

Çok Kameralı Video Görüntülerinden Yüzey Deformasyonu ile 3B Şekil Geriçatma ve İzleme*

3D Shape Recovery and Tracking from Multi-Camera Video Sequences via Surface Deformation

Y. Sahillioğlu¹, Y. Yemez¹, V. Skala²

¹Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Koç Üniversitesi, İstanbul, Turkey

²University of West Bohemia, Pilsen, Czech Republic

ysahillioğlu@ku.edu.tr, yyemez@ku.edu.tr, skala@kiv.zcu.cz

Özetçe

Bu makale zamanla değişen gerçek nesnelerin çok kameralı video görüntülerinden 3B geriçatımını ve modellenmesini konu almaktadır. Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada nesnenin başlangıç şekli, bir yüzey deformasyon modeli aracılığıyla silüetlerinden geriçatılır. İkinci aşamada aynı deformasyon modeli başlangıçta geriçatılmış şeklin evrilerek, zamanla değişen silüet bilgisi doğrultusunda izlenmesi için de kullanılır. Yüzey deformasyon/evrilme modeli, uzamsal ve zamansal olarak yumuşak ve sabit bağlanırlığa sahip bir çokgen gösteriminin elde edilmesini mümkün kılar. Sonuç olarak, nesne devininin anlabilmisel içeriğini koruyan ve işlenmesi, görüntülenmesi ve iletilmesi çok daha kolay verimli bütünsel bir uzam-zaman gösterimi elde edilmiş olur.

Abstract

This paper addresses 3D reconstruction and modeling of time-varying real objects using multicamera video. The work consists of two phases. In the first phase, the initial shape of the object is recovered from its silhouettes using a surface deformation model. The same deformation model is also employed in the second phase to track the recovered initial shape through the time-varying silhouette information by surface evolution. The surface deformation/evolution model allows us to construct a spatially and temporally smooth surface mesh representation having fixed connectivity. This eventually leads to an overall space-time representation that preserves the semantics of the underlying motion and that is much more efficient to process, to visualize, to store and to transmit.

1. Giriş

Optik tarama ve veri işleme teknolojilerindeki son gelişmeler, dinamik gerçek sahnelerin 3B sayısallaştırılması ve gösterimi alanındaki araştırma çabalarına hız kazandırmıştır [1-3]. Zamanla değişen sahnelerin modellenmesi, probleme dördüncü bir zaman boyutunun eklenmesiyle, devinimsiz (statik) sahne modellenmenin basit bir uzantısı gibi düşünülebilse de, bu problem aslında mevcut tarama ve görüntüleme teknolojilerindeki kısıtlamalardan kaynaklanan kendine özgü zorlukları ve problemleri içerir. Bu zorlukları

iki başlık altında toplamak mümkündür. İlk yakalama (*capture*) sorunu ile ilgilidir; zira en gelişmiş statik sahne yakalama teknolojilerinin çoğu dinamik sahnelere uygulanamazlar. Optik üçgenleştirmeden şekil örneğinde olduğu gibi en hassas yakalama teknolojileri etkin yöntemlere dayanırlar [2]. Bu yöntemler çoğu kez verili bir nesnenin eksiksiz geriçatımı için çok sayıdaki tarama sonuçlarının tümleştirilmesini gerektirir ve dolayısıyla nesne devininin halindeyken kullanılamazlar. Etkin yöntemler arasında gelecek vaad eden bir alternatif, sahneye kodlanmış ışık örüntüleri izdüşürmektir, ancak bu tür tekniklerin halihazırda örtülme, eşleştirme ve hassasiyete dayalı sorunları vardır ve bir nesnenin şeklini yine de tek bir kerede yakalayamazlar [3]. Etkin yöntemlerin makul bir alternatifi, çok sayıda CCD kamera kullanımını gerektiren edilgen yöntemler olabilir [4]. Bu tür çok kameralı sistemler 3B şekil bilgisini, silüetlerden ve/veya çoklu-stereo doku bilgisinden çıkarırlar. Silüet tabanlı teknikler nesne yüzeyindeki bazı gizli içbükeylikleri yakalayamazken, stereo tabanlı tekniklerin ise hassasiyet sorunları vardır. Yine de, nesne şekli çok karmaşık olmadığı sürece, edilgen teknikler devininimli nesnelerin gürbüz, boşluk içermeyen ve eksiksiz geriçatımlarını oluşturabilirler.

