

Çözünürlüğü Ayarlanabilir 3-Boyutlu Nesne Modellemesi

Resolution Adjustable 3-Dimensional Object Modeling

Özgür Uluçay

Sarp Ertürk

Kocaeli Üniversitesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
41040 İzmit, Kocaeli
oulucay@yahoo.com , sertur@kou.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada çözünürlüğün ağ basitleştirme yöntemleri kullanılarak ayarlanabildiği üç boyutlu nesne modellemesi önerilmektedir. 3-Boyutlu nesne modellemesi için yaygın olarak kullanılan poligon modeller temel alınarak nesnelerin üç-boyutlu modellerinin gösterimi için poligon yapısından faydalanılmaktadır. Poligonların birleşiminden oluşan ağ örgüsü daha sonra dolgu, renkli veya doku kaplamalı olarak gösterilebilmektedir. Kullanıcının 3-boyutlu modelle etkileşimini sağlamak üzere döndürme, ışıklandırma, yakınlaştırma ve uzaklaştırma işlemlerine olanak tanınmaktadır. Nesnenin 3-Boyutlu modelinin sahip olduğu poligon ve köşe sayılarının miktarı, çözünürlüğe ve veri miktarına doğru orantılı biçimde etki etmekte, poligon sayısı artınca çözünürlük ile beraber veri miktarı da artmaktadır. Bu çalışmada, çözünürlüğü ve dolayısıyla veri miktarı ayarlanabilir 3-Boyutlu modelleme sayesinde erişim biçimine göre bilgi çözünürlüğünün ayarlanmasına olanak sağlanması amacıyla, yeni bir ağ basitleştirme ve artırım algoritması önerilmiştir.

Abstract

A 3-Dimensional (3-D) object modeling technique with mesh simplification based resolution adjustment is proposed in this paper. Polygonal models which are widely utilized for the modeling of 3-D objects are taken as basis, making use of the polygonal structure and vertex coordinates for the display of 3-D models. The mesh structure obtained by the collection of polygons can be displayed in filled, colored, or texture mapped fashion. Rotation, lighting and zooming functions are supported to enable user interaction with the 3-D model. The amount of polygons and vertices of a model is proportional to the resolution as well as data quantity, resolution and data increases with the number of polygons. In this paper, we propose a new simplification and refinement algorithm to utilize resolution, and hence data amount, adjustable 3-D modeling so that data resolution can be changed according to access constraints.

1. Giriş

Bilgisayar grafik sistemleri, bilgisayar destekli tasarım, nesne tanımlama, nesne takibi ve model temelli video kodlama gibi birçok değişik uygulama, nesnelerin en önemli özelliklerinden birisi olan nesne şekline dayanmaktadır. Nesne şekillerinin tanımlanması ve temsil edilmesi işlemi genelde 'modelleme' olarak adlandırılmaktadır. Nesne şekillerinin tanımlanması için birçok değişik yöntem bulunmakta olup her birinin kendine özgü üstün ve eksik yönleri mevcuttur. Değişik modelleme

yöntem ve uygulamaları var olmakla beraber en yaygın kullanılan yöntem poligon yapı kullanan modellemedir.

Poligon temelli ağ yapısı (*polygonal meshes*) şeklinde tanımlanan 3-Boyutlu (3-B) modeller yaygın kullanılmakta ve işleme açısından basit bir şekil tasviri imkanı sağlamaktadır. Özellikle etkileşimli üç boyutlu grafik uygulamaları için kolay kullanım sağlayan poligon modelleri, modelleme kesinliğinin değişik oranlarda ayarlanabilmesi ve değişik biçimleri kolayca tanımlayabilme kabiliyeti sayesinde yaygın kabul görmektedir.

