σ Journal of Engineering and Natural Sciences
Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi
Sigma 28, 346-356, 2010

PhD Research Article / Doktora Çalışması Araştırma Makalesi

REDUCING SURFACE DATA OF GEOMETRIC MODELS WHICH HAVE REGULAR GRIDS

Gökhan YURTSEVER*[1], Erhan ALTAN[2]

[1]Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldız-İSTANBUL
[2]Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL

Received/Geliş: 16.04.2010 Accepted/Kabul: 16.08.2010

ABSTRACT

Many applications in the CAD/CAM area utilize polygonal surface models. An effective and rapid algorithm, which maintains the model structure and reduces the number of polygons within specified limits, provide significant advantages in CAD/CAM applications. An algorithm based on Singular Value Decomposition was developed intending tool-path calculation for surface simplification and the results were analyzed.
Singular Value Decomposition was applied to polygonal surface models formed by regular grid points. Singular Value Decomposition reduced three dimensional problem to a two dimensional state. As a result the problem was simplified; an effective and rapid data reduction was conducted. This data reduction was conducted considering the parameters utilized during tool-path calculation. Consequently, accelerated tool path calculation and optimal formation of tool path points were realized as long as the desired machining results were assured.
A software application was developed as an executable model in Matlab. The results of this executable model were compared with the results of well known commercial software used in CAM applications. The results showed that the algorithm reduced the surface data in an effective and rapid way but also showed that its effectiveness depended on surface shape.
Keywords: Polygonal surface simplification, singular value decomposition, Z-map.

DÜZENLİ NOKTA YAPISINA SAHİP GEOMETRİK MODELLERİN YÜZEY VERİLERİNİN AZALTILMASI

ÖZET

CAD/CAM alanındaki birçok uygulama karmaşık poligonal yüzey modelleri kullanmaktadır. Modelin yapısının korunarak belirli bir tolerans dâhilinde poligon sayısının azaltılıp basitleştirilmesine yönelik verimli ve hızlı bir yöntem CAD/CAM uygulamalarında önemli avantajlar sağlayacaktır. Bu doğrultuda, tekil değerlere ayrıştırma yöntemine dayalı, takım yolu hesabına yönelik, düzenli ağ noktalarından oluşan yüzey modellerin verilerini azaltan bir yöntem geliştirilmiş ve sonuçları irdelenmiştir.
Tekil değerlere ayrıştırma yönteminin düzenli ağ noktalarından oluşan poligonal yüzey modeller üzerine uygulaması yapılmıştır. Tekil değerlere ayrıştırma işlemi, 3 boyutta incelenen problemin 2 boyuta indirgenmesini sağlar. Bunun sonucunda problem basitleşerek, verimli ve hızlı bir veri azaltma işlemi yapılabilmektedir. Veri azaltma işlemi, takım yolu hesabında kullanılacak parametreler göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. Bu sayede, takım yolu hesabının hızlanması ve takım yolu noktalarının optimum şekilde oluşarak, işleme sonucunun istenilen özelliklerde olması mümkün olmaktadır.
Yöntemin uygulamalarının yapılabilmesi için Matlab ortamında bir yazılım geliştirilmiştir. Yöntem, deneysel çalışmalar ile test edilmiş ve elde edilen sonuçlar yaygın kullanılan ticari CAM yazılımlarından biri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, yöntemin hızlı ve verimli bir şekilde yüzey verilerini azaltabildiğini fakat etkinliğinin yüzey formuna bağlı olduğunu göstermiştir.
Anahtar Sözcükler: Poligonal yüzey basitleştirme, tekil değerlere ayrıştırma, Z-map.

*Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: gyurtsever@isbank.net.tr, tel: (533) 412 09 77

1. GİRİŞ

Yüzeylerin sadeleştirilmesi, son yıllarda çok daha detaylı modellerin oluşturulmasının mümkün olmasıyla birlikte önem kazanmıştır. Sadeleştirme işlemi ile verinin saklanması, aktarımı, hesaplanması ve gösterimi daha verimli olmaktadır. Özellikle bilgisayar destekli üretim için takım yolu oluşturma gibi yoğun hesaplama gerektiren işlemlerde, hesaplama zamanlarında önemli azalmalar sağlanırken, gerekli işlem gücü ve hafıza alanı ihtiyacı önemli ölçüde düşmektedir. Bu sayede çok daha hassas takım yollarının zaman kayıpsız hesaplanabilmesi mümkün olmaktadır. Geleneksel nokta azaltma yöntemleri yerine, yüzeylerin daha az veri ile farklı bir yöntem kullanılarak yeterli hassasiyette tanımlanması ve bu veriler üzerinden takım yolu hesaplanması amaçlanmaktadır.

Literatürdeki çoğu yöntem, 3 boyutlu poligonal modellerin sadeleştirilmesi için geliştirilmiştir. Bu çalışmada farklı olarak, nokta azaltma işleminden önce Z-map modeli, tekil değerlere ayrıştırma (TDA) yöntemi kullanılarak bileşenlerine ayrılmıştır. Yöntemdeki amaç, tekil vektörlerin yüzey bileşenleri üzerinde karakteristik bir özellik ifade etmesinden faydalanarak, yüzeyde nokta azaltma işleminin eğride nokta azaltma işlemine dönüştürülerek basitleştirilmesidir.

