

3B KENT MODELLERİNİN KALİTE KONTROLÜ

Devrim Akca

Işık Üniversitesi, Enformasyon Teknolojileri Bölümü, 34980, Şile, İstanbul. akca@isikun.edu.tr

ÖZET

Günümüzde 3B kent modelleri, genellikle LIDAR ve fotogrametrik verilerden üretilmektedir. Üretilen 3B modellerin kalite kontrolü hem bilimsel olarak hem de pratik olarak dikkate alınması gereken bir önemli konudur. Bu çalışma 3B kent modellerinin kalite kontrolü için bir yöntem önermektedir. Girdi 3B bina modelleri, referans veri setine En Küçük Kareler yöntemi ile eşleştirilmektedir. EKK ile yüzey eşleştirme yöntemi, referans ve girdi bina modelleri arasındaki Öklid uzaklıklarını değerlendirmektedir. Hesaplanan bu Öklid uzaklıkları temel kalite kontrol ölçütü olarak ele alınmıştır. Önerilen yöntem, veri elde etme yönteminden bağımsızdır. Yöntem, koordinat sistemi doğruluğu, konumsal doğruluk ve bütünlük ölçütlerine yanıt bulabilmektedir. Uygulamaya dönük örnekler ile yöntemin kullanılabilirliği gösterilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Veri kalitesi, LIDAR nokta bulutu, kalite ölçütleri, yüzeylerin eşleştirilmesi.

ABSTRACT

QUALITY ASSESSMENT OF 3D CITY MODELS

3D building models are often now produced from lidar and photogrammetric data. The quality control of these models is a relevant issue both from the scientific and practical points of views. This work presents a method for the quality control of such models. The input model (3D building data) is co-registered to the verification data using a 3D surface matching method. The 3D surface matching evaluates the Euclidean distances between the verification and input data-sets. The Euclidean distances give appropriate metrics for the 3D model quality. This metric is independent of the method of data capture. The proposed method can favourably address the reference system accuracy, positional accuracy and completeness. The practical examples of the method are provided for demonstration.

Keywords: 3D building model, 3D comparison, lidar, point cloud, quality assessment, surface co-registration.

1. GİRİŞ

Yaklaşık 20 yıldır, 3B şehir modelleme konusu önemli bir araştırma ve geliştirme konusu olmuştur. Özellikle gerçeklik-tabanlı yöntemleri kapsıyan bir çok değişik yöntem önerilmiştir. Konuyla ilgili literatür araştırmaları Mayer (1999), Gruen (2000), Baltsavias ve diğ. (2001), Baltsavias ve Gruen (2003) ve Baltsavias (2004) isimli yayınlarda bulunabilir. 3B şehir modelleri, geomatik endüstrisinin en önemli ürünlerinden birisi olmakla beraber aynı zamanda bir çok yeni uygulama/geliştirme alanında bir gereksinimdir (Gruen, 2001). Sanal-gerçeklik modelleri, günümüzde bir çok veri kaynağından (haritalar, CBS, değişik türde kameralar, LIDAR) ve değişik platformlarda taşınan algılayıcılardan (uydular, uçaklar ve insansız hava araçları, yersel sistemler) elde edilmektedir.

Yeni veri setlerinin verimli ve güvenilir bir şekilde üretilmesi için yöntemler geliştirilmekte ve optimize edilmekte olmasına rağmen, kalite kontrolü ve mevcut verilerin güncellenmesi ve bakımına yönelik çok az çalışma yapılmıştır.

Veri edinme yöntemlerinin performansı arttıkça, 3B bina modellerinin kalite kontrolü, özellikle profesyonel uygulamalarda, önemli bir konu haline gelmiştir. Mevcut yöntemlerde, 2B projeksiyonlarla üretilen piksel çizimleri (Henricsson and Baltsavias, 1997; Ameri, 2000; Suveg and Vosselman, 2002; Boudet et al., 2006) ya da binaları hacimsel veri olarak ele alıp yapılan voxel çizimleri (McKeown et al., 2000; Schuster and Weidner, 2003; Meidow and Schuster, 2005) kullanılmıştır. Kalitatif görsel değerlendirme yöntemleri de kullanılmıştır (Rottensteiner and Schulze, 2003; Durupt and Taillandier, 2006). Son zamanlarda, Elberink ve Vosselman (2007) giriş verisinin stokastik özelliklerine hata yayılma teorisini uygulayarak, baştan sona bir kalite analizi yöntemi önermiştir. Daha ayrıntılı literatür araştırmaları McKeown ve diğ. (2000) and Sargent ve diğ. (2007) yayınlarında bulunabilir.