Poligon modelleri ağ yapısı içerisinde, köşeler, kenarlar, yüzler, ve bunlar arasındaki topolojik ilişkilerin bir kümesini içerir. Bu ilişkileri baz alarak, bir veri yapısı, her elemanın nasıl saklanacağını, ve ihtiyaç duyulduğunda komşularına nasıl referans edileceğini belirtir. Poligon yapıları temel olarak yüz-temelli (face-based) ve kenar-temelli (edge-based) olmak üzere iki farklı veri yapısını desteklemektedir. Yüz-temelli poligon yapıları, her yüzün köşe noktalarına ve komşu yüzlere olan işaretçisi ile saklama yapar. Kenar-temelli poligon yapıları ise, köşeler ve komşu kenarlar olmak üzere her kenar için işaretçileri saklamaktadır. Bu çalışmada, tarihi nesnelerin modellenmesi ve erişimi sayesinde kültürel mirasın korunmasını hedefi ile, 3-Boyutlu bir model görüntüleme sistemi geliştirilmektedir. Önerilen çözünürlüğü ve dolayısıyla veri miktarı ayarlanabilir 3-Boyutlu modelleme sayesinde erişim biçimine göre bilgi çözünürlüğünün ayarlanmasına olanak sağlanmaktadır. Bu amaçla OpenGL (Open Graphics Library) grafik kütüphaneleri kullanılarak esneklik, verimlilik, ve kullanım kolaylığı olarak belirlenen üç önemli tasarım hedefi ile etkileşimli 3-B görüntüleme sistemi gerçekleştirilmiştir.

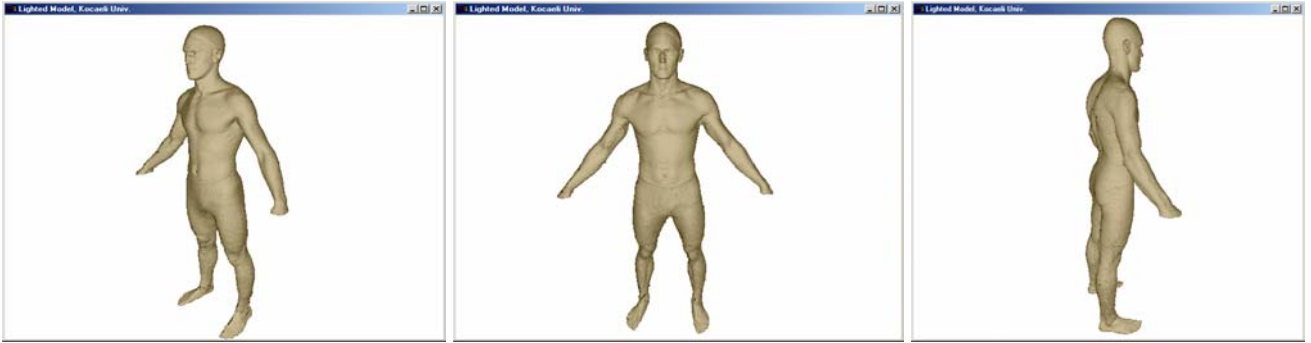
2. Üç-Boyutlu Modellerin Etkileşimli Görüntülenmesi

3-Boyutlu model görüntüleme sistemi tasarlanırken esneklik ön planda tutulmuştur. Ele alınabilecek modellerin sınırlandırılmasının aksine, sadece üçgen değil, keyfi poligon yüzlerini (*facet*) işleyebilen bir yapı kullanılmış, köşelere, kenarlara ve poligonlara rasgele erişim sağlanmasına olanak tanınmıştır. Bununla beraber kolay kullanılabilir bir arayüz ve basit etkileşim öne planda tutulmuştur.

OpenGL grafik kütüphanelerinden OpenGL32.lib, Glu32.lib, Glaux.lib kütüphaneleri modeli desteklemek için gereksinim duyulan renklendirme, ışıklandırma, döndürme, dolgulama gibi pek çok işlemi destekleyerek kolaylık sağlamakta ve modelin üç boyutlu uzaydaki konumunu, doğrultusunu, kamera ve ekrandaki pencere arasındaki dönüşümlerin

yapılmasına olanak tanımaktadır. Üç-boyutlu uzayda model yüzeyindeki her bir noktanın (x,y,z) koordinatından oluşan köşe noktası (vertex) ile poligonları oluşturan noktaların dizini kullanarak modellerin sisteme tanıtılması mümkündür.

