

# Tersine Mühendislikte Laser Tarama Nokta Bulutundan Örme Yüzey Elde Edilmesi

Cengiz Balta, Sıtkı Öztürk

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü  
Kocaeli Üniversitesi, 41380, Kocaeli, Türkiye

cengizbalta@kou.edu.tr, sozturk@kou.edu.tr

## Özetçe

Bu çalışmada, çeşitli veri toplama yöntemleri ile dış dünyadan elde edilen, nokta bulutu olarak ifade edilen, cisim yüzey ve hacim bilgisini ifade eden ham verilerin, bilgisayar ortamında gösteriminde ilk aşama olan örme yüzey üretilmesi ele alınıyor.

## 1. Giriş

Nokta bulutu verileri, mekanik parçalar, kalıpcılık, tıbbi görüntüleme, haritacılık, arazi yüzeyi modelleme, bina ve yapı modelleme ve benzeri konularda, cisim ve nesnelere temsil eden ham veri olarak, tarama cihazlarından elde edilir. Ham veri, uzayda  $n$  adet  $(x,y,z)$  nokta bilgisi içerir. Bu ham veriden, bilgisayar ortamında verimli bir şekilde gösterimine uygun olan örme mozaik yüzeyin elde edilmesi için, çeşitli aşamalarda işleyen algoritmalar uygulanır. Tersine mühendislik uygulamaları, bu örme poligon yapısı veya nokta bulutu verisi üzerinde, çeşitli sınıflandırma algoritmaları kullanarak, ilişkili yüzey bölgelerini ayırıp, her bir bölgeye parametrik yüzeyler giydirecek, nokta bulutu verisinin daha üst seviyede parametrik olarak ifade edilmesini sağlar.

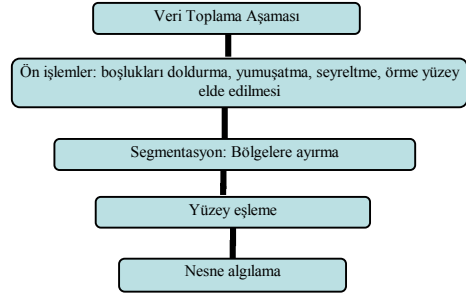
Laser tarama veya dokunmalı koordinat ölçüm sistemleri ile sahadan toplanan nokta bulutu verisinden, bilgisayar ortamında gösterime uygun yüzeylerin elde edilmesi, oldukça zor ve kamaşık işlemler gerektirir. Özellikle sahadan elde edilen verinin gürültülü ve düzensiz olması problemin çözümünü daha da karmaşık hale getirir.

Bilgisayar ortamında yüksek kalitede gösterim sağlamak üzere poligon modellerin üretilmesi gerekir. Video oyunları, animasyonlar, sanal gerçeklik ve simülasyon uygulamaları nesnelere poligon modeli olarak işlerler. Burada temel amaç, en düşük hesap gücü ile, cisimlerin yüksek kalitede bilgisayar ortamında gösterimini sağlamaktır. Endüstriyel üretim ortamlarında ise, bilgisayar destekli tasarım ve imalat (CAD-CAM) yazılımları kullanılır. Bu yazılımlarda öncelik, cisimlerin ve parçaların ölçekli olarak tekrar üretilebilir parametrik modeller ile ifade edilmesidir. Tersine mühendislik uygulamalarında, tarama cihazından elde edilen nokta verilerinin poligon formatında yüzeye dönüştürülmesi, parametrik yüzey eşleme ve nesne tanımlama aşamalarından bir önceki aşama olarak yer alır.

Tersine mühendislik ve uzaktan algılama ile görüntüleme uygulamaları, endüstrinin çeşitli dallarında uygulama alanı bulmuştur. Son yıllarda laser mesafe sensörlerinin gelişmesi

ile birlikte, sahadan tutarlı ve yoğun veri toplamanın kolaylaşması ile birlikte, endüstriyel üretimler, CAD-CAM, arazi-bina tarama, bilgisayarlı görme-robotik konularında laser tarama sensörleri sıklıkla kullanılmaya başlamıştır. Manyetik rezonans (MR) ve bilgisayarlı tomografi (CT) metodları ile, cisimlerin dış yüzeylerinin yanı sıra, iç bölmelerinin de görüntülenmesi ve bilgisayar ortamına aktarılabilmesi imkanı oluşmuştur. Bu veri toplama teknikleri özellikle tıbbi görüntüleme alanında başarı ile uygulanmaktadır.

