

측정데이터의 효율적 감소를 위한 De launay 삼각형 분할의 적용

허성민*, 김호찬(부산대 대학원 지능기계공학과), 이석희(부산대 기계공학부)

Delaunay triangulation for efficient reduction of measured point data

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

ABSTRACT

Reverse engineering has been widely used for the shape reconstruction of an object without CAD data and it includes some steps such as scanning of a clay or wood model, and generating some manufacturing data in an STL file. A new approach to remove point data with Delaunay triangulation is introduced to deal with the size problems of STL file and the difficulties in the operation of RP process. This approach can be used to reduce a number of measuring data from laser scanner within a specified tolerance, thus it can avoid the time for handling point data during modelling process and the time for verifying and slicing STL model during RP process.

Developed software enables the user to specify the criteria for the selection of group of triangles either by the angle between triangles or the percentage of triangles reduced, and thus RP models with accuracy will be helpful to automated process.

Key Words : Reverse Engineering (역공학), Delaunay triangulation (Delaunay 삼각형 분할), Laser Scanner (레이저 스캐너), Triangular net (삼각형망), RP (급속조형), STL

1. 서론

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

역공학을 위한 3차원 데이터 측정기구로서 CMM(Coordinate Measuring Machine), 레이저 스캐너(Laser Scanner), CT(Computer Tomography) 등이 있는데 근래에 들어서는 비접촉식 측정기구인 레이저 스캐너가 많이 이용되고 있다. 레이저 스캐너는 측정속도가 빠르고 정도가 우수할 뿐만 아니라 점 데이터가 라인 형식으로 측정되기 때문에 단면 곡선을 이용해서 곡면을 생성하기에 용이하다 반면에 형상 복원에 있어서 필요 이상의 다수의 데이터가 측정되

어 점 데이터의 효율적인 감소가 필요하다.

레이저 스캐너에서 측정된 데이터는 사용 목적에 따라 CNC에서 가공을 위한 면데이터 생성이 필요한 경우도 있지만, 근래에는 복잡한 형상의 부품은 RP 장비를 이용하여 조형하는 경우가 많으므로 삼각형으로 구성된 STL 데이터의 생성이 요구된다.

현재 대부분의 상업용 소프트웨어에서는 작업자의 수작업에 의한 면 생성을 통해서 STL 파일을 생성한다. SLA, SLS, FDM과 같은 RP장비는 STL 파일에 대해서 약 0.1mm 정도의 오차 이내의 조형이 가능하다. 그러나 숙련된 작업자가 아닌 경우에는 면 생성 과정에서 오차가 발생하며 STL 파일에 그대로 적용되어 RP 조형물의 오차의 원인이 된다. 따라서 작업자의 수작업을 거치지 않는 STL 파일의 생성이 필요하다.

본 논문에서는 레이저 스캐너에서 측정된 데이터로부터 STL 파일을 생성하고 생성된 삼각형망의 제

분할 과정을 거쳐서 데이터의 정도를 유지하면서 삼각형의 수를 효율적으로 줄이는 방법을 Fig.1과 같은 방법으로 제시하고자 한다.

점데이터를 이용하여 형상을 재구성하는 관련연구로서 Chen[1, 2] 등은 RP 조형을 위한 최적화된 STL 데이터를 찾기 위하여 측정점의 2차원 삼각형 분할에 있어서 유전자 알고리즘을 이용하였으며, 사용자의 입력에 의해 제거될 삼각형의 양을 규정하여 데이터를 감소하였다. Park[3] 등은 3차원상의 점들에서 면을 생성하고 주어진 오차를 만족할 때까지 면을 수정하여 삼각 Bezier 패치로 구성된 면을 생성하는 방법을 연구하였다. Volpin[4] 등은 자유 형상에 대해서 곡률 변화 구역을 나누고 사각 패치를 채울 수 있는 경계의 점들과 energy functional에 의해서 사각패치로 자유곡면을 구성하는 방법을 연구하였다. Hamann[5] 등은 새 점에서의 곡률에 근거하여 가중치를 부여하고 낮은 가중치를 가진 삼각형을 반복적으로 제거하고 재생성하여 삼각 패치를 감소시키는 방법을 제안하였고, Hur[6] 등은 CT 데이터로부터 삼각형 분할을 통하여 형상을 재구성하였다.