Dinamik sahne modellemesinde ikinci zorluk gösterim ile ilgilidir. Saniyede 30 çerçeve hızında örneklenmiş bir sahneden elde edilecek zamanla değişen bir 3B modelin, eğer ardışık çerçeveler arasındaki artıklık ve ilinti dikkate alınmazsa, aşırı miktarda gösterim yükü taşıyacağı açıktır. Bu büyüklükteki 3B verinin gerçek zamanda görüntülenmesi ise üzerinde durulması gereken ayrı bir sorundur. Bu sözü edilen sorunlara şimdiye dek uygulanan çözüm, nesneye özgü modellerin kullanımı ve dinamik sahneyi ya da nesneyi animasyon parametreleriyle canlandırmak olmuştur. Ancak bu sorunların gerçek anlamda çözümü, gelişigüzel geometriye sahip herhangi bir nesnenin önce bir başlangıç modelinin oluşturulması ve sonrasında devininin ya da deformasyonunun zaman içinde izlenmesi ile mümkün olacaktır. Bu bağlamda, zamanla değişen ancak sabit bağlanırlığa sahip çokgen gösterimlerin, 3B veri saklama, işleme ve görüntüleme bakımından son derece verimli olacağı açıktır. Bu çeşit zaman tutarlı gösterimlerin elde edilmesi için literatürde çok az sayıda çalışma vardır ve bu çalışmalar yeterli olgunlukta olmayıp zaman tutarlı çokgen gösterimlerini ancak kısa zaman aralıklarında elde etmeyi başaramışlardır [5].

* Bu çalışma Avrupa Birliği tarafından, FP6 -3DTV-NoE projesi kapsamında desteklenmektedir.

Bu çalışma yukarıda sözü edilen sorunların çözümü için genel bir çerçeve oluşturmakta ve bir yöntem önermektedir. Sorunu sadeleştirmek için, sahnede devinmekte olan bir insan aktörü örneğinde olduğu gibi, topolojisi zamanla değişmeyen sahnelerin modellenmesi problemini ele alacağız. Başlangıç modelin elde edilmesi ve izlenmesi için kullandığımız deformasyon modeli Lagrange yaklaşımına dayanmakta ve bu model Bölüm 2’de anlatılmaktadır. Deformasyon modeli ve yüzey evrimi yönteminin başlangıç şeklin yakalanmasında ve zaman içinde izlenmesinde kullanımı ise Bölüm 3’te açıklanmaktadır. Bölüm 4’te deney sonuçları verilirken, Bölüm 5’te vargılar ve yapılması planlanan çalışmalar özetlenmektedir.