Ayrıca, poligonal yüzey sadeleştirme yöntemleri çoğunlukla, bilgisayar grafiği ve bilgisayar destekli tasarım konularındaki sorunların çözümüne yönelik geliştirilmişlerdir. Günümüzde çoğu modern CAM yazılımı poligonal yüzey modellere dayalı olarak çalışmaktadır. Oluşturulan takım yolları, hesaplamanın yapıldığı poligonal yüzeyin yapısından doğrudan etkilenirler. Bu nedenle poligonal yüzeyler üzerinde yapılacak veri azaltma gibi yapısal değişiklikler, takım yolunun özelliklerini etkilemektedir. Poligonal yüzeyler üzerinde veri azaltma işlemi yapılırken, CAM'e yönelik ihtiyaçların da göz önüne alınması, çok daha kaliteli takım yollarının elde edilmesini sağlar.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Detaylı geometrik modellerin oluşturulması veri azaltma ihtiyacını ortaya çıkarmış ve bu amaçla eğri ve yüzeylerde veri azaltmaya yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

En bilinen eğri sadeleştirme yöntemi olan Douglas–Peucker [1] Algoritması, eğrinin ilk ve son noktasından geçen bir doğru oluşturup, eğrinin bu doğruya en uzak konumdaki noktasını bulur. Bulunan nokta ile doğru arasındaki mesafe istenilen sapma miktarından küçük ise algoritma yaklaşımı durdurur, eğer büyük ise bu noktadan ilk ve son noktalara birer doğru çizerek ilk doğruyu ikiye böler. İstenilen hata toleransı yakalanıncaya kadar algoritma, doğruları en uzak noktadan bölmeye devam eder. Yöntemin bölme noktasını bulması en çok hesaplama gerektiren bölüm olduğundan Hershberger ve Snoeyink [2], Douglas–Peucker Algoritması'nın bölme noktası seçim yöntemini iyileştirmişlerdir ve bölme noktasının sadece dışbükey bölgede olacağını göstermişlerdir. Wu ve Marquez [3] ise Douglas–Peucker Algoritması ile eğrinin kendini kesmeyecek şekilde basitleştirilmesini sağlamışlardır.

Eğrilerin basitleştirilmesine göre daha zor bir problem olan yüzeylerin basitleştirilmesine yönelik geliştirilen algoritmalar genel olarak, uyarlanabilir alt bölümleme, nokta atma, yeniden örnekleme veya bunların birleşimi şeklinde sınıflandırılabilir.

Schmitt ve Barsky'nin [4] geliştirdiği yöntem, üç boyutlu tarayıcıdan alınan noktalar üzerinde kaba bir yaklaşım yüzeyi oluşturur ve ardışık adımlar ile yaklaşımın kötü olduğu bölgeleri iyileştirir. Yöntem başlangıç yüzeyi olarak, parametrik parçalı bikübik Bernstein-Bezier yüzeyini kullanır. Başlangıç yüzeyi ile mevcut noktalar arasında hata kontrolü yapılır ve belirlenen hata toleransından daha büyük bir değer elde edildiğinde yüzey dört parçaya ayrılır. Yöntem, istenilen hata toleransı yakalanıncaya kadar yüzeyleri dörde böler. DeHaemer ve Zyda [5], Schmitt'in bikübik yüzeylere uyguladığı uyarlanabilir alt bölümleme yöntemini, benzer şekilde poligonal yapıdaki yüzeylere uygulamışlardır.

Hinker ve Hansen [6] geometrik optimizasyon çalışmasında, yaklaşık aynı düzlemdeki poligonların temizlenmesini önermişlerdir. Yaklaşık aynı düzlemdeki poligonların daha az sayıda poligon ile değiştirilmesi modelin görünümünü etkilememektedir. Ancak yüksek eğriliğe sahip modeller geniş alanlarda aynı düzlemde poligonlar içermez. Algoritmada basitleştirilen modelin köşe noktaları, orijinal modelin köşe noktalarının alt kümesidir. Bu sayede köşe noktalarının taşıdığı bilgiler işlem sırasında değişmeden kalabilmektedir.

Hamann'ın [7] yöntemi, eğriselliğine göre üçgenlerin sınıflandırılıp, en düşük eğriliğe sahip olanların kaldırılmasına dayanmaktadır. Yöntem, her köşe noktasının lokal eğrisellik değerinden, eğrisellik ortalamasını alarak üçgenin ağırlık değerini belirler. En düşük ağırlık değerine sahip üçgen, nokta ile değiştirilir. Kaldırılan üçgene komşu üçgenler de kaldırılarak bunların köşe noktaları ile değiştirilen nokta arasında yeni üçgenler oluşturulur.

Turk'un [8] yöntemi, kullanıcının belirlediği köşe noktası sayısına göre modelin yeniden oluşturulmasına dayanmaktadır. Yöntem, model yüzeyleri üzeride kullanıcının belirlediği sayıda köşe noktası oluşturur. Sonraki adımda noktalar, aralarındaki itme kuvvetlerine bağlı olarak model üzerinde düzgün dağılımlı olacak şekilde taşınır. Dağıtılan noktalar ile orijinal modelin köşe noktaları kullanılarak yeniden üçgenselleştirme yapılır. Daha sonra orijinal üçgenler kaldırılır. Algoritma, keskin kenarlar içeren modeller yerine eğrisel yüzeyler içeren modellerde daha başarılıdır.

Schroeder, Zarge ve Lorensen [9], her adımda sınırlar üzerinde yer almayan noktalardan, komşularının oluşturduğu ortalama düzleme yakın olanların kaldırılmasını önermişleridir.