Görüntüleme sisteminde modele renk verilmesi, ışıklandırma ve keyfi materyal özellikleri eklenebilmektedir. Uzayda herhangi bir noktaya bir ışık kaynağı konularak veya her doğrultuda yansiyarak gelen bir ışık kaynağı kabul edilerek, yansıtma özelliklerine göre modelin görüntülenmesi sağlanabilmektedir. Model ekrana dik eksenle yaklaştırıldıkça model boyutunun büyümesi, uzaklaştırıldıkça ise model boyutunun küçülmesi için perspektif bakış biçimi kullanılmıştır. Kullanıcı etkileşiminde döndürme işleminin doğru bir şekilde yapılabilmesi ise modelin merkezi bulunarak, eksen takımının bu merkez noktasına yerleştirilmesi sayesinde kullanıcıya üç boyutta her eksen etrafında döndürme imkanı sağlanmaktadır.



Şekil 1: 153140 köşe, 306276 poligondan oluşan 3-Boyutlu insan vücudu modeli.

3. Ağ Basitleştirme

Çok sayıda nokta ve poligon içeren büyük poligonals modellerin basitleştirilmesi bilgisayar grafikleri açısından önemli bir konu teşkil etmektedir. Ağ basitleştirmesini önemli kılan iki temel neden mevcuttur. İlk neden geometrik modellerin aşırı derecede karmaşık olabileceğidir. Örneğin üç boyutlu tarama gerçekleştiren donanımlar, gerçek objeleri yüksek çözünürlüklü, milyonlarca yüzden oluşan çok iyi bir ağ yapısına sahip olarak üretmektedir. Bu modeller yüksek oranda örneklenmiş olup, gerçek-zamanlı işleme ve gösterimleri mümkün olmadığından grafik işleme düzenine sokulmadan önce ön işlemden geçirilmelidir. Bu ön işlemin ana görevlerinden bir tanesi, ağ basitleştirmesi ile artık (redundant) yüzlerin elenmesidir [3]. İkinci neden, detaylı nesne modellerinin sadece artıklığın elenmesi durumunda dahi bir miktar büyük olabilesidir. Çok büyük poligonals tasvirlerin basitleştirilmemiş boyutu çoğu zaman grafik programlarını zorlamakta ve uygulamalar için elverişsiz olmaktadır. Bu nedenle çoğu uygulama için çok-çözünürlüklü modelleri de kapsayan çoklu detay seviyelerinde (Level of detail, LOD) modelleme ve işlemeye imkan tanınmaktadır. Basitleştirme algoritmaları, çoklu-çözünürlüklü oluşum içerisinde önemli bir kısım olup bu nedenle pek çok değişik basitleştirme algoritması geliştirilmiştir [4, 5, 6, 7, 8].

Bu çalışmada önerilecek olan basitleştirme algoritmasının amacında, çok-çözünürlüklü modellere ulaşmanın ötesinde modellerin özellikleri farklı bölgeleri için farklı çözünürlüklü

