

역공학에서의 노이즈가 포함된 측정데이터의 분할에 관한 연구

김호찬* · 허성민* · 이석희†
(2001년 9월 5일 접수, 2001년 12월 14일 심사완료)

Study on Segmentation of Measured Data with Noise in Reverse Engineering

Ho-Chan Kim, Sung-Min Hur and Seok-Hee Lee

Key Words: Reverse Engineering(역공학), Segmentation(분할), Laser Scanner(레이저 스캐너
Triangular Net(삼각형망))

Abstract

The segmentation has been performed to the data of good quality in most cases, so the adoption of previous segmentation theory to the measured data with a laser scanner does not produce good result because of the characteristics of the data with noise component. A new approach to perform the segmentation on the scanned data is introduced to deal with problems during reverse engineering process. A triangular net is generated from measured point data, and the segmentation on it is classified as plane, smooth and rough segment. The segmentation result in each segment depends on the user-defined criteria. And the difference of the segmentation between the data of good quality and the data with noise is described and analyzed with several real models. The segment boundaries selected are used to maintain the characteristics of the parts during modeling process, thus they contribute to the automation of the reverse engineering.

1. 서 론

역공학(Reverse Engineering)이란 CAD 데이터가 존재하지 않는 기존의 제품 형상이나 클레이(clay) 혹은 나무, 석고 등으로 제작되어진 모델에 대하여 3차원 디지털라이저(digitizer)를 이용하여 기하학적인 좌표를 측정 한 뒤 가공을 위한 CAD 데이터를 생성하는 기법이다.

역공학의 실현을 위해서 제품의 형상 데이터의 획득이 중요한데, 현재 측정속도의 증가와 정도

의 향상에 의하여 레이저 스캐너가 많이 이용되고 있다. 또한, 레이저 스캐너를 이용하면 점 데이터가 라인 형식으로 측정되기 때문에 단면 곡선을 이용해서 곡면을 생성하기에 용이하다. 그러나 복합 곡면으로 이루어진 측정물에 대한 측정점을 하나의 곡면으로 표현하는 것은 모델링 오차, 다수의 조정점 발생과 같은 문제점을 가진다. 따라서 자연스러운 곡면 생성이 가능하고 컴퓨터에서 연산하기에 적절한 조정점을 갖도록 여러 개의 영역안에 측정점을 나누는 것이 필요한데 이것을 측정점의 분할(segmentation)이라고 한다.

기존의 측정점의 분할에 대한 연구는 비교적 좋은 상태를 갖는 측정 데이터에 대해서 수행되었다. 즉, CAD 시스템에서 모델링된 데이터, 또는 모델링 데이터로부터 메시(mesh) 분할이나 단

* 부산대학교 대학원

† 책임저자, 회원 부산대학교 기계공학부 및
기계기술연구소

E-mail : sehlee@hyowon.pusan.ac.kr

TEL : (051)510-1476 FAX : (051)514-0685

면을 구해서 생성된 데이터, 특정 형상으로 구성된 단순한 모형, 경계가 잘 구분되는 모형을 측정된 데이터에 대해 적용한 사례가 많고, 어떤 데이터는 노이즈가 제거된 데이터라는 가정에서 출발하였다. 그러나 레이저 스캐너로부터 얻어진 데이터는 많은 양의 점들을 포함하고 있으며 레이저 광원의 산란, 혹은 측정물의 품질에 의해 발생하는 노이즈가 포함된다. 따라서 레이저 스캐너로부터 측정된 데이터에 대해서 기존의 분할 이론을 적용하기는 어렵다.

본 논문은 레이저 스캐닝시 노이즈가 포함된 측정 데이터를 분할하는 방법에 대하여 논하였으며, 전체의 처리 과정은 Fig. 1과 같다.

2. 관련연구

측정점의 분할에 관한 이전 연구들은 선(edge) 기반의 분할과 면(face) 기반의 분할로 나눌 수 있다.

Varady⁽¹⁾ 등은 기하학적 모델의 특성화, 분할, 면 생성을 통한 B-rep 모델을 생성하는 방법을 연구하였다. Besl⁽²⁾ 등은 polynomial-based region-growing 방법을 이용하였다. 이 방법은 날카로운 모서리나 곡률이 불연속인 면에서 좋은 결과를 산출하나, 자유 곡면이나 복합 곡면에서의 적용은 제한된다.