Geçen son yıllarda, Büyük Britanya devletinin Ordnance Survey kurumu, 3B bina modellerinin kalite kontrolünü araştırmaya yönelik çeşitli projeleri hayata geçirdi. Ordnance Survey kurumu, ek olarak, kullanıcı ihtiyaçları göz önüne alındığında gerçek dünyadaki detayların 3B modellenmesi konusunda yapılan varsayımları test etti (Sargent ve diğ., 2007; Capstick ve diğ., 2007). 2007 yılında, İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü, Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Kürsüsü ile Ordnance Survey kurumu, "3B Bina Verilerinin Kalite Kontrolü" isimli projeyi ortak olarak yürütmeye başladılar. Proje, 3B şehir modellerinin kuantitatif olarak kalite kontrolünün yapılabilmesi için ölçütler

üretmeyi amaçlamaktadır. Söz konusu ölçütlerin, kurumun kullanıcı ihtiyaçlarına uygun olması ve de veri edinme yönteminden bağımsız olması beklenmektedir. Projenin sonuçları bu çalışmada anlatılacaktır.

3B bina veri setleri 3B yüzey modelleri formunda sunulmaktadır. Bu yüzden, 2B pixel temelli projeksiyonlar ya da 3B voxel tabanlı yaklaşımlar dolaylı yaklaşımlardır ve optimal değildir. Bu çalışma, doğrudan 3B yüzey elemanları üzerinde çalışan bir algoritma önermektedir. Böylelikle, 3B bina verileri geçek gösterim biçimlerinde değerlendirilebilirler ve de olası yeniden örnekleme ya da projeksiyon hatalarının önüne geçilir.

Analiz edilecek girdi verisi 3B bina modelleridir. Referans verisi olarak 3B LIDAR nokta bulutları kullanılmıştır. 3B bina modelleri yüzey modeli formundadır. Doğrudan yüzey elemanları (üçgen ya da dörtgen) üzerinde işlem yapan bir yöntem önerilmektedir. Girdi 3B bina modelleri, referans LIDAR nokta bulutlarına, En Küçük Kareler ile (EKK) 3B yüzey eşleştirme yöntemi kullanılarak eşleştirilmektedir (Gruen and Akca, 2005; Akca, 2010). EKK yüzey eşleştirme yöntemi, referans ve girdi veri setleri arasındaki 3B Öklid uzaklıklarını hesaplar. Bu uzaklıklar her yüzey elemanının kalite ölçütünü verir. Önerilen yöntem, binaların 3B modellenmesinde sık karşılaşılan türde hataları belirleyebilmektedir.

Takip eden iki bölüm, 3B yüzey eşleştirme yöntemini ve de kalite kontrol stratejisini anlatmaktadır. LIDAR nokta bulutları referans verisi olarak kullanıldığında, gereksiz noktalar (yere ve bitki örtüsüne ait noktalar) filtrelenmelidir. SCOP++ LIDAR yazılımı kullanılarak süzgeçleme işleminin nasıl yapıldığı sonraki bölümde ele alınmıştır. Takip eden bölümde değişik test alanlarında yapılan deneysel çalışmaların sonuçları paylaşılmıştır.

2. 3B YÜZEY EŞLEŞTİRME KULLANILARAK KALİTE KONTROLÜ

Kalite kontrolü, girdi 3B bina modellerinin referans veri setine eşleştirilmesi ile yapılmaktadır. Referans veri seti sabit alınmakta, girdi bina modeli EKK ile yüzey eşleştirme yöntemi kullanılarak referans veri setinin koordinat sistemine dönüştürülmektedir.

EKK ile yüzey eşleştirme, ortak bindirme bölgesi bulunan yüzeylerin veya nokta bulutlarının eşleştirmesini yapan sağlam bir matematiksel yöntemdir. Matematiksel model, EKK ile 2B görüntü eşleştirme yönteminin üç boyutlu bir genelleştirilmesidir (Ackermann, 1984; Pertl, 1984; Gruen, 1985). Yöntem, bir veya çok sayıdaki 3B yüzey verisini bir şablon yüzey veri setine olan dönüşüm parametrelerini, genelleştirilmiş Gaus-Markof yöntemi kullanarak ve de yüzeyler arasındaki Öklid uzaklıklarının karelerinin toplamını minimum ederek, kestirir. Böyle bir formülasyon, uzayda herhangi bir şekilde yönelmiş 3B yüzeyin, bağlama noktaları kullanımına gerek olmaksızın eşleştirilmesini mümkün kılar.

İteratif bir çözüm kullanılmaktadır. Her iterasyonda, yüzeyler arasındaki eşlenik elemanlar araştırılır. Referans verisinin her nokta elemanı için, girdi veri setinde bir eşlenik üçgen bulunur. Referans verisi ile girdi veri arasında bulunan bu eşlenik elemanlar, her iki veri setinin birbirlerine ne kadar iyi uyduklarının bir göstergesidir.

Veri setleri arasındaki geometrik ilişki, 7-parametrel bir benzerlik dönüşümü ile sağlanır. Gereken durumlarda, bu parametre uzayı küçültülebilir ya da büyütülebilir. Soncul kovaryans matrisi kullanılarak, parametrelerin istatistiksel kalitesi ve de parametreler arasındaki olası korelasyonlar belirlenebilir. EKK ile yüzey eşleştirme yöntemi, yapılan kestirimin istatistiksel kalitesi hakkında bilgi vermekle beraber, değişik kalitede ve çözünürlükteki nokta bulutlarını da eşleştirebilmektedir. Yöntemin ayrıntıları Gruen ve Akca (2005) ve Akca (2010) yayınlarında bulunabilir.

