

Grid 방법을 이용한 측정 점데이터로부터의 CAD 모델 생성에 관한 연구

우혁제*, 강의철, 이관행(광주과학기술원 기전공학과)

CAD Model Generation from Point Clouds using 3D Grid Methods

Hyuckje Woo, Eui-chul Kang, Kwan H. Lee (K-JIST, Dept. of Mechatronics)

ABSTRACT

Reverse engineering technology refers to the process that creates a CAD model of an existing part using measuring devices. Recently, non-contact scanning devices have become more accurate and the speed of data acquisition has increased drastically. However, they generate thousands of points per second and various types of point data. Therefore, it becomes a major issue to handle the huge amount and various types of point data. To generate a CAD model from scanned point data efficiently, these point data should be well arranged through point data handling processes such as data reduction and segmentation. This paper proposes a new point data handling method using 3D grids. The geometric information of a part is extracted from point cloud data by estimating normal values of the points. The non-uniform 3D grids for data reduction and segmentation are generated based on the geometric information. Through these data reduction and segmentation processes, it is possible to create CAD models automatically and efficiently. The proposed method is applied to two quadric models and the results are discussed.

Key Words: Reverse engineering(전산역설계), data reduction(데이터 감소), Segmentation(영역화), 3D grid(3 차원 grid)

1. 서론

전산 역설계 기술이란 접촉식 또는 비접촉식 측정 장비를 통해 실제 파트를 측정하여 얻어진 데이터로부터 3 차원 CAD 모델을 재생성 하는 기술을 일컫는다. 본 기술에 대하여 과거 많은 연구들이 수행되어져 왔는데, 최근 비접촉식 측정장비의 발달로 측정 속도 및 정밀도가 매우 증가되는 반면 다양한 형태의 많은 양의 점데이터가 얻어지게 되었다. 따라서 모델링을 위해서 과거 CMM 등을 이용하여 규칙적이고 필요한 점들만 추출하던 방법과 달리 측정 점데이터의 효율적 처리 방법에 관한 연구가 매우 중요하게 되었다.

본 연구에서는 이러한 점에 중점을 두어 측정 데이터를 효율적으로 감소하고 영역화하는 방법을 개발하여 모델링 자동화 가능성을 보이고자 한다. 본 연구는 과거 수행된 3 차원 grid 방법을 통한 데이터 감소 방법에 관한 연구[1]와 데이터 영역화 방법에 관한 연구[2] 내용을 통합하여 하나의 절차로 제시

하고 이의 기능을 향상시키는데 그 목적을 두었다.

본 연구와 관련된 최근 주요 연구를 살펴보면, 모델 자동생성에 관한 연구로 Varady 와 Benko[3]는 삼각형망을 이용하여 생성하는 모델링 방법은 아직 까지 현재 사용되고 있는 CAD/CAM 시스템과 호환 되지 않고 있고 정확한 모델 생성이 어렵다는 점을 들어 주로 산업에서 사용되고 있는 단순면들로 구성된 모델에 대한 영역 자동화 및 솔리드 모델 자동 생성에 관한 연구를 수행하였고, Sun, et al.[4] 등은 3 차원 grid를 생성하여 삼각형망을 생성하는 연구에 관하여 수행하였다. 그 밖에 측정 점데이터의 감소에 관한 연구들은 Martin, et al[5], Fisher, et al.[6] 등에 의해 수행되어 왔고, 영역화에 관한 연구는 오래 전부터 Fan[7], Chen 과 Liu[8], Hoffman 과 Jain[9] 등에 의해 많은 연구가 수행되어 왔다.

본 연구에서는 주로 2 차곡면으로 이루어진 산업용 모델에 대하여 데이터 감소 및 영역화를 동시에 수행하여 CAD 모델을 신속하고 정밀하게 생성 하는 방법에 관해 다루고자 한다.

2. Overview

측정 점데이터는 일반적으로 3 차원 파트의 표면에 대한 공간상 좌표를 가진 점들로 구성되어 있다. 따라서 normal 값 등과 같은 파트의 기하학적 정보는 전혀 존재하지 않는다. 또한 측정 데이터의 경우 매우 조밀하게 측정되었다 하더라도 edge 부분에 점들이 정확히 놓여있다 할 수 없다. 이러한 사항들을 고려하여 본 연구에서는 먼저 파트의 형상 정보를 얻기 위해 점데이터로부터 normal 값을 추정하는 방법에 관한 연구를 하였고 비균일 grid를 생성하여 edge 부분에 해당되는 점들을 추출하여 영역화를 시도하였다. 이에 대한 세부 내용은 다음 장부터 단계별로 설명하였고, Fig. 1 은 본 연구에서 사용된 전체 공정을 보여주고 있다. 본 과정은 측정된 점데이터가 레지스트레이션 되었다고 가정하였고 노이즈 및 잘못된 데이터를 충분히 제거한 후 적용하였다.