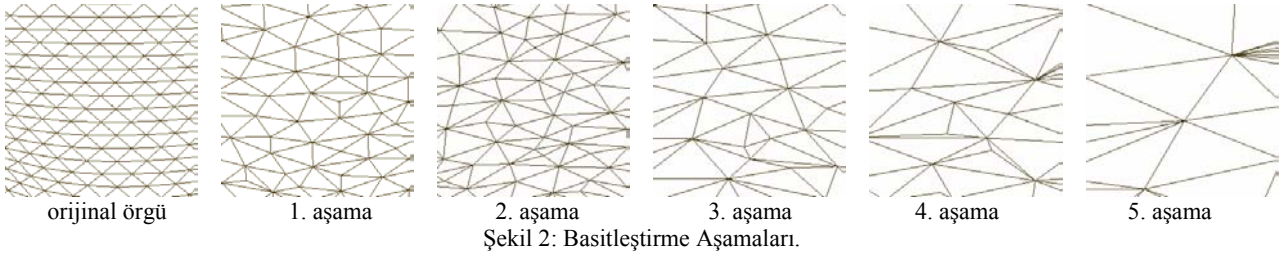
Şekil 1’de uzayda tek bir noktaya konulan bir ışık kaynağı ve altın renginde materyal özellikleri kullanılarak farklı açılardan görüntülen 3-Boyutlu bir insan vücudu modeli gösterilmektedir. Işık kaynağının kullanılabilmesi için model yüzlerinin yüzey normallerinin ifade edilmesi gerekmektedir. Yüzey normalleri ifade edilerek modeli oluşturan her yüzün aynı oranda aydınlatılması engellenmekte ve farklı aydınlıklı bölgeler oluşturulması sağlanmaktadır [1]. Yüzey normallerinin bulunması için Newell yöntemi kullanılmaktadır [2].

Şekil 1’de 153140 köşe ve 306276 poligondan oluşan bir insan vücudu modelinin döndürülmesi sonucu elde edilen görüntüler gösterilmektedir. Geliştirilen görüntüleme sisteminde kullanıcı ışıklandırma, döndürme, yaklaştırma ve uzaklaştırma gibi işlemleri etkileşimli olarak kontrol edebilmektedir.

bölgeler elde edilmesi yatmaktadır. Önerilen algoritmanın temel yapısında ilk olarak model poligonlarının yüzey normalleri Newell yöntemi kullanılarak bulunmaktadır. Daha sonraki aşamalarda ise sırasıyla her poligon için yüzey normalinin kendisine komşu olan tüm poligonların yüzey normalleri ile yaptığı maksimum açı o poligona açı değeri olarak atanmaktadır. Basitleştirme işlemi sürecinde her poligonun açı değeri sınır olarak verilen bir değer ile karşılaştırılarak bu poligonun basitleştirme sürecine dahil olup olmaması gerektiğine karar verilir. Eğer açı sınır değerinden büyük ise o poligon sürece katılır, aksi taktirde katılmaz. Bu karşılaştırmanın yapılmasının nedeni nesnelerin önemli sayılan kıvrımlı yerlerinin basitleştirme işlemi esnasında en az düzeyde etkilenecek model ne kadar az veri ile ifade edilirse edilsin bu bölgelerin belirgin görünürlüğünün zarar görmesinin önemli ölçüde önüne geçilmesidir. Sürece katılan poligonlar sırasıyla en küçük açı değerine sahip poligondan itibaren belirli bir eşik değerine kadar veya tamamı basitleştirme işlemine tabi tutulur. Basitleştirmeye dahil olacak olan poligon bulunduğundan sonra o poligonun merkezi bulunur, ve poligonun ilk köşe değeri, merkez değeri ile değiştirilir. Bu poligon ile birlikte bu poligona iki köşe değeri ile bağlı olan üç poligon (1. derece komşu) ve poligonun diğer iki köşesi bu esnada yok edilir. Bu poligona tek bir köşe değeri ile bağlı olan poligonlar (2. derece komşu), poligonun köşe değerlerinden birini içermek yerine merkez değerini içerecek şekilde yeniden düzenlenir. Bu düzenlenen poligonlar basitleştirme sürecine bu aşamada yeniden katılmamaları için işaretlenir. Basitleştirme işlemi istenen düzeye ulaşıncaya kadar aşama aşama

yapılmakta ve her aşamada bir eşik değerine kadar, mevcut tüm poligonlar karar verme sürecine tabi tutularak seçilen poligonlar ile beraber 1. dereceden komşu (2 değer ortak) poligonlar ve 2 adet köşe değeri yok edilerek işlem sürdürülür. İstenen düzeyde basitleştirme sağlanmamışsa süreç bir aşama daha tekrarlanır.