Hoppe vd. [10] optimizasyonu yönteminde, enerji fonksiyonun minimize edilmesini sağlayacak şekilde ağ oluşturulmasını önermişlerdir. Enerji fonksiyonu, kenar kaldırma, kenar bölme veya kenar değiştirme işlemleri kullanılarak minimize edilir.

Kavlin ve Taylor'ın [11] yöntemi, model üzerinde bir süperyüz oluşturup komşu yüzleri verilen sınır toleransı içinde mümkün olduğunca bu süperyüze eklemeye çalışır. Öncelikle algoritma, süperyüz oluşumu için bir kaynak yüz seçer ve komşu yüzleri bu kaynak yüze eklemeye çalışır. Eğer komşu yüz, uyumluluk ve hata şartlarını karşılıyorsa süperyüze eklenir. Süperyüz daha fazla büyüyemeyecek duruma geldiğinde algoritma yeni bir kaynak yüz seçer. İkinci aşamada, oluşan süperyüzün kırıklı kenarları, hata toleransı dahilinde düzleştirilir. Son adımda, tüm süperyüzler üçgenleştirir.

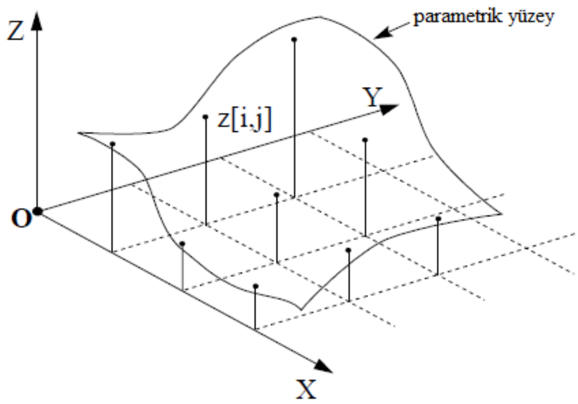
Eck vd. [12] wavelett yöntemini kullanmışlardır. Algoritma ilk adımda, orijinal ağı bölgelere ayrılır. Bunun için, gelişigüzel tek bir yüz seçilir ve artımsal olarak komşu üçgenler bu temel yüze eklenir. Sonraki adımda, bölge sınırlarında sürekli olacak şekilde tüm bölgelerde, wavelett tanımlaması için parametrik hale dönüştürme yapılır. Son aşamada ise, ağa ait tüm bölgeler tekrarlamalı olarak bölümlenir. Her bölümleme adımında, bir üçgen dört üçgene bölünür. Bölümleme işlemi belirlenen hata toleransı elde edilinceye kadar devam eder.

Garland ve Heckbert [13] köşe noktası çiftlerinin birleştirilmesine dayalı yüzey sadeleştirme algoritması geliştirmişlerdir. Köşe noktası çiftlerinin birleştirilmesi, kenar kaldırma işleminin genelleştirilmiş halidir. Bu yöntemde köşe noktalarının bir kenar ile birbirine bağlı olması gerekmemektedir. Bu nedenle manifold olmayan poligonal modeller de desteklenir.

3. MODELİN DÜZENLİ NOKTALARDAN OLUŞAN AĞ İLE TANIMLANMASI

CAD/CAM'de kullanılan yüzey modelleme yöntemleri genel olarak "parametrik" ve "parametrik olmayan" olarak ikiye ayrılabilir. Parametrik yüzey formlarından yaygın olanlarından biri NURBS (Non-Uniform Rational Bezier-Spline)'dır. Yaygın kullanılan parametrik olmayan yüzey modelleme yöntemleri ise poligonal yüzey, Z-map ve bunların farklı formlarıdır. Her matematiksel yöntem kullanıldığı uygulamalara göre avantaj ve dezavantajlar içermektedir. Özellikle CAD uygulamalarında parametrik yüzey yöntemleri avantajlar içermektedir Ancak takım yolu oluşturma gibi özel hesaplamalarda, parametrik olmayan yüzey formları daha avantajlıdır.

Z-map modeli, parametrik olmayan yüzey modellemenin özel bir formudur ve XY düzlemindeki ağ noktalarına karşılık gelen yükseklik değerlerini içeren iki boyutlu bir dizedir (Şekil 1.). Z-map modeli takım yolu hesaplama, takım yolu doğrulama ve simülasyonu, CAPP (Computer-Aided Process Planning) gibi alanlarda yaygın şekilde kullanılmaktadır.



Şekil 1. Ağ noktalarından Z-map oluşturulması [14]

Basit veri yapısı sebebiyle yüzey üzerinde yapılacak değişiklik ve hesaplamalar için Z-map oldukça iyi bir yüzey tanımlama formudur. Ancak dezavantajı, özellikle yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalarda çok yüksek hafıza ve hesaplama süresi gerektirmektedir. Örneğin 0.05 birim hassasiyette 1000x1000 birimlik bir XY alanında, her bir ağ noktası için 4 bayt'lık veri depolandığında, tüm model 1,49 GB'lık depolama alanı gerekmektedir. Bu nedenle, çok yüksek hassasiyet gerektiren modeller ve çok geniş XY alanlarında uygulanmasının güç olmasından dolayı, Z-map modeli üzerinde yapılacak veri azaltma işlemi yöntemin daha geniş bir kullanım alanı bulmasını sağlayacaktır.