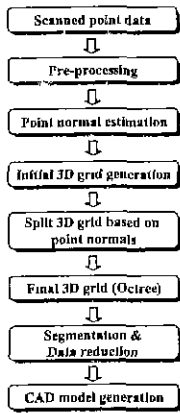


Fig. 1 Overall procedure

3. 점데이터의 법선 벡터 계산

측정 장비에 따라 점데이터는 크게 구조적으로 정렬된(structured) 데이터와 정렬되지 않은(unstructured) 데이터로 나뉠 수 있다. 정렬된 데이터의 경우 데이터 구조를 이용하여 빠르게 normal 값을 추정하는 방법 개발이 가능하고, 그렇지 않은 데이터의 경우 일반적인 방법들을 사용하여야 한다. 점데이터 normal 값 계산 방법은 크게 평면 근사화, 2 차곡면 생성, 삼각형망 생성을 이용한 방법들이 사용될 수 있으며 노이즈의 영향이 많은 경우 평면 또는 2 차 곡면을 통한 계산방법이 바람직하다. 다음 절에서 각 방법에 관하여 간단하게 설명하였다.

3.1 평면 근사화를 이용하는 방법

측정 데이터내의 한 점을 P_i 라고 할 경우, 이를

기준으로 이웃하는 점들을 이용하여 단위 normal 벡터 N_i 를 추정할 수 있다. 이웃하는 점들 P_j 는 다른 측정데이터와의 거리를 통해서 얻어질 수 있는데 파라미터 ρ 를 통해 식 (1)로 표현된다.

$$\|P_j - P_i\| < \rho \quad (1)$$

이를 통하여 얻어진 점 P_j 에 대하여 least-square 방법으로 평면 근사화를 하여 normal 값을 추정할 수 있는데, 평면식 $z = Ax + By + C$ 에 대해 다음 식 (2)를 만족함으로 원하는 평면을 구할 수 있고 이를 통해 점데이터의 normal 값 N_i 를 추정할 수 있다 [3].

$$\nabla E(A, B, C) = 2 \sum_{i=1}^m \left[(Ax_i + By_i + C) - z_i \right] (x_i, y_i, 1) = 0 \quad (2)$$

3.2 2차 곡면 근사를 이용하는 방법

다른 방법으로 점데이터 normal 계산을 위하여 2 차 곡면을 이용할 수 있는데 역시 $\|P_j - P_i\| < \rho$ 을 이용하여 P_i 를 중심으로 이에 ρ 의 거리안에 들어오는 점데이터를 2 차 곡면으로 근사화하여 계산하게 된다. 점 P_i 를 원점으로 하여 이웃 점들의 좌표를 변환하고 다음 식을 최소화하는 대칭 행렬 A 와 normal 단위 벡터 d 를 계산할 수 있다[3].

$$\sum_{x \in P_j} (x^T A x + < d, x >)^2 \quad (3)$$

3.3 삼각형망을 이용하는 방법

점데이터로부터 삼각형망을 생성하는 연구는 과거 오래전부터 매우 많이 이루어져 왔다. 하지만 빠른 normal 계산을 위해서는 측정데이터의 데이터 형태를 이용하는 것이 유리하다. 본 연구에서 사용된 스트라이프 형태의 레이저 스캐너의 경우 각 이웃하는 스캔 라인에 대하여 각 점들에 대한 edge-pair 를 생성하여 normal 값을 빠르게 계산할 수 있다[2]. 만약, 일정한 데이터 구조 없이 이루어진 unstructured 데이터의 경우, 위에서 설명한 곡면 근사화를 이용한 방법이나 3D delaunay triangulation 기법을 이용하여 normal 값 추정이 가능하다. 최종적으로 한점을 중심으로 Fig. 2 와 같은 삼각형망이 생성되면 점 p 에 대한 normal 값은 다음 식(4)로 계산된다.