2. 본론

2.1 삼각형망 생성

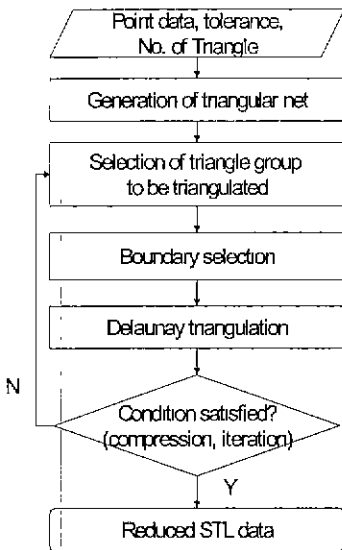


Fig. 1 Overall Flowchart

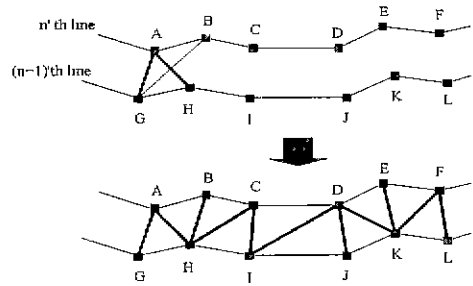


Fig. 2 Christiansen algorithm

레이저 스캐너에서 측정된 점은 Christiansen 알고리즘[7]을 이용하여 한 선분의 점으로부터 다른 선분의 인접한 점을 연결하는 과정을 반복하면 Fig 2와 같이 STL 파일을 생성할 수 있는 삼각형망을 구성한다. 그러나 이 삼각형망은 필요 이상의 많은 삼각형으로 구성되어 있어서, STL파일 사이즈의 증가, 시각화 및 핸들링의 어려움, 오류 검사, 슬라이싱 및 주사경로 생성 과정에서 엄청난 계산 시간의 소요와 같은 문제점을 가지고 있다. 따라서 사용자의 입력에 의한 오차 한계나 삼각형수에 의한 제한을 고려하여 삼각형의 수를 감소시킨다.

2.2 분할될 삼각형 그룹 선택

STL 파일을 구성한 삼각형의 수를 줄이기 위해서는 재분할될 삼각형 그룹을 선택해야 하며, 그 기준은 다음과 같다.

첫째, 삼각형의 세 정점과 접하고 있는 다른 삼각형들이 삼각형 분할을 위한 그룹이 될 수 있는가를 판단한다. Fig. 3과 같은 경우, 삼각형 T0의 한 정점 V0와 접하는 삼각형 T1, T2, T3, T10이 이미 다른 그룹에 속한 삼각형인가를 검사하고 다른 그룹에 속하지 않는 삼각형은 기준 삼각형과의 각도 차이를 계산한다.

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

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

그룹으로 허용되는 삼각형간의 각도의 차이 (rad)는 사용자의 입력에 의해 정해지며, 계산 속도 향상을 위해 $\theta^2 < (dx^2 + dy^2 + dz^2)$ 의 조건으로 그룹 허용 여부를 판단한다.

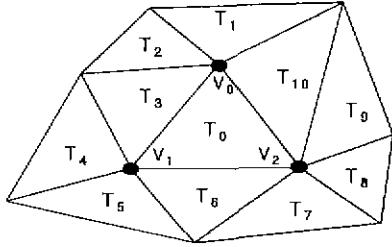


Fig. 3 Selection of triangle for triangulation

이상의 과정이 각 정점과 접하는 모든 삼각형에 대해서 반복되어 만족되면, 그 정점은 주위의 삼각형과 그룹이 되는 것으로 가정하며, 주위의 삼각형과 그룹이 되는 정점이 하나도 없는 삼각형은 그룹을 만드는 대상에서 제외시킨다.

둘째, 그룹을 만들도록 분류된 삼각형에 대하여 각 정점 주위의 삼각형이 이미 다른 그룹에 속한 삼각형인가를 검사하고 기준 삼각형과의 각도 차이를 계산하여 만족하는 각 정점 주위의 삼각형은 기준 삼각형과 합쳐서 그룹을 생성하며, 이상의 과정은 모든 삼각형에 대해서 반복된다.