2. Deformasyon Modeli

Bilgisayarla görme literatüründe mevcut kısmi türevsel denklem güdümlü modeller iki kategori altında gruplandırılabilir: 1) Seviye kümeleri (*level sets*), Euler yaklaşımı ve 2) aktif çevritler (*active contours*), Lagrange yaklaşımı. Aktif çevrit modelleri, ya da başka bir deyişle “yılan” modelleri, ilk olarak Kass ve diğerleri [7] tarafından 2B imge analizinde ayırıcı özneliklerin çıkarımı için geliştirilmiş, sonrasında Terzopoulos ve diğerleri [8] tarafından 3B yüzey yakalama problemine uyarlanmıştır. Bu Lagrange yaklaşımında, parametrik bir başlangıç çevrit ya da yüzeyin, birtakım iç ve dış kuvvetlerin güdümünde seziyecek nesnenin sınırına doğru evrilmesi sağlanır. Bütünsel bir enerji fonksiyonunun enküçüklenmesini hedefleyen bu iç ve dış kuvvetler uygulamaya özgü olarak belirlenirler. Özgün yılan modeli yüzey/çevrit evrilmesi sırasında oluşması muhtemel topolojik değişimlerle başa çıkabilecek ya da karmaşık girintili çıkıntılı şekillerin gösterimini sağlayabilecek şekilde tasarlanmamış olmakla birlikte, ortaya ilk atılmasını izleyen yıllarda çok sayıda araştırmacı tarafından daha da geliştirilmiş ve bilgisayarla görmenin çeşitli alanlarında uygulama bulmuştur [9,10]. Diğer yandan, düzey kümesi tekniği ilk olarak Malladi ve diğerleri tarafından [11], klasik yılan yaklaşımına alternatif olarak yukarıda sözü edilen eksikliklerine çözüm getirmek amacıyla önerilmiştir. Euler formülasyonuna dayanan bu teknikte, nesne şekli zamanla değişen bir fonksiyonun bir düzey kümesi çözümü olarak, daha yüksek boyutlu bir uzaya gömülür. Şekil fonksiyonu bütün bir uzay üzerinde ve belli uzam-zamansal kısıtlar altında döngüsel olarak güncellenir ve sonuç olarak fonksiyonun sıfır düzeyindeki çözümünün nesne sınırına yakınsaması beklenir. Düzey kümesi tekniğinin, şekildeki topolojik değişimleri örtük olarak ele alabilmesine rağmen, hesap yükü çok ağırdır ve özellikle 3B yüzey yakalama problemi için paralel gerçekleştirilemez hale gelir [4]. Daha da önemlisi, düzey kümesi yaklaşımıyla, başlangıç çokgen modeldeki belirtir bağlantı bilgisi yakınsama sürecindeki döngüler esnasında yitilir. Bu çalışmanın amacı başlangıç modeli izleyerek, sabit bağlantılığa sahip zamanla değişen bir çokgen gösterimi elde etmek olduğundan, düzey kümesi tekniğini bizim problemimize uygulamak mümkün değildir. Dolayısıyla bu çalışmada Lagrange yaklaşımını benimseyerek şekil topolojisinin zaman içinde değişmediğini varsayıyoruz. Ancak bu sınırlamanın, topolojideki olası yarıma ve birleşmeleri sezimleyip uygulayabilen bazı özel yordamların kullanılmasıyla aşılmasının pekala mümkün olduğunu da belirtelim [12,13].

Kullandığımız deformasyon modeli global bir E enerji terimini enküçükleyen optimal bir S^* yüzeyine ulaşmaya çalışır:

$$E(S, B) = E_{\text{int}}(S) + E_{\text{ext}}(S, B)$$

Bu denklemde iç enerji bileşeni E_{int} yüzeyin yumuşaklığını kontrol ederken, dış enerji bileşeni E_{ext} , S yüzeyi ve B nesne sınırı arasındaki uyumu ölçer. Bu enerji terimi aşağıdaki kısmi türevsel denklemi çözerek enküçüklenebilir:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = F_{\text{int}}(S) + F_{\text{ext}}(S, B)$$

Burada iç ve dış kuvvet terimleri, F_{int} ve F_{ext} , başlangıç yüzeyini yumuşak bir biçimde nesne sınırına doğru sürükler. Bu türevsel denklemin ayrık biçimi aşağıdaki döngüsel yüzey evrimi ile çözülebilir:

$$S_k = S_{k-1} + \Delta t(F_{\text{int}}(S_k) + F_{\text{ext}}(S_k, B))$$

Yukarıdaki denklemin döndürülmesiyle, S_k yüzeyi bütün kuvvetlerin birbirini sıfırladığı denge durumundaki en iyi S_k yüzeyine yakınsar. Dış kuvvet bileşeni, F_{ext} , uygulamaya özgüdür, genliği ve yönü, o andaki yüzeyin hedef nesne sınırına göre ne yönde ve ne kadar uzak olduğuna bağlı olarak belirlenir. Dış kuvvet bileşeninin yönü çoğunlukla yüzey normal vektörünün yönüyle aynı olacak şekilde seçilir.