Tersine mühendislik uygulamalarının genel aşamaları şu şekilde özetlenebilir: Veri toplama, ön işlemler, bölümlendirme, yüzey eşleme, nesne algılama [2].



Şekil 1: Tersine mühendislik aşamaları

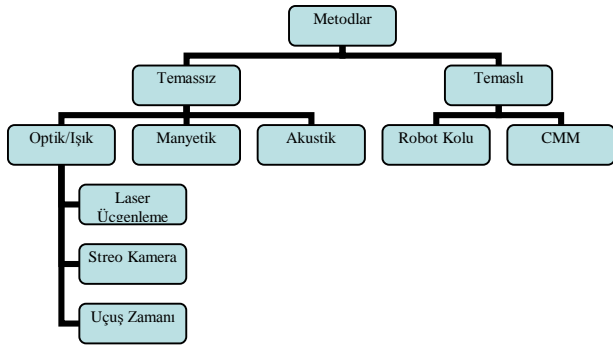
İlk iki aşama, bütün uygulama alanlarında, dış ortamdan elde edilen verinin bilgisayar ortamında verimli gösterimini hedefler ve görselleştirme için yeterlidir. Diğer aşamalar, üretim ve analize yönelik CAD-CAM amaçlı uygulamalarda, yüzeyin parametrik eğri denklemleri ile ifade edilmesini hedefler.

## 2. Veri Toplama Metodları

Uzaktan algılamada, tersine mühendislik ve tıbbi görüntüleme amacı ile, dış ortamdan veri alınmasında çeşitli metodlar kullanılır. Bu metodlar, temaslı ve temassız olarak iki gruba ayrılabilir.

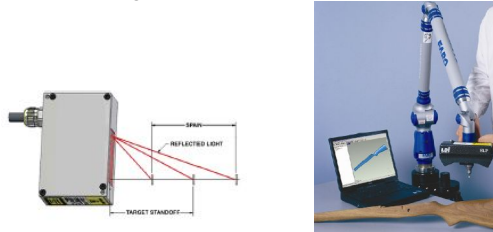
Temaslı veri toplamada, robot kolu veya benzeri bir mekanizma, cisim üzerinde temas ederek dolaştırılarak koordinat bilgileri toplanır. Temassız metodlar, optik, manyetik ve akustik olarak sıralanabilir. Optik ve ışığın kullanıldığı metodlarda, stereo kamera tekniği, uçuş zamanı

ölçme tekniği ve üçgenleme - yansıma açısı ile mesafe ölçümü teknikleri genel başlıklar olarak sayılabilir [2].



Şekil 2: Veri Toplama Metodları

Şekil 3 ve Şekil 4’de endüstriyel olarak kullanılan çeşitli veri toplama sistemleri gösterilmiştir.



Şekil 3: Acuity AR700 Laser Üçgenleme Mesafe Sensörü ve Faro Laser Tarama Robot Kolu



Şekil 4: CMM Temaslı Ölçme ve Brontes Diş Tarama

Veri toplama aşamasında karşılaşılan problemler şu şekilde sınıflandırılabilir:

**Kalibrasyon ve tutarlılık:** Lens etkileri, lineer olmayan elektriksel davranışlar.

**Erişilebilirlik:** Tarayıcı, gizli yüzeylere erişemeyebilir.

**Kapatılma/okolüsyon:** Gölge veya engeller sebebi ile tarama bölgesi erişilemez.

**Çoklu görüntüleme:** Birden fazla tarama olması durumunda, verilerin aynı koordinat sisteminde kayıt edilmesi gerekir.

**Gürültü ve eksik veri:** Hatalı veya eksik veri bölgelerinin düzeltilmesi gerekir.

**Parçaların dağılımları:** Taramada alınan bir örnek parça, tüm parçaları temsil etmez. Yüzeyin tolerans dağılımı, geri çatmada önemli bir veridir. [2]