Ferrie⁽³⁾ 등은 면의 곡률 평가를 향상하기 위하여 curvature consistency algorithm과 Darboux frame 을 사용하였다. Milroy⁽⁴⁾ 등은 wrap-around 형태의 와이어 프레임 모델에 대해서 jump, crease, smooth의 모서리 유형을 정의하고 모서리의 정점을 찾아서 영역을 나누는 방법에 대해서 연구하였다. Kruth⁽⁵⁾ 등은 CMM 장비를 이용해서 측정된 비정규적으로 분포된 점군으로부터 생성된 여러 개의 곡면을 경계 조건에 의해 합침으로써 완성된 곡면을 생성하는 방법에 대해 연구하였다. Yang⁽⁶⁾ 등은 경계의 곡률 변화를 통해서 경계를 인식하고, 탐색선 알고리즘을 이용해서 측정점을 분할하였다.

역공학에 비전 시스템(vision system)을 이용하여 분할을 적용한 연구는 다음과 같다. Sarkar⁽⁷⁾ 등은 복합 곡면으로부터 얻어진 측정점으로부터 경계를 얻고 영역을 구분하여 곡면을 생성하는 방법에 대해서 연구하였다. Peng⁽⁸⁾ 등은 비전 시스템에서 얻어진 정보를 이용하여 형상의 기하학적 데이터를 추출하고 CNC를 위한 가공경로를 생성하여 가공하는 시스템을 제안하였다. Cho⁽⁹⁾ 등은 비전시스템을 통한 기하학적 경계 추출과 CMM에서 얻어진 데이터에 의해 생성된 B-spline 면을 결합하는 면생성법을 연구하였다.

분할을 CT 데이터에 적용한 연구로서, Liu⁽¹⁰⁾ 등은 여러 개의 층을 가진 CT 윤곽 데이터로부터 기본 윤곽선을 지정하고 이웃 층으로 옮겨가면서 점점 이를 성장시켜서 영역을 확장시키는 방법에 대해서 연구하였다.

3. 측정데이터의 분할방법

레이저 스캐너에서 측정된 점은 max-min angle criterion⁽¹¹⁾을 이용하여 한 선분의 점으로부터 다른 선분의 인접한 점을 연결하는 과정을 반복하면 STL 파일을 생성할 수 있는 삼각형망을 구성한다. 생성된 삼각형 망으로부터 본 논문에서 제시한 노이즈가 포함된 측정 데이터를 분할하는 전체적인 과정은 Fig. 2와 같다.

첫째, 삼각형 망을 구성하는 삼각형간의 각도를 조사하여 사용자에게 의해 평면으로 허용되는 각도 이내에 드는 세그먼트(segment)를 조사하고 이것을 plane segment로 분류한다.

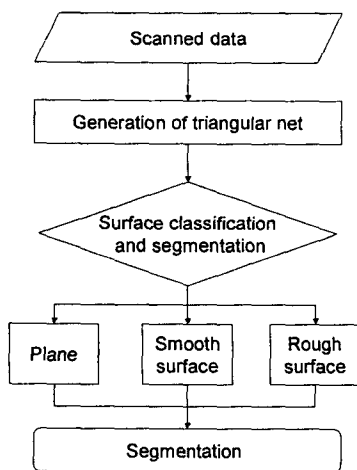


Fig. 1 Flowchart of overall process

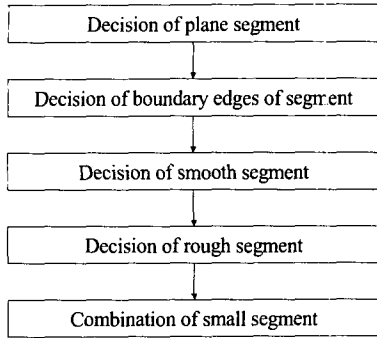


Fig. 2 Overall procedure of segmentation

둘째, 모든 모서리들에 대하여 해당 모서리를 공유하는 2개의 삼각형을 통해 곡률의 크기와 부호를 조사한다. 그 결과를 바탕으로 한 모서리를 경계로 곡률이 크게 변화하는 모서리와 곡률의 부호가 바뀌는 모서리를 찾아 이들과 plane segment의 외곽 루프를 이루는 모서리를 임시 경계 모서리로 선정한다.

셋째, plane segment로 속하지 않는 삼각형들을 임시 경계 모서리를 넘어서지 않는 한도내에서 연속적으로 확장한다. 확장된 삼각형 그룹이 사용자 입력에 의한 면적 최소 제한 조건을 만족하면 smooth segment로 분류한다.