İstenen düzeyde basitleştirilen modellerden orijinal modelin geri elde edilmesini sağlamak amacıyla bir artırım yöntemi basitleştirme algoritması ile birlikte önerilmektedir. Artırım metodunda düşük çözünürlüklü model verilerine ek olarak bir



Algoritma

```

For i = (1 : poligon sayısı) Do
    Normalleri ata;
For i1 = (1 : poligon sayısı) Do
    Açı değerini hesapla
For i2 = (1 : poligon sayısı) Do
    If (Açı > sınır)
        Bu poligonu kuyruğa koy
For j = (1 : index) Do
    If (isaret != 0 && isaret != 1)
        For i3 = (1 : poligon sayısı) Do
            Açı değeri en küçük poligonu seç
            Sıfır ile işaretle! (Yok Et)
            Bu poligonun üç köşesini hafızadan çek
            1.köşe = (1. köşe + 2. köşe + 3. köşe) / 3
            2. ve 3. köşeyi sıfır ile işaretle (Yok et)
            For i4 = (1 : poligon sayısı) Do
                Poligonun köşe değerlerine bak
                If (köşe = 1. köşe || 2. köşe)
                    köşe = 1. köşe değeri
                For i5 = (1 : poligon sayısı) Do
                    1. derece komşuları bul
                    Sıfır ile işaretle! (Yok Et)
                    2. derece komşuları bul
                    1 ile işaretle (Dokunulamaz)

```

4. Sonuç

Bu çalışmada model çözünürlüğünün önerilen ağ basitleştirme ve artırım tekniği kullanılarak ayarlanabildiği bir üç boyutlu nesne modelleme ve görüntüleme sistemi önerilmektedir. Çalışma kapsamında tarihi nesnelerin modellenmesi ve erişimi sayesinde kültürel mirasın korunması hedefi ile, kullanıcının 3-boyutlu modelle etkileşimini sağlamak üzere döndürme, ışıklandırma, yakınlaştırma ve uzaklaştırma işlemlerini yapabildiği 3-Boyutlu bir model görüntüleme sistemi geliştirilmiştir.

Şekil 3'de üç-boyutlu "torso" modelinin görüntülenmesi ve basitleştirme mekanizması esnasında geçirmiş olduğu aşamalar

aşama üst çözünürlüklü modelin tüm verilerini yeniden göndermenin aksine yok edilmiş poligon ve köşe (vertex) değerleri ile değiştirilmesi gereken değer verileri kullanıcıya gönderilerek kullanıcının bu değerleri kullanarak bir üst çözünürlüklü modeli görüntülemesine olanak sağlanır. Her aşama için ek veriler ve değiştirilmesi gereken değerler gönderilerek, kullanıcının orijinal modeli görüntüleyebilmesi sağlanmaktadır. Aşağıda 5 aşamada sonucunda orijinal ağ örgüsünün geçirdiği basitleştirme süreci ve algoritmanın ana hatları gösterilmektedir.

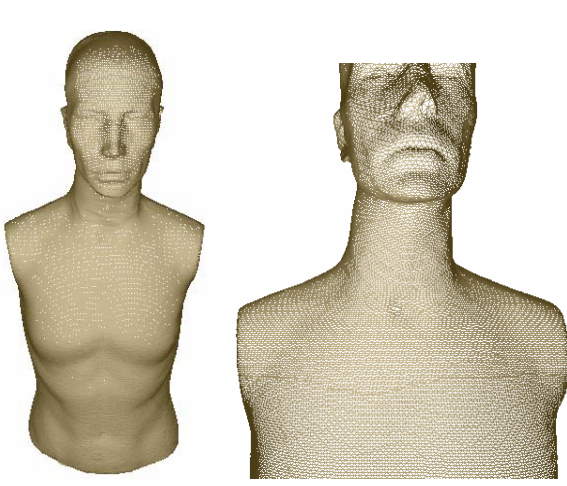
görüntülenmektedir. Görüldüğü üzere modelin önemli özellikteki yüz ve kıvrım bölgeleri önerilen teknik sayesinde bozulmaya karşı diğer bölgelerden daha dirençli hale getirilmiştir. Önerilen, çözünürlüğü ve dolayısıyla veri miktarı ayarlanabilir 3-Boyutlu modelleme sayesinde erişim biçimine göre bilgi çözünürlüğünün ayarlanmasına olanak sağlanmaktadır.