3. 3B Şekil Geriçatımı ve İzlenmesi

Bu bölümde çok açılı videodan dinamik bir nesnenin zamanla değişen çokgen gösteriminin elde edilmesini hedefliyoruz. Bu işlem başlıca iki aşamadan oluşmakta: Önce başlangıç çokgen modelin yakalanması ve sonra bu modelin zaman içinde bağlantırlık bilgisini değiştirmeden izlenmesi. İki aşama için de Bölüm 2’de anlatılan deformasyon modeli kullanılacaktır. Her bir aşamada kullanılan algoritma diğerinden, söz konusu deformasyon modelinden nasıl yararlandığına bağlı olarak farklılık gösterir.

Başlangıç çokgen gösterimi çok açılı video silüet dizisinin ilk çerçevelerinden nesneyi sınırlayan 3B kürenin deforme edilmesiyle geriçatılır. Bir çokgen olarak ifade edilen bu küre, kamera kalibrasyon parametreleri aracılığıyla silüetleri sınırlayan 2B dikdörtgen kutuların 3B nesne koordinat sistemine geri izdüşürülmesiyle otomatik olarak kestirilir.

Doku ya da renk tutarlılık bilgisini dış güç bileşeninin belirlenmesine katmak mümkünse de [14], bizim durumumuzda, F_{ext} kuvveti yalnızca silüet bilgisine dayanır. Çoğunlukla yapıldığı gibi, dış kuvvetin yönünü her zaman için deforme edilen yüzeye dik olacak şekilde seçersek, yüzey çokgeninin p düğümündeki dış kuvveti şöyle yazabiliriz:

$$F_{\text{ext}}(p) = v(p) \cdot n(p)$$

Burada $n(p)$ yüzey normal vektörü, $v(p)$ ise p düğümündeki hızı simgeler. Çokgenin her düğümünün yüzey evrilmesinin her anındaki hızı, bu düğüm noktasının silüetlere göre ne kadar uzak ve ne yönde (içeride ya da dışarıda) olduğuna bağlı olarak belirlenir. Dolayısıyla negatif değerler de alabilen v hızı, p noktasının imge düzlemlerine izdüşümünün çift doğrusal aradeğerlenmesiyle elde edilen eşdüzey değerleri kullanılarak hesaplanır:

$$v(p) = 2\varepsilon \min_n \left\{ G \left[\text{Proj}_{I_n}(p) \right] - 0.5 \right\},$$

Burada Proj_{I_n} , $p(x, y, z)$ noktasının n 'inci ikili silüet imgesi I_n üzerine izdüşümünü singeler. G aradeğerleme fonksiyonu ise şöyle tanımlanır:

$$\begin{aligned} G(x', y') &= (1 - \alpha)((1 - \beta)I(\lfloor x' \rfloor, \lfloor y' \rfloor) \\ &+ \beta I(\lfloor x' \rfloor, \lfloor y' \rfloor + 1)) + \alpha((1 - \beta)I(\lfloor x' \rfloor + 1, \lfloor y' \rfloor) \\ &+ \beta I(\lfloor x' \rfloor + 1, \lfloor y' \rfloor + 1)) \end{aligned}$$

Burada $(\lfloor x' \rfloor, \lfloor y' \rfloor)$ ve (α, β) ikili I imgesindeki (x', y') nokta koordinatının sırasıyla tamsayı ve kesirli kısımlarını gösterir. 0 ve 1 arasında değerler alan G fonksiyonu ise p düğüm noktasının (x', y') alt-piksel izdüşümünün çift doğrusal aradeğerine karşılık gelir. Dolayısıyla $v(p)$ hızı $-\varepsilon$ ve ε arasında değerler alır ve bu fonksiyonun sıfırı kestiği yerler eşyüzeyi (*isosurface*) ortaya çıkarır. Sonuç olarak, p düğüm noktasının eşdeğeri (*isovalue*) bu noktanın dışarıdan en uzak olduğu, ya da başka bir deyişle, G aradeğerleme fonksiyonunun en küçük değerini aldığı silüet imgesi tarafından belirlenir.