넷째, 아직 plane segment나 smooth segment에 속하지 않은 삼각형은 임시 경계로 제한된 영역 속에 있는 삼각형이거나 smooth segment로 구분되기에는 영역이 너무 좁은 삼각형이다. 이들을 대상으로 사용자 입력에 의한 더 큰 곡률 기준을 통해 세그먼트를 구성하고 이를 rough segment로 분류한다.

마지막으로, 너무 작은 삼각형으로 구성된 세그먼트를 인근의 작은 수의 삼각형으로 구성된 다른 세그먼트에 붙여서, 세그먼트의 경계와 연결 상태가 완만해지도록 결합한다.

이상의 과정을 거쳐서 측정점의 분할을 완성하며, 각 세그먼트를 구성하는 방법에 대해서 아래에 자세히 서술한다.

3.1 편편한 영역에서의 분할

레이저 스캔 데이터로부터 plane segment를 구성하는 과정은 다음과 같다.



Fig. 3 Example of irregular data

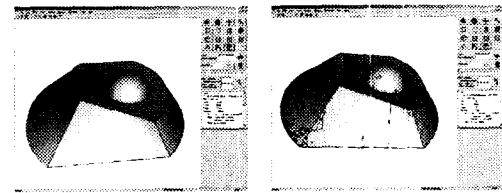


Fig. 4 Comparison of segmentation

첫째, 한 정점에 대해서 그 정점을 둘러싸고 있는 모든 삼각형에 대하여 각도 차이를 계산한다. CAD 시스템에서 모델링 과정을 거쳐 생성된 데이터를 메쉬 분할하여 생성된 STL(Stereolithography) 파일은 분할 과정시에 삼각형 단위로의 접근이 가능하다. 그러나 레이저 스캐너에서 측정된 데이터는 물체의 가공 상태나 마모 정도에 따라서 면의 상태가 Fig. 3과 같이 다르지 않으며, 스캔 데이터에 대해서 삼각형 사이의 각도에 의한 분할은 불균일한 모양을 가진 세그먼트 그룹을 생성시킨다. Fig. 4는 CAD 시스템에서 생성된 STL 데이터를 삼각형간의 각도에 의해 분할한 결과와 실제 조형물의 레이저 스캔 데이터를 삼각형간의 각도에 의해 분할한 결과를 비교한 것이다. 따라서 본 논문에서는 Fig. 5와 같이 한 정점(V1)을 기준으로 그 정점을 포함하는 주위의 모든 삼각형(T1, T2, T3, T12, T13)에 대해서 기준 삼각형 T0와 각도의 변화를 계산하고, 그 변화량이 모두 사용자의 입력에 의한 허용값 이하 인지를 판단한다. 이상의 과정이 나꺼지 두 정점(V2, V3)에 대해서도 적용하여 사용자 입력에 의한 허용값을 만족하면 하나의 세그먼트를 이루는 그룹으로 생성한다.

삼각형간의 각도는 단위 법선 벡터의 편차로서 표현될 수 있는데, 기준 삼각형과 검사될 삼각형간의 법선 벡터의 x, y, z 방향 편차를 dx, dy, dz라고 하면 식 (1)과 같이 정의된다.

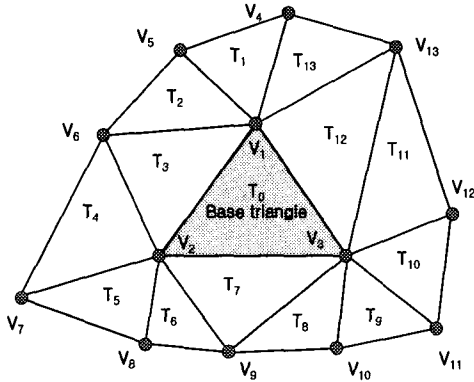


Fig. 5 Selection of vertices and triangles

그룹으로 허용되는 삼각형간의 각도의 차이 (rad)는 사용자의 입력에 의해 정해지며, θ 가 작을 경우에 식 (2)의 조건으로 그룹 허용 여부를 판단한다.

이상의 과정이 기준 삼각형의 각 정점과 접하는 모든 삼각형에 대해서 반복되어 만족되면, 기준 삼각형과 다른 주위의 삼각형을 그룹화한다.

$$\begin{aligned} dx &= Normal[base].x - Normal[check].x \\ dy &= Normal[base].y - Normal[check].y \\ dz &= Normal[base].z - Normal[check].z \end{aligned} \quad (1)$$

$$\theta^2 < (dx^2 + dy^2 + dz^2) \quad (2)$$

둘째, 세그먼트로 포함된 새로운 삼각형의 각 정점(V4-V13)에 대해서도 각 정점의 주위 삼각형들에 대한 기준 삼각형과의 각도의 변화를 검사하여 사용자 입력에 의한 허용값과의 비교를 통해 찾아진 면에 세그먼트 번호를 적고 더 이상 새로운 정점이 포함되지 않을 때까지 이상의 과정의 반복을 통해 세그먼트를 확장한다. 이 때 새로운 정점 주위의 삼각형 중 하나라도 이미 다른 세그먼트에 포함되어 있으면 그 정점은 검사 대상에서 제외시킨다.