4. TEKİL DEĞERLERE AYRIŞTIRMANIN VERİ AZALTMAYA YÖNELİK KULLANIMI

Genel bir mxn elemandan oluşan reel A matrisi, aşağıdaki şekilde üç ayrı matrisin çarpımı şeklinde ayrıştırılabilir;

$$A_{\mathrm{mxn}} = U_{\mathrm{mxm}}\, S_{\mathrm{mxn}}\, V^{T}_{\mathrm{nxn}} \tag{1}$$

Burada U ve V ortogonal matrislerdir. U matrisinin kolonları sol, V matrisinin kolonları ise sağ tekil vektörleri içerir. S ise diyagonal matristir ve tekil değerleri içerir.

Köşegen S matrisinin belirli bir elemandan sonraki değerleri sıfıra çok yaklaştığından, uygulamalarda ayrışmış U, S ve V matrislerinin tüm değerlerinin kullanımı yerine hız, depolama alanı ve hesaplama miktarı bakımından ayrıştırma işleminin azaltılmış hali uygulanabilir. U matrisinin sadece r adet kolon vektörleri ve buna karşılık gelen V^{T} satır vektörleri hesaplanır. Geriye kalan U ve V^{T} kolon vektörleri hesaplanmaz. Bu da tüm ayrışma matrisinin hesaplanmasına göre önemli miktarda hız ve ekonomiklik sağlar.

$$B = U_{r}\, S_{r}\, V^{T}_{r} \tag{2}$$

p = min(m, n) olmak üzere, r değerinin p değerinden küçük olması durumunda elde edilen B matrisi orijinal A matrisine çok yakın olacaktır. r değeri p'ye yaklaştıkça B matris değerleri orjinal A matris değerlerine yaklaşır. Bu durumda U_r matrisi mxr, S_r matrisi rxr diyagonal ve V^T_r matrisi rxn olacaktır.

A matrisi mxn adet eleman içerirken, ayrıştırılan matrislerden r adet terim kullanılmasıyla hesaplanan B matrisinin tanımlanması için toplam (r x (m+n) + 1) adet eleman kullanılacaktır. r, gerekli hassasiyeti sağlayacak minimum değer olarak seçildiğinde hesaplamalar için gerekli veri miktarında önemli miktarda azalmalar olacaktır.

5. DÜZENLİ YÜZEY VERİLERİNİN TAKIM YOLU HESAPLAMASINA YÖNELİK OLARAK AZALTILMASI KONUSUNDA YENİ BİR YAKLAŞIM

4. bölümde verilen, (2) nolu denklem açık şekilde yazılıp incelenebilir.

$$B_{\mathrm{mxn}} = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1r} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2r} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{m1} & \dots & \dots & u_{mr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & s_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & s_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{r1} & \dots & \dots & v_{rn} \end{bmatrix}^T \tag{3}$$

$$B_{\mathrm{mxn}} = \begin{bmatrix} u_{11} \\ u_{21} \\ \dots \\ u_{m1} \end{bmatrix} s_1 \begin{bmatrix} v_{11} & v_{21} & \dots & v_{r1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_{12} \\ u_{22} \\ \dots \\ u_{m2} \end{bmatrix} s_2 \begin{bmatrix} v_{12} & v_{22} & \dots & v_{r2} \end{bmatrix} + \dots$$

$$\cdot \begin{bmatrix} u_{1r} \\ u_{2r} \\ \dots \\ u_{mr} \end{bmatrix} s_r \begin{bmatrix} v_{1n} & v_{2n} & \dots & v_{rn} \end{bmatrix} \tag{4}$$

$$B_{\mathrm{mxn}} = U_1 S_1 V_1^T + U_2 S_2 V_2^T + \dots + U_r S_r V_r^T \tag{5}$$

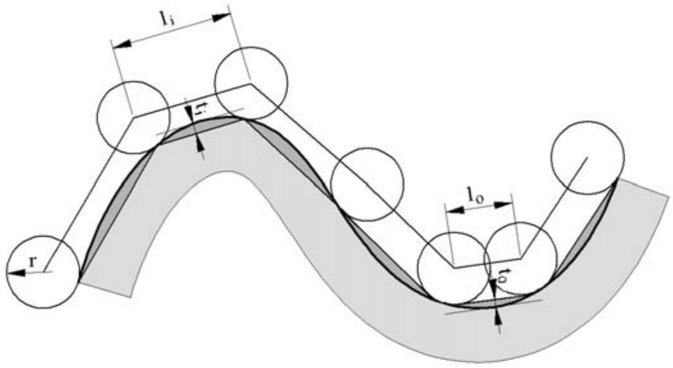
$$B_{\mathrm{mxn}} = B_1 + B_2 + \dots + B_r \tag{6}$$

Matrisin tanımladığı yüzey yapısını, bir yönde *U* diğer yönde de V sütun matrisleri oluşturmaktadır. Aynı zamanda U ve V her iki doğrultuda yüzey karakteristiğinin özelliklerini taşımaktadır. Bunun sonucunda her bir üç boyutlu matris bileşeni, 2 boyutlu U sütun ve V satır matrisleri ile tanımlanabilmektedir.