İç kuvvet bileşeni, F_{int} , elimizdeki yüzey dış kuvvetlerin güdümünde nesne sınırına doğru evrilirken, çokgenin yumuşaklığını denetim altında tutar. Çokgenin her düğümüne ilk önce dış kuvvet belirtildiği gibi uygulanır ve sonrasında iç kuvvet düğüm noktasını komşularının ağırlık merkezine çekerek dış kuvvetin etkisini dengelemeye, düzeltmeye çalışır [14]:

$$F_{\text{ext}}(p) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i - p$$

Burada p_i , $i = 0, 1, \dots, N$, p 'ye komşu düğüm noktalarını singeler. Eğer deformasyon modeli tamı tamına yukarıda betimlendiği gibi uygulanır ve başka bir önlem alınmazsa, yüzey evrilmesi sırasında bazı sorunlar baş gösterebilir. Bunlar: 1) Topolojik problemler, yani, manifold olmayan üçgenler belirebilir, 2) dejenere kenarlar oluşabilir, 3) yüksek valans değerlerine sahip düzensiz düğümler ortaya çıkabilir, 4) çokgen yılan yüzeyi bazı ince detayları ve içbükeylikleri yakalamada yetersiz kalabilir. Çokgen yapısındaki manifold olmayan üçgenler, dış kuvvetlerin düğüm noktalarının pozisyonunu güncellemesine bağlı olarak oluşabilirler. Bu çeşit topolojik sorunları engellemek için, dış kuvvet genliğinin enbüyük değeri çokgendeki en küçük detayın büyüklüğü ile kısıtlanır: $\varepsilon < \varepsilon_{\text{min}}/2$; burada ε_{min} çokgende beliren en küçük kenar uzunluğunu singeler. Sözü edilen diğer üç problem ise, şekil yakalama algoritmasına, aşağıda detayları verilen üç özel işlemin, yani kenar çökertme (*collapse*), kenar bölme (*split*) ve kenar evirme (*flip*) işlemlerinin, dahil edilmesiyle çözülür [15]:

- **Kenar çökertme:** Düğümler dış kuvvetin etkisi altında nesne sınırına doğru çekildikçe, komşu düğümler birbirlerine çok yaklaşır bazı kenarların dejenere olmasına sebep olabilir. Bu yüzden uzunluğu, belli bir eşiğin (ε_{min}) altına düşen kenarlar uç noktaları birleştirilerek çökertilir.
- **Kenar bölme:** Eğer nesne yüzeyinde çok miktarda içbükeylik varsa ve eğer başlangıç çokgen çözünürlüğü bunların gösteriminde yetersiz kalırsa, yüzeyin ilgili

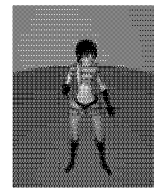
kısımlarındaki kenarların bölünerek düğüm sayısının çoğaltılması gerekir. Eklenen düğümler söz konusu kenarın ortasına yerleştirilir ve çokgen bağlanırlık yapısı buna göre güncellenir. Bir kenarın bölünüp bölünmeyeceğine şöyle karar verilir: Bütün kuvvetlerin dengede olduğu yakınsama durumunda, eğer nesne hacminin dışında kaldığı belirlenen düğümler varsa, bu düğümlere komşu olan kenarlar bölünür ve yüzey evrilmesi işlemi yeniden başlatılır.

- **Kenar evirme:** Kenar çökertme ve bölme işlemleri kaçınılmaz olarak çokgen yapısındaki valans dağılımını değiştirirler ve düzensiz düğümlere yol açarlar. Bunu engellemek için, yüzey evrilmesi sırasında, herhangi iki komşu üçgenin ortak kenarı, eğer kenar evirme işlemi 6 değerine yakın valanslı düğümlerin lehine olacaksa, ortak olmayan düğümlerini birleştiren kenarla değiştirilir.