이상의 방법에 의해서 각도에 의한 측정점의 분할이 가능하나, 한 세그먼트에 얼마나 많은 측정점이 속할지는 알 수 없다. 실제 연산에 있어서 이 점을 고려하지 않으면 무수히 많은 측정점에 의해서 stack overflow가 발생한다. 따라서 재귀호출을 이용하지 않고 크기가 조절 가능한 사용자 스택 구조를 사용한다. 스택은 추상적 자료

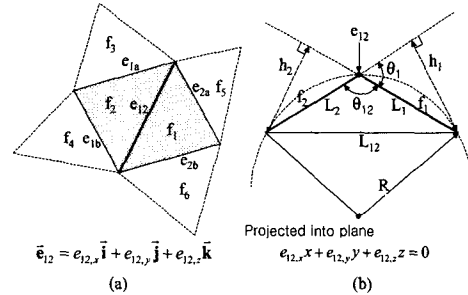


Fig. 6 Calculation of curvature around edges

구조로서 제일 나중에 들어간 것이 먼저 나오는 LIFO(Last In First Out) 구조를 가지고 있다.⁽¹²⁾

세그먼트 확장의 검사대상인 정점은 매 영역 확장시마다 다수가 발생하고 중복되므로 스택이 가득차게 되면, 스택은 동적으로 추가적인 용량을 할당한다.

셋째, 각 세그먼트의 확장이 끝날 때마다 그 그룹의 삼각형의 개수를 조사한다. 만약, 사용자의 입력에 의해 그룹으로 허용되는 삼각형의 개수보다 적은 경우에는 그룹의 삼각형에 주어진 그룹 번호를 지우고 새로운 세그먼트 그룹에서 그 삼각형을 선택하도록 한다.

3.2 부드러운 영역에서의 분할

스캔 데이터 중에서 평면 이외의 영역은 노이즈나 정합 오류에 의해 매우 불규칙한 경우가 많다. 세그먼트 구성시 경계로 사용할 모서리의 후보를 결정하기 위하여 우선 각 모서리가 포함된 2개의 삼각형이 구성하는 곡률과 볼록함과 오목함을 구분할 필요가 있다.

Fig. 6 (a)에서 모서리 e12를 공유하는 두 삼각형 f1, f2는 e12에 수직인 평면으로 투영된 그림 (b)에서 보인 바와 같이 곡률반경 R을 갖게 되며 R은 식 (3)~(8)과 같이 구할 수 있다. 식 (3)은 N_{f1} 과 N_{f2} 의 내적, 식(5)는 N_{f2} 와 $(V_{f1}-V_{f2})$ 의 내적, 식 (6)은 N_{f1} 과 $(V_{f2}-V_{f1})$ 의 내적을 각각 이용하였다. 여기서 N_{fx} 는 삼각형 f의 법선 벡터의 x 성분을 나타내며, V_{fx} 는 정점 V_f 의 x 성분을 나타내며, 식 (5), (6)에서 $h < 0$ 이면 볼록, $h > 0$ 이면 오목을 나타낸다.

$$\cos \theta_1 = N_{\rho,x} \times N_{\rho,x} + N_{\rho,y} \times N_{\rho,y} + N_{\rho,z} \times N_{\rho,z} \quad (3)$$

$$l_1 = \frac{|h_1|}{\sin \theta_1}, \quad l_2 = \frac{|h_2|}{\sin \theta_1}, \quad \theta_{12} = \pi - \theta_1 \quad (4)$$

$$h_1 = N_{\rho,x}(V_{\rho,x} - V_{\rho,x}) + N_{\rho,y}(V_{\rho,y} - V_{\rho,y}) + N_{\rho,z}(V_{\rho,z} - V_{\rho,z}) \quad (5)$$

$$h_2 = N_{\rho,x}(V_{\rho,x} - V_{\rho,x}) + N_{\rho,y}(V_{\rho,y} - V_{\rho,y}) + N_{\rho,z}(V_{\rho,z} - V_{\rho,z}) \quad (6)$$