Bunun sağladığı avantaj, 3 boyutlu problemin, 2 boyutlu hale indirgenebilmesidir. Böylece karmaşık yüzey problemlerini, daha basit olan eğri problemi haline getirmek mümkün olmaktadır. TDA işleminin kullanımı ile orijinal matrisin her bir bileşeni, 2 boyutta incelenebilecek çok daha basit bir yapıya sahip olabilmektedir. Bu sayede çalışmanın konusu olan veri azaltma işlemi, yüzey üzerinde 3 boyutlu nokta azaltma yerine, çok daha basit olan 2 boyutlu eğri üzerinde nokta azaltma işlemi şeklinde uygulanabilir. Ayrıca, tekil değer ve vektörlerin tamamı yerine bir bölümünün kullanılması da Z-map modelinin daha az veri ile tanımlanmasını sağlamaktadır.

3 boyutlu model üzerinde doğrusal enterpolasyon ile oluşturulmuş 3 eksen bir takım yolu, takımın referans noktasının üzerinde gideceği noktaların birbirine bağlanması ile elde edilir (Şekil 2.). İşleme sonucunda elde edilecek modelin yüzey kalitesi ve toleransı bu noktaların sıklığı ve dağılımından etkilenir. Yüzey kalitesini ve toleransını etkileyen iki temel parametre takım yolu adımı ve nokta aralığıdır. Takım yolu noktalarını birbirine bağlayan doğrular ile parça yüzeyi arasındaki sapma, dışbükey bölgelerde yüzeye dalmaya, içbükey bölgelerde ise talaş

bırakmaya neden olur. Kabul edilebilir dalma ve talaş bırakma miktarları sırasıyla iç tolerans ve dış tolerans olarak adlandırılır. Formlu yüzey işlemede, adım uzunluklarının tolerans limitlerini aşmayacak şekilde olabildiğince büyük olması istenir.



Şekil 2. İç ve dış tolerans

Küre takım için, iç tolerans değerlerine bağlı olarak takım merkezinin bulunduğu iki nokta arası bir dairesel yay ile tanımlandığında, dışbükey bölgede kabul edilebilir maksimum nokta aralığı aşağıdaki formül ile hesaplanabilir [15].

$$l_i = 2\sqrt{2t_i(R+r) - t_i^2} \quad (7)$$

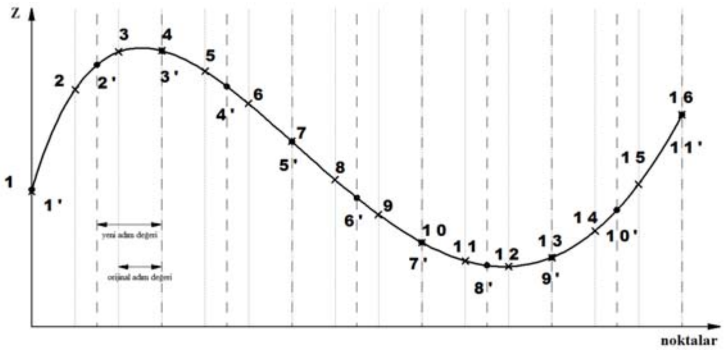
Burada l_i dışbükey nokta aralığı, R takımın ilerleme yönündeki yüzey eğrilik yarıçapı, r takım yarıçapı, t_i iç toleransı ifade etmektedir. Benzer şekilde içbükey bölgede kabul edilebilir maksimum nokta aralığı aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$l_o = 2\sqrt{2t_o(R-r) - t_o^2} \quad (8)$$

Burada t_o dış toleransı ifade etmektedir.

Z-map modeli kurulurken seçilecek adım değeri, bulunan iç ve dış nokta aralıklarından en küçüğü olarak seçildiğinde, hedeflenen yüzey toleransı elde edilebilir. Takım yolu hesabında kullanılacak Z-map modelinin nokta sıklığının, istenilen tolerans miktarına bağlı olarak hesaplanabilen içbükey ve dışbükey bölgede kabul edilebilir maksimum nokta sıklığından daha fazla olması gerekmez. CAM işlemlerine yönelik olarak, Z-map modelinin gereksiz noktalarının atılarak, takım yolu hesabında gerekli olacak nokta sıklığına indirgenmesi, takım yolu hesaplamasını oldukça kolaylaştıracaktır

Z-map matrisi, tekil değerlere ayrıştırma yöntemi kullanılarak bileşenlerine ayrıldığında, U ve V tekil vektörleri, X ve Y eksen doğrultularında yüzeyin formunu oluşturmaktadır. U ve V tekil vektörlerinin eleman sayıları düşürülerek, tekil vektörlerin tanımladığı yüzeyin verileri azaltılabilir. Takım yolu hesaplamasına yönelik olarak, toleransa bağlı yeni adım değeri kullanılarak tekil vektörler üzerinde yeni bir nokta dağılımı oluşturulabilir. Şekil 3.'te örnek bir tekil vektör üzerinde orijinal noktalar (1, 2, 3,…) ve belirlenen yeni adım değerine göre oluşturulan noktalar (1´, 2´, 3´,…) gösterilmektedir. Şekilde 16 nokta, 11 noktaya düşürülmektedir.



Şekil 3. Örnek bir tekil vektör üzerinde azaltılmış noktaların dağılımı

Hesaplanan yeni noktalardan oluşan U ve V tekil vektörleri ve S matrisi yeniden çarpılarak, orijinal Z-map matrisinin azaltılmış hali elde edilir. Azaltma işlemi sadece 2 boyuta hesaplandığından, yöntem oldukça hızlı bir şekilde sonuca ulaşabilmektedir.

