

## 역공학에서 레이저스캔 데이터의 분할

김호찬, 허성민(부산대학교 대학원), 이석희(부산대학교 기계공학부)

### Segmentation of data measured by laser scanning in reverse engineering

Ho-Chan Kim, Sung-Min Hur (Dept. of mechanical and intelligent systems engineering, Pusan National University), Seok-Hee Lee (School of Mechanical Engineering, Pusan National University)

#### ABSTRACT

Laser scanning is widely used due to its fast measuring and high precision, and the segmentation of the scanned data is necessary for the fast and efficient surface modelling. But most segmentation techniques are based on the very regular data and the adaptation of previous techniques to the scanned data does not usually produce good result.

A new approach to perform the segmentation on the scanned data is introduced to deal with problems during reverse engineering process. The approach is based on the triangulated data and its result is depending on the some user-defined criteria. The result is illustrated to demonstrate its adaptability to the measured data on free-form surface and the each result by different criteria is compared respectively.

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

#### 1. 서론

역공학을 위해서 제품의 형상 데이터의 획득이 중요한데, 현재 측정속도의 증가와 정도의 향상에 의하여 레이저 스캐너가 많이 이용되고 있는 실정이다. 또한, 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 영역 안에 측정점을 나누는 것을 측정점의 segmentation이라고 한다.

본 논문은 레이저 스캐너의 전용 소프트웨어에서 전처리 과정을 거친 IGES 파일을 대상으로 하며, Fig. 1과 같은 전체 과정을 거쳐 측정점의 분할을 수행한다.

#### 2. 관련연구

역공학에서 측정점의 segmentation과 관련된 연구는 다음과 같다.

Besl<sup>(1)</sup> 등은 polynomial-based region-growing 방법을 이용하였다. 이 방법은 날카로운 모서리나 곡률이 불연속인 면에서 좋은 결과를 산출하나, 자유 곡면이나 복합 곡면에서의 적용은 제한된다. Ferric<sup>(2)</sup> 등은 면의 곡률 평가를 향상하기 위하여 curvature consistency algorithm과 Darboux frame을 사용하였다. Milroy<sup>(3)</sup> 등은 wrap-around 형태의 와이어 프레임 모델에 대해서 jump, crease, smooth의 edge 유형을 정의하고 모서리의 정점을 찾아서 영역을 나누는 방법에 대해서 연구하였다. Kruth<sup>(4)</sup> 등은 CMM 장비를 이용해서 측정된 비정규적으로 분포된 점군으로부터 생성된 여러 개의 곡면을 경계 조건에 의해 합침으로써 완성된 곡면을 생성하는 방법에 대해 연구하였다. Yang<sup>(5)</sup> 등은 경계의 곡률 변화를 통해서 경계를 인식하고 경계 곡선을 생성시켰으며, 탐색선 알고리

점을 이용해서 측정점의 경계 내·외부 유무를 판별함으로써 측정점을 분할하였다.

### 3. 측정데이터의 segmentation

레이저 스캐너에서 측정된 점은 max-min angle criterion을 이용하여 한 선분의 점으로부터 다른 선분의 인접한 점을 연결하는 과정을 반복하면 STL 파일을 생성할 수 있는 삼각형망을 구성한다. 생성된 삼각형 망으로부터 segmentation을 수행하는 전체적인 과정은 Fig. 2와 같다.

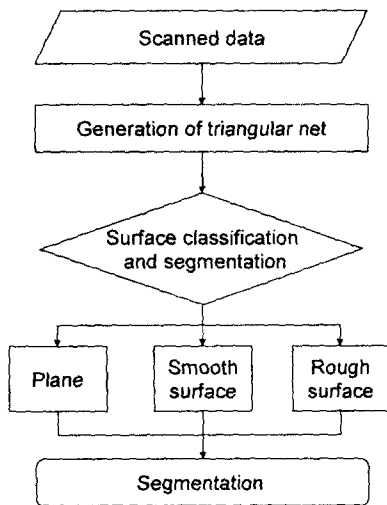


Fig. 1 Flowchart of overall process

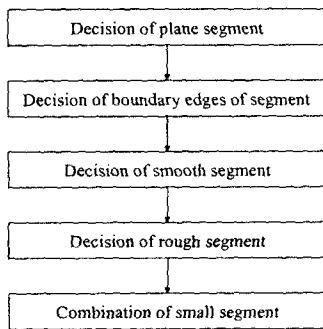


Fig. 2 Overall procedure of segmentation

첫째, 삼각형 망을 구성하는 삼각형간의 각도를 조사하여 사용자에게 의해 평면으로 허용되는 각도 이내에 드는 segment를 조사하고 이것을 plane segment로 분류한다.