$$l_{12} = \sqrt{l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos \theta_{12}} \quad (7)$$

$$R = \frac{l_3}{2 \sin \theta_{12}}, \quad \rho = \frac{1}{R} \quad (8)$$

그러나, 곡률과 오목, 볼록에 대한 정보는 매우 국부적인 정보이므로 CAD에서 만들어진 삼각형망의 분할에는 직접 적용 가능하지만, 노이즈가 포함된 스캔 데이터에는 적용되기 힘들다. 따라서, 좀더 넓은 지역의 형상 정보를 고려하고자 식 (9)와 같은 방법을 도입한다. 식 (9)에서 ρ 는 곡률을 나타내며, $\Delta \rho$ 는 곡률의 차이를 나타낸다.

$$\Delta \rho_{e12} = \rho_{e1a} + \rho_{e1b} - (\rho_{e2a} + \rho_{e2b}) \quad (9)$$

$\Delta \rho_{e12}$ 는 모서리 e12 주위의 곡률 변화량을 뜻하며 이것은 f1, f2, ...f6의 영역에서 e12를 경계로 곡률이 어떻게 변했는지를 보여주며 주로 fillet된 면을 찾기 위해 사용된다.

또, chamfer 면을 찾기 위해서는 ρ_{e12} 라는 조건도 필요하므로 식 (10)로써 해당 모서리의 형상 변화를 나타낸다. 이 때 α 와 β 는 모서리 자신의 곡률과 주위의 곡률 변화량에서 어느 항목을 더 고려할지를 나타내는 가중치이다.

$$\rho_{12} = \alpha \rho_{e12} + \beta \Delta \rho_{e12} (\alpha + \beta = 1) \quad (10)$$

경험적으로 CAD 데이터와 같이 상태가 좋은 데이터는 α 의 값이 높을수록 좋은 결과를 산출하며, 스캔 데이터와 같이 노이즈를 가지고 있는 데이터는 β 의 값이 높을수록 좋은 분할 결과를

산출한다.

각 모서리별로 ρ_{12} 가 구해지던 사용자가 정한 곡률 이상의 모서리는 임시 경계 모서리로 선정한다. 이러한 임시경계 모서리는 곡률이 큰 부분이나 곡률의 변화가 큰 부분 또는 매우 거친 영역에서 집중적으로 발생하게 된다.

이상의 과정을 거쳐 smooth region에서 분할을 수행하는 과정은 다음과 같다.

1. 부드러운 면으로 구성된 세그먼트를 선정하기 위하여 먼저 삼각형의 세 모서리가 모두 임시경계 모서리가 아닌 삼각형을 선택하여 기준으로 삼고 이 삼각형의 세 정점을 스택에 넣는다.

2. 영역의 확장을 위해 스택에 저장된 점을 조사하여 그 점 주위의 모서리들이 모두 사용자가 정한 값 이내의 각도 (Fig. 6에서 θ_{12})를 갖고 임시경계 모서리가 포함되지 않았다면 해당 정점을 둘러싼 모든 삼각형으로 세그먼트의 영역이 확장된다.

3. 만일 검사한 세그먼트에 포함되는 삼각형의 수가 사용자가 정한 값보다 적다면 부드러운 면이 아닌 거친 면의 일부로 선택되도록 세그먼트의 그룹을 해제한다.

4. 이러한 작업을 스택이 빌 때까지 수행하면 하나의 smooth segment가 생성된다.

5. 다른 세그먼트로 잡히지 않은 모든 면들에 대해 전술한 1~4의 과정을 실행하면 전체 smooth segment를 구할 수 있다.

3.3 거친 영역에서의 분할

삼각형 망에서 plane segment와 smooth segment를 구성하는 삼각형 이외의 삼각형은 rough segment로 분류된다. 즉, 확장된 곡률 ρ_{12} 가 사용자의 정의값 이상인 모서리들 사이에 갇힌 삼각형들이 rough segment로 될 것이며, 원래 거친 형상이나 fillet된 면이다. Rough segment를 구성하는 방법은 아래와 같다.

1. 다른 그룹에 속하지 않은 삼각형을 기준으로 선택하고 이 삼각형의 번호를 스택에 넣는다.

2. 스택에서 검사 대상인 삼각형을 조사하여 이 삼각형을 그룹에 포함시킨다. 이 삼각형(f0)과 이웃한 3개의 삼각형(f1, f2, f3)에 대해 각각 f0와의 사이 각도를 조사하여 사용자가 정한 각도보

다 적고 이미 다른 세그먼트로 잡히지 않은 면이 있다면, 각각의 삼각형의 번호를 스택에 넣는다.