6. UYGULAMA

Teorik alt yapısı kurulan yöntemin uygulamalarının yapılabilmesi için, Matlab ortamında bir program geliştirilmiştir. Matlab ortamını tercih edilmesinin sebebi, matris işlemlerinin kolaylıkla yapılabilmesi ve hesaplama hızının yüksek oluşudur. Matlab ortamında geliştirilen program dört ayrı alt programdan oluşmaktadır. İlk aşamada dışarıdan alınan, yüzey üzerine iz düşürülmüş noktaların koordinatlarını içeren veri dosyası okunarak, buradaki ağ noktaları karışık sırada dahi olsalar sıralanarak düzenli Z-map matrisi oluşturulmaktadır.

İlk aşamada ayrıca, 3 boyutlu model üzerinde en küçük ve en büyük yarıçap değerleri, istenilen tolerans değerleri gibi bilgiler programa girilmektedir. Bu girdilere göre yazılım model üzerinde takım yolu hesabında ihtiyaç duyulacak en küçük adım değerini hesaplayıp kullanıcıya önerir ve bu durumda elde edilecek veri azaltma yüzdesini hesaplar.

İkinci aşamada oluşturulan Z-map matrisi, TDA yöntemi kullanılarak bileşenlerine ayrılmaktadır. Oluşan U ve V matrislerinin sadece belirli bir sayıda sütunu kullanılarak daha az veriyle model tanımlanabilir hale getirilmektedir. Aynı zamanda, bileşenlerine ayrışmış matrisin yapısındaki özel durumu kullanarak, orijinal model üzerinde üç boyutlu olarak hesaplanması gereken veri azaltma işlemi, U ve V tekil vektörleri üzerinde iki boyutta incelenebilmektedir. Bunun sonucunda veri azaltma işlemi daha kolay ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

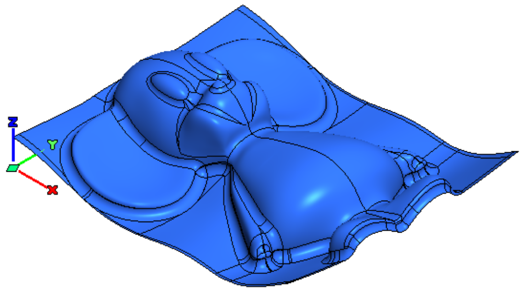
Kullanılacak tekil değer ve vektör sayısının seçimi elde edilebilecek toleransı etkilemektedir. Bunun için yazılımda, her tekil değer ve vektör adımında modeli tanımlayan matrisin değişimi gözlenmiş ve değişim miktarı toleransın altında kaldığında döngü durdurulmuştur. Bu sayede, sadece gerekli sayıda tekil değer ve vektör kullanımı sağlanmıştır.

Üçüncü bölümde, U ve V tekil vektörleri üzerinde istenilen oranda veri azaltma işlemi yapılmaktadır. Veri azaltma işlemi sonunda tekil vektörler tekrar çarpılarak basitleştirilmiş Z-map matrisi elde edilir. Aynı zamanda veri azaltma yapılmamış tekil değerler de çarpılarak hata kontrolü için orijinal matris tekil değerler üzerinden yeniden hesaplanmaktadır.

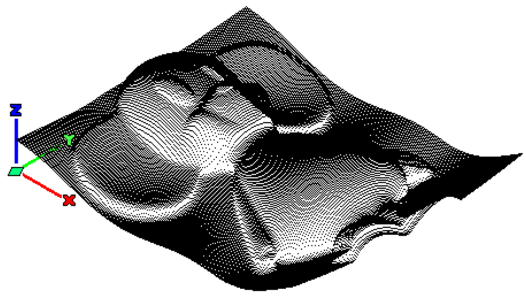
Dördüncü ve son bölümde, Z-map matrisindeki noktalardan üçgenleştirme işlemi ile poligonal yüzey elde edilmektedir. Takım yolu hesaplamada kullanılacak çoğu CAM yazılımı genellikle stl, raw gibi poligonal yüzey formatlarını desteklemektedir. Noktalar, her üç nokta bir üçgen oluşturacak şekilde raw dosya formatında kaydedilmektedir. Yüzey yapısına etkisi olan üçgenlerin yönelimi kullanıcı tarafından seçilebilmektedir. Çalışmada yapılan uygulamalarda, en iyi sonucu veren yöntem üçgenlerin parça merkezine doğru yönelmesi olmuştur. Kaydedilen poligonal yapıdaki yüzey Hypermill yazılımına aktarılarak üzerinde takım yolu hesaplaması yapılmıştır.

Literatürdeki çalışmalarda, çoğunlukla geometrik olmayan yüzeylerden oluşmuş karmaşık formlu modeller (insan yüzü veya çeşitli hayvan figürleri gibi) üzerinde uygulamalar görülmektedir. Bu nedenle yöntemin uygulaması, karmaşık formlu yüzeylerden oluşan bir model üzerinde yapılmıştır.

Şekil 4.'te görülen model 100x120x30 mm ölçülerinde olup, orijinal haliyle 0,5 mm düzenli nokta aralığına sahip bir Z-map matrisi ile tanımlanmıştır (Şekil 5.).



