTRIMS Image Database for Interpreting Images of Man-Made Scenes*, Technical report TR-IGG-P-2009-01, University of Bonn, Department of Photogrammetry, Almanya.
- Laycock R.G., Ryder G.D.G., Day A.M., (2007), *Automatic Generation, Texturing and Population of a Reflective Real-Time Urban Environment*, Computers and Graphics, 31, 625-635, doi: 10.1016/j.cag.2007.04.001.
- Lorenz H., Döllner J., (2006), *Towards Automating the Generation of Facade Textures of Virtual City Models*, ISPRS Commission II, WG II/5 Workshop, Vienna, Avusturya.
- Martinez J., Soria-Medina A., Arias P., Buffara-Antunes A. F., (2012), *Automatic processing of terrestrial laser scanning data of building facades*, Automation in Construction, 22, 298-305, doi: 10.1016/j.autcon.2011.09.005
- Mohan S., Murali S., (2007), *Automated 3D Modeling and Rendering from Single View Images*, International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications (ICCIMA 2007), Tamil Nadu, Hindidtan, doi: 10.1109/ICCIMA.2007.56.
- Müller P., Zeng G., Wonka P., Van Gool L., (2007), *Image-based Procedural Modeling of Facades*, Proceedings of SIGGRAPH 2007, San Diego, California, ABD.
- Poullis C., You S., (2009), *Photorealistic Large-Scale Urban City Model Reconstruction*, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 15(4), 654-669, doi: 10.1109/TVCG.2008.189.
- Pu S., Vosselman G., (2009), *Knowledge-based Reconstruction of Building Models from Terrestrial Laser Scanning Data*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 64(6), 575-584, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2009.04.001.
- Rau J. Y., Chu C. Y., (2011), *Vector-based Occlusion Detection for Automatic Facade Texture Mapping*, In IEEE International Workshop on Multi-Platform/Multi-Sensor Remote Sensing and Mapping, Xiamen, Çin, ss.1-6, doi: 10.1109/M2RSM.2011.5697380.
- Ripperda N., (2008), *Determination of Facade Attributes for Facade Reconstruction*, Proceedings of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS'08) Congress, Beijing, Çin.
- Shan J., Lee S.D., (2005), *Quality of Building Extraction from IKONOS Imagery*, Journal of Surveying Engineering, 131(1), 27-32, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9453(2005)131:1(27).
- Shufelt J.A., (1999), *Performance Evaluation and Analysis of Monocular Building Extraction from Aerial Imagery*, IEEE

- Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 21(4), 311-326, doi: 10.1109/34.761262.
- Tian Y., Gerke M., Vosselman G., Zhu Q., (2010), *Knowledge-based Building Reconstruction from Terrestrial Video Sequences*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 65(4), 395-408, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2010.05.001.
- Vincent L., Soille P., (1991), *Watersheds in Digital Spaces: An Efficient Algorithm Based on Immersion Simulations*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 13(6), 583-598, doi: 10.1109/34.87344.
- Wan G., Li S., (2011), *Automatic Facades Segmentation using Detected Lines and Vanishing Points*, 4th International Congress on Image and Signal Processing (CISP). Shanghai, Çin, ss. 1214-1217, doi: 10.1109/CISP.2011.6100448.
- Wang M., Bai H., Hu F., (2008), *Automatic Texture Acquisition for 3D Model Using Oblique Aerial Images*. First International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems (ICINIS 2008). Wuhan, Çin, doi: 10.1109/ICINIS.2008.122.