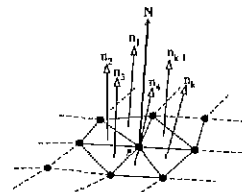
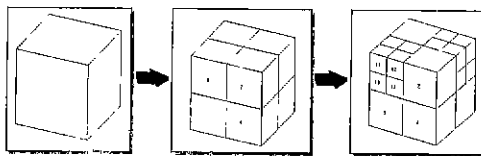


Fig. 2 Calculation of normal values for each point

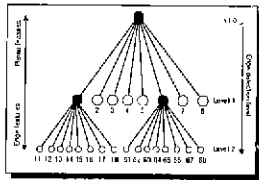
$$N_{p,j} = \frac{\sum_{i=1}^m n_i}{m} \quad (4)$$

4. 3D Grid 방법을 통한 곡면모델 생성

일반적으로 파트 측정 후, 레지스트레이션, 추가 측정, editing 등으로 인하여 점데이터의 ordering, merging, cross-sectioning 등의 작업이 필요하다. 이러한 작업들에도 많은 시간과 노력이 소요되게 되는데 이를 피하고 점데이터를 효율적으로 관리하기 위해 본 연구에서는 데이터 형상을 고려한 비균일 3차원 grid를 생성하였다. 3차원 grid는 다음 Fig. 3과 같이 octree 구조로 이루어지며 기준에 따라 8개의 작은 영역들로 분할되어 새로운 grid를 계속 생성할 수 있도록 되어져 있다.



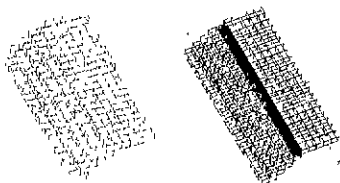
(a) Octree subdivision



(b) Tree representation for 3D-grids

Fig. 3 Octree data structure

본 연구에서 사용된 3차원 grid는 앞에서 계산된 점데이터 normal 값을 기준으로 한 cell 안에 포함되어 있는 점들의 normal 값의 표준편차가 사용자 정의의 공차보다 작을 경우 또는 한 cell 안에 한 점만이 존재할 때 까지 subdivision 과정을 수행하여 최종 3차원 grid를 완성한다. Fig. 4는 이러한 방법을 통해 얻어진 최종 3차원 grid를 보여주고 있으며, 형상이 많이 변화하는 edge 부분에서 최소 크기의 grid가 생성된 것을 볼 수 있다.



(a) (b) (c)

Fig. 4 3D-grid generation by subdividing

4.1 데이터 감소

최종 3차원 grid가 완성되면 이로부터 점데이터 감소를 수행할 수 있다. 점데이터 감소를 위해서 한 grid당 한 점을 추출하게 되는데, 추출기준으로 grid 내의 점들의 평균 normal 값을 계산하여 이에 가장 가까운 점을 최종 grid 내의 잘 대표하는 점으로 가정하여 추출하였다[1].

4.2 데이터의 영역화

또한 생성된 최종 3차원 grid를 기반으로 영역화를 수행할 수 있다. 최종 grid의 경우 급격하게 형상이 변화하는 부분에서 grid가 다수의 분할을 거쳐 작을 grid가 생성되게 된다. grid 크기가 작을수록 더 세밀한 모서리 부분에 해당하므로, grid 크기 순으로 level을 정하여 edge에 해당하는 영역을 추출할 수 있게 된다. 따라서 이를 통하여 edge 주변의 점데이터를 추출하고 제거함으로써 영역을 분할할 수 있다. 분할된 영역은 다시 octree 구조를 이용하여 자동 그룹화 되어 각각 저장되게 된다.

4.3 곡면 생성

최종 3차원 grid를 이용하여 감소되고 분할된 각각의 영역을 살펴보면 대부분 2차 곡면과 같은 완전한 형상으로 표현 가능하다. 따라서 먼저 각 부분에 대하여 구, 실린더, 평면, 콘 등의 primitive 형상을 시작으로 점점 복잡한 곡면까지 해당 점데이터에 알맞은 곡면을 근사화하고, 이들 곡면을 UV 파라미터 방향으로 확장시킨 후 각 곡면 패치들이 서로 만나는 교차곡선을 구하여 완전한 하나의 곡면모델을 생성할 수 있다. 이와 더불어 생성된 곡면 모델에 대해 필요에 따라 blending 곡면 모델을 생성함으로써 최종 모델이 완성 된다.

5. 적용 예

본 알고리즘은 Visual C++ 6.0과 OpenGL을 사용하여 구현되었고, 구, 콘, 접평면 등의 조합으로 구성된 샘플 모델과 전자기 형상에 적용하였다.

Fig. 5(a)는 샘플 모델의 초기 점데이터이며, Fig. 5(b)는 초기 grid로부터 허용 공차 0.15를 만족할 때까지 분할을 거듭하여 생성된 3D grid를 보여주고 있다. 이때 하위 4번째 level까지 모서리 영역을 제거하여 점데이터를 영역화하고 데이터를 감소한 결과는 각각 Fig. 5(c), Fig. 5(d)와 같고, 이를 통해 생성된 곡면모델은 Fig. 5(e)에서 보여지고 있다.