둘째, 모든 모서리들에 대하여 해당 모서리를 공유하는 2개의 삼각형을 통해 곡률의 크기와 부호를 조사한다. 그 결과를 바탕으로하여 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 잡히지 않는 삼각형들을 임시 경계 모서리를 초과하지 않는 한도내에서 연속적으로 확장한다. 확장된 삼각형 그룹이 사용자 입력에 의한 면적 제한 조건을 만족하면 smooth segment로 분류한다.

넷째, 아직 그룹에 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 그룹을 형성하고 이를 rough segment로 분류한다.

마지막으로, 너무 작은 삼각형으로 구성된 segment를 인근의 작은 수의 삼각형으로 구성된 다른 segment에 붙이고, 각 segment의 루프를 돌면서 segment의 경계와 연결 상태가 완만해지도록 결합한다.

이상의 과정을 거쳐서 segmentation을 완성하고, plane segment와 smooth segment가 아닌 것은 rough segment로 분류하고, 각 segment를 구성하는 방법에 대해서 아래에 자세히 서술한다.

#### 3.1 Segmentation of plane regions

레이저 스캔 데이터로부터 plane segment를 구성하는 과정은 다음과 같다.

첫째, 한 정점에 대해서 그 정점을 둘러싸고 있는 모든 삼각형에 대하여 각도 차이를 계산한다. CAD 시스템에서 모델링 과정을 거쳐 생성된 데이터를 tessellation하여 생성된 STL 파일은 segmentation 과정시에 삼각형 단위로의 접근이 가능하다. 그러나 레이저 스캐너에서 측정된 데이터는 물체의 가공 상태나 마모 정도에 따라서 면의 상태가 고르지 않으며, 스캔 데이터에 대해서 삼각형 사이의 각도에 의한 segmentation은 불균일한 모양을 가진 segment 그룹을 생성시킨다.

둘째, segment로 포함된 새로운 삼각형의 각 정점에 대해서도 각 정점이 주위 삼각형들에 대한 각도의 변화를 검사하여 사용자 입력에 의한 허용값과의 비교를 통해 찾아진 면에 segment ID를 적고 더 이상

새로운 정점이 포함되지 않을 때까지 이상의 과정의 반복을 통해 segment를 확장한다. 이 때 새로운 점점 주위의 삼각형중 하나라도 이미 다른 segment에 포함되어 있으면 그 정점은 검사 대상에서 제외시킨다.

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

### 3.2 Segmentation of smooth regions

smooth regions에서 segmentation을 수행하는 과정은 다음과 같다.

1. 부드러운 면으로 구성된 segment를 선정하기 위하여 먼저 seed로서 삼각형의 세 모서리가 모두 임시 경계 모서리가 아닌 삼각형을 선택하여 seed로 삼고 이 seed 삼각형의 세 정점을 스택에 넣는다.

2. 영역의 확장을 위해 스택에 저장된 점을 조사하여 그 점 주위의 모서리들이 모두 사용자가 정한 값 이내의 각도를 갖고 임시경계 모서리가 포함되지 않았다면 해당 정점을 둘러싼 모든 삼각형으로 segment의 영역이 확장된다.

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

4. 이러한 작업을 스택이 empty 될 때까지 수행하면 하나의 smooth segment가 생성된다.

5. 다른 segment로 잡히지 않은 모든 면들에 대해 전술한 알고리즘을 실행하면 전체 smooth segment를 구할 수 있다.

### 3.3 Segmentation of rough regions

삼각형형 망에서 plane segment와 smooth segment를 구성하는 삼각형 이외의 삼각형은 rough segment로 분류된다. 즉, 확장된 곡률이 사용자의 정의값 이상인 모서리들 사이에 갠 삼각형들이 rough segment로 될 것이며, 원래 거친 형상이나 fillet된 면이다. Rough segment를 구성하는 방법은 아래와 같다.