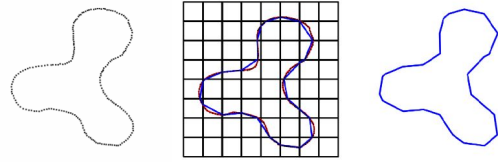
Veri toplama aşamasında oluşan problemleri gidermek üzere, çeşitli ön işlemler uygulanır. Veri üzerinde, boşlukları doldurma, gürültü giderme, seyreltme ve benzeri düzeltmeler yapılır. [3]

### 3. Örme Yüzey Elde Etme Aşamaları

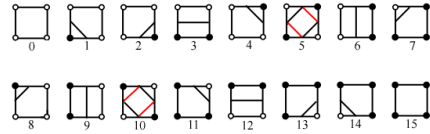
Nokta bulutu verisinden örme yüzey elde etmede çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Bilgisayar grafiği konusunda çalışanlar, konturlama tekniği ve yüzey normallerini kullanarak örme yüzey elde etmeye çalışırken [4] [1] hesaplamalı geometri konusu ile ilgilenenler üç boyutlu delaunay [6] üçgenleme tekniği ve voronoi [7] diagramları ile çalışmışlardır. Bu çalışmada, sınırlayan küpler ve yüzey eğim yaklaşımı [1] teknikleri kullanılmıştır.

#### 3.1. Konturlama, Sınırlayan Küpler Algoritması

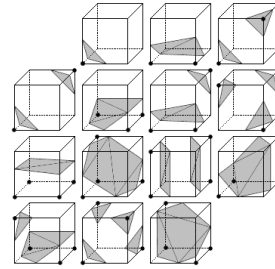
Sınırlayan küpler (Marching cubes) algoritması, 1987 yılında Lorensen ve Cline [4] tarafından, tomografi verilerinin görüntülenmesi amacı ile geliştirilmiştir. Giriş uzayı küplere bölünerek, her bir hacim elemanı için, önceden tanımlanmış belirli küp kombinasyonlarından, yüzeyi en iyi sınırlayanı seçilerek, yüzeyi temsil eden poligon örme yüzey elde edilir. Şekil 5’de algoritmanın iki boyutlu bir gösterimi verilmiştir.



Şekil 5: Sınırlayan Kareler



Şekil 6: Sınırlayan kareler için kombinasyonlar.



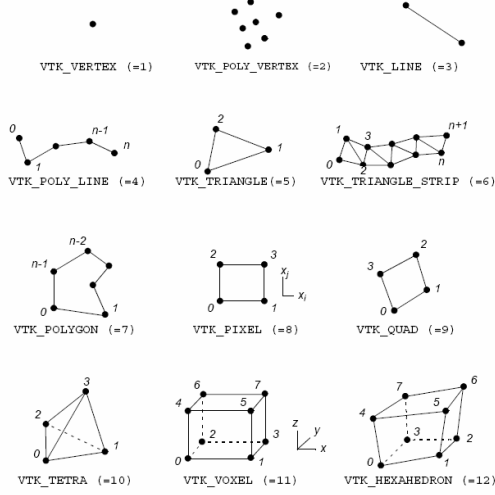
Şekil 7: Sınırlayan küpler için kombinasyonlar. Simetrikler ile birlikte 256 durum oluşur

#### 3.2. Yüzey Normalleri, Tanjant Düzlem Yaklaşımı

Her bir nokta için, yüzey normalinin belirlenmesinde, k adet en yakın komşular veya belirli bir mesafedeki tüm komşular kullanılır [5]. Seçilen noktaların belirlediği düzlem ve bu düzleme ait normalin yönü, poligon geri çatmada referans olarak kullanılır.