Eşlenik elemanlarının araştırılması işlemini hızlandırmak için bir kutulama algoritması kullanılmıştır. Bu yöntemin ayrıntılarına, Akca (2007, 2010) yayınlarından erişilebilir.

2.1. Kaba hatalı eşleniklerin belirlenmesi

Yanlış eşleniklerin tesbit edilmesi, sağlık sonuçlar alma açısından çok önemlidir. Kaba hataları belirlemek için aşağıdaki yöntem kullanılmıştır. İterasyonlar sırasında, Robust kestirim ilkesinde kullanılan benzer basit bir ağırlıklandırma şeması kullanılmıştır:

$$(\mathbf{P})_{ii} = \begin{cases} 1 & \text{if } \|(\mathbf{v})_i\| < K\hat{\sigma}_0 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

(1) Denklemde, vektör $(\mathbf{v})_i$ gösterimi i numaralı eşleniğin Öklid uzaklığını, ve $\hat{\sigma}_0$ gösterimi ise bulunan iterasyonda tüm eşleniklerin Öklid uzaklıklarının standard sapmasını göstermektedir. Deneysel çalışmalarda $K \geq 4$ olarak alınmıştır.

3. KALİTE KONTROL STRATEJİSİ

Yöntemin genelliğini korumakla beraber, buradaki uygulamalarda, referans verisinin LIDAR nokta bulut şeklinde ve de girdi 3B bina modellerinin de TIN formunda verildiği varsayılmıştır. Kalite kontrol işlemi üç adımda gerçekleştirilmiştir:

Adım 1:

Öncelikle EKK ile yüzey eşleştirme algoritması, herhangi bir dönüşüm hesabı yapılmadan sadece bir iterasyon olarak koşuturulur. LIDAR noktalarından eşlenik 3B bina modelleri üçgenlerine olan Öklid uzaklıkları hesaplanır. Bu adım, herhangi bir benzerlik dönüşümü olmaksızın, iki veri seti arasındaki başlangıç farklılıklarını gösterir. Bu adımda iki veri seti arasındaki uyumsuzlukların 2 temel hata kaynağı vardır:

- koordinat sistem farklılıklarından kaynaklanan hatalar,
- ayrı ayrı binaların konum ve ölçme hataları.

Bu hatalar, ilerleyen 2. adımda birbirlerinden ayrıştırılacaktır.

Adım 2:

İkinci adımda EKK yüzey eşleştirme algoritması bütün olarak koşuturulur. Algoritma, referans verisi ve girdi bina verisi arasındaki ölçek, kayıklık ve dönüklük farklılıklarını hesaplar. Bu çalışmada kullanılan veri setleri üzerinde yapılan öncül testler sonucunda, veri setleri arasında sadece kayıklık olduğu, ölçek ve dönüklük farklılıklarının anlamlı olmadığı görülmüştür. Bu yüzden tüm deneysel çalışmalarda, EKK yüzey eşleştirme yöntemi 3- serbestlik derecesi modunda koşuturulmuştur. Bu adım, girdi bina modellerinin koordinat sistemi doğruluğunu belirler. Kestirilen 3B benzerlik dönüşümü parametreleri (burada sadece öteleme vektörü olarak çıkmakta) girdi veri setine uygulanır. Böylelikle, koordinat sistemi farklılığından kaynaklanan hatalar, bina ölçme hatalarından ayrıştırılır.

Adım 3:

Üçüncü adımda, EKK ile yüzey eşleştirme algoritması son defa koşuturulur, ancak yine bir iterasyon ve de herhangi bir dönüşüm hesabı yapılmaksızın. Sadece, 3B eşlenikler hesaplanır. Buradaki 3B eşlenikler, referans verisinin noktaları ile girdi bina verisinin üçgenleri arasındaki 3B konumsal sapmaları gösteren vektörlerdir. Bu vektörler, gerçek kalite kontrol indisleridir ve girdi bina modelini, referans verisinin her nokta konumunda test ederler. Bu son adım, ayrı ayrı binaların konumsal ölçü doğruluğunu ve bütünlüğünü gösterir.

Önerilen kalite kontrol stratejisi aşağıdaki kalite ölçütlerini belirleyebilmektedir:

- Koordinat sistemi doğruluğu,
- Binaların konumsal ölçü doğruluğu,
- Bütünlük.

4. YER VE BİTKİ ÖRTÜSÜNE AİT NOKTALARIN REFERANS VERİSİNDE FİLTRELENMESİ

LIDAR nokta bulutlarının referans verisi olarak kullanıldığı durumlarda, binalara ait olmayan noktaların (örneğin, yeryüzü yada bitki örtüsüne ait noktalar) veri seti dışına çıkarılması gerekmektedir. Denklem (1) ile verilen Robust yöntemi tek başına yetersiz kalmaktadır. Burada sunulan deneysel çalışmalarda, SCOP++ LIDAR versiyon 5.4 (Inpho GmbH, Stuttgart, Germany) yazılımı kullanılarak filtreleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bournemouth (Great Britain) kentinde 2 test alanı, yöntemin doğruluğunu göstermek için kullanıldı:

- Bournemouth test alanı 1 (BO1),
- Bournemouth test alanı 2 (BO2).