2.3 경계 검출

삼각형 분할을 위해서 분할된 삼각형 그룹의 경계를 검출하는 작업이 필요하며, 그 과정은 다음과 같다.

첫째, 그룹에 속한 모든 삼각형의 half edge에 접하는 삼각형 중에서 동일 그룹에 속하는 것이 존재하지 않으면 경계를 이루는 edge로 판별한다.

둘째, half edge의 한 점을 시작점으로 잡고 경계로 판별된 edge에 대해서 다음 점을 정점으로 가지고 있는 edge를 찾아 연결한다.

셋째, 이상의 과정을 연결된 edge가 시작점으로 돌아올 때까지 순차적으로 반복한다.

2.4 Delaunay 삼각형 분할

Delaunay 삼각형 분할[8]은 Fig. 4와 같이 임의의 세 점을 선택하여 외접원의 반지름을 구하고 이 외접원에 다른 점들이 존재하지 않도록 삼각형 분할을 하는 것이다. STL 데이터 생성과 실제 파트 조형과정을 위해서 작은 각을 가진 삼각형을 피하여야 하며, 전체 삼각형을 통해서 가장 작은 각을 크게 만드는 것이 Delaunay 삼각형 분할이다.

Delaunay 삼각형 분할은 분할될 그룹으로 선택된 삼각형 그룹에 대해 적용된다. 단, 삼각형 그룹을 구성하는 삼각형의 수가 3개 이하인 경우에는 Delaunay 삼각형 분할을 하지 않는다.

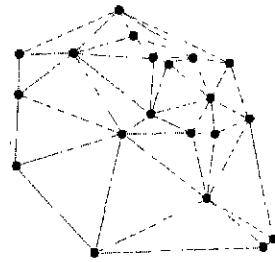


Fig. 4 Delaunay triangulation

3. 적용에

본 논문에서는 이상의 이론을 자유 형상을 대표할 수 있는 탈모형에 적용하였다.

로터리 테이블을 보유하고 센서 털링이 가능한 TechMac사의 5축 형상 측정 시스템(Fig. 5, [9])을 이용하여 측정하였으며, Visual C++ 6.0, OpenGL을 사용하여 효율적인 STL 파일을 생성하는 소프트웨어를 개발하였다.

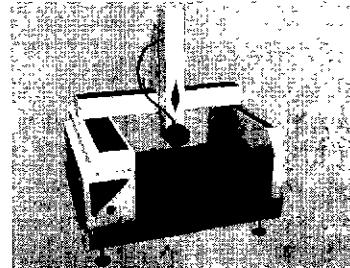


Fig. 5 3D measuring machine

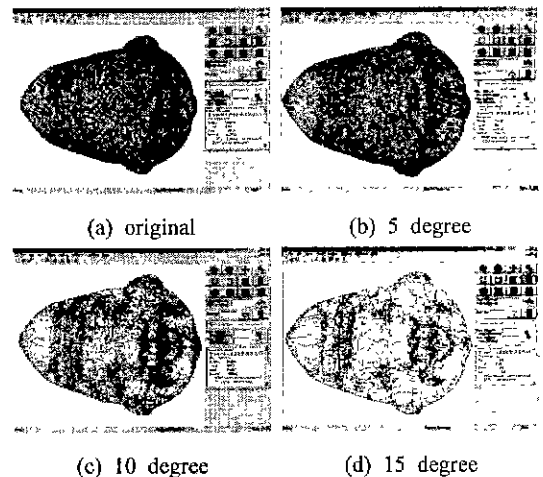


Fig. 6 Comparison of Delaunay triangulation

Table 1 Comparison of Delaunay triangulation result

No. of vertexes	No. of triangle	Selected angle	iteration number	No. of Remained triangles	No. of remained vertexes	Maximum (+) error	Average (+) error	Minimum (-) error	Average (-) error
122010	40670	5	11	34476	103428	0.022	0.0006	-0.022	-0.0011
		10	19	18220	54660	0.103	0.0076	-0.082	-0.0084
		15	27	10462	31386	0.273	0.0290	-0.157	-0.0204

삼각형 그룹 선택을 위한 각도는 5도, 10도, 15도, 삼각형의 수는 최대 10%까지 감소, 최대 반복횟수 50번의 사용자 입력 조건으로 각각 실행하였다.