3. 스택에 들어 있는 면이 없어질 때까지 과정 2를 반복한다.

4. 모든 삼각형이 세그먼트에 포함될 때까지 과정 1을 반복한다.

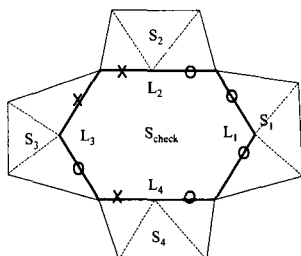
이렇게 해서 만들어진 rough segment는 삼각형의 수가 매우 작으므로 세그먼트로서 의미가 없다. 따라서 수가 적은 rough segment를 인근 세그먼트와 결합한다.

적은 수의 삼각형을 갖는 rough segment를 결합하기 위하여 아래와 같은 방법을 사용한다.

Fig. 7에서 결합시킬 수가 적은 세그먼트를 S_{check} 라 할 때, S_{check} 와 인근의 세그먼트 S_i 사이에서 부드러운 정도를 표시하는 길이를 L_i 라 하면 식 (11)과 같이 정의된다. $\frac{L_i}{L_{S_{check}}}$ 의 값중에서 가장 큰 값을 가지는 S_i 에 S_{check} 를 결합한다.

$$L_i = \sum_{j=0}^m l_{i,j} Y_j - w \sum_{j=0}^m l_{i,j} \bar{Y}_j \quad (11)$$

여기서 l_{ij} 는 S_i 의 모서리의 길이, $L_{S_{check}}$ 는 결합될 세그먼트의 루프 길이, m 은 S_{check} 과 S_i 사이에 존재하는 모서리의 수, w 은 S_{check} 와 S_i 가 부드럽지 않은 모서리에 대해 적용하는 가중치이다. τ_j 는 ρ_j 가 사용자가 규정한 값보다 크면 0이고, ρ_j 가 사용자가 규정한 값보다 작으면 1이다. $\bar{\tau}_j$ 는 ρ_j 가 사용자가 규정한 값보다 작으면 0이고, ρ_j 가 사용자가 규정한 값보다 크면 1이다.



O : curvature is smaller than user-defined value
X : curvature is larger than user-defined value

Fig. 7 Combination of small segment

4. 적용예

본 논문에서는 측정점 분할의 이론을 여러 모델에 적용하였고, Visual C++ 6.0, OpenGL을 사용하여 효율적인 측정점 분할이 가능한 소프트웨어를 개발하였다.

적용예는 Fig. 8(a)에 제시된 20335개의 점으로 구성된 탈(mask) 모델과 5239개의 점으로 구성된 드라이버(driver) 모델이며, 삼각형망을 생성하고 분할을 수행하였다.

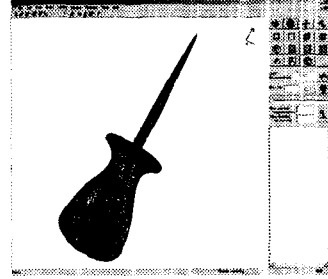
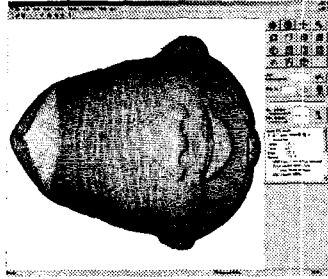
탈 모델에 사용된 사용자 입력 조건으로서 plane segment의 선정 각도 1도, 삼각형의 수 25, 모서리의 곡률 0.8, $\alpha=0.4$, $\beta=0.6$, smooth, rough segment의 삼각형의 수 200을 선정하였다.

드라이버 모델에 사용된 사용자 입력 조건으로서 plane segment의 선정 각도 1도, 삼각형의 수 25, 모서리의 곡률 11, $\alpha=0.4$, $\beta=0.6$, smooth, rough segment의 삼각형의 수 80을 선정하였다.

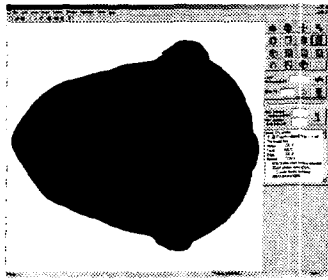
Fig. 8(a)~(h)는 두 모델에 의한 각 단계의 결과를 각각 나타낸다. (a)는 레이저 스캐너로부터 측정된 데이터, (b)는 스캔된 데이터로부터 생성된 삼각형망, (c)는 plane segment로 선정된 영역, (d)는 곡률에 의한 임시 경계, (e)는 영역 확장에 의한 plane과 smooth segment의 경계, (f)에서 plane과 smooth segment의 영역은 색칠되었으며, 흰 부분은 rough segment로 선정된 영역, (g)는 plane, smooth, rough segment 영역, (h)는 적은 수의 rough segment를 주위 세그먼트와 결합한 결과를 나타낸다. Table 1은 세그먼트의 수와 경계 모서리의 수를 각 단계에서 비교한 것이다.