Her test alanı, bir LIDAR nokta bulutu ve bir 3B bina poligon dosyasına sahiptir. LIDAR nokta bulutları, bir helikopter tarafından taşınan Bravo 50K ALTM sistemi kullanılarak, Airborne 1 şirketince ölçülmüştür. Nokta bulutları, 25 nokta/m² yoğunluğunda ve hem ENZI hem de LAS formatlarındadır. Bütün deneysel çalışmalarda LIDAR nokta bulutları referans verisi olarak kullanılmıştır.

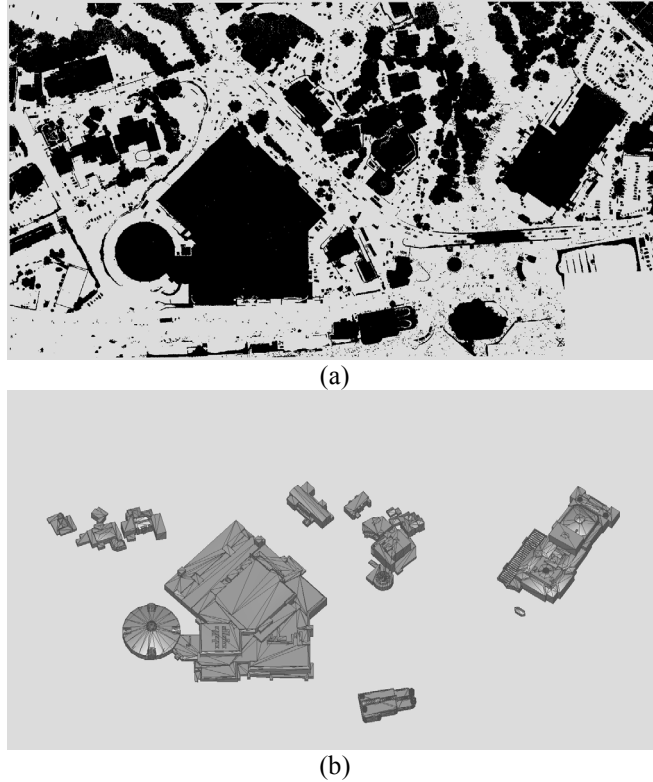
3B bina modelleri, %60 boyuna ve enine bindirmeli DMC (Intergraph) görüntülerinin fotogrametrik değerlendirmesi sonucu üretilmişlerdir. Düşük çözünürlüklü RGB görüntüleri, yüksek çözünürlüklü pankromatik

resimlerle keskinleştirilmiş, ve yersel örnekleme çözünürlüğü 15 cm olan sonuç görüntüler elde edilmiştir. 3B bina modelleri, yarı otomatik olarak bir fotogrametri operatörünce, CC-Modeler (CyberCity 3D, Inc., El Segundo, CA, USA) yazılımı kullanılarak ölçülmüştür. Sonuç poligon dosyaları, standard CC-Modeler V3D dosya formatında sunulmuştur.

Bütün deneysel çalışmalar, C/C++ programlama dili kullanılarak, grafik ara yüzü bir MS Windows uygulaması şeklinde geliştirilmiş olan LS3D yazılım paketince gerçekleştirilmiştir.

5.1. BO1 test alanı sonuçları

BO1 test alanına ait, filtrelenmiş LIDAR verisi ve girdi 3B bina modeli verisi **Şekil 1a** ve **1b**'de gösterilmiştir. LIDAR nokta bulutu, 3 229 453 noktaya, ve bina modeli 8 153 üçgene sahiptir.



Şekil 1. BO1 test alanı. (a) Filtrelenmiş LIDAR nokta bulutu, (b) 3B bina model verisi.

Adım 1:

EKK yüzey eşleştirmesi öncesi, Öklid uzaklıklarının standard sapması 0.49 metre olarak hesaplanmıştır (**Şekil 2a** ve **Tablo 1**). Hesaplama 1 445 568 eşlenik için 11.2 dakikada tamamlanmıştır.

Adım 2:

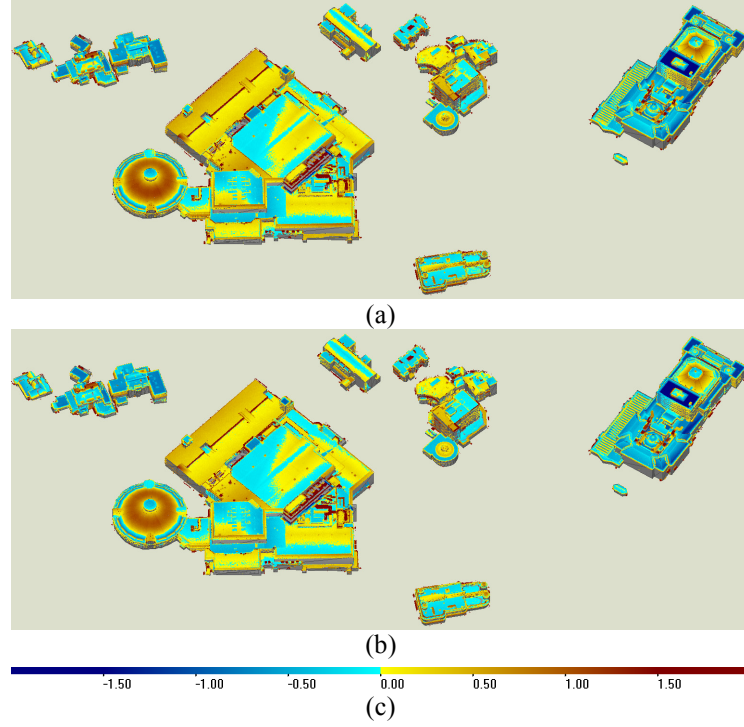
Robust sınır değeri, mevcut iterasyondaki standard sapma σ_0 değerinin 4 katı olarak belirlenmiştir. Girdi bina verisi ile referans LIDAR verisi koordinat sistemleri arasında X, Y ve Z eksenleri doğrultusunda sırasıyla +0.11, -0.23, +0.03 metrelik bir öteleme olduğu kestirildi (**Tablo 1**). Bu test alanında, iki koordinat sistemi arasında yatayda anlamlı bir kayıklık varken, düşey eksendeki kayıklık anlamlı değildir.

Adım 3:

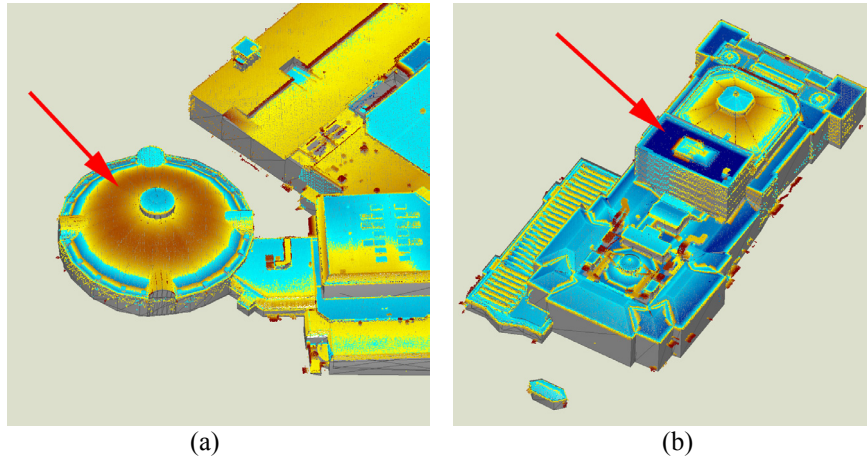
Soncul standard sapma σ_0 değeri bu adımda 0.48 metre olarak hesaplanmıştır. Robust eşik değeri 2.00 metre olarak belirlenmiştir. Kestirilen öteleme vektörü, özellikle Z eksenı boyunca, oldukça küçük olduğundan dönüşüm işleminin görsel olarak etkisi çok anlamlı değildir (**Şekil 2a** ve **2b**). Ek olarak, Adım 1'den Adım 3'de Öklid uzaklıklarının standard sapması anlamında kazanım sadece 1 santimetredir (**Tablo 1**).

Tablo 1. BO1 test alanının hesap sonuçları.

Adım	Eşlenikler	İterasyon	Zaman (dak.)	$\hat{\sigma}_0$ (m)	T_x (m)	T_y (m)	T_z (m)	Stdd- T_x (m)	Stdd- T_y (m)	Stdd- T_z (m)
1	1 445 568	1	11.2	0.49	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
2	1 443 165	7	76.0	0.47	0.11	-0.23	0.03	0.001	0.001	0.001
3	1 447 763	1	11.7	0.48	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a



Şekil 2. BO1 test alanı. (a) Girdi bina modelinin ve referans veri setinin EKK yüzey eşleştirme öncesi karşılaştırılması. (b) EKK ile yüzey eşleştirmeden sonra. (c) Artık hatalar barı metre birimindedir.

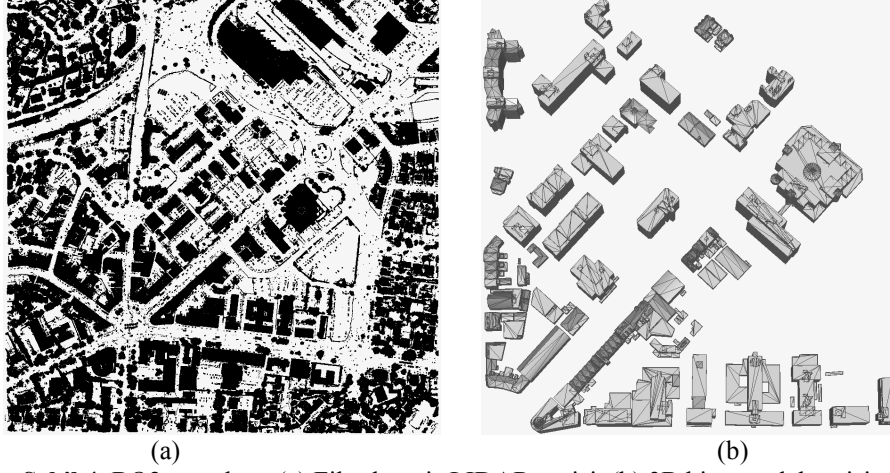


Şekil 3. (a) Şekil 2(b)'de alt-sol kısmın yakından görüntüsü. (b) Şekil 2(b) üst kısmın yakından görüntüsü. Kırmızı oklar bir kube ve bir çatı bölümünün referans verisine göre oldukça farklı ölçüldüğünü göstermektedir.