Fig. 6 (a)는 측정된 모든 데이터를 이용하여 생성된 STL 파일을 나타낸다. Fig. 6 (b)는 삼각형 그룹 선택을 위한 각도를 5도로 정할 때 두 모델의 최종적으로 생성된 조형 가능한 STL 파일을 나타내며, Fig. 6 (c)는 10도, Fig. 6 (d)는 15도에서의 결과이다. Table 1은 두 모델에 대한 반복 횟수에 따른 삼각형 분할의 최종적인 적용 결과를 나타낸다.

이상의 다양한 적용 결과를 통해서 사용 목적에 적합한 데이터의 정도와 양을 가진 STL 파일을 생성한다.

4. 결론

본 논문에서는 레이저 스캐너로부터 생성된 점 데이터로부터 STL 파일을 생성할 수 있는 삼각형망을 생성하였다. 생성된 삼각형망은 레이저스캐너로부터 얻어지는 많은 점들을 포함하고 있으므로 삼각형간의 각도에 의해 생성된 삼각형 그룹으로부터 형성하여 삼각형의 수를 줄이면서 정도를 유지할 수 있는 알고리즘을 제시하였다.

제시된 알고리즘은 다음과 같은 특징이 있다.

첫째, 삼각형간의 각도에 의한 선택으로 곡률이 변화하는 부분을 찾으므로 경계를 찾는 데 더욱 적합하다. 허용오차 내의 미세한 홈 또는 스크래치 등이 데이터의 상당한 감소 이후에도 어느 정도의 데이터 감소와 함께 존재하므로, 급변하는 형상에 대해서 미세한 부분이 상하지 않게 한다. 따라서 일반적인 접근 방법에 비해서 훨씬 효율적이면서 정확한 결과를 산출한다.

둘째, 입력된 점 데이터를 계산상의 편의를 위하여 삼각형망을 구성하고 인접한 삼각형과의 각도의 편차는 삼각형간의 법선 벡터의 차이로서 표현하였다. 생성된 삼각형 그룹은 다시 이웃한 삼각형을 찾는 과정을 재귀호출로 반복하여 적합하지 않은 삼각형이 포함되는 경우를 제거하였다.

셋째, 최종적으로 생성된 STL 파일은 삼각형 감소에도 불구하고 실제 측정 데이터와 생성된 데이터의 오차 분석에서 좋은 결과를 얻었다. RP 조형 과정에서 오류 검사나 슬라이싱 과정 중에 발생하는 불필요한 계산 시간을 줄일 수 있다.

참고문헌

1. Y. H. Chen and Y. Z. Wang, "Genetic algorithms for optimized retriangulation in the context of reverse engineering", *Computer Aided Design*, Vol 31, No. 4, pp. 261-271, 1999.
2. Y. H. Chen, C. T. Ng and Y. Z. Wang, "Generation of an STL file from 3D measurement data with user-controlled data reduction", *International journal of advanced manufacturing technology*, Vol. 15, pp. 127-131, 1999.
3. H. Park and K. Kim, "An adaptive method for smooth surface approximation to scattered 3D points", *Computer Aided Design*, Vol. 27, No 12, pp. 929-939, 1995.
4. O. Volpin, A. Sheffert, M. Bercotier, and L. Joskowicz, "Mesh simplification with smooth surface reconstruction", *Computer Aided Design*, Vol 30, No. 11, pp. 875-882, 1998.
5. Hamann B., "A data reduction scheme for triangulated surfaces", *Computer Aided Geometric Design*, Vol. 11, No. 2, pp.197-214, 1994.
6. S. Hur and S. Lee, "Study on the reconstruction of skull prototyping using CT image and laser scanner", *International journal of KSPE*, pp 146-151, 2000.
7. H. N. Christiansen and T. W. Sederberg, "Conversion of complex contour line definition into polygonal element mosaics", *Proc. of the ACM SIGGRAPH'78*, pp 187-192, 1978.
8. Joseph O'Rourke, "Computational Geometry in C," Cambridge University Press, 1994.
9. TechMac Co. Ltd, "http://www.techmac.co.kr"