1. 다른 그룹에 속하지 않은 삼각형을 seed로 선택하고 이 삼각형의 index를 스택에 넣는다.

2. 스택에서 검사 대상인 삼각형을 조사하여 이 삼각형을 그룹에 포함시킨다. 이 삼각형과 이웃한 3개의 삼각형에 대해 각각 사이 각도를 조사하여 사용자가 정한 각도보다 적고 이미 다른 세그먼트로 잡히지 않은 면이 있다면, 각각의 삼각형의 index를 스택에 넣는다.

3. 스택에 들어 있는 면이 없어질 때까지 step 2를 반복한다.

4. 모든 삼각형이 세그먼트에 포함될 때까지 step 1을 반복한다.

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

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

결합시킬 수가 적은 segment를  $S_{check}$ 라 할 때,  $S_{check}$ 와 인근의 세그먼트  $S_i$  사이에서 부드러운 정도를 표시하는 길이를  $L_i$ 라 하면  $\frac{L_i}{L_{S_{check}}}$ 의 값중에서 가장 큰 값을 가지는  $S_i$ 에  $S_{check}$ 를 결합한다.

## 4. 적용예

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

20335개의 점으로 구성된 탈 모델에 대해서 삼각형망을 생성하고 segmentation을 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.

Fig. 3 (a)-(d)는 두 모델에 의한 각 단계의 결과를 각각 나타낸다. (a)는 스캔된 데이터로부터 생성된 삼각형망, (b)는 plane segment로 선정된 영역, (c)는 plane, smooth, rough segment 영역, (d)는 적은 수의 rough segment를 주위 segment와 결합한 결과를 나타낸다. Table 1은 segment의 수와 경계 모서리의 수를 각 단계에서 비교한 것이다.

Table 1 Comparison of number of segments and boundary edges

	No. of triangles	Plane segment	Boundary edge	Smooth segment	Rough segment	Total segment	Final segment
Mask	40670	0	20339	24	9088	9112	80

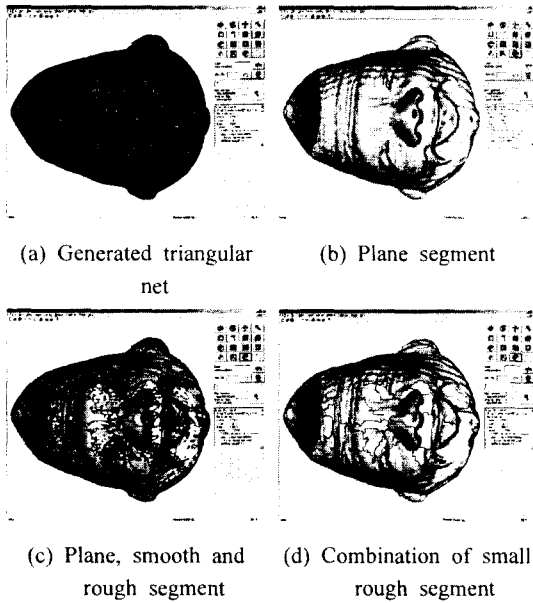


Fig. 3 Segmentation of mask model

## 5. 결론

본 논문에서는 레이저 스캐너로부터 생성된 점 데이터로부터 segmentation을 수행하였고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 개발된 소프트웨어는 segmentation에서 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 입력 값에 의하여 생성되는 여러 segmentation 결과를 사용자의 목적에 따라서 연속되는 공정에 이용할 수 있다.

2. Segmentation은 plane segment를 분리하고 모서리를 공유하는 삼각형간의 local curvature와 global curvature를 동시에 고려함으로써 안정된 segmentation을 수행한다. 이상의 방법은 CAD 데이터와 같은 좋은 표면 품질을 가진 데이터 뿐만 아니라 노이즈가 포함된 레이저 스캔 데이터에 대해서도 robust한 결과를 산출한다.

## 참고문헌

- (1) Ferrie, F. P., Lagarde, J. and Whaite, P., 1993, "Darboux frames, snakes, and super-quadratics: Geometry from the bottom up," IEEE Transactions

- on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 15, No. 8, pp.771~783.
- (2) 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.
- (3) 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.
- (4) 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.
- (5) 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.