Bu test alanı iki çok ilginç ölçü hatası içermektedir. **Şekil 3a**'da görünen kube, gerçek şekli eğri olmasına rağmen, ölçülürken üçgenler ve doğrusal çizgilerle ifade edilmiştir. Bu durum, 3B karşılaştırma işleminde zaman zaman 1.2 metreye yaklaşan farklılıklar olarak kendini göstermiştir. **Şekil 3b**'de ise binanın çatı kısmının bir parçası yer yer 1.5 metre büyüklüğe yaklaşan bir hata ile ölçülmüştür. Önerdiğimiz yöntemi hatayı belirlemiştir.

5.2. BO2 test alanı sonuçları

BO2 test alanında, filtrelenmiş referans verisi kompleks ve bitki örtüsüne ait noktalarla karışmıştır (**Şekil 4a**). LIDAR nokta bulutu 6 797 293 nokta ve girdi bina modeli 6 279 üçgen içermektedir.



Şekil 4. BO2 test alanı. (a) Filtrelenmiş LIDAR verisi, (b) 3B bina model verisi.

Tablo 2. BO2 test alanı hesap sonuçları.

Adım	Eşlenikler	İterasyon	Zaman (dak.)	σ_0 (m)	T_x (m)	T_y (m)	T_z (m)	Stdd- T_x (m)	Stdd- T_y (m)	Stdd- T_z (m)
1	999 938	1	5.3	0.65	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
2	989 870	6	28.7	0.59	0.24	-0.24	-0.49	0.002	0.002	0.001
3	977 718	1	5.1	0.54	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Adım 1:

EKK ile yüzey eşleştirme öncesinde Öklid uzaklıklarının standard sapması 0.65 metredir (**Tablo 2**). Önerilen yöntem 5.3 dakika içerisinde 999 938 adet Öklid uzaklığını hesaplamıştır. Buradaki 0.65 metre standard sapma değeri hem koordinat sistemi farklılık hatasını hem de binaların ölçme hatalarını içermektedir. Grafik gösterim **Şekil 5a**'da verilmiştir.

Adım 2:

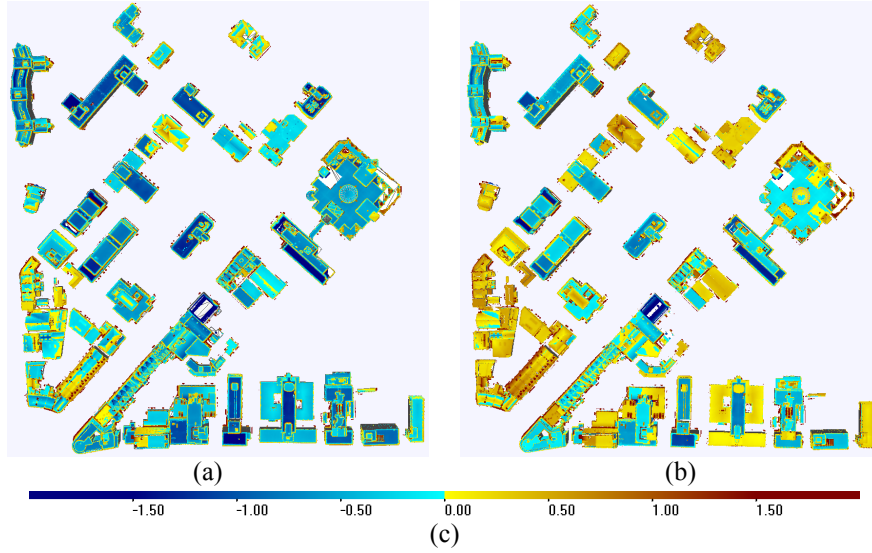
Robust sınır değeri, mevcut iterasyondaki standard sapma σ_0 değerinin 4 katı olarak bekirlenmiştir. Girdi bina verisi ile referans LIDAR verisi koordinat sistemleri arasında X, Y ve Z eksenleri doğrultusunda sırasıyla +0.24, -0.24, -0.49 metrelik bir öteleme olduğu kestirildi (**Tablo 2**). Öteleme vektörünün hem düzlem hem de yükseklik bileşenleri anlamlı değerler içermektedir.

Şekil 5a ile **5b** arasındaki artık hata renklerinin değişimi, farklılığı grafik olarak göstermektedir. **Şekil 5b**, koordinat sistemi farklılığı hatasının düzeltilmiş halini göstermektedir. Veri seti bu adımda sadece bina ölçü hatalarını içermektedir. Renk değişiminden de anlaşılacağı üzere, koordinat sistemi farklılığı sonucu ortaya çıkan hata önemli bir miktardadır ve de mutlaka düzeltilmesi gerekmektedir. Bu örnek, bu konunun önemini işaret etmektedir.