5. Teşekkür

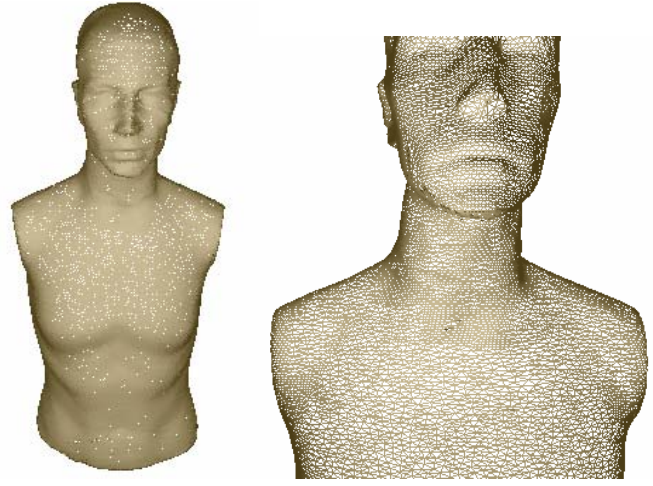
Bu çalışma 2004K120720 sayı ve "E-devlet için bilgisayar destekli görsel dokümantasyon, arşiv ve yönetim sistemi gerçekleştirilmesi" isimli DPT projesi kapsamında desteklenmiştir.

6. Kaynaklar

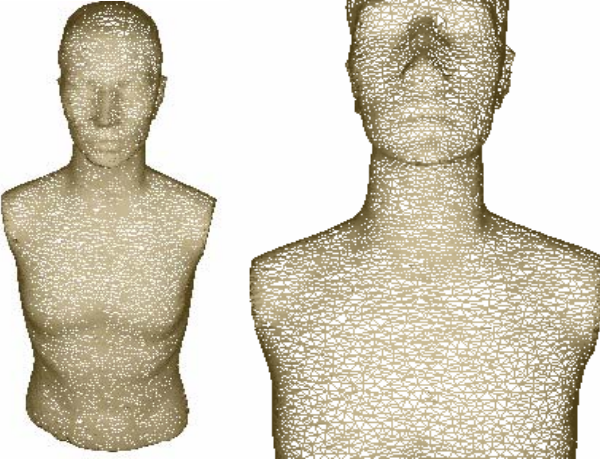
- [1] OpenGL Programming Guide, *The Official Guide to Learning OpenGL*, Release 1. Copyright 1994 by Silicon Graphics, Inc.
- [2] *Advanced Graphics Programming Techniques Using OpenGL*, Tom McReynolds, Silicon Graphics, Copyright c 1998 by Tom McReynolds and David Blythe, April 26, 1998, SIGGRAPH '98 Course
- [3] P. Heckbert and M. Garland, editors. "Surface Simplification", *Chapter Survey of Polygonal Surface Simplification Algorithms*. Course notes of Siggraph 97. ACM SIGGRAPH, July 1997.
- [4] H. Hoppe. "Progressive meshes". Proceedings of SIGGRAPH 96, pages 99–108, August 1996. ISBN 0-201-94800-1. Held in New Orleans, Louisiana
- [5] P. Lindstrom and G. Turk. "Fast and memory efficient polygonal simplification". IEEE Visualization '98, pages 279–286, October 1998. ISBN 0-8186-9176-X.
- [6] W. J. Schroeder, J. A. Zarge, and W. E. Lorensen. "Decimation of triangle meshes". Computer Graphics (SIGGRAPH'92 Proc.), 26(2):65–70, July 1992.
- [7] Ronfard, Rémi & Rossignac, Jarek (1996) "Full-range approximation of triangulated polyhedra". *Computer Graphics Forum* 15(3), Aug. 1996. Proc. Eurographics '96. pages 67-76
- [8] A. Gu'ezic. "Locally Toleranced Polygonal Surface Simplification". *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 5(2), pp. 178–199, April-June 1999.