Şekil 4. Orijinal model

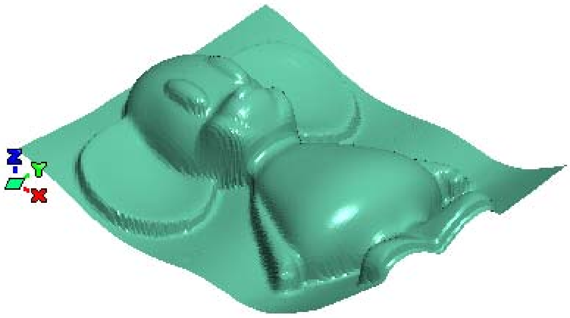


Şekil 5. Z-map modeli

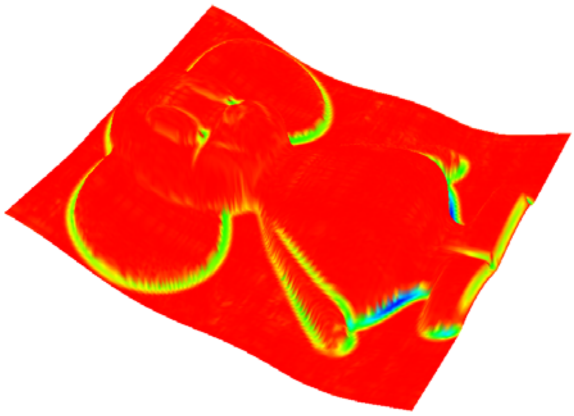
Örnekteki model için ince işlemede istenilen iç ve dış tolerans değeri 0,05 mm olarak kabul edilmiştir. İşlemede kullanılacak olan Ø6 mm küre uçlu kesici takım ve 0,05 mm iç ve dış tolerans değeri göz önüne alındığında, önerilen nokta aralığı 0,773 mm olarak hesaplanır. 0,5 mm nokta aralığına sahip orijinal Z-map modeli, bir doğrultuda 241, diğer doğrultuda 201 nokta olmak üzere toplam 48.441 nokta içermektedir. Model 0,773 mm nokta aralığına sahip olacak şekilde basitleştirildiğinde, bir doğrultuda 156, diğer doğrultuda 130 nokta, toplamda 20.280 nokta içerir. Bu durumda modelin toplam nokta sayısında %58,1'lik bir azalma sağlanmaktadır.

Program çalıştırıldığında gerekli toleransın sağlanması için 58 tekil değer ve bunlara karşılık gelen tekil vektörlerin kullanılması gerektiği sonucu alınmakta ve nokta azaltma işlemi 1,05 sn sürmektedir. Uygulanan tekil değerlere ayrıştırma işleminin sonucunda, 58 tekil değer ve vektörün modeli ifade edebilmesi sayesinde hesaplamalar basitleşmiş ve toplam 25.694 elemandan oluşan matrisler üzerinde yapılabilmiştir. Bu da %47 daha az veri içeren matrisler üzerinde hesaplama yapabilme imkânı sağlamıştır.

Azaltılmış model, programdan poligonal model olarak raw formatında alınmaktadır (Şekil 6.). Orijinal model ile azaltılmış model Metro yazılımı [16] ile bilgisayar ortamında karşılaştırıldığında maksimum hata miktarı 1,135 mm, ortalama mutlak hata miktarı 0,052 mm olarak hesaplanmıştır. Noktaların yaklaşık %79,4'ü hedeflenen 0,05 mm toleransın içerisinde kalmıştır. Hata dağılım grafiği Şekil 7.'de gösterilmiştir. Orijinal model, yazlımdan alınan verileri azaltılmamış Z-map modeli ile karşılaştırıldığında ise maksimum hata miktarı 0,456 mm, ortalama mutlak hata miktarı 0,018 mm olarak hesaplanmıştır. Noktaların yaklaşık %92'si hedeflenen 0,05 mm toleransın içerisinde kalmıştır. Sonuç ortalama hata bazında incelendiğinde, hatanın %34,6'sı veri azaltmadan, %65,4'ü ise model oluşturmadan kaynaklanmaktadır.



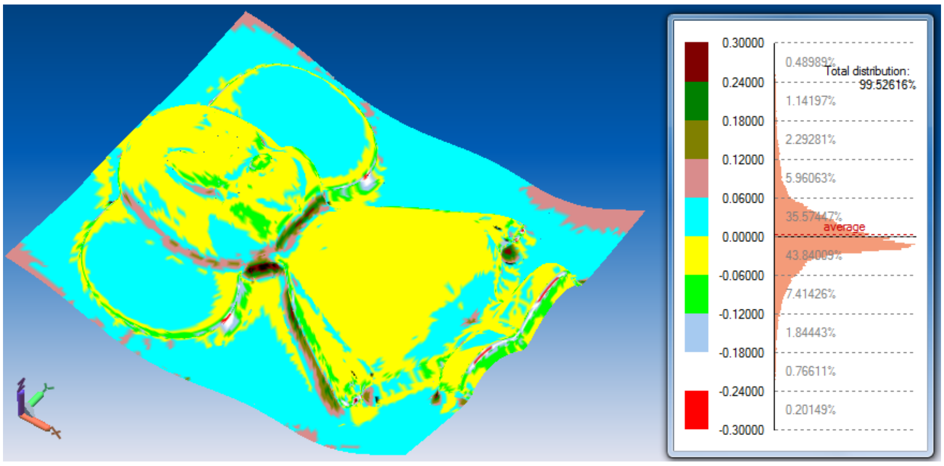
Şekil 6. Basitleştirilmiş poligonal model



Şekil 7. Bilgisayar ortamında hata grafiği

Programdan alınan basitleştirilmiş poligonal model üzerinde Hypermill yazılımı kullanılarak takım yolları oluşturulmuştur. Son işleme için Ø6 mm küre uçlu takım, 0,15 mm yanal adım ve optimize edilmiş paralel takım yolu yöntemi kullanılmıştır. CNC frezede işlenen model Şekil 8.'de görülmektedir. İşlemesi yapılan model üç boyutlu optik ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Ölçüm sonucunda hata miktarını gösteren grafik Şekil 9.'da görülmektedir. Ölçüm sonucunda maksimum pozitif hata miktarı 0,307mm, maksimum negatif hata miktarı 0,259 mm, standart sapma 0,074 olarak bulunmuştur. Noktaların %99,53'ü 0,3 mm toleransın içerisinde kalmış, %74,37'si ise hedeflenen 0,05 mm toleransın içerisinde kalmıştır.