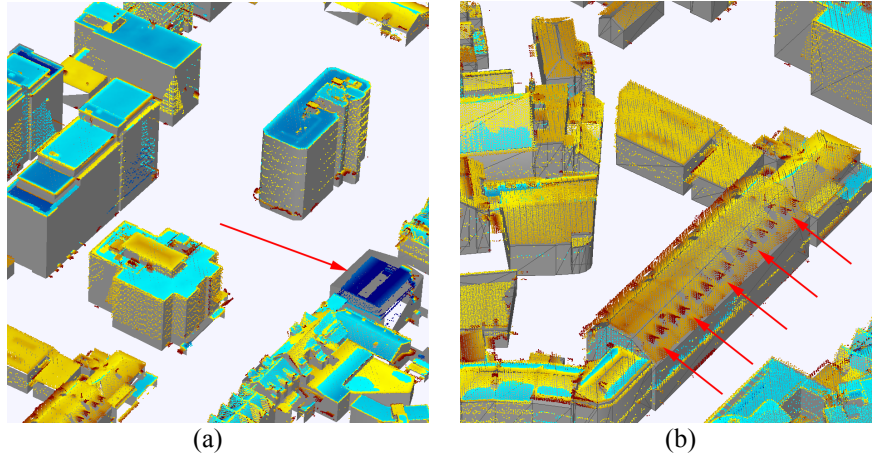
Adım 3:

Bu adımda soncul standard sapma 0.54 metredir. Robust eşik değeri yine 2.00 metre olarak alınmıştır. Grafik sonuçlar, **Şekil 5b**, **6a** ve **6b**'de verilmiştir. Adım 1 ile Adım 3 arasındaki kazanım 11 santimetredir (**Tablo 2**).

Şekil 6a'da bir bina çatısının fotogrametrik ölçüsünün referans verisinden 1.40 metre saptığı gösterilmektedir. Bu örnekte, üçgen bir çatı yanlışlıkla düz çatı olarak yorumlanmıştır. **Şekil 6b**'de ise on dört adet çatı penceresi yanlışlıkla 3B bina modelinde gösterilmemiştir. Önerilen yöntem, bu eksikliği hemen belirlemiştir.



Şekil 5. (a) EKK yüzey eşleştirme öncesi test alanı BO2. (b) EKK ile yüzey eşleştirme sonrası BO2 test alanı (Koordinat sistemleri farkından kaynaklanan hata düzeltilmiş şekilde). (c) Artık hatalar biri metre birimindedir.



Şekil 6. Şekil 5(b) orta bölümün oblik yakın görüntüsü. Kırmızı ok bir bina çatısının referans nokta bulutundan olan sapmasını göstermektedir. (b) Şekil 5(b) sol-alt kısmının oblik yakın görüntüsü. Kırmızı oklar tarafından gösterilen çatı pencereleri operatör tarafından ölçülmemiş.

6. SONUÇLAR

Son yıllarda 2B şehir haritaları hızlı bir şekilde 3B şehir modelleri ile değiştirilmektedir. Genel ağırlık, otomatik ya da yarı-otomatik şehir modeli oluşturma yöntemi geliştirmeye verilmiş olmasına rağmen, oluşturulan modelin kalitesini anlamaya yönelik çalışmalar da hız kazanmıştır. Şehir modelleri tüm dünyada inanılmaz bir hızla üretilmekteyken, kalite kontrolüne yönelik standard bir yöntem henüz geliştirilmemiştir.

Bu çalışma, 3B yüzey karşılaştırma esasına dayanan ve de grafik arayüzlü bir yazılım ile geliştirilen bir yöntem önermektedir. Yöntem, veri setlerini kabul edilebilir bir hesap süresinde işleyebilmektedir.

Yöntem, 3B bina verisini aşağıdaki hata kaynakları bağlamında değerlendirebilmektedir:

- Düzenli hatalar: koordinat sistemi farklılıklarından kaynaklanan hatalar, ve azı azrı binaların ölçü hataları.
- Kaba hatalar: bütünlük kriterini gösteren Tip I hatası.
- Rastlantısal hatalar: algılayıcının gürültü miktarından kaynaklanan hatalar.

İki test alanında deneysel çalışmalar yapılmış, yöntemin kapasitesi sunulmuştur. Deneysel çalışmaların sonuçları, bina modellerinin gerçek dünyadaki karşılıklarına ne kadar iyi uyduğunu, ya da uymadığını göstermekte, böylelikle ölçü ile gerçek dünya arasındaki farklılıkları belirlemektedir. Bu yöntem, LIDAR nokta bulutlarının referans verisi

olarak kullanılması koşuluyla, 3B bina modellerinin kalite kontrolü için kolay ve hızlı bir metodolijidir. Yöntem aynı zamanda, mevcut 3B şehir modellerinin hangi kısımlarının güncellenmesi gerektiğini de belirleyebilmektedir.