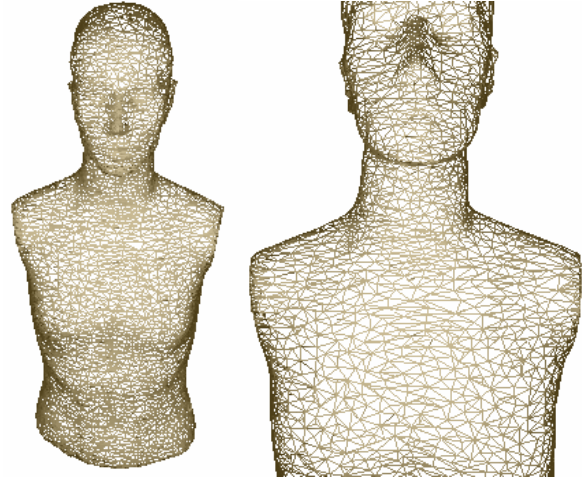
a) 57380 vertex, 114756 poligon, orijinal



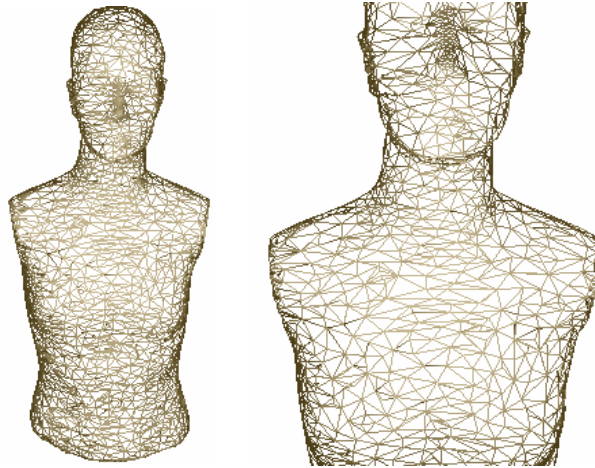
b) 33380 vertex, 66756 poligon, %41 basitleştirme



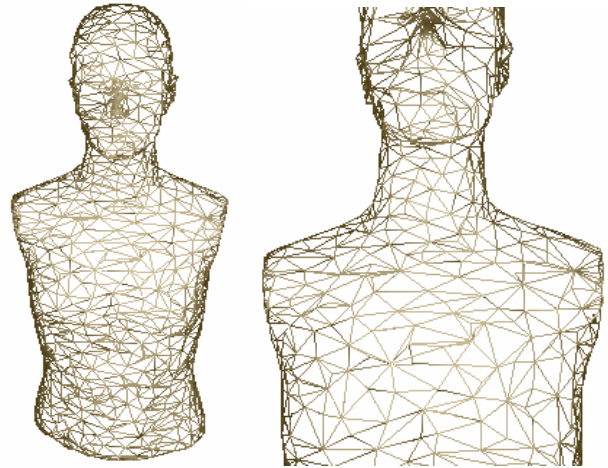
c) 15554 vertex, 31104 poligon, % 72 basitleştirme



d) 7644 vertex, 15280 poligon, %86 basitleştirme



e) 3918 vertex, 7788 poligon, % 93 basitleştirme



f) 2176 vertex, 4264 poligon, % 96 basitleştirme

Şekil 3: Torso modelinin basitleştirilmiş ağ örgüleri.