두 모델의 경우에 노이즈의 영향과 여러 영역이 자유곡면으로 구성되어 Fig. 8(c)에서처럼 plane segment로 선정된 세그먼트는 존재하지 않는다. 면 상태에서 알 수 있듯이 탈모형의 smooth segment의 수는 드라이버 모델의 경우보다 많다.

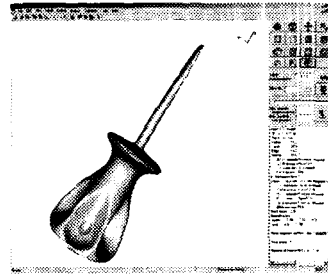
드라이버 모델의 경우 Fig. 8(d)처럼 대부분의 영역에서의 면 상태가 좋지 않다. 이러한 면으로부터 측정된 데이터와 그 데이터로부터 생성되는 삼각형망은 나쁜 상태에 있다. 이러한 영역에서의 분할은 기하학적 특성이 유지되도록 사용자에게 의한 여러 기준 입력값은 주의깊게 설정되어야 한다.



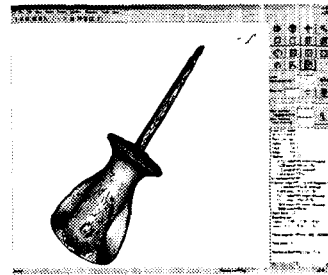
(a) Digitized data



(b) Generated triangular net

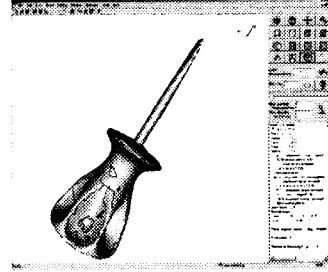
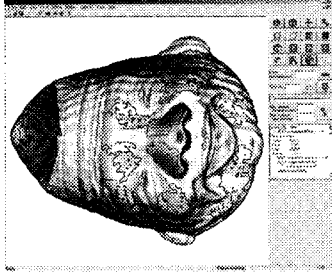


(c) Plane segment

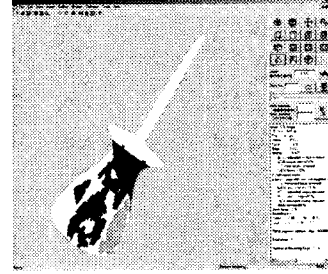
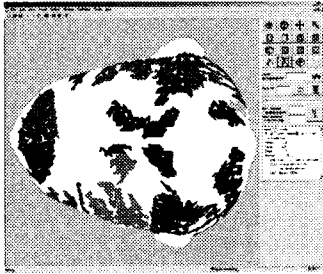


(d) Temporary boundary edge

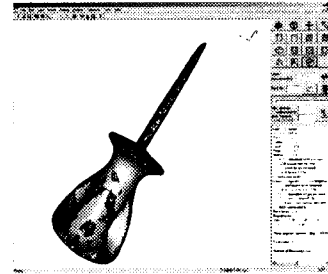
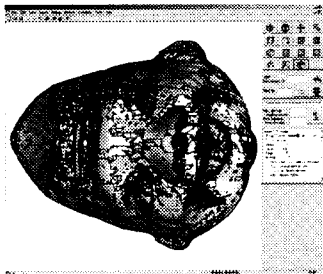
Fig. 8 Illustration of STL file generation of mask and driver model



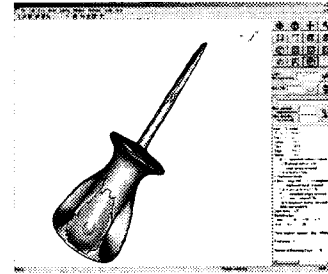
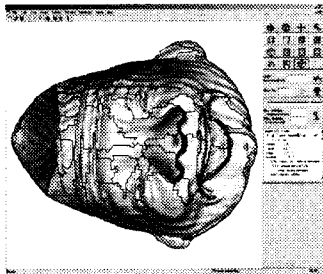
(e) Plane and smooth segment lines