Şekil 8. İşlenen model



Şekil 9. İşlenen modelin ölçüm sonuçları

Hypermill yazılımının takım yolu hesabı için kullandığı poligon dönüştürücüsü orijinal modeli, aynı tolerans değerinde 23.399 noktadan oluşan bir poligonal yüzey ile tanımlamıştır. Bu da, önerilen yöntemden elde edilen 20.280 noktalık poligonal modelin yaklaşık %13,3 daha az veri içerdiğini göstermektedir.

7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Geliştirilen tekil değerlere ayrıştırma yöntemine dayalı yüzeylerde veri azaltma yöntemi, yapılan uygulamalar ile önce bilgisayar ortamında kontrol edilmiş, daha sonra da gerçek imalat ortamında denenmiştir. Yüzey verilerinin tekil değerlerine ayrıştırılarak, tekil değerler ve vektörlerin bir kısmı ile tanımlanabilmesi yüzeyler üzerinde yapılan veri azaltma işlemini önemli ölçüde kolaylaştırmıştır.

Yapılan uygulamada, tekil değerlere ayrıştırma işlemi modelin %47 daha az veri ile tanımlanabilmesini sağlamıştır. Veri azaltma işlemi sonucunda ise yöntem, Hypermill yazılımının poligon dönüştürücüsüne göre %13,3 daha az nokta ile modeli tanımlamayı başarmıştır. Parça genelinde elde edilen tolerans değerleri hedeflenen limitlere büyük ölçüde yaklaşmıştır. İşlenen parçada, eğimi fazla olan bölgelerde yüzey kalitesi bir miktar bozulmakla birlikte, hafif eğimli bölgelerde yüzey kalitesinin iyi olduğu gözlenmiştir.

REFERENCES / KAYNAKLAR

[1] Douglas D.H., Peucker T.K., "Algorithms For The Reduction Of The Number Of Points Required To Represent A Digitized Line Or Its Caricature", The Canadian Cartographer, Vol 10 No 2: 112-122, 1973.
[2] Hershberger J., Snoeyink J., "Speeding Up the Douglas-Peucker Line-Simplification Algorithm", Proc. 5th Intl. Symp. on Spatial Data Handling, 1992.
[3] Wu S.T., Marquez M.R.G., "A non-self-intersection Douglas-Peucker Algorithm", Computer Graphics and Image Processing, SIBGRAPI, XVI. Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing, 2003.
[4] Schmitt F.J.M., Barsky B.A., Du W.H., "An adaptive subdivision method for surface-fitting from sampled data", Computer Graphics, SIGGRAPH 86 Proc., 20(4):179–188, 1986.
[5] DeHaemer M.J., Zyda M.J., "Simplification of objects rendered by polygonal approximations", Computer and Graphics, Vol. 15 No. 2: 175-184, 1991.
[6] Hinker P., Hansen C., "Geometric Optimization", Proc. Visualization'93: 189–195, 1993.
[7] Hamann B., "A Data Reduction Scheme for Triangulated Surfaces", Computer-Aided Geometric Design, 11:197–214, 1994.
[8] Turk G., "Re-tiling Polygonal Surfaces", Computer Graphics, Vol. 26 No. 2: 55–64, SIGGRAPH'92 Proc., 1992.
[9] Schroeder W.J., Zarge J.A., Lorensen W.E., "Decimation of Triangle Meshes", Computer Graphics, 26(2): 65–70, SIGGRAPH'92 Proc., 1992.
[10] Hoppe H., DeRose T., Duchamp T., Mc-Donald J., Stuetzle W., "Mesh Optimization", SIGGRAPH'93 Proc.: 19–26, 1993.
[11] Kalvin A.D., Taylor R.H., "Superfaces: Polygonal Mesh Simplification with Bounded Error", IEEE Computer Graphics and Appl., 16(3), 1996.
[12] Eck M., DeRose T., Duchamp T., Hoppe H., Lounsbery M., Stuetzle W., "Multiresolution Analysis of Arbitrary Meshes", SIGGRAPH'95 Proc.: 173–182, 1995.
[13] Garland M., Heckbert P.S., "Surface Simplification Using Quadric Error Metrics", SIGGRAPH'97 Proc., 1997.
[14] Park J.W., Chung Y.C., Choi B.K., "Precision Shape Modeling By Z-Map Model", International Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 3 No. 1, 2002.
[15] Choi B.K., Jerard R.B., "Sculptured Surface Machining", Kluwer Academic Publishers, ISBN 0-412-78020-8, 1998.
[16] Cignoni, P., Rocchini C., Scopigno, R., "Metro: Measuring Error on Simplifed Surfaces", Computer Graphics Forum, Vol.17 Issue 2: 167-174, 1998.