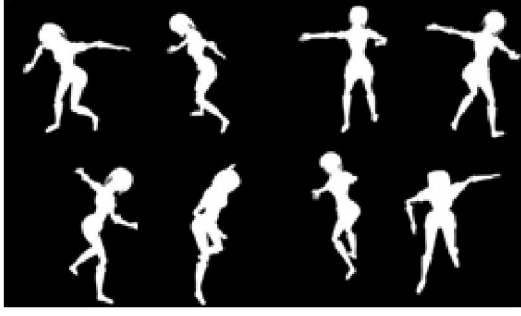
Bu üç işlem yüzey evrilmesi sürecine, uygun bir sırada döngüsel olarak dahil edilir. Yüzey evrilme döngüsü, çokgenin bütün düğümleri nesne sınırına yapışıp kalana dek devam eder. Bu yolla elde edilen başlangıç çokgen modeli, ikinci aşamada, zamanla değişen silüet eğrilerini takip edecek şekilde aynı deformasyon modeline ve evrilme sürecine tabi tutulur. İki çerçeve arasındaki deformasyonun (devinimin) ve dolayısıyla bunu belirleyecek döngü sayısının ilk aşamaya göre çok daha az olması beklenir. İlk aşamadan farklı olarak burada bağlanırlık bilgisini değiştirmekten kaçınmak gerekir. Kenar çökertme, bölme ya da evirme işlemleri kaçınılmaz olarak uygulanmak zorunda kalırsa, bu işlemler veri yapısına kaydedilmeli ve bütünsel uzam-zaman çokgen gösterimine dahil edilmelidir.

4. Deney Sonuçları

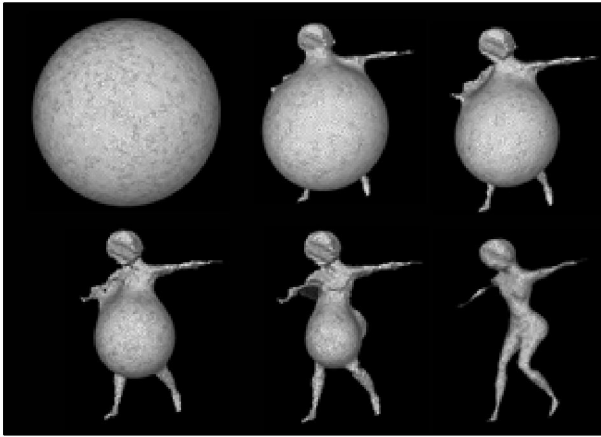
Önerilen şekil geriçatım tekniğini Şekil 1'deki zamanla değişen sentetik insan modeline uyguladık [16]. Başlangıç çokgen modelin oluşturulmasında kullanılan ve sentetik 3B modelden türetilmiş 8 adet 320×200 çözünürlüğündeki silüet imgesi Şekil 2'de sergilenmektedir. Bu silüetlerden yüzey deformasyonu yolu ile elde edilen şekil çokgen modeli ve yakınsama süreci Şekil 3'te gösterilmektedir. Bu başlangıç modelin bağlanırlığını değiştirmeden zaman içinde izlenmesiyle elde edilen ve bir çerçeve sonrasına karşılık gelen çokgen model ise Şekil 4'te sergilenmektedir. Elde edilen sonuçlar genel olarak tatminkar olmakla birlikte, ince şekil ayrıntılarının, örneğin kolların, yakalanmasında ve zaman içinde izlenmesinde sorunlar göze çarpmaktadır. Bu sorunlar, silüet imgelerinin çok düşük çözünürlükte ve sahnedeki devinimin çok düşük hızda örneklenmiş olmasından kaynaklanmaktadır.



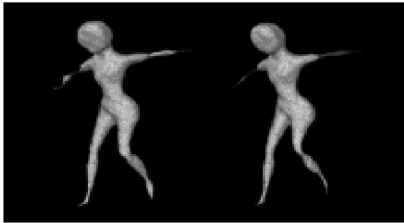
Şekil 1: Sentetik 3B insan modelinden bir görüntü.



Şekil 2: Sentetik 3B insan modelinden türetilmiş ve belli bir t anında farklı bakış açılarına karşılık gelen siltet imgeleri.



Şekil 3: Küresel yüzeyin, deformasyon ile, t anındaki şekil çokgen modeline yakınsama döngüsünden örnek adımlar.



Şekil 4: (Solda) t anındaki çerçeveden elde edilen çokgen model, ve (sağda) bu modelin bir sonraki çerçevede izlenmesiyle, $t+1$ anı için elde edilen çokgen model.