Sunulan yöntem kent modellerinin kalite kontrolü amacı için geliştirilmiştir, ancak aynı yöntem bina/şehir şekil değişimlerinin ya da kaçak yapılaşmanın belirlenmesinde de kullanılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu proje, Ordnance Survey kurumunca finansal olarak desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Ackermann, F., 1984. Digital image correlation: performance and potential application in photogrammetry, *The Photogrammetric Record* 11 (64), 429-439.

Akca, D., Gruen, A., 2005. Fast correspondence search for 3D surface matching. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 36(3/W19), 186-191.

Akca, D., 2007. Least Squares 3D surface matching. Ph.D. thesis, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, Switzerland, *Mitteilungen* Nr.92, 78 p, URL: http://www.photogrammetry.ethz.ch/general/persons/devrim_publ.html (last date accessed: 10 December 2008).

Akca, D., Gruen, A., Freeman, M., Sargent, I., 2009. *Fast Quality Control Of 3D City Models*. International Lidar Mapping Forum (ILMF 09), New Orleans, Louisiana, USA. 10 Pages (On CD-ROM). http://www.photogrammetry.ethz.ch/general/persons/devrim/2009US_Akca_Et_Al_OS_ILMF09_Neworleans.Pdf [Accessed 21st August 2010].

Akca, D., 2010. Co-Registration Of Surfaces By 3D Least Squares Matching. *Photogrammetric Engineering And Remote Sensing*, 76(3): 307-318.

Ameri, B., 2000. Feature based model verification (FBMV): a new concept for hypothesis validation in building reconstruction. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 33 (B3), 24-35.

Baltsavias, E., Gruen, A., and Van Gool, L. (editors), 2001. Automated Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (III), A.A. Balkema Publishers, Lisse, the Netherlands, 415 p.

Baltsavias, E.P., Gruen, A., 2003. Resolution convergence - A comparison of aerial photos, LiDAR and IKONOS for monitoring cities. In: Mesev, V. (Ed.), *Remotely Sensed Cities*, Taylor & Francis, London, pp. 47-82.

Baltsavias, E.P., 2004. Object extraction and revision by image analysis using existing geodata and knowledge: current status and steps towards operational systems. *ISPRS Journal of Remote Sensing and Remote Sensing* 58 (3-4), 129-151.

Boudet, L., Papanoditis, N., Jung, F., Martinoty, G., Pierrot-Deseilligny, 2006. A supervised classification approach towards quality self-diagnosis of 3D building models using digital aerial imagery. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 36 (3), 136-141.

Durupt, M., and Taillandier, F., 2006. Automatic building reconstruction from a digital elevation model and cadastral data: an operational approach. *ISPRS Commission III Symposium*, Bonn, Germany, September 20-22, (on CD-ROM).

Elberink, S.O., and Vosselman, G., 2007. Quality analysis of 3D road reconstruction. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 36 (3/W52), 305-310.

Gruen, A., 1985. Adaptive least squares correlation: A powerful image matching technique. *South African Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Cartography* 14 (3), 175-187.

Gruen, A., 2000. Semi-automated approaches to site recording and modeling. Invited Paper, *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing* 33 (Part 5/1), 309-318.

Gruen, A., 2001: Cities from the sky - photogrammetric modeling of CyberCity is coming of age. *GeoInformatics* 4 (10), 30-33.

Gruen, A., Akca, D., 2005. Least squares 3D surface and curve matching. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 59 (3), 151-174.

Henricsson, O., and Baltsavias, E., 1997. 3D building reconstruction with ARUBA: a qualitative and quantitative evaluation. In: Gruen, A., Baltsavias, E. P. and Henricsson, O. (Eds.), *International Workshops on Automatic*

Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (II), Ascona, Switzerland, May 5-9, Birkhäuser Verlag, Basel, pp. 65-76.

Mayer, H., 1999. Automatic object extraction from aerial imagery – a survey focusing on buildings. *Computer Vision and Image Understanding* 74 (2), 138-149.

McKeown, D.M., Bulwinkle, T., Cochran, S., Harvey, W., McGlone, C., Shufelt, J.A., 2000. Performance evaluation for automatic feature extraction. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 33 (B2), 379-394.

Meidow, J., and Schuster, H.-F., 2005. Voxel-based quality evaluation of photogrammetric building acquisition. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 36 (3/W24), 117-122.

Pertl, A., 1984. Digital image correlation with the analytical plotter Planicomp C-100, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 25 (3B), 874-882.

Rottensteiner, F., and Schulze, M., 2003. Performance evaluation of a system for semi-automatic building extraction using adaptable primitives. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 34 (3/W8), 47-52.

Sargent, I., Harding, J., Freeman, M., 2007. Data quality in 3D: gauging quality measures from users' requirements. 5-th International Symposium on Spatial Data Quality, Enschede, the Netherlands, June 13-15, (on CD-ROM).

Schuster, H.-F., Weidner, U., 2003. A new approach towards quantitative quality evaluation of 3D building models. ISPRS Commission IV Joint Workshop on Challenges in Geospatial Analysis, Stuttgart, Germany, September 8-9, (on CD-ROM).

Suveg, I., and Vosselman, G., 2002. Mutual information based evaluation of 3D building models. *International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, Quebec City, Canada, August 11-15, vol. 3, pp. 557-560.