(f) Plane and smooth segment regions



(g) Plane, smooth and rough segment



(h) Combination of small rough segment

Fig. 8 (Continued)

Table 1 Comparison of number of segments and boundary edges

Model	Plane segment	Boundary edge	Smooth segment	Rough segment	Total segment	Final segment
Mask	0	20339	24	9088	9112	80
Driver	0	7116	9	6515	6524	38

5. 결 론

본 논문에서는 레이저 스캐닝시 노이즈가 포함된 점 데이터로부터 분할하는 방법을 개발하였으며, 이것을 실제로 응용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 개발된 소프트웨어는 측정점의 분할에서 필요한 인자인 plane segment의 선정 각도, 삼각형의 수, 모서리의 곡률을 위한 가중치, smooth segment의 선정 각도, 삼각형의 수, rough segment의 선정 각도를 사용자의 입력에 의해 정한다. 다양한 사용자의 입력값에 의하여 생성되는 여러 분할 결과를 사용자의 목적에 따라서 연속되는 공정에 이용할 수 있다.

(2) 분할은 plane segment를 분리하고 모서리를 공유하는 삼각형간의 곡률과 주위의 곡률을 동시에 고려함으로써 안정된 분할을 수행한다. 이상의 방법은 CAD 데이터와 같은 좋은 표면 품질을 가진 데이터 뿐만 아니라 노이즈가 포함된 레이저 스캔 데이터에 대해서도 좋은 결과를 산출한다.

(3) 분할에서 생성된 경계는 연속도는 면생성 과정에 직접적으로 이용할 수 있다. 즉, Delaunay 삼각형 분할을 이용한 점 데이터의 감소나 복합 곡면 생성 과정에서 세그먼트의 경계로 존재한다. 또, 면 생성후에 제품의 스타일 라인을 유지할 수 있는 경계로서 유지된다. 이는 작업자의 수작업에 의한 면 생성 과정에서 발생할 수 있는 모델링 오차와 시간을 줄이고 자동화된 공정에 기여할 수 있다.

참고문헌

- (1) Varady, T., Martin, R. R. and Cox, J., 1997, "Reverse Engineering of Geometric Models-an Introduction," *Computer-Aided Design*, Vol. 29, No. 4, pp. 255~268.
- (2) Ferrie, F. P., Lagarde, J. and Whaite, P., 1993, "Darboux Frames, Snakes, and Superquadrics: Geometry from the Bottom up," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 15, No. 8, pp.771~783.
- (3) Besl, P. J. and Jain, R. C., 1988, "Segmentation Through Variable-order Surface Fitting," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 10, No 2, pp. 167~192.
- (4) Milroy, M. J., Bradley, C. and Vickers, G. W., 1997, "Segmentation of a Wrap-around Model using an Active Contour," *Computer-Aided Design*, Vol. 29, No. 4, pp. 299~320.
- (5) Kruth, J. P. and Kerstens, A., 1998, "Reverse Engineering Modelling of Free-form Surfaces from Point Clouds Subject to Boundary Conditions," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 76, No. 1-3, pp. 120~127.
- (6) Yang, M. and Lee, E., 1999, "Segmentation of Measured Point Data using a Parametric Quadric Surface Approximation," *Computer-Aided Design*, Vol. 31, No. 7, pp. 449~457.
- (7) Sarkar, B. and Menq, C. H., 1991, "Smooth-Surface Approximation and Reverse Engineering," *Computer-Aided Design*, Vol. 23, No. 9, pp. 623~628.
- (8) Peng, Q. and Loftus, M., 1998, "A New Approach to Reverse Engineering Based on Vision Information," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 38, No. 8, pp. 881~899.
- (9) Cho, M., Seo, T., Kim, J. and Kwon, O., 2000, "Reverse Engineering of Compound Surfaces using Boundary Detection Method," *KSM/E International Journal*, Vol. 14, No. 10, pp. 1104~1113.
- (10) Liu, S. and Ma, W., 1999, "Seed-growing Segmentation of 3-D Surfaces from CT-contour

- Data," *Computer-Aided Design*, Vol. 31, No. 8, pp. 517~536.
- (11) Choi, B., Shin, H., Yoon, Y. and Lee, J., 1988, "Triangulation of Scattered Data in 3D Space," *Computer-Aided Design*, Vol. 20, No. 5, pp. 239~248.
- (12) Horowitz, E., Sahni, S. and Mehta, D., 1995, "Fundamentals of Data Structures in C++," Computer Science Press, New York.