5. Vargılar

Bu makalede dinamik sahnelerin zamanla değişen ve sabit bağlantılığa ve topolojiye sahip çokgen gösterimi ile modellenmesi için bir çerçeve sunulmuştur. Bu çerçeve Lagrange yaklaşımına dayalı bir yüzey deformasyon/evrilme yöntemi kullanır. Deney sonuçları bu çerçevenin, başlangıç modelin yakalanmasında ve zaman içinde izlenmesinde kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak başarılı bir sonuç elde edebilmek için, sahnedeki detayların çözünürlüğünün saniyedeki video çerçeve sayısına oranı kritik bir önem taşımaktadır. Yakın gelecekte, önerilen tekniğin daha da geliştirilmesi, başka video dizilerine uygulanması ve daha

geniş zaman aralıklarında izleme başarımının sınanması hedeflenmektedir.

6. Kaynakça

- [1] Elaksher, A.F. and Bethel, J.S., "Reconstructing 3D buildings from LIDAR data," Proceedings of Photogrammetric Computer Vision, ISPRS Commission III, Symposium 2002, September 9 - 13, 2002, Graz, Austria, pp. 102-107.
- [2] B. Curless and M. Levoy, "A Volumetric Method for Building Complex Models from Range Images," In ACM Computer Graphics Proceedings, SIGGRAPH, pp. 303-312, 1996.
- [3] C. Rocchini, P. Cignoni, C. Montani, P. Pingi, R. Scopigno, A low cost 3D scanner based on structured light, in: A. Chalmers, T.-M. Rhyne (Eds.), EG 2001 Proceedings, Vol. 20(3), Blackwell Publishing, 2001, pp. 299-308.
- [4] M. A. Magnor, B. Goldlücke, "Spacetime-Coherent Geometry Reconstruction from Multiple Video Streams," 3DPVT 2004: 365-372.
- [5] K. Mueller, A. Smolic, P. Merkle, M. Kautzner, and T. Wiegand, "Coding of 3D Meshes and Video Textures for 3D Video Objects," Proc. PCS 2004, Picture Coding Symposium, December, 2004.
- [6] M. Garland, "Multiresolution Modeling: Survey and Future Opportunities," Proc. Eurographics, STAR—State of The Art Reports, 1999.
- [7] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, "Snakes: Active Contour Models," Int. J. Computer Vision, Vol. 1, pp. 321-331, 1988.
- [8] D. Terzopoulos, A. Witkin, and M. Kass, "Constraints on Deformable Models: Recovering 3D Shape and Nonrigid Motions," Artificial Intelligence, Vol. 36, pp. 91-123, 1988.
- [9] D. Terzopoulos and D. Metaxas, "Dynamic 3D Models with Local and Global Deformations: Deformable Superquadrics," IEEE Trans. Pattern Analysis and Mach. Intelligence, Vol. 13, pp. 703-714, 1991.
- [10] L. D. Cohen, "On Active Contour Models and Balloons," CVGIP: Image Understanding, Vol. 53, pp. 211-218, 1991.
- [11] R. Malladi, J.A. Sethian, B.C. Vemuri, "Shape Modeling with Front Propagation: A Level Set Approach," IEEE Trans. Pattern Analysis and Mach. Intelligence, Vol. 17, No. 2, pp. 158-175, 1995.
- [12] T. McInerney and D. Terzopoulos, "Topologically Adaptable Snakes," Proc. ICCV'95, pp. 840-845, Cambridge, June, 1995.
- [13] Y. Duan, L. Yang, H. Qin and D. Samaras, "Shape Reconstruction from 3D and 2D Data Using PDE-based Deformable Surfaces," ECCV 2004, pp. 238-251, 2004.
- [14] C. H. Esteban and F. Schmitt, "Silhouette and Stereo Fusion for 3D Object Modeling," Computer Vision and Image Understanding, Vol. 96, No. 3, pp. 367-392, December 2004.
- [15] L. P. Kobbelt, T. Bareuther, and H. Seidel, "Multiresolution Shape Deformations for Meshes with Dynamic Vertex Connectivity," EUROGRAPHICS '2000, Vol. 19, No. 3, 2000.
- [16] <http://www.grovis.de/kungfu/>