6. 결론

본 연구에서는 3 차원 grid 를 이용하여 점 데이터를 감소하고 영역화하는 방법을 개발하였다. 이를 통해 CAD 모델을 보다 손쉽게 생성할 수 있었으며, 모델 생성과정의 자동화에 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 현재 이러한 방법들은 간단한 곡면들로 이루어진 산업용 모델에 적용이 가능하나 향후 자유곡면이 포함된 형상에 대한 방법을 추가할 것이다.

참고문헌

1. 우혁제, 석태훈, 이권행, "전산 역설계를 위한 점 데이터 감소 방법 연구," 한국정밀공학회 1999년도 추계학술대회 논문집, pp. 428-431, 1999.
2. 우혁제, 강의철, 이관행, "3 차원 grid 를 이용한 측정 점데이터의 영역화에 관한 연구," 한국정밀공학회 2000년도 춘계학술대회 논문집, pp. 149-150, 2000.
3. Varady, T. and Benko, P., "Reverse Engineering B-rep models from Multiple Point Clouds," IEEE Geometric Modeling and Processing, pp. 3 - 12, 2000.
4. Sun, W., Bradley, C., Zhang, Y.F. and Loh, H.T., "Cloud Data Modeling Employing a Unified, Non-redundant Triangular Mesh," Computer Aided Design, Vol. 33, pp. 183 - 193, 2001.
5. Martin, R. R., Stroud, I. A. and Marshall, A. D., "Data Reduction for Reverse Engineering," RECCAD, Deliver-able Document 1 COPERUNICUS project, No 1068, Computer and Automation Institute of Hungarian Academy of Science, January, 1996.
6. Fischer, A. and Park, S., "Reverse Engineering: Multi-level-of-Detail Models for Design and Manufacturing," The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 15, pp. 566-572, 1999.
7. Fan, T., Medioni, G., and Nevatia, R., "Segmented Description of 3-D Surfaces," IEEE J. Robotics Automat., Vol. RA-3, No. 6, pp.527-538, Dec. 1987.
8. Chen, Y. H. and Liu, C. Y., "Robust Segmentation of CMM Data based on NURBS," The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 13, pp. 530-534, 1997.
9. Hoffman, R. L. and Jain, A. K., "Segmentation and Classification of Range Images," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 9, No. 5, pp. 608-620, 1987.

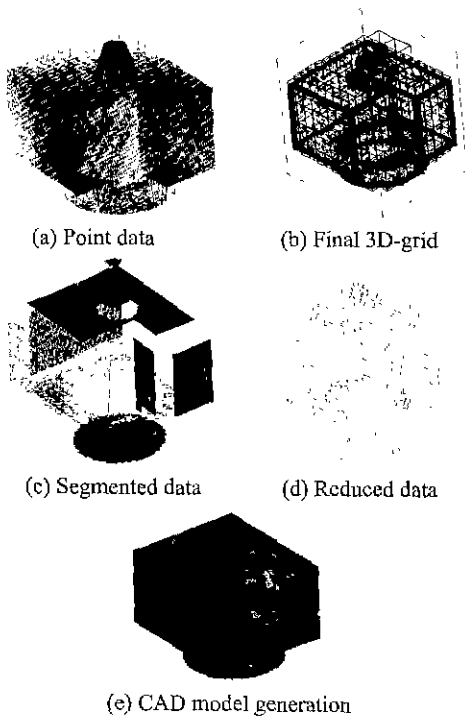


Fig. 5 The experimental result - I

약 9 만개의 점데이터로 이루어진 전화기 형상 (Fig. 6(a))에 허용공차 0.05, level 2 를 이용하여 Fig. 6(b), (c), (d)와 같은 3D grid, 영역화된 데이터, 감소된 데이터를 획득하였고, Fig. 6(e)와 같은 CAD 모델 생성이 가능하였다.

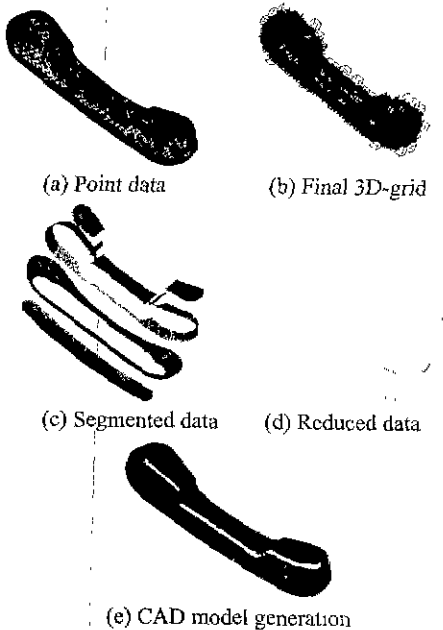


Fig. 6 The experimental result - II