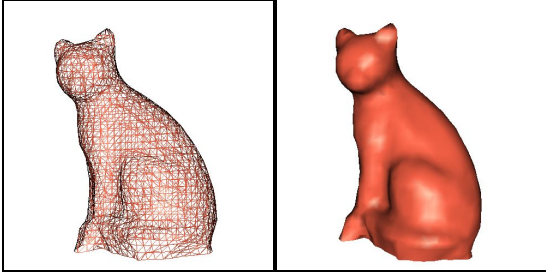
#### 4. VTK Kütüphanesi ile Uygulama

Visualization Toolkit (VTK) kütüphanesi, bilimsel görselleştirme amacı ile kullanılan, özellikle tıbbi görüntüleme alanında gelişmiş fonksiyonlara sahip bir yazılım geliştirme paketidir. Poligon gösterimi için, kütüphanenin sahip olduğu lineer veri yapıları Şekil 10'da gösteriliyor.

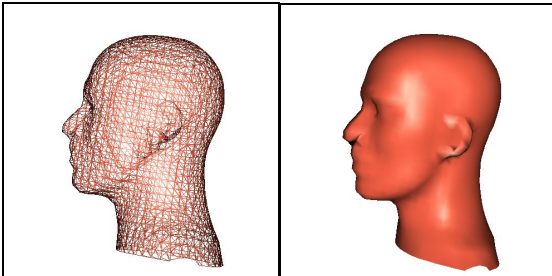


Şekil 8: VTK Lineer Hücre Tipleri [8]

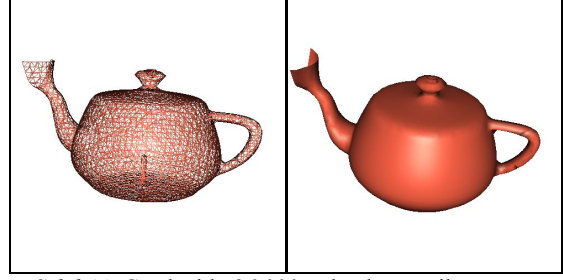
VTK kütüphanesi kullanılarak yapılan uygulamaların sonucunda elde edilen poligon örme yüzey sonuçları, aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



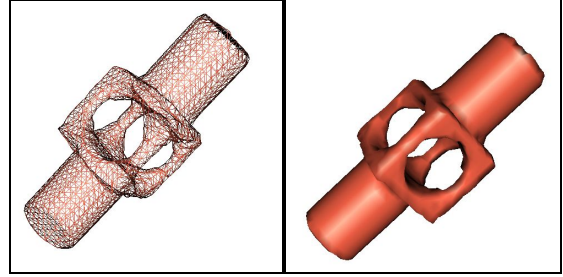
Şekil 9: Kedi, 10.000 noktadan üretilen örme yüzey



Şekil 10: Büst, 12.700 noktadan üretilen örme yüzey



Şekil 11: Çaydanlık, 26.000 noktadan üretilen örme yüzey



Şekil 12: Mekanik Parça, 4.000 noktadan üretilen örme yüzey

#### 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, dış dünyada bulunan nesnelere ait yüzey ve hacim bilgilerinin, tarama cihazları ile toplanarak, bilgisayar ortamında görselleştirilmesi için gerekli olan aşamalar incelenmiş ve bazı veriler için gerçekleştirilmiştir.

#### 6. Kaynakça

- [1] Hoppe, H., DeRose, T., Duchamp, T., McDonald, J., Stuetzle, W.: Surface Reconstruction from Unorganized Points. University of Washington (1990)
- [2] Varady, T., Martin, R., Cox, J.: Reverse Engineering of Geometric Models - an introduction, Elsevier, (1997)
- [3] Fabio, R.: From Point Cloud to Surface: The Modeling and Visualization Problem, Swiss Federal Institute of Technology, 2003
- [4] William E. Lorensen, Harvey E. Cline: Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm. In: Computer Graphics, Vol. 21, Nr. 4, July 1987
- [5] Rabbani, T.: Automatic Reconstruction of Industrial Installations Using Images and Point Clouds, Doktora Tezi, 2005
- [6] Delaunay, B.: Sur la sphère vide, Izvestia Akademii Nauk SSSR, Otdelenie Matematicheskikh i Estestvennykh Nauk, 7:793-800, 1934
- [7] Voronoi G.: Nouvelles applications des paramètres continus à la théorie des formes quadratiques. Journal für die Reine und Angewandte Mathematik, 133:97-178, 1907
- [8] VTK: Visualization Toolkit, Görselleştirme Kütüphanesi Kullanım Kitapçığı, www.vtk.org